

Konesuunnittelun 3D-mallit tehdassuunnitte- lussa

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
2023
Taru Keihänen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Keihänen, Taru	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 41	
Työn nimi Konesuunnittelun 3D-mallit tehdassuunnittelussa		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), konetekniikan koulutus		
Toimeksiantajaorganisaatio Dieffenbacher Panelboard Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää 3D-tehdassuunnittelua toimeksiantajan tarpeisiin. Toimeksiantajana toimi Dieffenbacher Panelboard Oy. 3D-tehdassuunnittelu oli jo otettu käyttöön yrityksen sisäisesti.</p> <p>Teoreettinen osuus käsittelee tehdassuunnittelun yleisimpiä piirteitä sekä parametrilla mallintamista opinnäytetyön kannalta oleellisin osin. Teoreettisen osuuden tarkoituksena on tutustuttaa lukija 3D-tehdassuunnitteluun ja osoittaa sen merkittävimmät hyödyt ja erot verrattuna 2D-tehdassuunnitteluun.</p> <p>Käytännönoosuudessa luodaan konesuunnittelun 3D-mallista yksinkertaistettu malli 3D-tehdassuunnittelua varten ja luodaan ohjeistus näiden katalogimallien tekoon. Lisäksi tutustutaan AVEVA E3D -ohjelmiston sisäisiin ominaisuuksiin.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena saavutettiin toimiva katalogimalli sekä ohjeistus niiden tekoon. Lopuksi ideoitiiin jatkokehityskohteita niin 3D-tehdassuunnittelun osalta kuin katalogimalleillekin.</p>		
Asiasanat 3D-tehdassuunnittelu, AVEVA E3D, tehdassuunnittelu		

Abstract

Author(s) Keihänen, Taru	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 41	
Title of Publication Machine design 3D-models in plant design		
Degree, Field of Study Engineer (UAS), Mechanical Engineering		
Organisation of the client Dieffenbacher Panelboard Oy		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to develop 3D plant design for the client's needs. The client for the thesis was Dieffenbacher Panelboard Oy. 3D plant design was already used in company.</p> <p>Theoretical part of the thesis covers topics and with the most common features of plant design as well as parametric modelling. The goal of theoretical part is to show readers the biggest differences between 3D and 2D plant design.</p> <p>The practical part provides a simplified model for 3D plant design and guidance on how to make these models. Also, AVEVA E3D that is used in 3D plant design is presented with internal features.</p> <p>The results of the thesis was functional catalogue model and guidance how to do catalogue models. Catalogue models and 3D plant design have other potential uses, so their benefits are developed.</p>		
Keywords 3D plant design, AVEVA E3D, Plant design		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Toimeksianto	2
3	Tehdassuunnittelu	3
3.1	Tehdassuunnittelu prosessina	3
3.2	Tehdaslayoutin suunnittelu	3
3.2.1	3D-tehdassuunnittelu.....	7
3.2.2	Elinkaariajattelu tehdassuunnittelussa	9
4	Modulaarinen 3D-mallintaminen	11
4.1	AVEVA Everything3D	11
4.2	Konesuunnittelun 3D-mallien modulointi	12
4.2.1	Parametrinen mallintaminen	14
4.2.2	CREO Parametric.....	16
5	Konesuunnittelun 3D-mallit tehdassuunnittelussa.....	18
5.1	Modulaaristen laitteiden käyttö tehdassuunnittelussa	18
5.2	Konesuunnittelun 3D-mallit AVEVA E3D ympäristössä.....	20
5.3	Katalogimalli	23
5.4	Katalogimallin parametrisuus.....	26
6	Tulokset.....	31
6.1	Tulosten todentaminen	31
6.2	Katalogimallin käyttö 3D-tehdassuunnittelussa	32
6.3	3D-tehdassuunnittelun haasteet AVEVA-ympäristössä.....	34
6.4	3D-tehdassuunnittelun taloudelliset hyödyt.....	35
7	Yhteenveto ja pohdinta	38
	Lähteet	40

Käsiteluettelo

Layout – tehdassuunnittelussa kokonaiskuvaa esittävä 2D- tai 3D-piirustus

CAD – tietokoneavusteinen suunnittelu

DXF-tiedosto – AutoCAD-ohjelmiston datatiedostomuoto

Katalogimalli – AVEVA E3D-ohjelmiston termi 3D-tehdassuunnittelussa käytettävästä mallista

STEP-tiedosto – Standard for the Exchange of Product -tiedostomuoto

TWPL – Template World, AVEVA-ohjelmiston työkalu

TMAR – Template Area, AVEVA-ohjelmiston työkalu

TMPL – Template, AVEVA-ohjelmiston työkalu

Paragon – AVEVA-ohjelmiston sisäinen sovellus

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Dieffenbacher Panelboard Oy:n kanssa, joka on osa maailman johtavaa levy- ja komposiitti tuotantolaitoksia toimittavaa Dieffenbacher konsernia. Dieffenbacher konsernin pääkonttori sijaitsee Saksan Eppingenissä, ja yrityksen liikevaihto on vuosittain yli 400 miljoonaa euroa. (Dieffenbacher 2022.)

Dieffenbacher Panelboard sijaitsee Lahden Nastolassa ja työllistää tällä hetkellä noin 70 henkilöä. Liikevaihto oli vuonna 2021 yli 20 miljoonaa euroa. Suomen toimistolla suunnittelu keskittyy liimaukseen sekä puristimelta tulevan levyn käsittelyyn aina varastointiin asti. (Dieffenbacher 2022.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää 3D-tehdassuunnittelua Dieffenbacherin tarpeet huomioiden sekä mahdollistaa 3D-tehdassuunnittelun laajempi käyttöönotto yrityksessä. Teoriaosuudessa käsitellään tehdassuunnittelun yleisimpiä piirteitä, 3D-suunnittelun etuja ja siihen liittyviä ilmiöitä yleisesti työhön liittyvin osin. Käytännön osuudessa luodaan kone-suunnittelun 3D-mallista katalogimalli 3D-tehdassuunnittelua varten sekä luodaan ohje katalogimallien yhteneväiseen suunnitteluun Dieffenbacherin sisäiseen käyttöön.

Opinnäytetyön keskeisin työkalu on AVEVA E3D -ohjelmisto, joka mahdollistaa 3D-tehdassuunnittelun innovatiivisessa ympäristössä ja mahdollistaa useiden henkilöiden työskenteelyn saman projektin parissa yhtä aikaa.

Opinnäytetyön toimeksianto ja tavoitteet on kuvattu tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Lisäksi huomioitavaa on, että opinnäytetyön kirjoittaja työskentelee toimeksiantajayrityksessä ja siksi jotkut kappaleet perustuvat työn kautta saatuun tietoon.

2 Toimeksianto

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää 3D-tehdassuunnittelun eri osa-alueita toimeksiantajien tarpeet huomioiden sekä luoda ohjeistus katalogimallien tekoon. Työn tavoitteena on tehdä käyttöön sopiva katalogimalli yhdestä Dieffenbacherin prosessilaitteesta sekä yleinen ohje katalogimallin luomiseen yrityksen sisäiseen käyttöön.

Teoreettisessa osuudessa tutustutaan tehdassuunnittelun yleisiin piirteisiin, kuten layoutin luomiseen, laitteiden sijoitteluun sekä tehdasrakenteiden huomioimiseen prosessia suunniteltaessa. Lisäksi käsitellään tehdassuunnittelun elinkaariajattelua yleisellä tasolla ja kehitetään jatkoideoita 3D-tehdassuunnitteluun. Yksi tavoitteista on tarkastella laitteiden modulaarisuutta, parametrista 3D-suunnittelua ja katalogimallien tekoa työhön liittyvin osin sekä tutustutaan opinnäytetyön kannalta tärkeimpään työkaluun, AVEVA E3D -ohjelmistoon.

Käytännön osuudessa hyödynnetään AVEVA E3D -ohjelmistoa katalogimallin luomiseen ja tutustutaan tehdassuunnittelussa prosessilaitteiden sijoitteluun sijoittamalla tehty malli tehdaslayoutiin. AVEVA ohjelmisto auttaa havaitsemaan mahdolliset yhteentörmäykset sekä muut epäkohdat layoutin luomisessa, joten tutustutaan tarkemmin myös 3D-suunnittelun etuihin tässä kontekstissa. Käytännön osuuden tarkoituksena on havainnollistaa lukijalle 3D-tehdassuunnittelun todelliset hyödyt sekä osoittaa 3D- ja 2D-tehdassuunnittelun merkittävimmät erot sekä luoda käyttövalmis katalogimalli.

Onnistuneena opinnäytetyön lopputuloksena voidaan pitää toimivan suunnitteluohjeen syntymistä sekä valmista, toimivaa katalogimallia, joka on parametrien avulla moduloitavissa. Lisäksi teoriaosuus tuo ilmi kehittyneen 3D-suunnittelun hyödyt tehdassuunnittelussa sekä osoittaa CAD-ohjelmistojen monipuolisuuden.

Jatkoideoinnin tavoitteena on löytää uusia kehityskohteita sekä toimintamalleja, joita hyödyntämällä voidaan kehittää ja laajentaa Dieffenbacherin tehdassuunnittelua entisestään. Ideaalitulanteessa tämä opinnäytetyö mahdollistaa 3D-tehdassuunnittelun laajemman ja monipuolisemman käyttöönoton Dieffenbacher Panelboardissa.

3 Tehdassuunnittelu

3.1 Tehdassuunnittelu prosessina

Tehdassuunnittelu on laaja prosessi, jota tarvitaan, kun halutaan rakentaa uusi tuotantolaitos tai laajentaa jo olemassa olevaa. Tuotantolaitoksen suunnittelu lähtee aina tarpeesta luoda uutta. Suunnitteluprosessi jaetaan eri vaiheisiin ja osa-alueisiin, joita on kuvattu tarkemmin seuraavissa luvuissa. Tuotantolaitoksen suunnittelun tavoitteena on mahdollistaa toimivan, tuottavan tehtaan toiminta.

Tehdassuunnittelun ainoa tavoite ei ole tuottaa valmista tuotetta vaan suunnittelussa tulee huomioida myös ympäristövaikutukset sekä turvallisuus. Pelkän rakennuksen suunnittelun lisäksi täytyy suunnitella itse prosessi ja siihen tarvittava laitteisto koko laajuudessaan. (Childree, 2022.)

Tehdassuunnittelussa tulee myös ottaa huomioon kohdemaan laki sekä kansainväliset standardit ja asetukset. Suunnittelun ja valmiin tuotantolaitoksen tulee perustua lakiin, joka osoittaa vaatimukset terveyttä, ympäristöä ja turvallisuutta kohtaan. (Moran 2017., 25) Lisäksi tulee huomioida suunnittelun eri osa-alueisiin keskittyvät lain ja standardit, jotka ohjaavat suunnittelun kulkua ja osaltaan vaikuttavat suunnittelussa syntyviin valintoihin esimerkiksi laitteiston komponenttien osalta.

3.2 Tehdaslayoutin suunnittelu

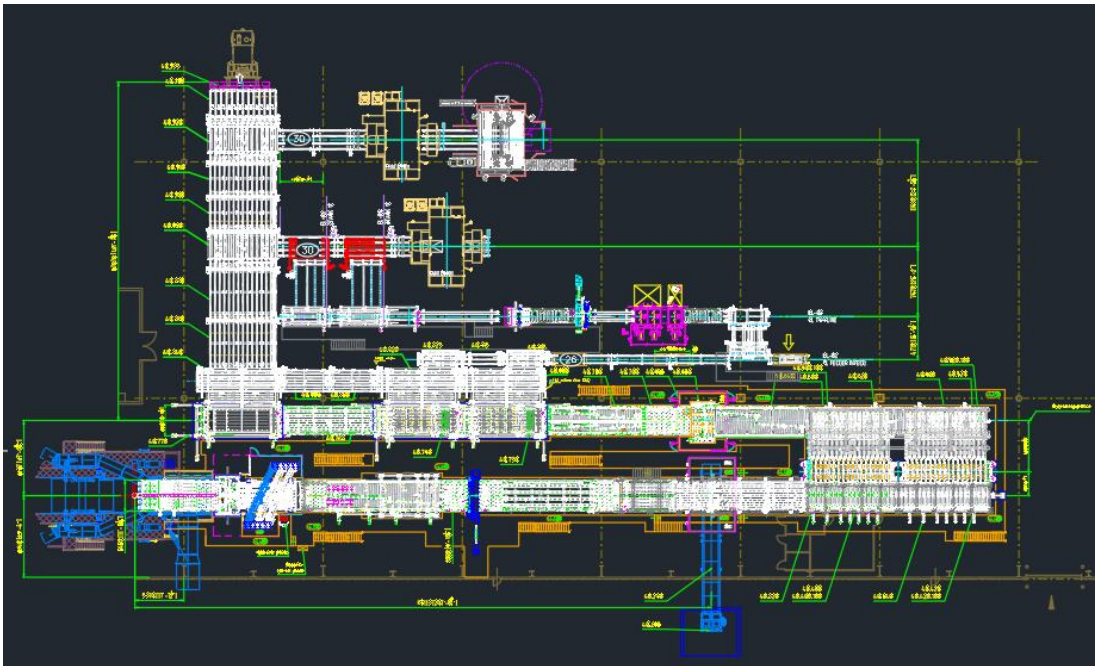
Layout on vakiintunut termi, jolla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän osien, kuten koneiden, laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa. Layout voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin; tuotantolinjalayout, funktionaalinen layout ja solulayout. (Haverila ym. 2009., 475.)

Layout-suunnittelun keskeisenä tavoitteena on materiaalivirtojen tehokas suunnittelu. Suunnittelussa on otettava huomioon myös mahdolliset muutostarpeet. Erityisesti vaikeasti siirrettävien koneiden ja laitteiden sijoittelussa on otettava huomioon niiden vaikutukset myöhemmässä kehitystarpeessa. (Haverila ym. 2009., 482.)

Lisäksi layoutissa näytetään niin kutsutut positionumerot eli laitekohtainen identifikaatio, jotta jokainen yksittäinen laite voidaan tunnistaa tuotantolinjassa. Dieffenbacherilla positionumero koostuu prosessialueen tunnuksesta sekä laitteen järjestysnumerosta. Levynkäsittely ja -kuljetus merkitään 40-alkuisella tunnuksella, jota seuraa laitteen järjestysnumero.

Tehdaslayoutin tarkoituksena on myös näyttää yleiskuvaa tuotantolaitoksesta. Jos layout toteutetaan 2D-suunnittelua hyödyntäen, joudutaan luomaan monia eri layouteja näyttämään kaikki tiedot, koska piirustusarokin tila on rajallista ja 2D-muodossa visuaalinen havainnointi on haasteellisempaa.

Dieffenbacherilla jokaiselle prosessialueelle tehdään oma layout selkeyden ja tilan rajallisuuden vuoksi. Prosessialueet on jaoteltu levyn valmistuksen eri vaiheisiin. Prosessi alkaa raaka-aineen käsittelystä jatkuen liimaukseen, puristuksen jälkeen levyn käsittelyyn aina varastointiin asti. Kun kyseessä on laaja kokonaisuus, jokaisesta prosessialueesta tehdään oma layout ja näin ollen tarvitaan monia erillisiä layouteja. Lisäksi tarvitaan layoutit muista tehdassuunnittelun osa-alueista, joita käsitellään seuraavissa luvuissa. Kuvassa 1 nähdään 2D-layout levynkäsittelylinjasta Dieffenbacherin projektista. Kuten huomataan, layout sisältää paljon erilaista tietoa ja havainnointi on hankalaa.



Kuva 1. 2D-tehdaslayout (Dieffenbacher 2022a)

Kuvassa 1 näkyvä levynkäsittelylinja on esitetty ylhäältäpäin katsottuna. Jokainen laite on positiomerkitty ja esitetty tälle projektille oikeassa koossa. Lisäksi layoutissa nähdään turvaväytilöitä sekä huoltoalueita ja kävelysilloja. Yleensä layoutissa on myös sivukuva näyttämässä linjakorkeuksia ja mahdollisia rakenteellisia eroavaisuuksia kuten lattiapinnan alapuolisia rakenteita tai betonikorkeita. Varsinkin tämän opinnäytetyön kannalta oleellisen jäähdytyskääntäjän ja sen hihnakuljettimien alue on tärkeä näyttää sivukuvassa, josta hihnakuljettimen jalkojen pituus riippuu jäähdytyskääntäjän syvyydestä ja sen reunoilla olevien betonirakenteiden korkeudesta. Kuitenkaan 2D-kuvasta ei voida nähdä tarkkaan epä-

kohtia tai törmäyksiä. Mahdolliset virheet huomataan vasta mahdollisesti asennusvaiheessa ja tämä lisää projektin kuluja merkittävästi ja voi pahimmassa tapauksessa viivästyttää tehtaan käyttöönottoa ja näin ollen tuotannollisen toiminnan alkamista. Lisäksi jokainen tehtaan käyttöönotossa vietetty päivä on taloudellisesti heikentävä sekä asiakkaalle, mutta myös suunnitteluyritykselle.

Tuotantolinjalayoutin tarkoituksena on näyttää koneet ja laitteet työnkulun mukaisessa järjestyksessä. Työvaiheiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon tuotantolinjan tasapainottaminen mahdollisimman suuren tuottavuuden takaamiseksi. Tasapainottamisella pyritään minimoimaan aikahäviö, joka syntyy, kun vaiheaika on lyhyempi kuin tahtiaika. (Haverila ym. 2009., 475.)

Tahtiaikaa käytetään tarvittavien työasemien lukumäärän määrittämiseen. Työkappaleen valmistuksen vaiheikojen summa jaetaan tahtiajalla, jolloin saadaan työpisteiden minimimäärä. (Haverila ym. 2009., 475.)

Dieffenbacherilla lasketaan tuotantolinjan nopeusalueet, jotta laitteiden pituudet saadaan määritettyä oikein ja esimerkiksi jäähdytyskapasiteetti on mitoitettu oikein tuotantokapasiteettiin nähden. Tahtiaika lisäksi vaikuttaa siihen, kuinka paljon valmistettavien levyjen väliin halutaan jättää tilaa, jotta prosessin vaiheet sujuvat ongelmitta. Lisäksi valmistettavan levyn koko vaikuttaa linjan pituuteen ja nopeuteen. Linjanopeudet vaikuttavat myös anturitarpeisiin, koska levyn sijainti linjastolla täytyy olla koko ajan tiedossa eikä levy saa niin sanotusti hävitä linjastolla. Näiden laskentojen perusteella muodostetaan aika –paikka –kaavio, joka osoittaa levyn kulun tietyllä ajan hetkellä ja sen perusteella laitteisiin asennetaan anturit oikeisiin paikkoihin ja valitaan moottorit sopivan tehoisiksi, jotta laitteiden haluttu linjanopeus on saavutettavissa.

Dieffenbacher tuottaa ja suunnittelee pääasiallisesti puulevytuotantolaitoksia. Jokaisesta tuotantolaitoksesta tehdään aina projektikohtaiset piirustukset. Tulevasta tuotantolaitoksesta täytyy siis tehdä vähintään seuraavat layoutit projektikohtaisesti prosessialueiden lisäksi:

- perustuspiirustus
- putkistojen suunnittelu, mm. pölynpoistoa varten
- laitteiden sijoittelu sekä mahdolliset hoitotasot
- LVI-kaaviot
- sähkö- ja automaatio suunnitelma

Isoissa hankkeissa on järkevintä perustaa projektistandardit, jotka on koostettu kansainvälisistä standardeista käyttötarkoitukseen sopiviksi. Projektistandardit luodaan toimialakohtaisesti asiakastoiveet ja viranomais määräykset huomioiden. Tällä tavalla saavutetaan kompromisseja investoinnin ja yhteensopivuuden välillä, jolloin saadaan kokonaistaloudellisesti edullisin ratkaisu. (Pere 2021., 14-8)

3.2.1 3D-tehdassuunnittelu

Aiemmin suunnittelun perustana on ollut käsin tehdyt piirustukset, joita tehtiin riittävä määrä kaksiulotteisesti eri suunnista rakentamisen tueksi. Myöhemmin siirryttäessä CAD-avusteiseen 2D-piirtämiseen tilanne ei juurikaan muuttunut, vaikka suunnittelun ajallinen tehokkuus kasvoi. Siirtyminen 3D-suunnitteluun on uudistanut koko tehdassuunnittelumaailmaa merkittävästi. Dokumenttilähtöisestä ajattelusta siirtyminen tiedostomuotoiseen malliin on automatisoinut suunnittelua ja vähentänyt tulostamisen tarvetta. (Pere 2021., 14-13.)

Yksin yleisimpiä 3D-tehdassuunnittelu ohjelmistoja on AVEVA Everything3D, jossa sadat suunnittelijat voivat työskennellä samassa projektissa samaan aikaan. AVEVA-ohjelmistoa käytetään paljon isoissakin prosessiteollisuuden tuotantolaitosten suunnitteluissa. (Moran 2017., 555.)

Laitossuunnittelussa käytettävät ohjelmistot perustuvat lähes poikkeuksetta sisäiseen kirjastoon. Suunnittelutyön ensimmäinen vaihe tällöin on mallintaa projektin standardien mukaiset osat 3D-kirjastoon oikeilla parametreilla. Tuoteperheiden ja mallikirjastojen hyödyntäminen maksimoi suunnittelun tehokkuuden ja laadun. (Pere 2021., 14-13.)

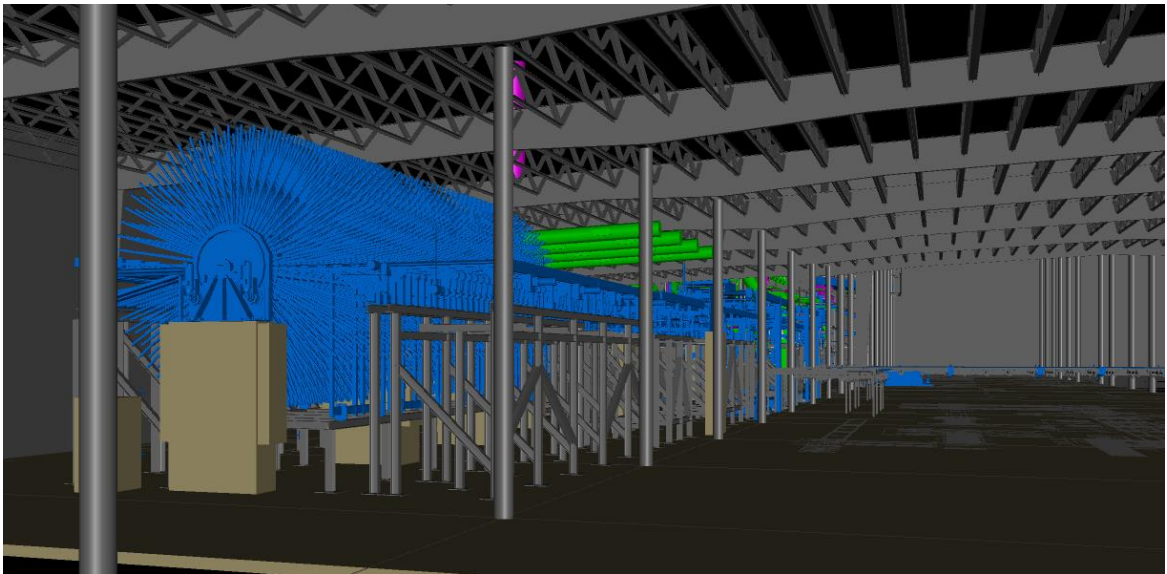
Kun mallit on jo luotu, kirjastosta voidaan valita halutut laitteet ja muuttaa niiden parametrit projektiin sopiviksi. Tämä nopeuttaa ja helpottaa 3D-layoutin luomista. (Moran 2017., 555.)

Merkittävin etu 3D-tehdassuunnittelussa on törmäystarkasteltavuus. Tyypillisesti tehdassuunnittelussa esimerkiksi tehtaan rakenteista ja laitteista vastaavat useat eri henkilöt, jolloin törmäyksien vaara kasvaa, varsinkin jos kyseessä on 2D-muodossa tuotettu layout. 3D-tehdassuunnittelu tarjoaa mahdollisuuden virtuaaliseen törmäystarkasteluun, joka parantaa suunnittelun laatua merkittävästi. (Pere 2021., 14-14.)

Kun samassa layoutissa on kaikki informaatio, huomataan myös koneiden mahdolliset törmäykset tehtaan rakenteisiin, joiden poikkileikkaus tai sijainti on muuttunut. Myös törmäykset muihin tehtaan kannalta oleellisiin osiin kuten hoitotasoihin tai putkistorakenteisiin nähdään helposti.

3D-suunnitteluohjelmistoissa, myös AVEVA-ohjelmistossa iso etu on kuvan näkyminen värikköinä. Värit parantavat hahmotusta ja tekevät visuaalisesti miellyttävämmän lopputuloksen. (Moran 2017., 555.)

Kuvassa 3 nähdään 3D-layout samasta levynkäsittelylinjasta kuin kuvassa 1. Prosessilaitteet ovat merkitty sinisellä värillä. Kuten huomataan, visuaalinen yleisilme on informatiivisempi ja havainnointi on helpompaa. Rakenteet, prosessilaitteen ja putkistot ovat realistiset ja värikoodauksen avulla jokainen rakenne selkeästi nähtävillä. Kuvassa nähdään jäähdystyskääntäjä sekä sen hihnakuuljetin.



Kuva 3. 3D-layout

On olemassa monia 3D tehdassuunnitteluun soveltuvia ohjelmistoja. AVEVA-ohjelmiston lisäksi Autodesk on luonut kilpailevan AutoCAD Plant 3D -ohjelmiston, joka on myös paljon käytetty. Autodeskin versiossa isona etuna on sen kommunikointi muiden AutoCAD-ohjelmistojen kanssa. (Moran 2017., 547-557.)

Lähes poikkeuksetta kaikki CAD-ohjelmistot kuitenkin tukevat AutoCAD-ohjelmiston DXF-tiedostomuotoa, joka on paljon tehdassuunnittelussa käytetty tiedostomuoto. Tämä laajentaa ohjelmistojen käytettävyyttä, kun DXF-tiedosto on käytettävissä. Sen avulla saadaan tuotua konesuunnittelun 3D-mallista 2D-malli esimerkiksi AutoCAD-ohjelmistoon layoutia tai projektiipiirustusta varten.

3D-tehdassuunnittelua voidaan myös hyödyntää simuloimisessa. Simuloimisella tarkoitetaan tutkimusmenetelmää, jolla matemaattisesti analysoidaan systeemin toimintaa ja suorituskykyä. Tehdasympäristössä on runsaasti satunnaistapahtumia ja eri tapahtumien syy-

seuraussuhteet ovat monimutkaisia. Simulaatio on monesti ainoa käyttökelpoinen tutkimusmenetelmä systeemin toiminnan ja dynamiikan hahmottamiseksi. (Haverila ym. 2009. s. 482.)

Simulaatio tapahtuu ohjelmistolla, joka on suunniteltu 3D-mallintamista varten. Myös automaatiojärjestelmien tai tuotantoprosessien yksityiskohtaisten suunnitteluun voidaan hyödyntää simulaatiota. Simulaation avulla saadaan tarkkaa dataa liikeradoista ja tuotantoprosessin ajoituksesta. Automaatiosimulaatiossa hyödynnetään automaatio suunnitteluohjelmia. (Haverila ym. 2009., 482.)

3.2.2 Elinkaariajattelu tehdassuunnittelussa

Tehdassuunnittelu on monivaiheinen projekti jo ennen toteutusta ja käyttöönottoa. Ennen toimitusprojektin suunnittelun aloitusta tehtaan yksityiskohdat on suunniteltu jo niin pitkälle, että kokonaisuudesta voidaan tehdä sopimus. Toteutusta seuraa hankinta, rakennus, asennus sekä käyttöönotto. Usein nämä vaiheet ovat osittain limittäin tehtäviä eli tehtaan rakennus alkaa jo suunnittelun aikana. (Pere 2021., 14-15.)

Tehdassuunnittelu alkaa jo tarjousvaiheessa eli esisuunnittelussa tarpeesta luoda uutta. Myynnin asiantuntijat kartoittavat mahdollisen asiakkaan tarpeita ja luovat tarjouslayoutin, jossa näytetään prosessin kulkua ja suunniteltua laitteistoa. 3D-tehdaslayoutin voidaan ajatella olevan myyvämpi vaihtoehto sen visuaalisesti selkeämmän ja miellyttävämmän ulkonäön ansiosta. Jos 3D-layoutin ansiosta myydään enemmän projekteja sekä nopeutetaan tehdaslayoutin tekoaikaa suunnitteluvaiheessa tarjouslayoutin avulla, saadaan suhteessa enemmän voittoa verrattuna 2D-tehdassuunnittelun käytöstä syntyvää hyötyä.

Tuotantolaitoksensuunnittelussa suunnittelu ei lopu käyttöönottoon vaan jatkuu koko tehtaan käyttöajan. Tehtaan ylläpito on jatkuvaa suunnittelua tuotannon ja kunnossapidon välillä. Ideaalitulanteessa 3D-muodossa tuotettua tehdaslayoutia voisi hyödyntää myös käyttöönoton jälkeen kunnossapidon suunnittelussa. Ylläpidetty, tarkka 3D-malli tehtaasta sujuvoittaa myös muutos- ja laajennusprojekteja. (Pere 2021., 14-17.)

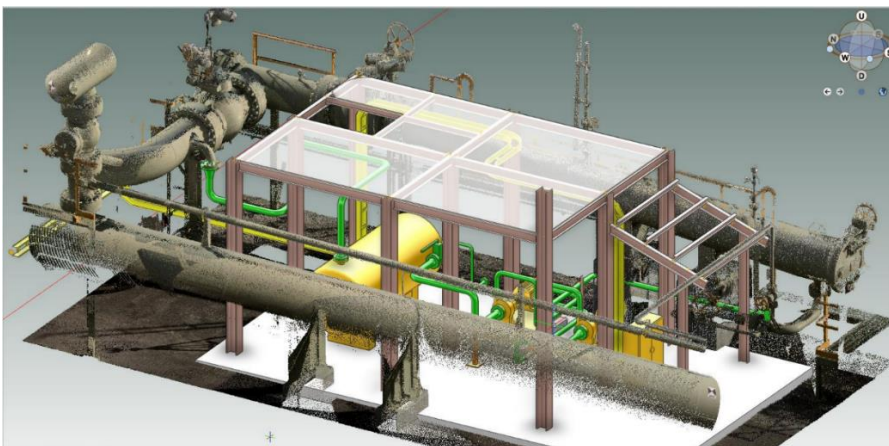
Teoriassa voisi olla mahdollista tilata varaosia hyödyntäen 3D-tehdaslayoutia. Tällöin varaosista vastaava yritys saisi informatiivisemman kuvan varaosatarpeesta. Layoutissa näkyviin laitteisiin voisi lisätä tiedostolinkin, joka näyttäisi tarkat tiedot laitepositiosta sekä kuluista osista, jolloin kunnossapidon suunnittelua sujuvoitettaisiin merkittävästi ja virheiden mahdollisuutta pienennettäisiin. Kun osat olisivat listattuna ja identifioitavissa linkin avulla, tyyppikoodi olisi selvillä ja uusi osa helpommin tilattavissa.

Mikäli 3D-layoutia ei ole olemassa, voidaan geometriatieto kerätä laserkeilauksen avulla. Laserkeilaamalla saadun tiedon lisäksi tarvitaan tiedot sähkö- ja automaatiojärjestelmistä, jotta saadaan virtuaalisesti älykäs 3D-layout. (Pere 2021., 14-18.)

Laserkeilaus on tekniikka, jolla kerätään pistepilvi olemassa olevasta geometriasta lasersäteiden avulla. Pistepilvi muodostuu, kun lasersäde osuu mitattavaan pintaan ja palaa takaisin. Laserkeilauksesta syntynyt XYZ-koordinaatistoa noudattava pistepilvi voidaan siirtää CAD-ohjelmistoon jatkokäsittelyä varten. Virheiden mahdollisuudet kasvavat, kun mittausmatka kasvaa, koska paluusignaalin voimakkuus heikkenee. Samaa efektiä voi aiheutua erilaisista pintamateriaaleista johtuen. (Pekkala 2015., 12.) Tämän takia useiden eri mittauspisteiden hyödyntäminen laserkeilauksessa on tärkeää, jotta mahdolliset katvealueet saadaan mitattua eikä mittausmatka kasva liian suureksi. Kun mittausmatka pidetään maltillisena, lopputulos on luotettavampi.

Kaikissa toimitusprojekteissa ei toimiteta tuotantolaitosta koko laajuudessaan vaan voidaan toimittaa tietty prosessialueen osa tai jopa pelkät piirustukset, jolloin asiakas itse huolehtii laitteiden valmistuksesta. Dieffenbacher on hyödyntänyt laserkeilaustekniikkaa projekteissa, joista ei ole ollut saatavilla layoutia tai on haluttu tarkkaa dataa tehtaan rakenteista ja laitteistoista ennen tehdassuunnittelun aloitusta.

Modernisaatio on yksi osa tehtaan elinkaariajattelua. Modernisaatiolla tarkoitetaan yksittäisten laitteiden toiminnan kannalta oleellisten osien uudistusta tai vaihtoehtoisesti tuotantolaitoksen laitteiston vaihtoa uusiin. Laitteen uudistuksen takana voi olla käyttöiän pidentäminen tai laitteen muokkaaminen muuttuneiden standardien mukaiseksi. Yksittäisen koneen modernisaatio on myös kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin täysin uuden laitteen hankinta. Kustannustehokkuuden lisäksi modernisaatio on kestävän kehityksen kannalta parempi vaihtoehto. Kuvassa 4 nähdään laserkeilaamalla toteutettu 3D-tehdaslayout, johon on lisätty komponentteja myös katalogimallina AVEVA E3D-ohjelmistossa.



Kuva 4. 3D tehdaslayout laserkeilauksella toteutettuna (Dieffenbacher 2022c)

4 Modulaarinen 3D-mallintaminen

4.1 AVEVA Everything3D

AVEVA Everything3D eli AVEVA E3D on yksi maailman kehittyneimpiä 3D-suunnitteluohjelmia prosessiteollisuuteen. Se mahdollistaa visuaalisesti innovatiivisen työskentely-ympäristön, jossa mahdolliset yhteentörmäykset isoissakin layouteissa on vältettävissä jo suunnitteluvaiheessa. AVEVA E3D model simplification -ominaisuudella pystytään luomaan katalogimalleja muista 3D-ohjelmistoista tuoduista malleista. Katalogimallien avulla saadaan koko tehdaslayout luotua 3D-muodossa. (AVEVA 2022.)

AVEVA E3D perustuu uusimpiin 3D grafiikka- ja käyttöliittymä-tekniikoihin ja siten tarjoaa käyttäjilleen kattavan ja tuottavan 3D-suunnittelu-ympäristön. Sisäinen mallikirjasto säästää suunnittelutunteja, kun voidaan hyödyntää standardikomponentteja suunnittelussa. AVEVA-ohjelmisto on laajasti konfiguroitavissa käyttäjälle sopivaksi ja keskeisimmät komennot voidaan automatisoida pikanäppäimiin. AVEVA sisältää PML- ja NET API- ohjelmointimahdollisuudet. (Moran 2017., 555.)

AVEVA-ohjelmiston alkuperäinen käyttötarkoitus on ollut mahdollistaa erilaisten putkistojen suunnittelu ja luominen. Nykyään se on maailman laajuisesti käytetty 3D-ohjelmisto, joka mahdollistaa isojenkin projektien kuten öljynporauslauttojen tai laivastojen suunnittelun.

Koska AVEVA mahdollistaa kaiken oleellisen näkymisen samassa layoutissa, vähennetään merkittävästi virheiden mahdollisuuksia, jotka johtuvat muutoksista eri layoutien välillä, joita ei ole muistettu päivittää tai ottaa huomioon suunnittelun edetessä. 3D-tehdassuunnittelussa AVEVA:lla muutokset saadaan päivitettyä samaan layoutiin ja niiden vaikutukset nähdään realistisemmin. Tehdyt muutokset voidaan korostaa, jolloin ne erottuvat selkeästi. Muutoksista jää automaattisesti merkintä kirjauslokiin, mikä mahdollistaa tarkemman muutosten jäljitettävyyden.

Kehittyneellä tiedonhallintatyökalulla varmistetaan, että jokaisella suunnittelijalla on oikean tason pääsy projektitietoihin. Tämä tarkoittaa mahdollisuutta rajoittaa eri henkilöiden oikeuksia tehdä muutoksia, jolla turvataan, että muutokset tekevät vain niistä vastaavat suunnittelijat. (AVEVA 2021.) On tärkeää, että suunnittelussa henkilöillä on oikean tason pääsy tietokantoihin ja oikeudet tehdä oman suunnitteluosaston muutoksia. Oikeuksia rajaamalla estetään vahinkomuutokset sekä varmistetaan muutoksien tarpeellisuus ja tiedonkulku.

Mikäli tehdaslayout on suunniteltu 2D-muodossa, mahdollisten muutoksien päivittäminen jokaiseen layoutiin vie runsaasti enemmän aikaa verrattuna yhden 3D-layoutin päivytykseen. Kuten jo todettiin, layouteja tarvitaan monia erilaisia, jos ne on 2D-muodossa esitetty.

Näiden kaikkien päivitys on iso prosessi ja virheiden mahdollisuus kasvaa, jos yksikin layout jää päivittämättä. Lisäksi AVEVA-ohjelmiston mahdollisuus rajata muutosoikeuksia ja muutoslaki edesauttavat virheiden välttämistä. Voidaan siis ajatella 3D-tehdassuunnittelun olevan taloudellisempi tapa, koska suunnittelutunteja kertyy merkittävästi vähemmän sekä virheiden tuomia kuluja saadaan pienennettyä.

Kun 3D-layoutissa nähdään mahdolliset törmäykset prosessilaitteiden ja rakenteiden välillä, voidaan 3D-tehdassuunnittelua pitää kustannustehokkaampana vaihtoehtona 2D-suunnitteluun verrattuna. Suunnitteluvirheistä johtuvat viivästyksset ja mahdolliset käyttöönotossa tapahtuvat viivästyksset ovat todella kalliita. Mahdolliset törmäykset tulevat esiin eri sävyisinä kohtina 3D-layoutissa. Eri värissävyt osoittavat törmäyksen vakavuuden. Törmäys voi olla vain kosketus elementtien välillä tai visuaalisesti toistensa läpi menevä törmäys, joka todellisuudessa voisi jopa estää laitteiston asennuksen.

Lisäetuna voidaan pitää rajoittamatonta skaalausta layoutin suunnittelussa. 3D-ympäristön ansiosta kaikki nähdään realistisessa koossa ja tilanhahmotus parantuu merkittävästi, kun piirustusarkin tila ei tule vastaan. Lisäksi layoutia voidaan tarkastella monista eri kuvakulmista vaivatta ja voidaan piilottaa hetkellisesti rakenteita parantamaan visuaalista näkymää.

3D-tehdassuunnittelusta saadaan toimiva ja tehokas tapa, kun luodaan kirjasto yleisimmistä kokoonpanoista ja moduuleista. Malleihin voidaan luoda yhdistämispisteitä, jotka mahdollistavat tarkan kohdistamisen helposti ja laitteen vaatima tila on selkeästi nähtävillä. Mahdolliset muutokset sijoittelussa on yksinkertaisempi tehdä yhdistämispisteiden ansiosta. Koska laitteet sijoitellaan suoraan niiden oikeille pakoille 3D-layoutiin, vähennetään työtuntien määrää poistamalla mahdollisten projektikuvien tarve. (AVEVA 2021.)

Kokonaisuutena 3D-tehdassuunnittelua voidaan pitää merkittävänä hyötynä sen monipuolisuuden ansiosta. Jo alusta asti voidaan huomioida enemmän tehtaan kannalta merkittäviä asioita ja vähentää kuluja, jotka syntyvät kuvien päivittämisestä tai suunnittelussa tapahtuneista virheistä. Virtuaalisen 3D-layoutin avulla voidaan tehtaan elinkaarta seurata nykyaisemmin ja sujuvoitetaan kunnossapitotoimenpiteitä pitkällä aikavälillä. 3D-tehdassuunnittelun vaikutukset ovat kokonaisuudessaan merkittäviä.

4.2 Konesuunnittelun 3D-mallien modulointi

Konesuunnittelun 3D-mallilla tarkoitetaan CAD-menetelmällä tuotettua kokoonpanoa. CAD terminä viittaa englanninkielen sanoihin computer aided design eli tietokoneavusteiseen suunnitteluun. Suunnitteluohjelmia on useita erilaisia ja niillä voidaan luoda kaksi- ja kolmiulotteisia kappaleita. Nykyään CAD on aiempaa laajempi käsite ja sillä tarkoitetaan myös

tiekoneen käyttämistä suunnittelun tukena muutenkin kuin piirtämiseen. (Pere 2021., 2 – 11.)

Laitteen modulointi on sen jakamista omiin yksiköihin eli moduuleihin, jotka eivät ole riippuvaisia toisistaan. Moduuleille määritetään tarkat rajapinnat, jotka mahdollistavat yhdistettävyyden sekä vaihdettavuuden. Moduloimisella saavutetaan enemmän tuotevariaatioita eli isompi tuoteperhe, joka mahdollistaa tuotteen laajemman käytön. (Österholm & Tuokko 2001., 8.)

Laitteen moduloimisen etuna voidaan pitää myös lyhyempää tuotekehitysaikaa. Tarvittavat muutokset asiakaslähtöisesti saadaan tehtyä nopeammin, kun luodaan omat standardikokoiset laitteet, joita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa tuoteperheen avulla. (Österholm & Tuokko 2001., 9.)

Modulaariset tuoteperheet ovat suunniteltu siten, että johdannaistuotteita voidaan luoda tehokkaasti perustuen niiden ydinteknologiaan, jota kutsutaan tuoteplatformiksi. Tuoteperhe koostuu varianttioduuleista sekä yhteisistä moduuleista eli tuoteplatformeista. Tuoteplatformit ovat yhteisiä kaikkien tuoteperheen tuotteiden kesken ja varianteissa on jokin muuttuja. (Österholm & Tuokko 2001., 12.)

Tuoteperheiden rakentamisen hyötynä voidaan pitää oman laitekirjaston kasvatusta, jolla sujuvoitetaan jatkossa myyntiä sekä projektikohtaisia laitesuunnitteluja. Oman laitekannan avulla voidaan luoda omat standardikokoiset linjastot, jolloin esimerkiksi linjastoleveys on valittavissa vakiokoista sekä laitteiden pituus voidaan sovittaa tarpeiden mukaisesti. Tuoteperheiden standardikokoiset laitteet ovat merkittävässä roolissa, kun halutaan maksimoida suunnittelussa käytettävän ajan hyötysuhdetta.

Laitteen modulointi tässä tapauksessa tarkoittaa katalogimallin luomista. Mallit, joista katalogimallit moduloidaan, ovat konesuunnittelun tarkkoja 3D-malleja, joista tuotettujen piirustusten mukaan laite valmistetaan. Jokainen osa on juuri sellainen, kuin sen on tarkoitus olla valmiissa laitteessa, ja tämän takia malli on tiedostona raskas ja sisältää paljon osia, jotka ovat 3D-tehdassuunnittelun kannalta merkityksellisiä.

Katalogimallit tehdään yksinkertaistamalla malli poistamalla siitä ylimääräiset osat ja piirteet. Tehdassuunnittelun layoutin tarkoituksena on näyttää kaikki prosessin kannalta oleelliset laitteistot ja niiden vaatima tilan tarve, ei yksittäisiä yksityiskohtaisia laitemalleja. Tehdassuunnittelun kannalta oleellimmat piirteet kuten ääriimitat ja rakenteiden paksuudet säilytetään sekä mahdolliset ulokkeet, kuten moottorit, mutta kaikki yksinkertaistetaan visuaalisesti. Lisäksi on mahdollista tehdä lisätilavaraus, jotta voidaan huomioida esimerkiksi

moottorin tai akselin poistoon tarvittava tila. Näin helpotetaan kunnossapidollisia toimenpiteitä tulevaisuudessa, kun laitetta voidaan huoltaa ilman sen siirtämistä. Laitteen suunnitteluvaiheessa tulisi jo ottaa huomioon sekä valmistusystävällisyys että kunnossapitovaikeuttavat seikat. Konesuunnittelussa voidaan vaikuttaa laitteen rakenteisiin, joiden ansiosta huoltotoimenpiteen voidaan suorittaa helpommin. Laitteen moottorin sijainti voidaan valita tehdasrakenteen ja viereisten laitteiden perusteella, jotta moottori ei olisi esimerkiksi seinän vieressä.

4.2.1 Parametrinen mallintaminen

Parametri tarkoittaa säädettävissä olevaa lukuarvoa tai muuttujaa, joka kuvaa kappaleen mitta tai ominaisuutta. Parametrisessa mallintamisessa rakennetaan riippuvuussuhde geometrinen osien ja algoritmia ohjaavien parametrien välille. (Tanska & Österlund 2014., 13.)

Parametrinen mallintaminen aloitetaan luomalla 2D-profiili. Profiili mitoitetaan, jonka jälkeen se laajennetaan 3D-muotoon ennalta määritetyn ominaisuuden tai piirteen avulla, johon käyttäjä määrittelee parametrin. (Laakko 1998., 57.)

Kolmiulotteista mallia voidaan käyttää hyödyksi huomattavasti tehokkaammin kuin kaksiulotteista piirustusta esimerkiksi mekaanisen laitteen toimintaa tarkastellessa. Näin mm. osien mahdolliset törmäykset saadaan esille. Kolmiulotteisten kappaleiden avulla voidaan huomioida mahdolliset virheet kokoonpanossa, kuten toisiinsa sopimattomat piirteet. (Hietikko 2007., 23.)

Yleisimpiä parametrisia piirteitä ovat esimerkiksi materiaalia lisäävä työkalu pursotus (eng. extrude) ja materiaalia poistava työkalu leikkaus (eng. cut). Piirteitä voidaan monistaa erilaisia monistustyökaluja käyttämällä kuten peilaamalla (eng. mirror) ja lineaarisesti tai sirkulaarisesti monistamalla (eng. pattern). Kaikki lisätyt ominaisuudet näkyvät mallin rakennepuussa, josta niitä voi muokata tai poistaa, missä tahansa suunnittelun vaiheessa. (Shih 2017., Intro-6.)

Parametrisen mallintamisen etuna on suunnitteluajan lyhentyminen sekä tuotevariaatioiden lisääntyminen. Lisäksi pystytään etsimään eri vaihtoehtoja nopeammin parametrisen mallin päivittyessä dynaamisesti reaaliajassa. Muutos yhteen parametriin muuttaa koko kappaleen geometriaa. Parametrinen mallintaminen soveltuu erityisesti kohteisiin, joilla on tarkat valmistusvaatimukset. Suunnittelijalta vaaditaan kykyä arvioida kokoonpanojen välisiä riippuvuuksia sekä relaatioita. (Tanska & Österlund 2014., 23.)

Parametrisen mallintamisen avainominaisuutena pidetään kykyä tuottaa joustavia malleja. (Shih 2017., Intro-6). Suunnitteluprosessin alussa ei tarvitse tietää lopullisia rajamittoja. Mallintaminen voidaan aloittaa, kun tiedetään suurin piirtein haluttu muoto ja ominaisuudet. (Hietikko 2007., 23). Parametrinen mallintaminen vaatii huolellista suunnittelua alkuvaiheessa, koska suunnittelijan tulee olla tietoinen, mitkä ominaisuudet ja mitta-arvot ovat myöhemmin muutettavissa. Toisinaan voidaan ajatella parametrinen suunnittelun olevan liian edistysellistä yksinkertaisen kappaleen mallintamiseen. Tällainen tilanne voisi muodostua esimerkiksi mallintamalla tuote, joka on niin yksinkertainen, ettei sen tarkastelu kolmiulotteisesti ole tarpeen.

Parametrisessa mallinnuksessa voidaan hyödyntää myös relaatioita. Relaation avulla voidaan määrittää esimerkiksi kaksi mitta-olevan yhtä suuria. Jos toista muutetaan, muuttuu myös toinen. Lisäksi voidaan määrittellä erilaisia ehtoja kuten symmetria-, samankeskeisyys- tai yhdensuuntaisuusehtoja. Kaikki piirteet on laadittava niin, että vaikka niitä muutetaan, alkuperäinen suunnittelun tarkoitus ei muutu ja malli käyttäytyy hallitusti. Esimerkiksi, jos kappaleeseen on suunniteltu keskelle reikä, se pysyy keskellä, vaikka mittoja muutettaisiin. (Hietikko 2007., 23.)

Käytettävästä ohjelmistosta riippuen parametreihin tai relaatioihin voidaan myös luoda toistolausekkeita, joilla niiden toimintaa saadaan rajattua. Lausekkeet voivat koostua totuusarvoista tosi (eng. true) ja epätosi (eng. false) tai ehto-lauseista esimerkiksi jos (eng. if). Ehto-lausekkeilla saadaan tehtyä valinta, suoritetaanko ehtoon liittyvä lohko. Näitä kutsutaan myös valintalausekkeiksi. (Haaga-Helia.)

Lisäksi voidaan käyttää symbolisia vertailumerkkeitä eli vertailuoperaattoreita kuten esimerkiksi yhtäsuuruusmerkkiä. Tällöin ehdon pitää olla vertailukelpoinen, jotta symbolit toimivat ja ehdon täytyessä lause toteutuu eli verranto astuu voimaan. Näiden lisäksi hyödynnetään loogisia operaattoreita eli ja, ei ja kyllä –lausekkeita. Näillä voidaan eriyttää tai yhdistää lausekkeita toimimaan rinnakkain. (Haaga-Helia.)

Lausekkeiden käyttö parametreissa ja relaatioissa mahdollistaa niiden laajemman käytön ja sisällön rajaamisen, milloin lausekkeen ehto toteutuu. Vertailuoperaattoreita ja verrantoja hyödyntäessä mahdollistetaan usemman ehdon toteutuminen tai vastaavasti eriytetään kaksi tai useampi toiminto toisistaan, jolloin parametri tai relaatio toimii älykkäämmin. Edistyksellisellä parametrisoinnilla mahdollistetaan mallin toimiminen automaattisesti ilman jokaisen parametrin muuttamista erikseen. Parametreissa tulisi olla ääriarvot, joilla osoitetaan mini- ja maksiarvot parametrin toiminnalle.

4.2.2 CREO Parametric

Tässä opinnäytetyössä käytetty konesuunnittelun 3D-malli on toteutettu CREO Parametric -ohjelmistolla. CREO Parametric on PTC:n tarjoama parametrissa suunnittelua tukeva CAD-ohjelmisto. Ohjelmisto mahdollistaa kolmiulotteisten mallien luomisen sekä kappaleiden kokoonpanon, analyysit ja simulaatiot. (PTC 2022a.)

CREO Parametric tarjoaa mahdollisuuden luoda parametrisia kappaleita ja kokoonpanoja sekä moduloida niitä. Ohjelmistoon sisäänrakennettu family table eli modulaaristen tuotteiden kirjasto mahdollistaa tuoteperheiden luomisen. Tuoteperhettä luodessa voidaan määrittää, mikä tai mitkä ominaisuudet ovat muuttuvia eli, mitä moduloidaan. Tuoteperhe koostuu geneeristä mallista, joka sisältää kaikkien instanssien variaatiot sekä yksittäisistä instansseista, joilla on oma määritetty muuttujan arvo. (PTC 2022b.)

Dieffenbacherin laitteiden tuoteperheet koostuvat yleisesti ottaen eri leveyksistä ja pituuksista. Lisäksi voidaan valita laitteen korkeus jalkojen tuoteperheistä. Yksi laite koostuu yleensä useista eri tuoteperheistä. Esimerkiksi kitkarullakuljetin koostuu vapaamoduuleista ja käyttömoduulista. Vapaamoduulit on jaettu eri levyksiin ja pituuksiin kuten myös käyttömoduuli, johon moottori kiinnitetään. Kokonainen kuljetin voi koostua useista vapaa- ja käyttömoduuleista, jos tarve on pidemmälle kuljettimelle kahdella moottorilla.

Teoriassa voitaisiin luoda yksinkertaistettu malli myös kokonaan CREO-ohjelmistolla, mutta siinä tapauksessa jouduttaisiin yksinkertaistamaan laitteen kaikki osat ja piirteet yksitellen. Yksinkertaistamista CREO:lla on tehty jo yrityksen sisäisesti prosessilinjaston virtuaalista käyttöönottoa varten ja on tutkittu, ettei AVEVA ohjelmistolla yksinkertaistetut mallit sovellu sekä tehdassuunnitteluun että virtuaaliseen käyttöönottoon. (Tirkkonen 2021.)

Vaikka CREO:lla voidaan yksinkertaistaa 3D-mallit, ei niiden käyttö tehdassuunnittelussa AVEVA-ohjelmistolla ole mahdollista. Kun mallit viedään AVEVA-ohjelmistoon step-tiedostona, niiden tiedostokoko suurenee entisestään. Lisäongelmana on, että pelkkää STEP-mallia ei voi käyttää katalogimallina, vaan katalogimalli täytyy luoda AVEVA-ohjelmiston primitiiveillä ja luoda primitiiveille parametrit, jotta katalogimallista saadaan toimiva. Katalogimallin teosta ja parametreista kerrotaan lisää myöhemmissä luvuissa.

Lisäksi virtuaaliseen käyttöönottoon tehdyissä malleissa on liikaa yksityiskohtia tehdassuunnittelua ajatellen. Virtuaalisessa käyttöönotossa mallin on tarkoitus näyttää laitteen toiminnan kannalta oleelliset osat ja tehdassuunnittelussa tarvitaan ainoastaan rakenteellisesti merkittävät osat ja niiden ääriimitat. Käyttöönoton ja laitteen toiminnan kannalta oleellisia osia ovat esimerkiksi anturoinnit sekä moottorit.

Virtuaaliseen käyttöön ottoon tarkoitettu yksinkertaistettu malli todennäköisesti siis sisältää edelleen liikaa yksityiskohtia, vaikka konesuunnittelun 3D-mallin yksinkertaistaminen aloitetaan myös CREO:ssa tehdassuunnittelua varten. Virtuaalisen käyttöönoton ja 3D-tehdassuunnittelun yksinkertaistettujen mallien tarpeet ovat erilaiset, joten samat mallit eivät ole hyödynnettävissä molempiin jatkosovellutuksiin ainakaan näillä ohjelmistoilla, joita tässä opinnäytetyössä kuvataan. Virtuaalisessa käyttöönotossa ei tarvitse ottaa myöskään tehdasrakenteita huomioon, jotka ovat oleellisia 3D-tehdassuunnittelun kannalta. On mahdollista kuitenkin, että jotkin muut CAD-ohjelmistot voisivat tukea toisiaan eri tavalla kuin toimexiantajan käytössä olevat tässä opinnäytetyössä hyödynnettävät ohjelmistot. Kuvassa 5 nähdään CREO Parametric -ohjelmistolla mallinnettu kappale.

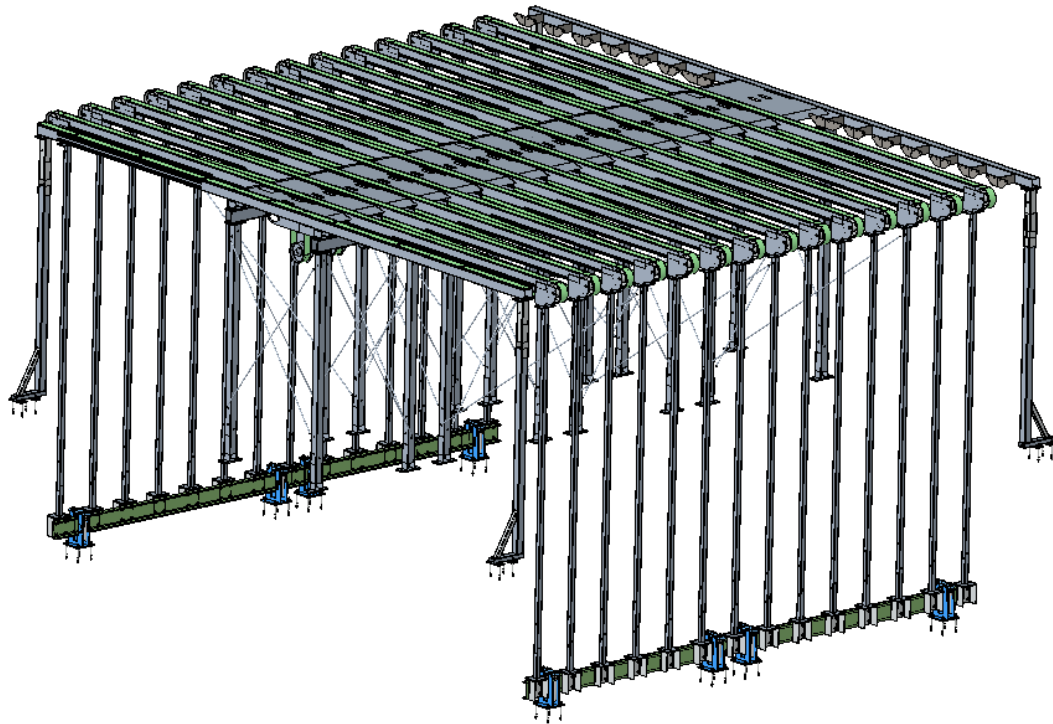


Kuva 5. CREO Parametric ohjelmistolla mallinnettu kappale (Grabcad 2018)

5 Konesuunnittelun 3D-mallit tehdassuunnittelussa

5.1 Modulaaristen laitteiden käyttö tehdassuunnittelussa

Tässä opinnäytetyössä käytetään jäähdytyskääntäjän hihnakuiljetinta 3D-tehdassuunnittelun esimerkkilaitteena. Tämä hihnakuiljetin kuuluu levynkuiljetuslaitteisiin, jotka sijoittuvat levynkäsittelyalueen loppupäähän jäähdytysalueelle ennen levyn jatkokäsittelyä. Kuvassa 6 nähdään konesuunnittelun 3D-malli jäähdytyskääntäjän hihnakuiljetimesta.



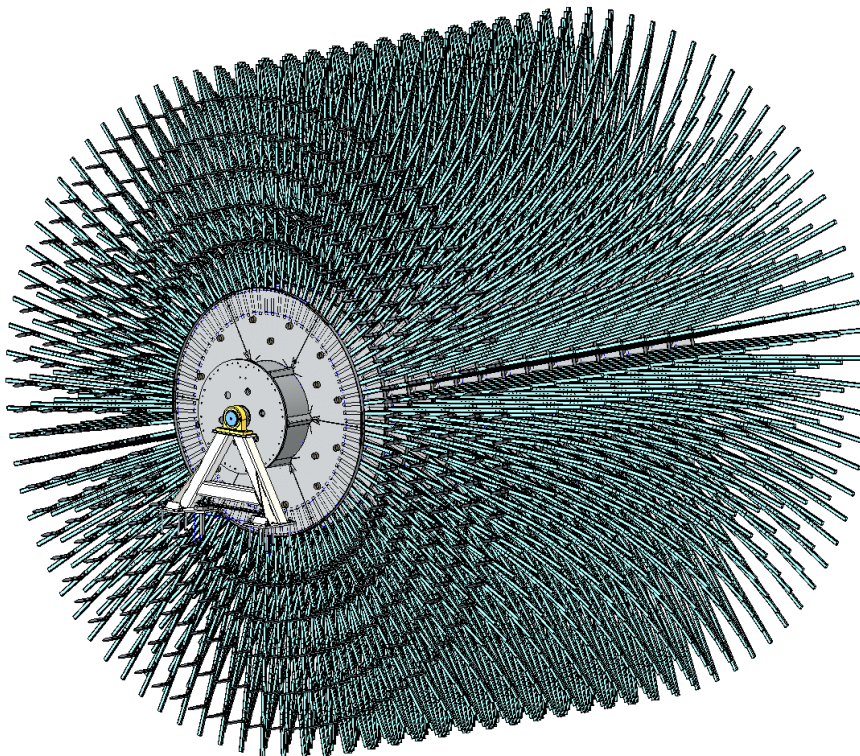
Kuva 6. Jäähdytyskääntäjän hihnakuiljetin

Hihnakuiljetin koostuu hihnamoduuleista, joissa on hitsattu teräsrunko sekä hihna ja hihnapyörät. Moduulit koostavat laitteen päärunгон, jonka läpi kulkee voimansiirtoakselisto. Akselisto koostuu erillisistä akseleista, joita yhdistää kytkimet ja toisessa tai kummassakin päässä on moottori. Lisäksi hihnakuiljettimessä on erilaisia antureita ja muita automaatio-komponentteja, joita ei katalogimallissa näytetä. Hihnakuiljettimen rakenteen ansiosta jäähdytyskääntäjän sakarat pääsevät vapaasti kulkemaan hihnakuiljettimen hihnojen välistä ja levy pääsee laskeutumaan hihnojen päälle.

Hihnakuiljettimen parametrit ohjaavat laitteen leveyttä, pituutta ja korkeutta. Lisäksi hihnojen lukumäärä ja hihnaväli on oltava muutettavissa, koska jäähdytyskääntäjä ja hihnakuiljetin toimivat limittäin sakaroiden liikuessa hihnojen välissä. Jäähdytyskääntäjän sakaraväli on

400mm, 500mm, 750mm tai 1000mm. Jäähdytyskääntäjän sakaraväli valitaan projektikoh-
teisesti valmistettavan levyn mittojen mukaan. Paksumpi levy ei tarvitse tukea yhtä paljon
kuin ohuempi levy, jolloin isompi sakaraväli on riittävä. Levyn maksimitat vaikuttavat
myös jäähdytyskääntäjän sakaraväliin sekä niiden lukumäärään. Levy ei saa jäädä roikku-
maan sakaroiden yli liikaa ja tarvittaessa hihnakuuljettimen reunoilla käytetään liukupalkkeja
turvaamaan levyn kulku ilman taipumista.

Jäähdytyskääntäjä on siis laite, jossa teräksisten sakaroiden väleissä on jäähdytyksessä
olevia puulevyjä. Laite pyörii akselinsa ympäri ja sakarat liikkuvat laitteen mukana jäähdyt-
täen puulevyjä ennen levyn siirtymistä eteenpäin linjastolla. Kun levy on pyörähtänyt 180
astetta, on vastassa hihnakuuljetin, joka vastaanottaa levyn hihnojen päälle ja siirtää sen
eteenpäin kohti seuraavaa prosessin vaihetta. Jäähdytyskääntäjä asennetaan sille varat-
tuun kuoppaan, jota ympäröi betonirakenne. Tässä opinnäytetyössä esiteltävä hihnakuuljetin
sijoitetaan kahden jäähdytyskääntäjän väliin eli levy käy kahdessa jäähdytyskääntäjässä
ennen siirtymistä kuljettimilta kohti varastointia. Dieffenbacherin valikoimassa on myös hih-
nakuljetin, joka toimii jäähdytyskääntäjän päässä siirtäen levyn seuraavaan prosessivaihee-
seen. Kuvassa 7 nähdään jäähdytyskääntäjä.



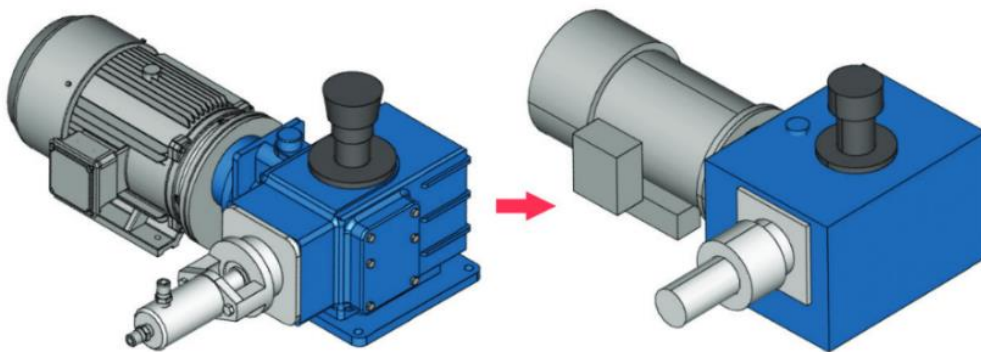
Kuva 7. Jäähdytyskääntäjä

5.2 Konesuunnittelun 3D-mallit AVEVA E3D ympäristössä

Koneensuunnittelun 3D-mallia ei siis sellaisenaan käytetä 3D-tehdassuunnittelussa. Malli moduloidaan AVEVA-ympäristössä luomalla uusi 3D-malli yksinkertaisempaan, jota hyödynnetään 3D-tehdassuunnittelussa. Mallille luodaan parametrit, joiden avulla saadaan niitä muuttamalla aina oikean kokoinen laite projektille. Tätä mallia kutsutaan katalogimalliksi.

Katalogimalli on siis AVEVA E3D -ohjelmiston termi, jolla tarkoitetaan yksinkertaistettua, parametrisoitua konesuunnittelun 3D-mallia. Konesuunnittelun 3D-malli ensin yksinkertaistetaan CREO Parametric -ohjelmistossa poistamalla laitteen toiminnan ja äärimittojen kannalta epäoleelliset osat ja piirteet, jonka jälkeen se tuodaan AVEVA-ohjelmistoon STEP-mallina. (AVEVA 2022.)

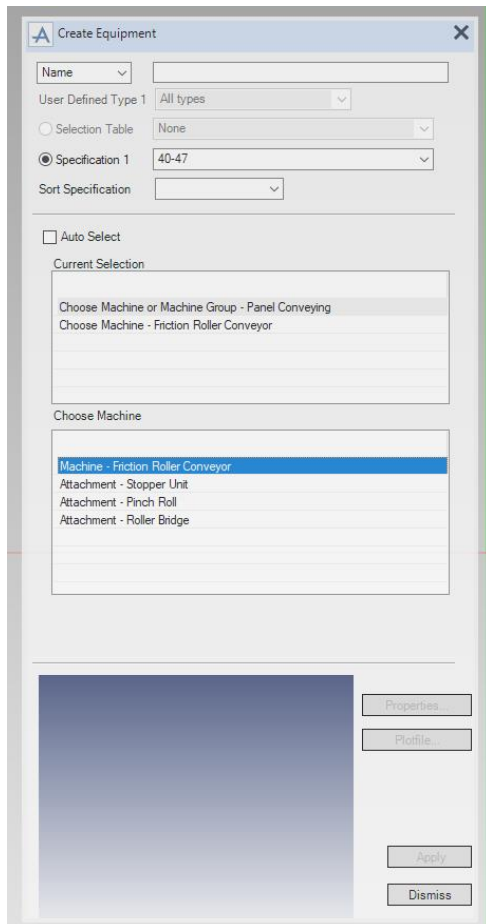
STEP-malli toimii vain pohjana katalogimallille ja se poistetaan ohjelmistosta, kun katalogimallin pohja on valmis. Kuvassa 8 nähdään katalogimalli moottorista, joka on yksinkertaistettu poistamalla ylimääräiset piirteet. Katalogimallin ainoa tehtävä on näyttää laitteen vaatima tilavaraus 3D-tehdaslayoutissa.



Kuva 8. Katalogimalli moottorista (AVEVA 2022g)

Katalogimalleista syntyy laitekirjasto, jossa mallit ovat selkeästi nähtävillä halutussa järjestyksessä. Dieffenbacherilla katalogimallit ovat haettavissa prosessialueittain ja laitetyypeittäin. Kun layoutiin halutaan lisätä katalogimalli, valitaan ensin oikea prosessialue, johon laite kuuluu esimerkiksi 40-47 eli levynkäsittely ja -kuljetus. Tämän jälkeen valitaan oikea laitekategoria, esimerkiksi levynkuljetus ja sen alta haluttu laite. Muita kategorioita ovat esimerkiksi sahaus ja jäähdytys.

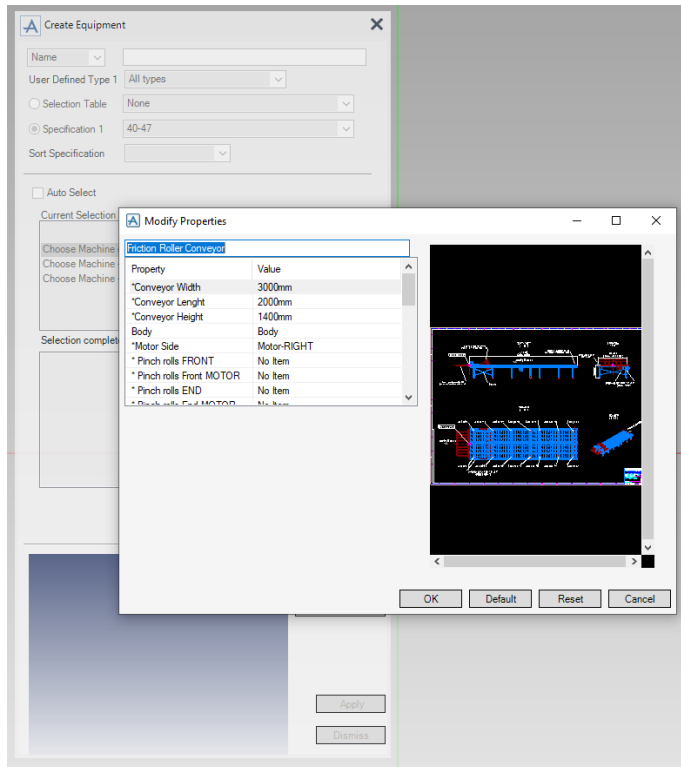
Kategorioiden ansiosta laitekirjasto pysyy selkeänä ja katalogimallit ovat prosessin mukaisessa järjestyksessä helposti valittavissa. Eri prosessialueilla voidaan hyödyntää AVEVA:n tiedonhallintatyökalua rajoittamaan pääsyoikeuksia, jotta oikean alueen suunnittelijat pääsevät käsittelemään katalogimalleja. Kuvassa 9 nähdään näkymä kitkarullakuljettimien valikosta, joka kuuluu levykäsittely- ja kuljetus –prosessialueella levynkuljetuslaitteisiin.



Kuva 9. Laitekirjasto AVEVA E3D -ohjelmistossa

Valitulle katalogimallille saadaan asetettua oikeat mitat ja valittua lisäoptiot parametreista. Katalogimallille asetetaan pituus, leveys ja korkeus aina projektin vaatimusten mukaan. Lisäoptiona on mahdollista valita esimerkiksi moottorin paikka tai vaihtoehtoisesti laitekohtaiset muut lisävarusteet kuten rullasillat tai painopyörät. Lisäoptioiden on myös oltava niiden oikealla paikalla, jotta törmäystarkasteluun voidaan luottaa ja laitteen vaatima tila on oikein. Antureiden ja moottoreiden on oltava niille suunnitelluissa paikoissa, jotta sähkö- ja automaatio suunnittelu tehdään oikein ja se vastaa aika – paikka –kaaviota. Vaikka anturia ei näytetä katalogimallissa, isommat anturitelineet ovat lisättävissä laitteeseen.

Parametrien käyttö nopeuttaa ja yksinkertaistaa 3D-layoutin tekoa sekä vähentää virheiden mahdollisuutta, koska malli on valmiiksi oikeanlainen, kun sille valitaan ääriimit ja lisäoptiot. Kuvassa 10 nähdään kitkarullakuljettimen valikko AVEVA E3D -ohjelmistossa, jossa voidaan asettaa laitteelle mitat sekä lisäoptiot. Valikosta nähdään, mihin kohtaan lisäoptiot on valittu tai jos niitä ei ole valittu. Sivussa oleva kuvanto näyttää esikatselutilaa laitteesta, josta nähdään valitut optiot laitteessa.



Kuva 10. Katalogimallin valikko AVEVA E3D ohjelmistossa

Jokaisella katalogimallilla on nollapiste, jota hyödynnetään mallin sijoittelussa layout-pohjaan. Katalogimalli sijoitetaan sille varattuun paikkaan ja kiinnitetään koordinaatiopisteillä oikeaan sijaintiin tai jo sijoitettuihin katalogimalleihin nollapisteellä, jotta ne saadaan toisiinsa nähden oikeisiin positioihin. Kun katalogimallit ovat paikoillaan, nähdään välittömästi laitteen vaatima tila sekä mahdolliset törmäykset laitteiden ja rakenteiden välillä. Kuten jo aiemmin todettiin, 3D-tehdassuunnittelun ansiosta voidaan ottaa huomioon myös tulevaisuuden tilantarpeet ja varata katalogimalleille lisätilaa esimerkiksi kunnossapitoa varten, jotta huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa liikuttamatta laitetta. Tämä lyhentää merkittävästi kunnossapitoon käytettävää aikaa ja tuotantolaitoksen tuottavuus ei kärsi niin paljon. Tilavarauks on mahdollista mallintaa 3D-tehdaslayoutiin osoittamaan huoltopiste kyseiselle laitteelle, jolloin se on selkeästi nähtävillä.

5.3 Katalogimalli

Kuten jo aiemmin kerrottiin, katalogimallin luominen aloitetaan yksinkertaistamalla CREO Parametric -ohjelmistossa konesuunnittelun 3D-malli. Yksinkertaistamisella tarkoitetaan laitteen toiminnan ja äärimittojen kannalta epäoleellisten osien ja piirteiden poistamista. Esimerkiksi lähes kaikki ruuvit ja mutterit ovat poistettavia osia. Ylimääräiset osat suurentavat tiedostokokoa eivätkä ole oleellisia laitteen vaatiman tilan kannalta.

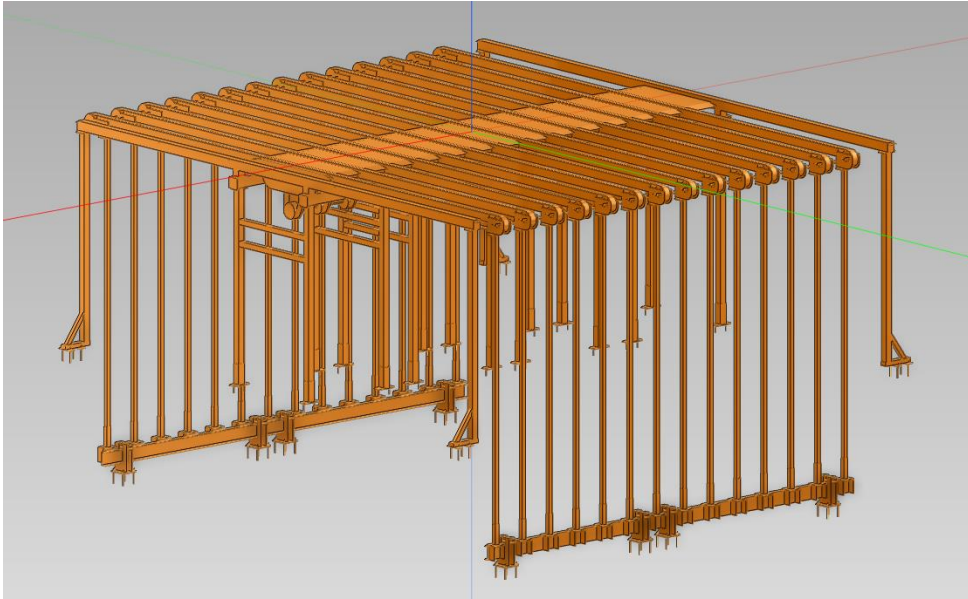
Katalogimallin luominen aloitetaan AVEVA-ohjelmiston mallinnuspuolella, jossa on käytössä erilaisia työkaluja mallintamiseen esimerkiksi primitiivit. Työkaluja hyödyntämällä saadaan luotua katalogimallille pohja, joka myöhemmässä vaiheessa parametrisoidaan.

Yksinkertaistettu malli muutetaan STEP-tiedostoksi CREO-ohjelmistossa ja tuodaan AVEVA-ohjelmistoon. Katalogimalli luodaan primitiiveillä hyödyntäen STEP-mallin piirteitä. Primitiiveillä tarkoitetaan AVEVAn pursotustyökaluja, joilla on jo valmiiksi määritetty muoto, kuten sylinteri (eng. cylinder) tai laatikko (eng. box). Kaikki oleelliset osat mallinnetaan uudelleen step-mallin päälle jättäen pois lisää ylimääräisiä piirteitä kuten reikiä.

Ennen primitiivien käyttöä, laitteelle tulee asettaa koordinaatiokeskipiste eli origo. Jokainen osa mallinnetaan seuraamaan origoa. Näin laitteesta saadaan symmetrinen sekä parametrien teko helpottuu. Mallinnettuja osia voidaan kerätä isommiksi kokoelmiksi, joita voi esimerkiksi peilata (eng. mirror) tai kopioida sivulle (eng. copy) valitun välimatkan välein.

Valmiit primitiivit kootaan erillisiksi kokoelmiksi (eng. sube), jotka muodostavat laitteen pääkokoelmaan ja lisäoptiot. Esimerkiksi moottorit ja lisävarusteet ovat omia kokoelmia päälaitteen eli hihnakokoelmaan lisäksi. Kokoelmat helpottavat laitteen parametrien luomista, koska jokaiselle kokoelmalle luodaan oma template-pohja, joka linkittyy parametreihin.

Myös lisäoptioiden on oltava omina kokoelmina, jotta on mahdollista jättää lisäoptio pois projektille tulevasta mallista. Kaikille kokoelmille ja primitiiveille luodaan siis omat eri tasoiset parametrit, joiden avulla laitetta saadaan moduloitua projektin tarpeisiin. Kuvassa 11 nähdään valmis primitiiveistä koostuva katalogimallin pohja. Katalogimalli näyttää vain laitteen vaatiman tilavarauksen sekä laitteen kiinnityksessä käytettävät ankkuripultit.

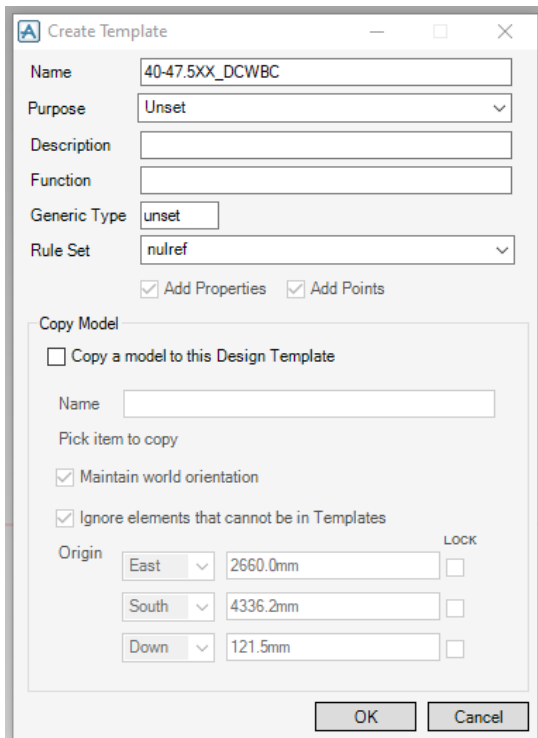


Kuva 11. Katalogimalli AVEVA E3D ympäristössä

Ennen parametrien luomista primitiiveistä koostettu malli viedään AVEVA:n sisäisesti Paragon-alueelle, jossa on Dieffenbacherin oma katalogimallikirjasto. Paragon-alueella on kaikki Dieffenbacherin tulevat katalogimallit, joita ei ole vielä parametrisoitu. Paragon-alue on siis vastaava kuin ensin käytetty mallinnusalue, mutta se sisältää eri työkaluja. Paragonissa käytetään template-pohjien luomisessa tarvittavia työkaluja sekä aloitetaan parametrien luominen primitiivikokoelmille linkittämällä katalogimallin optiot toisiinsa.

Primitiiveistä koostuvalle pohjamallille luodaan ensin template-pohja TPWL, joka on ylin template. Template-pohjien tarkoituksena on luoda pohja primitiivikokoelmille, joille voidaan luoda parametrit. Jokaiselle kokoelmalle luodaan myös oma yksilöllinen pohja eli template area (TMAR), johon on kirjattu sen funktio esimerkiksi moottori ja sen jälkeen kummalla puolella laitetta moottori on. Template-pohjista on kerrottu tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Template-pohjien nimeämiseen on tarkat säännöt yrityksen sisäisesti, jotta parametrien teko onnistuu ja laitekirjasto pysyy selkeänä eikä nimeämisen suhteen tule päällekkäisyyksiä. Nimeäminen tapahtuu laitteen prosessialueen, positionumeron ja nimen kautta. Tämän katalogimallin nimi on 40.5XX_DCWBC. Kuvassa 12 nähdään jäähdytyskääntäjän hihnakuljettimen template-pohjan luominen ja nimeäminen.



Kuva 12. Kuljettimen template-pohjan luominen

Kuten aiemmin jo todettiin, kokoelmien template-pohjilla on tarkka hierarkiajärjestys, jonka avulla mallin osat järjestetään ja kootaan oikeaan järjestykseen ja lisäoptioista saadaan toimivia kokonaisuuksia. Ensimmäinen template on siis TPWL, joka on ylin pohja, ja se sijoituu AVEVA kielessä koordinaatiston ylimpään tasoon eli maailmaan (eng. world). Seuraavana on kaikki primitiivi-kokoelmat TMAR-pohjassa eli template area. Viimeisenä on TMPL, joka koostuu yksittäisistä primitiivi-kokoelmista eli päälaitteen lisäksi moottorit sekä lisäoptiot ovat omassa TMPL-pohjassa. Template-pohjien tarkoitus on mahdollistaa parametrien luominen. Kuvassa 13 nähdään valmis TMPL-pohja hihnakokoopanosta eli itse laitteesta, joka sisältää kaiken muun paitsi moottorit ja lisäoptiot.

Attribute	Value
RefNo	=268466376/119197
Name	40-47.5XX_BELT-UNIT
Type	TMPL
Lock	<input type="checkbox"/>
Owner	40-47.5XX_DCWBC
Description	Belt Unit
Function	BELT-UNIT

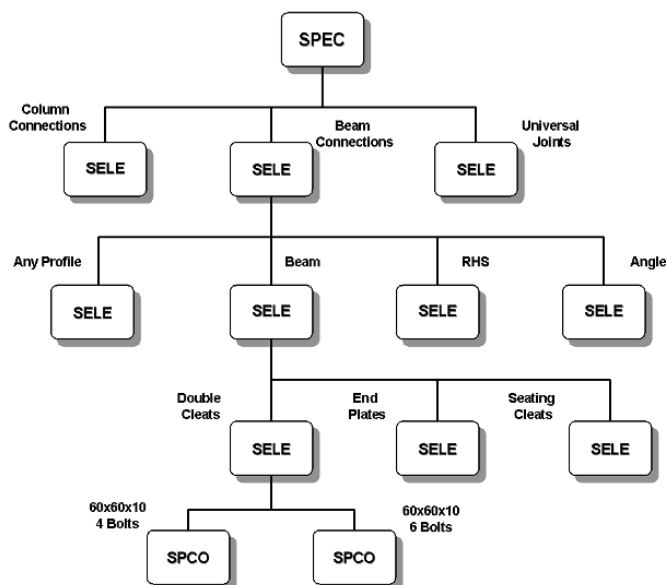
Kuva 13. Valmis template

5.4 Katalogimallin parametrisuus

Parametrisuuden ansiosta jokaisesta laitteesta riittää yksi malli, jonka äärimittoja ja lisäoptioita muutetaan projektien tarpeiden mukaan. Näin laitekirjasto on selkeä ja mallit on helppo valita sekä moduloida. Katalogimallien käyttö ja niiden parametrit nopeuttavat 3D-tehdassuunnittelua.

Kun katalogimallin template-pohja on valmis, luodaan katalogimallille parametrit. Hihnakuljettimelle tarvittavat parametrit ovat hihnojen jakoväli sekä lukumäärä, kuljettimen korkeus, leveys ja pituus. Lisäoptiona voidaan valita laitteen ulkoreunoihin hihnojen tilalle liukupalkki, joka tukee levyn reunaa. Liukupalkki voidaan valita vain toiseen reunaan tai molempiin. Liukupalkkia käytetään estämään levyn taipuminen, jos tarvetta vetävälle hihnalle ei ole, mutta levy tulee reilusti yli viimeisen hihnan, jolloin levy on vaarassa taipua. Toisena lisäoptiona on moottorien valinta. Vaihtoehtona on yksi moottori tai kaksi moottoria voimansiirtoakselin kumpaankin päähän. Yleensä hihnakuljettimessa riittää yksi moottori jompaan-kumpaan päähän, mutta erityisen leveässä kuljettimessa, jossa on yli 20 hihnaa, tarvitaan kaksi moottoria.

Paragon-alueella luodaan SPEC-, SELE- ja SPCO-elementit. Näiden tarkoituksena on linkittää mallin primitiivikokoelmien template-pohjat valmiiseen katalogimalliin. Ensimmäinen hierarkiajärjestyksessä on SPEC, joka vastaa TPWL-pohjaa. Paragonissa SPEC-elementin alla on katalogimallipohjat prosessialueen mukaisessa järjestyksessä. Hihnakuljetin on siis alueella 40 – 47 eli levynkäsittely ja –kuljetus. Kuvassa 14 nähdään rakenne, miten SPEC-, SELE- ja SPCO-elementtien hierarkiajärjestys muodostuu.



Kuva 14. Elementtien hierarkiajärjestys (AVEVA 2022b)

Seuraavaksi luodaan SELE, joka vastaa TMAR-pohjaa. SELE-elementit ovat prosessilaitteiden mukaisessa järjestyksessä. Kuten aiemmin kerrottiin, hihakuljetin sijoittuu alueelle 40 – 47. Laitteet luokitellaan 40 – 47 alueella levyn sahaukseen, kuljetukseen ja jäähdytykseen. Hihankuljetin sijoittuu levynkuljetukseen.

Seuraavaksi luodaan SPCO-elementti, jonka tarkoituksena on linkittää malli ja lisäoptiot eli kaikki primitiivikokoelmien template-pohjat yhteen valmiiseen katalogimalliin. SPCO-elementti on hierarkiajärjestyksessä saman arvoinen kuin TMAR.

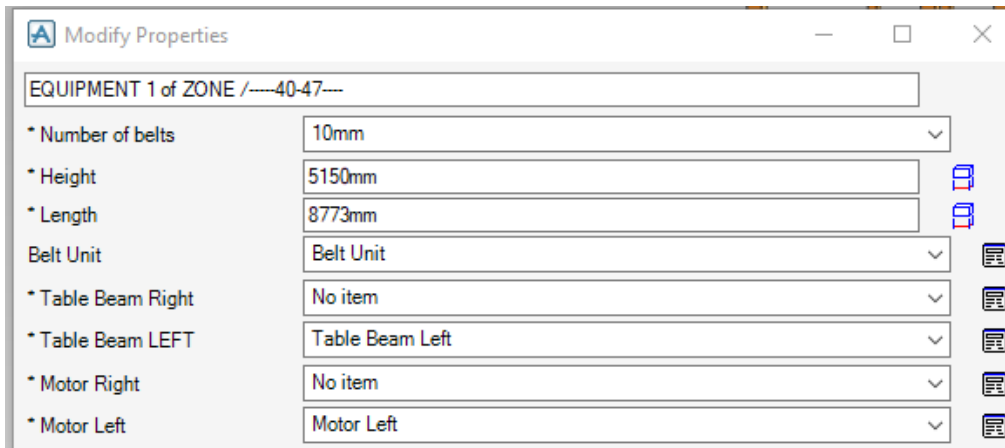
SPCO-elementti luodaan Paragon-alueella lähes samoin kuin template-pohjat luotiin. Nimeäminen tapahtuu samojen sääntöjen mukaan, mutta perään lisätään liite SPCO. SPCO-elementti linkitetään template-pohjaan antaen haluttu template referenssiksi elementille. SPCO-elementti luodaan jokaiselle template-pohjalle, koska jokainen template tulee linkittää katalogimalliin SPCO-elementin avulla. Tässä tapauksessa tarvitaan siis 5 erillistä SPCO-elementtiä. Lisäksi luodaan SPCO-elementti kuvaamaan tyhjää valintaa eli saadaan tehtyä lisäoptioille haluttu toiminto, jolla saadaan valittua lisäoptio tai poistaa se.

Kuvassa 15 nähdään SPCO-elementin luominen hihnakokoonpanolle.

Field	Value
Name	-265458082/1167
Type	40-47_SOX_BELT-UNIT_SPCO
Lock	<input type="checkbox"/>
Owner	DOUBLE-CIVBC_PARTS
MainPurpose	unset
Mainref	Nulref
Answer	0.0000
MainAnswer	0.0000
Calref	Nulref
Detref	Nulref
Mainref	Nulref
Cmpref	Nulref
Elref	Nulref
Prereference	Nulref
Trpref	40-47_SOX_BELT-UNIT
Pdreference	Nulref
Icon	unset
Answer	unset
Comment	unset
Dpframe	unset
Symgroup	unset
Symname	unset
:HILT:WEIGHT	unset
:HILT:ADDDITEM	unset
:GE:SAP-Material	unset
:USTADDELEM	unset
:USTNUTREF	unset
:USTWEIGHT	unset

Kuva 15. SPCO-elementin luominen

SPCO linkitetään katalogimalliin samoin kuin mittaparametrit asetetaan, mutta valintana on referenssielementti mitta-arvon sijaan. Valittavien mitta-arvojen tilalle annetaan SPCO-elementti sekä tyhjä SPCO-elementti, jos kyseessä on lisäoptio. Näin saadaan esimerkiksi valittua moottorin puoli tai vaihtoehtoisesti molemmiin puoliset moottorit. Poistamalla valinta, tyhjä SPCO-elementti on aktiivinen parametri, poistuu primitiivikokoelma eli lisäoptio ja mitään ei lisätä katalogimalliin vaan se on tyhjänä, ei valittuna kohtana (eng. no item). Kuvassa 16 nähdään parametrivalikko, josta voidaan valita lisäoptiot. Kuvassa on valittuna 10 hihnan kuljetin vasemmanpuoleisella moottorilla sekä vasemman puoleisella liukupalkilla.

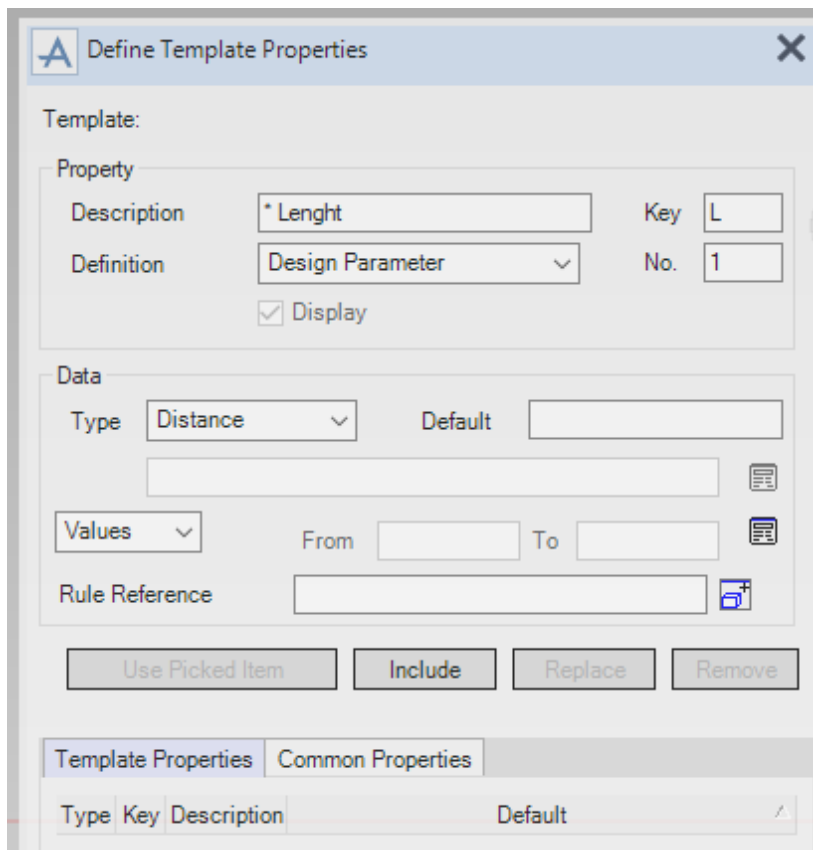


Kuva 16. Parametrivalikko

Ensimmäinen vaihe varsinaisten katalogimallin mittoja muuttavien parametrien luomisessa on pituuden, leveyden ja korkeuden vaihtelevuuden määrittäminen. Parametrit luodaan yksitellen jokaiselle halutulle muutettavalle mitalle hyödyntäen laitteen suunnitteluohjeen mukaisia minimi- ja maksimimittoja. Parametrit voidaan luoda antamalla valmiit vaihtoehdot esimerkiksi leveyden suhteen tai lukualue, johon annetun mitan tulee osua.

Dieffenbacherin useimmat laitteet on suunniteltu standardimittaisiksi, jolloin parametrit luodaan näiden standardimittojen mukaisesti valittaviksi eli valmiista taulukosta voidaan valita oikea mitta. Tällöin jokainen haluttu mittavariaatio tulee kirjoittaa parametrin valittaviin arvoihin yksitellen, jotta kaikki valittavissa olevat mitat tulevat näkyviin kyseisen parametrin vaihtoehtoihin.

Jäähdytyskääntäjän hihnakuuljetin suunnitellaan jäähdytyskääntäjän ja valmistettavan levyn mukaan. Tässä tapauksessa on siis helpompi antaa lukuarvoalue korkeudelle sekä pituudelle, johon annettavan mitan tulee osua sekä parametri, jolla valitaan hihnojen lukumäärä ja välimatka. Kuvassa 17 nähdään parametrien luomisessa käytettävä valikko. Kuvassa luodaan ensimmäistä parametria, joka on pituus. Sen tunnus on iso L-kirjain. Tunnusta käytetään myöhemmin parametrien luomiseen, jotta saadaan yksilöityä, minkä suhteen parametrisoidaan. Esimerkiksi turvapalkki parametrisoidaan jakamalla pituuden mitta kahdella.



Kuva 17. Parametrien teossa käytettävä valikko

Lisäksi katalogimallissa parametrisoidaan kaikki yksittäiset primitiivit niiden nykyisille sijainneille sekä seuraamaan haluttuja mitta-arvoja, eli kun laitteen fyysisiä mittoja muutetaan, osien sijainti muuttuu sekä tarvittaessa myös osan mitta. Näin saadaan jokainen osa oikean kokoisena riippumatta valitusta mitta-arvosta ja osa seuraa laitetta oikeassa sijainnissa. Esimerkiksi hihnojen pituusmitta vaihtuu kuljettimen pituuden mukaan ja niiden sijainti keskipisteen suhteen riippuen hihnojen lukumäärästä.

Tämän lisäksi primitiiveille annetaan tarvittaessa parametri, joka toistaa primitiiviä tai kokonaisuutta eli saadaan tarvittava määrä oikealla jaolla osia, esimerkiksi tässä tapauksessa pääasiassa hihnoja tai jalkoja. Toistoparametrille asetetaan lauseke, joka kuvastaa toiston määrää. Esimerkiksi hihnojen toistoa kuvastaa valittujen hihnojen lukumäärä, jolloin lauseke on tätä parametria kuvaava tunnus NB. Tämän jälkeen asetetaan mittaluku, jonka välein primitiivi toistuu ja mihin suuntaan koordinaatioakselilla.

Jäähdytyskääntäjän hihnakuljettimessa täytyy hihnakokoonpanojen lisäksi tehdä toistoparametrit keskimmaisille jaloille sekä turvarakenteille. Toistoparametrin täytyy olla sellainen, että se soveltuu kaikille laitteen variaatioille hihnojen lukumäärästä riippumatta. Tässä täytyy käyttää matemaattista laskentaa, jotta oikea parametri saadaan luotua. Täysin oikeaa

vaihtoehtoa ei välttämättä kuitenkaan löydy, jolloin katalogimallia täytyy muuttaa manuaalisesti ennen sen käyttöä projektilla.

Kuvassa 18 nähdään toistoparametrien tekovalikko. Kuvassa luodaan parametri turvatuen yhden primitiivin monistumiseen. Monistuksen lukumäärää kuvaa arvo hihnojen lukumäärä jaettuna 10 + 1. Välimatka toistoissa on 2000mm ja Itä-suuntaan. Tällä parametrilla saatiin lähes täydellinen siirtymä kaikkien 20 laitevariaation kanssa.

Repeats

Local Name:

Number of Repeats: (ATTRIB CDPR NB / 10 + 1)

Cartesian

X 0mm

Y 0mm

Z 0mm

Linear

Distance: 2000mm

Direction: E WRT /*

Radial

Angle: 0

Axis Direction: U WRT /*

Axis Step: 0mm

Rotate Element

Axis Position:

East 0mm

North 0mm

Up 0mm

wrt:

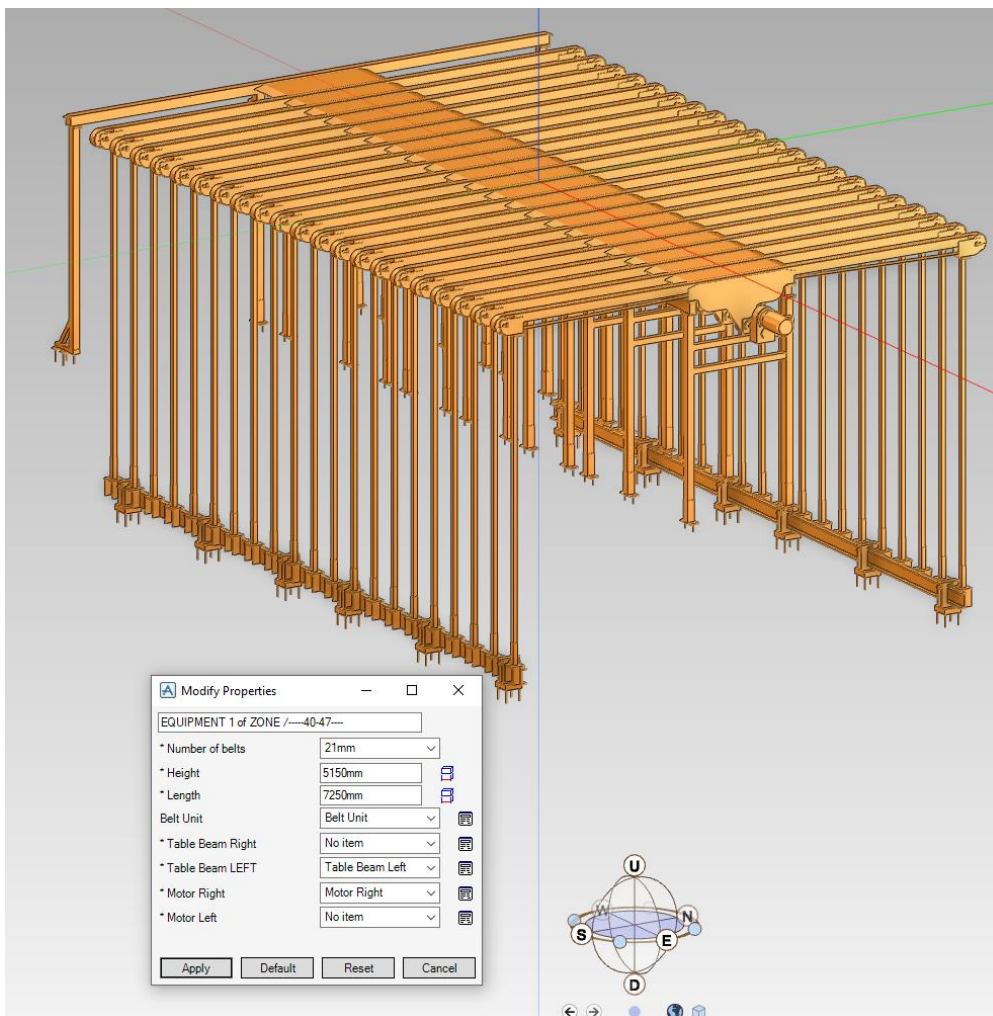
OK Cancel

Kuva 18. Toistoparametrin luominen

6 Tulokset

6.1 Tulosten todentaminen

Valmis katalogimalli saatiin tehtyä ja sijoitettua tehdaslayoutiin jäähdytyskääntäjän kanssa. Katalogimallin luomisessa onnistuttiin ja sille saatiin toimivat parametrit, joiden avulla hihnojen lukumäärää, sekä laitteen äärimittoja voidaan moduloida. Lisäksi lisäoptioiden valinnat toimivat ja parametrit ohjaavat lähes täydellisesti jalkojen ja turvatukien paikkoja, kun hihnojen lukumäärää muutetaan. Kuvassa 19 nähdään kuva valmiista katalogimallista, jossa on valittuna 21 hihnaa, vasemmalle puolelle lisäoptiona liukupalkki sekä oikeanpuoleinen moottori. Myös korkeus sekä kuljettimen pituus eli hinnan pituus on valittuna.



Kuva 19. Valmis katalogimalli

Ohje katalogimallien suunnitteluun saatiin luotua ja sen avulla voidaan luoda yhteneväiseen tyyliin katalogimalleja. Yhteneväinen suunnitteluperiaate on tärkeää, jotta jokainen 3D-tehdassuunnittelija pystyy käyttämään muiden tekemiä katalogimalleja. Suunnitteluohjeen avulla persoonalliset suunnitteluerot jäävät pois.

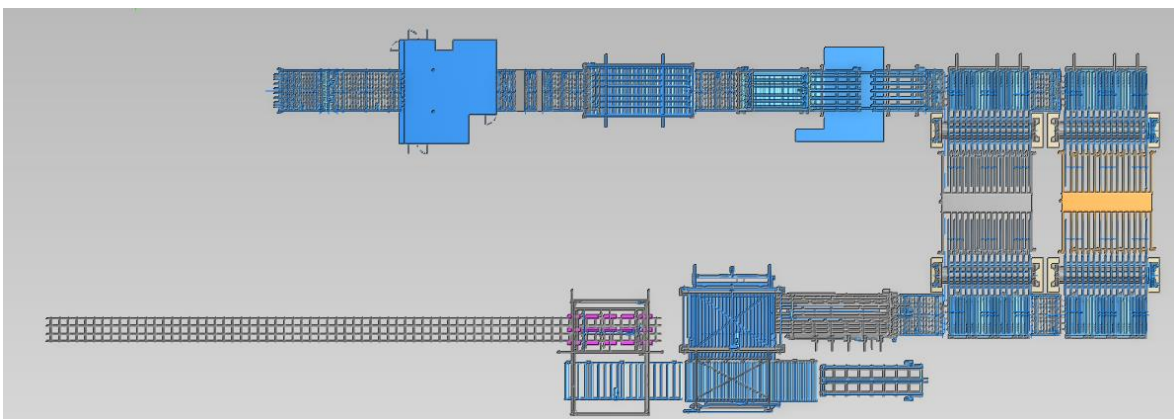
6.2 Katalogimallin käyttö 3D-tehdassuunnittelussa

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin varsinaiseen käytännössä tapahtuvaan 3D-tehdassuunnitteluun AVEVA E3D ympäristössä valmiin katalogimallin avulla. Valmis katalogimalli sijoitetaan 3D-tehdaslayoutiin sille varattuun position jähdytyskääntäjien väliin.

Ensimmäinen vaihe laitteen sijoituksen kanssa on selvittää sen mitat. Mitat ei välttämättä ole lopulliset layoutin suunnittelun alussa vaan laitteen mitat on arvioitu projektin aloituspa-laverissa ja layoutin suunnittelun edetessä ne tarkentuvat. Kuten aikaisemmin jo mainittiin, muutoksia laitteisiin tulee suunnittelun aikana toisinaan useitakin layoutin tarkentuessa. Layout-suunnittelijat yhteistyössä valitsevat oikean kokoiset laitteet projektille ottaen huomioon tehdassuunnittelun eri osa-alueet. Tärkeimmät rajapinnat ovat haluttu tahti aika sekä tehdasrakennuksen antamat rajoitteet.

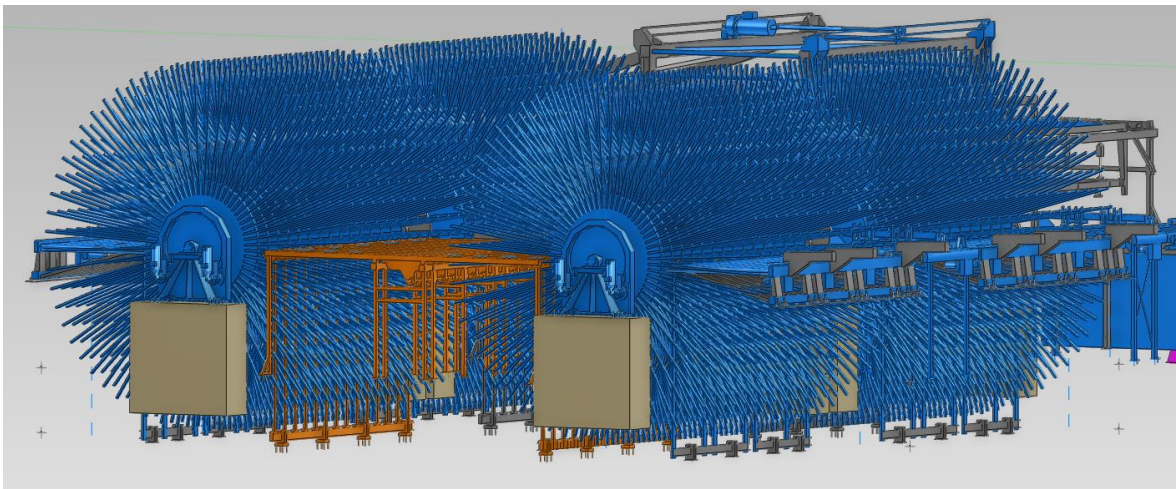
Kuljettimen mitat ovat valikoituneet rajapintojen mukaan. Esimerkiksi linjaleveys on määrit-tänyt laitteiden leveyksiä ja se vaikuttaa jähdytysalueen laitteiden pituuksiin. Tässä projek-tissa jähdytysalueen jälkeen levyn kulkusuunta vaihtuu. Se on ollut yksi tekijä, jonka mu-kaan hihnakuljettimen leveys määräytyy, eli paljon linja-alueiden väliin on haluttu jäävän tilaa, kun huomioidaan jähdytyskääntäjien koko niiden halutun kapasiteetin mukaan.

Kuljetin lisätään projektin layoutiin katalogimallikirjastosta, joka aiemmissa luvuissa esitel-tiin tarkemmin. Laitteen mitat ja lisäoptiot valitaan parametrivalikosta. Tässä hihnakuljetti-messa on 14 hihnaa 500mm välein. Sen leveys on 8770mm ja korkeus 5150mm. Lisäksi kuljetin sisältää lisäoptioina molemmin puoliset liukupalkit. Moottori on asennettu kuljetti-men oikealle puolelle levyn kulkusuunnasta katsottuna. Kuvassa 20 nähdään 3D-tehdas-layout ylhäältä päin katsottuna. Hihnakuljetin näkyy oranssin värisenä.



Kuva 20. 3D-tehdaslayout

Kuljettimen sijainti voidaan valita heti, kun katalogimalli on haettu kirjastosta ja muuttaa sijaintia tarvittaessa myöhemmin. Paikan valinnassa on otettava huomioon, että kuljetin ja jäähdytyskääntäjä pääsevät toimimaan vapaasti limittäin. Kuljettimen etummaisten hihnapyörien ja jäähdytyskääntäjän rungon väliin on jätävä tilaa riittävästi. Ei myöskään ole tarpeen asettaa kuljetinta liian lähelle jäähdytyskääntäjän runkoa, koska kuljetin ottaa jäähtyneen levyn vastaan hieman kauempaakin. Näin kuljettimen pituus pysyy maltillisena. Sivusuunnassa kuljetin on jäähdytyskääntäjän sakaroiden välissä keskitetysti. Kuvassa 21 nähdään jäähdytysalue projektin 3D-tehdaslayoutissa, jossa hihnakuljetin on sijoitettu kahden jäähdytyskääntäjän väliin.



Kuva 21. 3D-tehdaslayout

Kun laite on sijoitettu 3D-layoutiin, voidaan hyödyntää AVEVA-ohjelmiston törmäystarkastelua. Törmäystarkastelu voidaan suorittaa koko layoutille samaan aikaan tai yksittäiselle laitteelle. Aiemmissa luvuissa esiteltiin törmäystarkastelun etuja sekä sen toimintaperiaate.

Törmäystarkastus osoittaa punaisella värillä epäkohdat rakenteiden välillä. Lisäksi tarkastelusta saadaan raportti, joka osoittaa törmäyksien vakavuudet asteikolla 1 – 5. Tarkastuksen tulokset luokitellaan liian pienestä välimatkasta aina vakavaan yhteentörmäykseen asti. Vakioasetuksena törmäystarkastus ilmoittaa, jos laitteiden välimatka on alle 8mm. Vakavan yhteentörmäyksen raja on yli 5mm sisäkkäin asettelu.

Törmäystarkastus on ohjelmoitu toimimaan niin, ettei hälytystä aiheudu esimerkiksi putkistorakenteessa, kun kaksi komponenttia on tarkoituksella yhdessä tai sisäkkäin eikä myöskään samaan kokoelmaan kuuluvien primitiivien kosketuksesta toisiinsa. Voidaan siis ajatella törmäystarkastuksen huomioivan vain aiheelliset epäkohdat.

6.3 3D-tehdassuunnittelun haasteet AVEVA-ympäristössä

Katalogimallien luominen on aikaa vievää työtä ja vaatii laajaa perehtyneisyyttä AVEVA E3D –ohjelmistoon. Parametrien luominen jokaiselle primitiiville vie useita työtunteja ja niiden teossa tarvitaan ymmärrystä, miten parametrit toimivat ja mitä niillä halutaan ohjata.

Haasteena katalogimallien parametrein luomisessa on laitevariaatioiden suuri määrä sekä vaihtelevuudet eri lisäoptioiden sijainneissa. Lisäksi jokaisen primitiivin parametrien kirjoittaminen on todella työlästä. Jos haluttaisiin vain yksi katalogimalli jäähdytyskääntäjän hihnakuuljettimesta, jouduttaisiin tekemään todella laajoja parametreja jo pelkästään hihnojen etäisyyksien ja lukumäärien kanssa, koska hihnajakovariaatioita on 4 erilaista. Tämä katalogimalli vastaa 500mm hihnajakoa ja valittavissa on 9 – 30 hihnainen kuljetin. Kuljettimen korkeuden ja pituuden säätö on portaaton, mutta periaatteessa korkeus voisi olla valittavissa taulukosta kuten muutkin vakiolinjakorkeudessa toimivat laitteet. Lisäoptioina jäähdytyskääntäjän hihnakuuljettimessa on molemmin puoliset moottorit sekä liukupalkit. Vaikka variaatioiden määrä lisäoptioiden kohdalla ei ole suuri, ne tuovat lisätyötä, koska myös lisäoptioiden parametrisointi tapahtuu samalla tavalla kuin varsinaisen hihnakokoonpanon parametrisointi.

Jos kaikki Dieffenbacherin laitteistot olisi katalogimallina saatavilla, voitaisiin jo tarjousvaiheessa aloittaa 3D-layoutin suunnittelu. Asiakas näkisi tulevan tuotantolaitoksen visuaalisesti informatiivisempana ja samalla tarjousvaiheen layoutin luominen nopeutuisi. Tämä tarkoittaisi myös, että varsinaisen layoutin suunnittelun alkaessa olisi jo pohja valmiina, jota voitaisiin jatkaa nopeammin.

Ongelmana on, että toisinaan projekteille kehitetään täysin uudenlaisia laitteita, jolloin ne eivät ole katalogimallina saatavilla eikä niistä voida tehdä katalogimallia ennen täydellisen konesuunnittelun 3D-mallin suunnittelua. Näin ollen ei voida välttämättä jokaista uutta laitetta esittää 3D-layoutissa ja joudutaan käyttämään laatikkoa kuvaamaan laitteen vaatimaa tilavarausta. Myöskään tarjousvaiheessa ei ole vielä selvillä laitteen geometria ja ulkomuoto, jos laitetta joudutaan muokkaamaan runsaasti projektin tarpeisiin. Katalogimallia ei voida tehdä ilman konesuunnittelun mallista luotua step-tiedostoa, koska step-tiedosto on aina pohjana katalogimallille, jotta siitä saadaan mahdollisimman tarkasti laitetta vastaava.

Lisäksi Dieffenbacher ostaa alihankintana joitakin laitteita, jolloin niiden tarkkaa 3D-mallia ei ole saatavilla eikä niistä voida tehdä katalogimallia. Näissä tapauksissa pitää käyttää tilavarauksena laatikkoa eikä layout ole täysin todenmukainen. Jos katalogimalli näistä haluttaisiin, pitäisi alihankintayrityksen olla osana AVEVA-ohjelmiston käyttöä ja hyväksyä 3D-

mallin käyttö katalogimallina. Harvemmin tämä kuitenkaan on mahdollista liikesalaisuuksien takia.

Kuten aiemmin jo todettiin, Dieffenbacher –konsernissa suunnittelun pääpisteet on jaettu eri toimistojen välille ja Suomessa suunnittelu keskittyy liimaukseen ja puristimelta tulevan levyn käsittelyyn. AVEVA E3D –ohjelmiston käyttäjiä on Dieffenbacher –konsernin alaisesti useita ja työntekijät sijoittuvat Suomen ja Saksan toimistoille. Katalogimallien teossa tarvitaan tarkkaa informaatiota laitteen suunnittelusta ja tämä vaatii yhteistyö laitteen suunnittelijan ja katalogimallin tekijöiden välille. Tällä hetkellä yhteistyö toimistojen välillä on puutteellista, joka osaltaan hankaloittaa katalogimallien tekoa.

6.4 3D-tehdassuunnittelun taloudelliset hyödyt

Tässä osiossa vertaillaan 2D- ja 3D-tehdassuunnittelun eroja taloudellisesta näkökulmasta, joka perustuu koko opinnäytetyön teon aikana saadun tiedon vertailuun. Aiemmissa kappaleissa on laajasti tuotu esiin eroavaisuudet muilta osin ja 3D-tehdassuunnittelun edut on todettu mittaviksi.

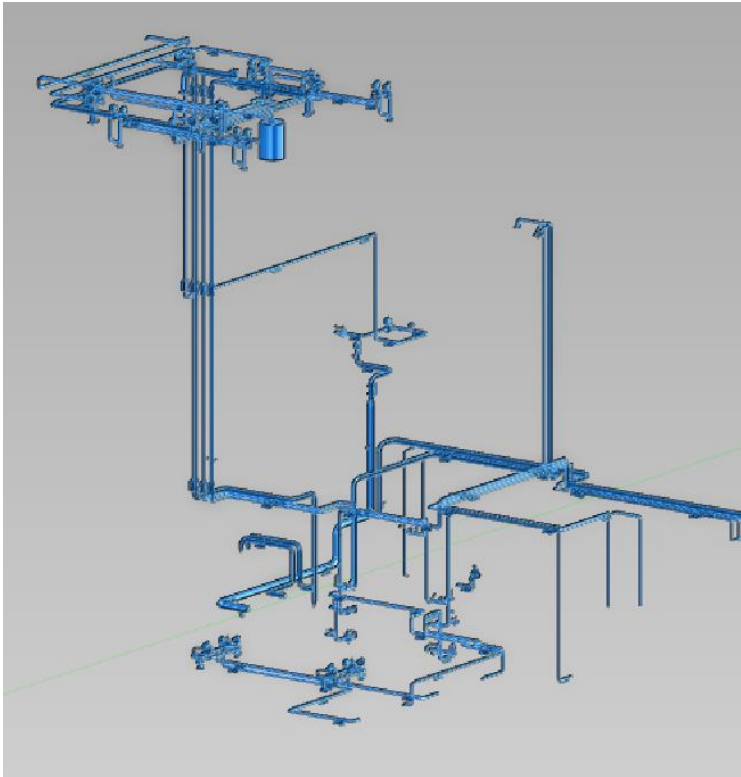
3D-tehdassuunnittelun vaatimat erilliset ohjelmistot sekä työntekijöiden koulutus ovat iso kuluerä. 2D-suunnittelu toteutetaan usein AutoCAD-ohjelmistolla, jota käytetään laajasti myös muuhun suunnittelutyöhön, jolloin sitä ei tarvitse hankkia erikseen pelkkää tehdassuunnittelua varten. 3D-tehdassuunnittelu vaatii oman ohjelmiston esimerkiksi AVEVA E3D:n, jonka lisenssihintaa on myös korkea verrattuna muihin CAD-ohjelmistoihin. AVEVA:n hinta on noin 36 000 euroa ja lisenssimaksu 4800 euroa vuodessa, kun taas AutoCAD lisenssin saa vuodeksi 2000 eurolla.

Lisäksi AVEVA:n käyttö vaatii laajempaa osaamista ja kouluttautumista kuin perinteinen 2D-suunnittelu. AVEVA tarjoaa käyttäjilleen online training –palvelun, jonka suorittaminen vie muutamia viikkoa tai jopa kuukauden. AVEVA-ohjelmistossa katalogimallien teko vaatii perehtyneisyyttä ja tehdassuunnittelu ylipäätään on täysin oma alue suunnittelussa.

3D-tehdassuunnittelun aloitus vaatii kouluttautumisen lisäksi laitekirjastojen luomisen. Jokainen laite on luotava katalogimalliksi parametreineen, jotta 3D-layout voidaan luoda. Tämä vie runsaasti aikaa ja resursseja. Dieffenbacher on aloittanut 3D-tehdassuunnittelun ja AVEVA-ohjelmiston käyttöönoton noin kymmenen vuotta sitten. Katalogimallien luominen on työlästä ja vaatii suunnittelijalta laajaa osaamista parametrisesta mallintamisesta.

Suunnittelutiimissä tulee olla useita eri prosessivaiheiden asiantuntijoita suunnittelemassa 3D-layoutia. Nykytilanteessa 2D-suunnittelussa on myös useita eri asiantuntijoita, joten henkilöstömäärä ei välttämättä muutu, vaikka siirryttäisiin 3D-tehdassuunnitteluun. Usein

esimerkiksi putkistojen suunnittelija on eri henkilö kuin prosessilaitteiden suunnittelija ja jokainen tarvitsee koulutusta 3D-tehdassuunnitteluun sekä AVEVA-ohjelmiston käyttöön. Kuvassa 22 nähdään putkistorakenne Dieffenbacherin projektin 3D-suunnitelmasta.



Kuva 22. Putkistorakenne

Ajallisesti 3D-layoutin suunnittelu on nopeampaa kuin 2D-layoutin. Prosessilaitteiston paikalleen laittaminen 3D-layoutiin sekä muiden tehtaan komponenttien lisääminen vievät noin kaksi työviikkoa. 2D-layoutin suunnittelu laajassa projektissa voi viedä jopa kahdeksan työviikkoa. Layoutin suunnittelu on muutakin kuin laitteiden sijoittelua oikeille paikoille. Jokaiselle projektille tarvitsee laskea tarvittavien laitteiden lukumäärä sekä moduloitaville laitteille tarvittava pituus, jotta prosessi etenee halutulla tahdilla.

Projektin edetessä myös informaatio lisääntyy ja muutoksia layouteihin tulee poikkeuksetta. Tämä tarkoittaa 2D-layoutsuunnittelussa noin kymmenen kuva päivittämistä. Ajallisesti siihen kuluu viikkoja ja virheiden mahdollisuus kasvaa, jos yksikin kuva jää päivittämättä ja virhe jää huomaamatta. 3D-suunnittelussa päivitetään vain yksi layout ja tämä vie noin muutamman työpäivän riippuen muutoksen laajuudesta. Lisäksi muutokset korostuvat eri värillä. Näin nähdään välittömästi mahdolliset muutoksesta johtuvat epäkohdat tai törmäykset.

Kuvan päivittäminen 3D-layoutissa on yksinkertaisempaa kaikin puolin, koska jos muutetaan yhden laitteen pituutta, muuttuu koko laitejono ja voidaan tehdä pelkkä törmäystarkas-

telu. 2D-layoutissa sama muutos vaatii manuaalisesti koko laitteiston siirtoa eikä mahdollisia törmäyksiä välttämättä voida havaita ollenkaan. Lisäetuna 3D-suunnittelussa voidaan pitää layoutin tarkasteltavuutta monista eri suunnista ilman erillisten kuvien piirtämistä. 2D-layoutista on piirrettävä myös sivukuva ja näin virheiden mahdollisuus kasvaa taas, jos tehdään mittavirhe laitteen geometrian kanssa.

Mahdollisten törmäyksien ja muiden epäkohtien korjaaminen on myös yksi ajallisesti haasteellinen työvaihe, mutta sen tuoma taloudellinen hyöty on suuri. Kun voidaan jo suunnitteluvaiheessa korjata epäkohdat ennen laitteiston valmistusta, säästetään rahaa niin asennuskuluissa kuin myös reklamaatiokuluissa. Säästöt ovat kymmeniä tuhansia euroja, kun laitteen valmistuksessa tai asennuksessa ei tule esille epäkohtia. Kun tehdään käyttöönotto sujuu ongelmitta, säästyy rahaa ja lisäksi tehdään tuottavuuden alkaminen ei hidastu.

Vaikka 3D-tehdassuunnitteluun täytyy investoida suhteessa enemmän kuin 2D-suunnitteluun, sen tuomat edut virheiden vähentyessä maksavat itsensä takaisin muutamissa vuosissa, kun 3D-tehdassuunnittelu on otettu koko laajuudessaan käyttöön. Tämä vie vuosia aikaa, mutta on taloudellisesti kannattava investointi.

Kun otetaan huomioon kaikki edut sekä rahallinen hyöty, mitä 3D-tehdassuunnittelusta saadaan, voidaan todeta sen olevan taloudellisempi tapa toteuttaa tehdassuunnittelua, vaikka alkuinvestointi niin rahallisesti kuin työntekijöiden mitoituksessa ja koulutuksessa on merkittävä. 3D-tehdassuunnittelu täydessä laajuudessaan on siis kannattava sekä suunnitteluyritykselle, että asiakkaalle. Huomioiden kaikki 3D-tehdassuunnittelun vaihtoehtoiset osat alueet, sen hyötyjen voidaan ajatella olevan taloudellisesti kannattava koko tuotantolaitoksen käyttöajan.

7 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli 3D-tehdassuunnittelun kehittäminen Dieffenbacher Panelboardissa. Tavoitteena oli tehdä 3D-tehdassuunnittelussa käytettävä katalogimalli sekä luoda ohjeistus katalogimallien tekoon. Teoriaosuus osoittaa 2D- ja 3D-suunnittelujen merkittävimmät erot sekä havainnollistaa lukijalle 3D-suunnittelun hyödyt myös taloudellisesta näkökulmasta. Lisäksi haluttiin ideoida muita mahdollisia käyttökohteita ja laajentamisvaihtoehtoja 3D-tehdassuunnittelun eri vaiheissa.

Opinnäytetyön aikana saatiin käsitys 3D-tehdassuunnittelun eduista sekä tehdassuunnitteluprosessin laajuudesta. Lisäksi käytännönoisuuden aikana tutustuttiin uuteen ohjelmistoon, AVEVA E3D:n ja opittiin perusasioita sen käytöstä. Vaikka opinnäytetyön aiheena oli levynkäsittelylinjan laite, saatiin paljon uutta tietoa myös tuotantoprosessin muista vaiheista sekä tehdassuunnittelun eri osa-alueista prosessilaitteiston lisäksi.

Lopputuloksena saatiin toimiva katalogimalli Dieffenbacherin laitekirjastoon. Tämän ansiosta 3D-tehdassuunnittelua saatiin vietyä eteenpäin yrityksen sisäisesti niin konkreettisesti kuin teoreettisesti. Yhteneväinen suunnittelutyö on edellytys onnistuneeseen lopputulokseen tehdassuunnittelussa, jonka takia ohjeistus on tarpeellinen.

Opinnäytetyön aihe oli varsin laaja ja katalogimallin teko alkukäsityksestä poikkeava. Kokonaisuutena työ oli opettavainen niin käytännön- kuin teoriaosuudenkin puolesta. Oppimiseen vaikutti kokeneiden AVEVA-käyttäjien tuki Dieffenbacherilla sekä teoreettisen tiedon hankkiminen itsenäisesti.

Jatkokehitysideana voisi tutkia mahdollisuutta lisätä jokaiseen kunnossapidolliseen komponenttiin linkki, jonka avulla nähtäisiin osan tarkat teknilliset tiedot. Esimerkiksi venttiileiden tai antureiden tilaus helpottuisi, kun olisi tilaus- ja mallinumero saatavilla. Tämä vaatisi, että tuotantolaitoksella olisi 3D-layout saatavilla. Kunnossapidollisesti voisi ajatella myös, että layoutissa olisi dataa, josta näkee komponenttien toiminnan ja toimintaan liittyvät häiriötapaukset. Näin voitaisiin ennakoida esimerkiksi moottorin rikkoutuminen, kun dataa olisi kerätty tarpeeksi.

Ideaalitilanteessa Dieffenbacher voisi hyödyntää samoja yksinkertaistettuja malleja 3D-tehdassuunnittelussa ja virtuaalisessa käyttöönnotossa. Tämä vaatisi, että malli olisi molempia käyttötarkoituksia tukeva. Aiemmin on jo todettu, ettei käyttöönnotossa ja tehdassuunnittelussa malleissa ole samoja geometriatietoja esillä, joten tämä on yksi kompastuskivi. Toisena haasteena on ohjelmistojen yhteensopivuus. Konesuunnittelun tarkka malli suunnitellaan ja yksinkertaistetaan CREO:ssa, mutta katalogimalli tehdään AVEVA:lla. Virtuaalisessa käyttöönnotossa käytettävä ohjelmisto ei tue AVEVA malleja.

Kaikki jatkokehitysideat vaativat lisäselvittelyä ja 3D-tehdassuunnittelun laajemman käyttöönoton yrityksen sisäisesti. Yhtenä haasteena voidaan pitää myös Dieffenbacherin eri toimistojen kommunikoinnin vähäisyyttä. Suunnittelutoimistoja on Saksassa sekä Suomessa ja täydellisen 3D-tehdaslayoutin luominen vaatii kaikkien toimistojen vastuualueiden yhteen keräämistä. Kuten jo aiemmin tuli esiin, Suomessa suunnittelu keskittyy limaukseen sekä puristimelta tulevan levyn käsittelyyn. Tekniikan kehittyessä ideat voisivat olla toteutettavissa ainakin jollain tasolla. Kunnossapidollinen layoutin käyttö vaatii myös asiakkailta paneutumista asiaan, mutta jos ideasta saataisiin toimiva, voisi se olla taloudellisesti kannattava.

Yhteenvetona 3D-tehdassuunnittelu on nykyaikainen ja tehokas tapa suunnitella tuotantolaitoksia. Vuosien saatossa se tulee kehittymään lisää ja on ehdottomasti tulevaisuuden toimintamalli, jota kehittämällä lisätään sekä asiakkaan että suunnitteluyrityksen hyötyjä.

Lähteet

- AVEVA. (2020). AVEVA Model Simplification AVEVA Native Model Simplification. Viitattu 7.9.2022. Saatavissa https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet_AVEVA_ModelSimplification_E3DDesign_07-20.pdf.coredownload.inline.pdf
- AVEVA. (2021). AVEVA E3D Design the most advanced and powerful 3D design solution. Viitattu 10.9.2022. Saatavissa https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/brochures/Brochure_AVEVAE3DDesign_06-21.pdf.coredownload.inline.pdf
- AVEVA. (2022a). AVEVA E3D Design. Viitattu 5.9.2022. Saatavissa <https://www.aveva.com/en/products/e3d-design/>
- AVEVA. (2022b). Specification for structural joints. Viitattu 30.12.2022. Saatavissa [Specification for Structural Joints \(aveva.com\)](#)
- Brunelli, M. (2017). Parametric vs. Direct modeling Viitattu 5.9.2022. Saatavissa <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/parametric-vs-direct-modeling-which-side-are-you-on>
- Childree, T. L. (2022). All the Science. What is Process Plant Design? Viitattu 11.9.2022. Saatavissa <https://www.allthescience.org/what-is-process-plant-design.htm>
- Dieffenbacher. (2022). Yrityksen esittelymateriaali. Viitattu 5.9.2022 Saatavissa yrityksen sisäisin tunnuksin.
- Dieffenbacher. (2022a). Saatavissa yrityksen sisäisin tunnuksi.
- Dieffenbacher. (2022b). Saatavissa yrityksen sisäisin tunnuksi.
- Dieffenbacher. (2022c). Saatavissa yrityksen sisäisin tunnuksi.
- Grabcad Community. (2018). Complex Creo Designs. Viitattu 9.10.2022. Saatavissa [Complex Creo Designs | 3D CAD Model Library | GrabCAD](#)
- Haaga-Helia. Ehto- ja toistolauseet. Viitattu 23.12.2022. Saatavissa [Ehto- ja toistolauseet \(haaga-helia.fi\)](#)
- Haverila, M. & Uusi-Rauva, E. & Kouri, I. & Miettinen, A. (2009) Teollisuustalous. 6. painos. Tampere: Hämeen kirjapaino Oy.
- Hietikko, E. (2007). Autodesk Inventor. 1. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Hughes B. (2021). Boosting engineering performance and enhancing productivity with 3D model simplification. Viitattu 10.9.2022. Saatavissa <https://www.aveva.com/en/perspectives/blog/boosting-engineering-performance-and-enhancing-productivity/>

Lehtonen, L. (2021). Miten varmistaa modernisoitavan koneen turvallisuus? Viitattu 1.11.2022. Saatavissa <https://afry.com/fi-fi/artikkeli/miten-varmistaa-modernisoitavan-koneen-turvallisuus>

Moran, S. (2017). Process Plant Layout. Intia: MPS Limited.

PDS Vision. (2022). Creo combined with ANSYS Mechanical – Your Competitive Advantage In Product Design. Viitattu 21.10.2022. Saatavissa <https://www.pdsvision.com/blog/creo-combined-with-anys-mechanical-your-competitive-advantage-in-product-design/>

Pere, A. (2021). Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.

Pekkala, J. (2014). 3D-laserkeilausaineston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

PTC (2022a). What is 3d Design? Viitattu 11.9.2022. Saatavissa <https://www.ptc.com/en/technologies/cad/3d-design>

PTC (2015b). Guide to Family tables in CREO. Viitattu 11.9.2022. Saatavissa <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/did-you-know-family-tables>

Shih, R. 2017. Parametric modeling with CREO Parametric. Viitattu 11.9.2022. Saatavissa https://books.google.fi/books?vid=ISBN1630571059&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Tanska, T. & Österlund, T. (2014). Algoritmit puurakenteissa – menetelmät, mahdollisuudet ja tuotanto. 1. painos. Oulun yliopisto, Arkkitehtuurin tiedekunta. Viitattu 17.9.2022. Saatavissa <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526204567.pdf>

Tirkkonen, V. (2021). Konesuunnittelun 3D mallien yksinkertaistaminen virtuaaliseen käyttöön. Insinööriyö. LAB-ammattikorkeakoulu. Lahti.

Österholm, J. & Tuokko, R. (2001). Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin. Helsinki: Metsäteollisuuden Kustannus Oy.