



# PUTKISTOSUUNNITTELU-TYÖ- KALUN KÄYTTÖÖNOTTO

Autodesk Inventor Tube & Pipe-työkalun kehitys ja käyttöönotto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Roni Virtanen	
Työn nimi Putkistosuunnittelutyökalun käyttöönotto	
Päiväys	10.4.2025
	45/0
Yhteistyötaho Sumitomo SHI FW Energia Oy	
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli putkistosuunnittelutyökalun käyttöönotto. Työn toimeksiantajana oli Sumitomo SHI FW Energia Oy. Yrityksellä on pitkä historia höyrykattilalaitossuunnittelusta ja -valmistuksesta, ja siellä on käytössä jo useita suunnitteluohjelmia, joilla kyetään suunnittelemaan laajoja putkistoja tehokkaasti. Yrityksessä kaivattiin kuitenkin tehostusta pieni- ja keskikokoisten putkistojen suunnitteluun.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoitus oli ottaa käyttöön Autodesk Inventor Professional 2025:n putkistosuunnittelutyökalu "Tube &amp; Pipe" Sumitomo SHI FW Energia Oy:n Service-osaston suunnittelijoille. Opinnäytetyön tavoitteet olivat määrittää työkalulle soveltuvat työt ja käyttökohteet, tehdä työkalusta käyttökelpoinen ja toimintakuntoinen, sekä laatia tarvittavat ohjeistukset työkalun käyttöä ja jatkokehittämistä varten.</p> <p>Opinnäytetyössä luotiin työkalun sisäiseen komponenttikirjastoon kahden PSK-putkiluokan mukaiset putkityylit sekä kaikki niihin kuuluvat putkenosat ja putkivarusteet. Työkalua varten luotiin tiedostojen automaattinen nimeämisjärjestelmä, osaluettelotiedot lisättiin luotuihin kirjastokomponentteihin, sekä työkalun pohjatiedosto päivitettiin. Työkalun käytettävyyttä eri putkistosuunnittelutöissä arvioitiin ja soveltuvuuden arviointimenetelmä kehitettiin. Työkalun toimivuus testattiin oikeiden putkistosuunnittelutöiden avulla. Lopuksi työkalulle luotiin käyttöohjeet ja jatkokehitysohjeet.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin käyttökelpoinen ja toimiva putkistosuunnittelutyökalu, joka soveltuu pienten ja keskikokoisten putkistojen suunnitteluun. Työkalun käyttöä varten kehitettiin vuokaavio, jonka avulla työkalun soveltuvuus putkistosuunnittelutyöhön kyetään määrittämään. Lisäksi työkalun käyttöä ja jatkokehittämistä varten luotiin molemmille omat ohjeensa, joita noudattamalla suunnittelija voi oppia työkalun käytön ja lisätä työkaluun uutta sisältöä. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Jatkokehityskohteiksi työkalulle jäivät työkalun sisäisen komponenttikirjaston ja putkityylikirjaston laajentaminen, työkalulle soveltuvien töiden tarkempi rajaus, sekä LIDAR-skannauksen hyödyntämishjeet työkalua käytettäessä.</p>	
Avainsanat Putkistot, suunnittelu, käyttöönotto, putkistosuunnittelu, suunnitteluohjelma, Autodesk Inventor, Tube & Pipe	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY .....	7
2.1	Historia .....	7
2.2	Organisaatio .....	7
2.3	Toimiala ja asiakkaat.....	8
2.4	Tuotteet ja palvelut.....	8
3	TUOTEKEHITYSPROSESSI.....	9
3.1	Tuotekehitysprosessien tyypit .....	9
3.1.1	Markkinavetoinen prosessi .....	10
3.1.2	Teknologiayöntöprosessi .....	10
3.1.3	Paranteluprosessi .....	10
3.1.4	Räätälöintiprosessi.....	10
3.2	Tuotekehitysprosessin sisältö .....	10
3.2.1	Tarpeen tunnistaminen .....	10
3.2.2	Ongelman määrittely .....	11
3.2.3	Synteesi .....	11
3.2.4	Analyysi.....	11
3.2.5	Optimointi.....	11
3.2.6	Testaus .....	11
3.2.7	Tuotannon käynnistäminen.....	11
3.2.8	Arviointi .....	11
4	PUTKISTOSUUNNITTELUPROSESSI.....	12
4.1	Höyrykattilalaitoksen putkistosuunnittelun alueet .....	12
4.2	Putkistosuunnitteluprosessin vaiheet .....	12
4.2.1	Tarjousvaihe .....	12
4.2.2	Reititys .....	14
4.2.3	Perussuunnittelu .....	14
4.2.4	Detaljisuunnittelu.....	16
5	PUTKISTOSUUNNITTELUPERIAATTEET .....	17
5.1	Toiminnallisuus.....	17
5.2	Kokoonpantavuus.....	17
5.3	Huollettavuus.....	18

5.4	Layout.....	18
6	PUTKISTOSUUNNITTELUA RAJOITTAVAT SÄÄDÖKSET JA STANDARDIT .....	20
6.1	Painelaitedirektiivi PED 2014/68/EU .....	20
6.2	EN-standardit .....	20
6.2.1	SFS-EN 13480-3:2024.....	21
6.2.2	SFS-EN 12952-3:2022.....	21
6.2.3	Muita putkistosuunnitteluun liittyviä EN-standardeja .....	21
6.3	ASME-standardit .....	21
6.3.1	ASME BPVC.1-2023.....	22
6.3.2	ASME B31.1-2024 .....	22
6.3.3	ASME B31.3-2024 .....	22
7	TYÖKALUN TÄYDENTÄMINEN, KONFIGUROINTI JA KEHITTÄMINEN KÄYTTÖVALMIUTEEN .....	23
7.1	Työkalun täydentäminen ja konfigurointi .....	23
7.1.1	Alkuperäisten Content Center-kategorioiden palauttaminen .....	23
7.1.2	Tube & Pipe-komponenttien iPart-mallien luominen .....	24
7.1.3	Tube & Pipe-komponenttien autoroiminen ja julkaiseminen.....	25
7.1.4	Tube & Pipe-tyylien konfiguroiminen .....	26
7.2	Työkalun kehittäminen .....	29
7.2.1	Tiedostojen automaattinen nimeämisjärjestelmä .....	29
7.2.2	Osaluettelotietojen lisääminen ja mappaus .....	30
7.2.3	Tube & Pipe Templaten päivitys .....	32
8	PUTKISTOSUUNNITTELUTYÖKALULLE SOVELTUVIEN KÄYTTÖKOHTEIDEN MÄÄRITYS.....	34
8.1	Työkalun käyttöön tarvittavat lähtötiedot .....	34
8.2	Putkistolta vaadittavat ominaisuudet.....	35
8.3	Työn laajuus ja kokoluokka .....	37
8.4	Vuokaavio työkalun soveltuvuuden määritykseen .....	38
9	TYÖKALUN TOIMIVUUDEN JA KÄYTETTÄVYYDEN TESTAAMINEN .....	39
9.1	Testityö 1.....	39
9.2	Testityö 2.....	40
10	TYÖKALUN KÄYTTÖ- JA JATKOKEHITYSOHJEIDEN LAATIMINEN .....	42
10.1	Työkalun käyttöohje .....	42
10.2	Työkalun jatkokehitysohje .....	43

11 YHTEENVETO .....	44
LÄHTEET .....	46

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Sumitomo SHI FW Energia Oy Service-osaston organisaatiokaavio (Virtanen) .....	7
Kuva 2. Kaavio SFW:n Service-osaston merkittävimmistä palveluista (Virtanen) .....	8
Kuva 3. Tuotekehitysprosessin tyypit ja vaiheet (Virtanen) .....	9
Kuva 4. Standardin PSK 4201 mukainen esimerkki putkiluokkamerkinästä selitteineen (PSK Standardointi 2022) .....	13
Kuva 5. Projektimaisen putkistosuunnitteluprosessin etenemiskaavio (Virtanen) .....	16
Kuva 6. Alkuperäiset Inventor Routed Systems-kirjaston Fittings-kategoriat (Virtanen 2025).....	23
Kuva 7. 90 asteen putkikäyrän 3D-mallin parametrit (Virtanen 2025).....	24
Kuva 8. 90 asteen putkikäyrän iPart-taulukko (Virtanen 2025) .....	25
Kuva 9. 90 asteen putkikäyrän Tube & Pipe Authoring-asetukset (Virtanen 2025) .....	26
Kuva 10. Rigid Pipe with Fittings-tyylit ja yleisasetukset (Virtanen 2025) .....	28
Kuva 11. Tubing with Bends-tyyli ja yleisasetukset (Virtanen 2025) .....	29
Kuva 12. Tube & Pipe-nimeämisjärjestelmän asetukset (Virtanen 2025) .....	30
Kuva 13. 90 asteen putkikäyrään lisätyt osaluettelosarakkeet (Virtanen 2025).....	31
Kuva 14. 90 asteen putkikäyrä Dimensions-sarakkeen määrytykset (Virtanen 2025).....	31
Kuva 15. 90 putkikäyrän nimi ja kuvake .....	32
Kuva 16. Tube & Pipe Template-tiedoston piirrepuu ja luomiskomento (Virtanen 2025) .....	33
Kuva 17. Reittipisteen paikannuskomponentti (Virtanen 2025) .....	34
Kuva 18. Putkisto, joka on mallinnettu viettokulmavalinnalla (Virtanen 2025) .....	35
Kuva 19. Ilmarakokomponentti (Virtanen 2025) .....	36
Kuva 20. Tube & Pipe-työkalun piirrepuutasot (Virtanen) .....	37
Kuva 21. Vuokaavio työkalun soveltuvuuden määrytykseen (Virtanen 2025) .....	38
Kuva 22. Testityö 1 3D-malli (Virtanen 2025).....	39
Kuva 23. Testityö 2 joustavuusanalyysi 3D-mallin alkupuoli (Virtanen 2025).....	41
Kuva 24. Testityö 2 joustavuusanalyysi 3D-mallin loppupuoli (Virtanen 2025).....	41
Taulukko 1. Kannakkeiden luokittelu (SFS-EN 13480-3, 2024, 143).....	15

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on ottaa Autodesk Inventor Professional 2025:n putkistosuunnittelutyökalu "Tube & Pipe" käyttöön Sumitomo SHI FW Energia Oy:n Service-osastolle.

Opinnäytetyön tavoitteina ovat määrittää työkalulle soveltuvat työt ja käyttökohteet, tehdä työkalusta käyttökelpoinen ja toimintakuntoinen, sekä laatia tarvittavat ohjeistukset työkalun käyttöä ja jatkokehittämistä varten.

Opinnäytetyön menetelmänä on kehittämistyö, koska työn pääasiallinen sisältö on putkistosuunnittelutyökalun kehittämistä käyttökelpoiseen ja -kuntoiseen tilaan. Työ rajattiin koskemaan putkistosuunnittelua vain kyseisen työkalun osalta, eikä työssä tarkastella muita putkistosuunnitteluohjelmistoja. Työhön ei myöskään sisälly työkalun sisäisten komponenttikirjastojen luominen työkalun toimintaan tarvittavan vähimmäismäärän yli.

Sumitomo SHI FW Energia Oy:llä on pitkä historia höyrykattilalaitossuunnittelusta. Kyseisestä suunnittelusta merkittävä osa on putkistosuunnittelua, minkä vuoksi se on hyvin tärkeä osa yrityksen toimintaa. Laitossuunnittelusta putkistosuunnittelu on useita kymmeniä prosentteja. Yrityksellä on käytössään useita laitosuunnitteluun soveltuvia karkean ja suuren mittakaavan putkistosuunnitteluohjelmia, mutta pienten ja keskikokoisten putkistojen yksityiskohtaisesta suunnittelusta puuttuu tehokas ja toimiva työkalu. Tähän tässä opinnäytetyössä pyritään kehittämään ratkaisu.

## 2 SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY

Sumitomo SHI FW Energia Oy (käytetään lyhennettä SFW) on suomalainen höyrykattiloiden valmistaja. SFW:llä on Suomessa kaksi toimipaikkaa, jotka sijaitsevat Varkaudessa ja Espoossa. SFW:n oma kotimainen tuotanto sijaitsee Varkauden toimipisteessä.

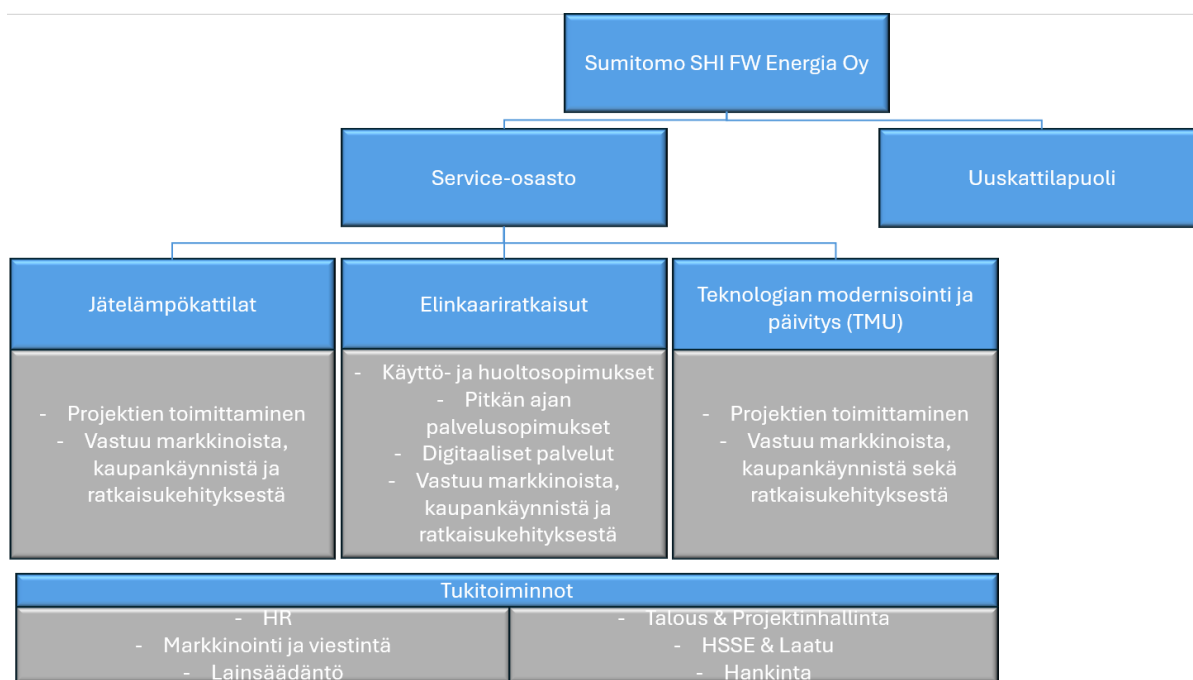
### 2.1 Historia

SFW:n Varkauden toimipisteellä on pitkä historia, joka ulottuu aina 1860-luvulle ensimmäisen konepajan perustamiseen asti (Jääskeläinen & Lovio 2003, 12). Yrityksellä on historiansa aikana ollut yhteensä viisi omistajaa, joista nykyinen on japanilainen teollisuuskonserni Sumitomo.

### 2.2 Organisaatio

SFW:n organisaatio on jaettu selvästi kahteen osaan vastualueidensa perusteella. SFW:n uuskattilapuoli vastaa projekteista, joissa asiakkaille toimitetaan uusia höyrykattiloita ja niiden osia lukuun ottamatta uusia jätelämpökattiloita. SFW:n Service-osasto vastaa taas projekteista, joissa on kyse uusista jätelämpökattiloista ja olemassa olevista kattilalaitoksista.

Koska opinnäytetyö tehdään yhteistyössä pääosin Service-osaston kanssa ja opinnäytetyön tulokset tulevat heidän käyttöönsä, ei uuskattilapuolen organisaatorakennetta tarkastella tarkemmin. Service-osaston organisaatorakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Sumitomo SHI FW Energia Oy Service-osaston organisaatiokaavio (Virtanen)

Vaikka SFW:n Service-osasto on jaettu kyseisiin osiin, tekevät ne läheistä yhteistyötä toistensa kanssa suurimmassa osassa projekteista. Tietyissä projekteissa yhteistyötä tapahtuu myös Service-osaston ja uuskattilapuolen välillä esimerkiksi erikoisosaamista tarvittaessa.

### 2.3 Toimiala ja asiakkaat

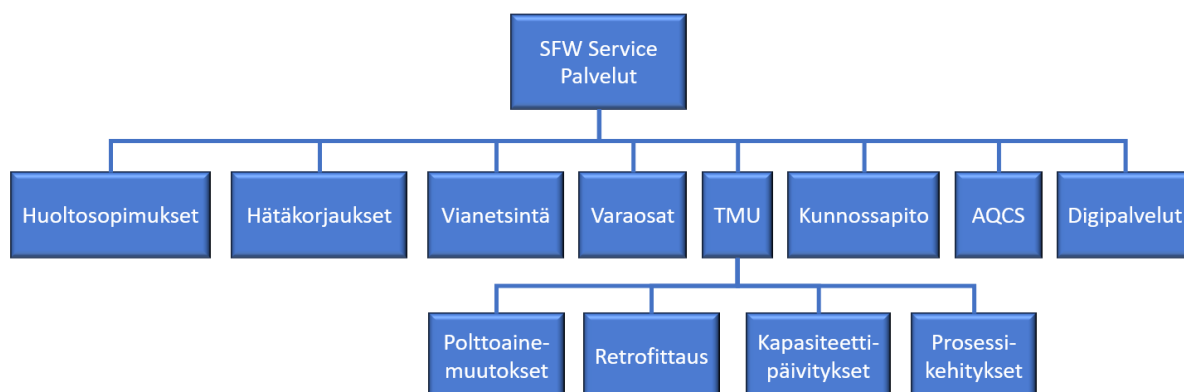
SFW:n toimiala on höyrykattiloiden valmistus. SFW ei kuitenkaan valmista pelkästään kattiloita, vaan myös kattilalaitoskomponentteja ja jopa kokonaisia kattilalaitoksia.

SFW:n asiakkaita ovat tyypillisesti yksityiset ja julkiset voimalaitosyhtiöt. Asiakkaina voivat olla juuri toimintansa aloittamassa olevat yhtiöt, kuin myös yhtiöt, joilla on jo olemassa kattilalaitostoimintaa.

### 2.4 Tuotteet ja palvelut

SFW tarjoaa todella laajan valikoiman erilaisia tuotteita ja palveluja moniin eri tarpeisiin, joista hyötyvät sekä uutta kattilalaitosta perustamassa olevat asiakkaat, kuin nykyiseen kattilalaitokseensa palveluja tarvitsevat asiakkaat.

SFW:n Service-osasto tarjoaa asiakkailleen muun muassa pitkäaikaisia huoltosopimuksia, hätäkorjauspalveluja, vianetsintäpalveluja, varaosapalveluja, kunnossapitopalveluja, teknologian modernisointi- ja päivityspalveluja (TMU, Technology modernization and upgrade), polttainemuutospalveluja, retrofitauspalveluja, kapasiteettipäivitys- ja prosessikehityspalveluja, ilmanlaadunhallintajärjestelmiin (AQCS, Air quality control systems) liittyviä palveluja, sekä digitaalisia palveluja (Sumitomo SHI FW 2024, 3). SFW:n Service-osaston tarjoamat palvelut ovat esitettynä kuvassa 2. Kuva 2 ei sisällä kaikkia palveluihin sisältyviä alakohtia.



Kuva 2. Kaavio SFW:n Service-osaston merkittävimmistä palveluista (Virtanen)

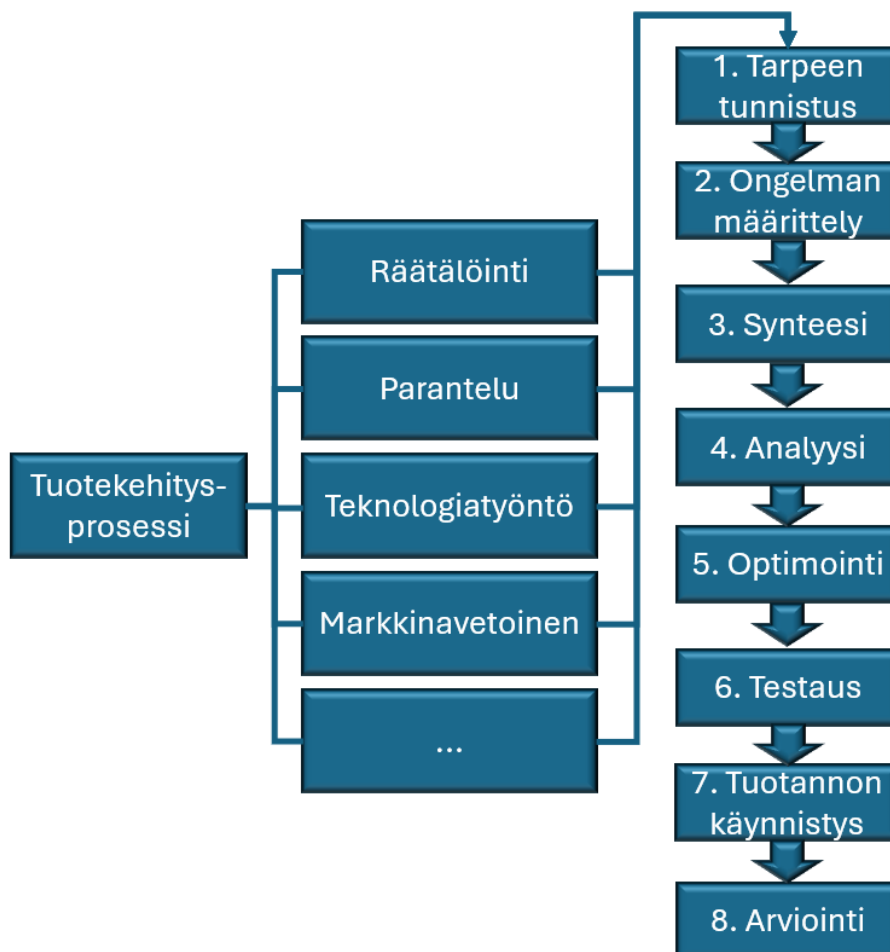
### 3 TUOTEKEHITYSPROSESSI

Jokainen putkistosuunnittelutyö on enemmän tai vähemmän osa jotain tuotekehitysprojektia tai tuotekehitysprosessia. Tuotekehitysprojektilla on selkeä projektille tyypillinen toteutusmalli, joka yleisesti sisältää muun muassa vaatimusten ja tavoitteiden määrittämisen, selkeät sisältörajaukset, resurssien, aikataulutuksen, sekä riskienhallinnan. Tuotekehitysprosessi ei välttämättä aina pidä sisällään edellä mainittuja ominaisuuksia tai rajoituksia ainakaan tarkasti määritettynä.

Tuotekehitysprosessin päätarkoitus on kehittää jokin täysin uusi tuote tai kehittää jotain olemassa olevaa tuotetta entistä paremmaksi. Näiden tuotosten tavoitteina ovat yleensä muun muassa yrityksen liikevaihdon ja tuloksen kasvattaminen, kilpailukyvyyn parantaminen sekä markkinaosuuden suurentaminen. Teknologia edistyy jatkuvasti suurella nopeudella, minkä vuoksi vain sen mukana pysyvät yritykset menestyvät jatkuvasti kehittyvillä markkinoilla.

#### 3.1 Tuotekehitysprosessien tyypit

Tuotekehitysprosessit voidaan jaotella ominaisuuksiensa perusteella eri tyyppisiin. Tyyppisiä on olemassa monia, joista tässä luvussa tarkastellaan markkinavetoista prosessia, teknologiatyöntöprosessia, paranteluprosessia sekä räätälöintiprosessia. (Hietikko 2021, luku 3.) Putkistosuunnitteluprosessi voi kuulua jokaiseen edellä mainituista tuotekehitysprosessityypeistä. Tuotekehitysprosessityypit ja luvussa 3.2 käsiteltävät tuotekehityksen prosessivaiheet ovat esitettyinä kuvassa 3.



Kuva 3. Tuotekehitysprosessin tyypit ja vaiheet (Virtanen)

### 3.1.1 Markkinavetoinen prosessi

Markkinavetoinen prosessi saa alkunsa siitä, kun markkinoilla tunnistetaan tarve jollekin tuotteelle. Tämän seurauksena aletaan olemassa olevan teknologian avulla kehittämään ratkaisua kyseiseen tarpeeseen. (Hietikko 2021, luku 3.)

### 3.1.2 Teknologiatyöntöprosessi

Teknologiatyöntöprosessissa tavoite on saattaa uusi teknologia markkinoille (Hietikko 2021, luku 3). Kyseinen prosessi vaatii käynnistyäkseen uuden teknologiainnovaation, jota aletaan kehittämään markkinoille sopivaan muotoon. Tämä voi olla esimerkiksi jokin tuote tai palvelu, jossa hyödynnetään uutta teknologiaa.

### 3.1.3 Paranteluprosessi

Paranteluprosessissa on olemassa taustalla valmis tuote, jota lähdetään kehittämään tai parantelemaan (Hietikko 2021, luku 3). Prosessin tuotos on onnistuessaan aikaisempaa parempi tuote, jolla saavutetaan erilaisia hyötyjä ja etuja, kuten esimerkiksi kilpailuetu muihin yrityksiin nähden.

### 3.1.4 Räättälöintiprosessi

Räättälöintiprosessi on yleensä kertaluontoinen tuotekehitysprosessi, jossa tuotetaan asiakkaan tarpeeseen räätälöity ratkaisu (Hietikko 2021, luku 3). Prosessin tuotteena saatavaa tuotetta ei yleensä voida hyödyntää sellaisenaan muissa töissä tai projekteissa. Tällaisen projektin hinta on yleensä korkeampi asiakkaalle muihin tuotekehitysprosesseihin verrattuna, koska yritys tuottaa vain yhden kappaleen tai yhden erän juuri asiakkaan vaatimusten mukaan räätälöityä tuotetta. Tällöin tuotekehityksen ja valmistuksen kustannukset eivät jakaannu suureen määrän tuotteita, mikä taas alentaisi tuotteen kappalehintaa.

Sumitomo SHI FW Energia Oy:n johtavan putkistosuunnittelija Asko Vartiaisen mukaan yrityksen putkistosuunnitteluprosessit ovat lähes poikkeuksetta räätälöintiprosesseja. Tämä johtuu siitä, että höyrykattilalaitokseen liittyy niin monta eri tekijää, että kahden täsmälleen samanlaisen laitoksen rakentaminen on erittäin epätodennäköistä. Näitä tekijöitä ovat muun muassa asiakkaan tontin koko sekä laitteiden ja koneiden sijoittelutoiveet layouttiin. (Vartiainen 2025.)

## 3.2 Tuotekehitysprosessin sisältö

Tuotekehityksen prosessimalleista on havaittavissa niiden tyypistä huolimatta tiettyjä yhteisiä vaiheita, joita prosessit sisältävät. Näitä vaiheita ovat tarpeen tunnistaminen, ongelman määrittely, synteesi, analyysi, optimointi, testaus, tuotannon käynnistäminen ja arviointi. (Hietikko 2021, luku 3.) Kyseiset vaiheet ovat esitettynä kuvassa 3.

### 3.2.1 Tarpeen tunnistaminen

Jotta tuotekehitysprosessille on tarvetta, on ensin tunnistettava tarve uudelle tuotteelle tai olemassa olevan tuotteen kehittämiseksi. Tarve voi syntyä useasta eri lähteestä, kuten asiakaspalautteesta, uuden teknologian myötä tai tuotteen toimivuuden parantamisesta (Hietikko 2021, luku 3).

### 3.2.2 Ongelman määrittely

Ongelman määrittelyvaiheessa tuotekehitystyön tavoitteet ja tuotteen spesifikaatiot määritetään (Hietikko 2021, luku 3). Näin muodostetaan selkeä ymmärrys siitä, mitä ominaisuuksia tuotteessa tulee olla ja mitä sillä tulee kyetä tekemään.

### 3.2.3 Synteesi

Synteesivaihe on luovan työn vaihe, jossa kehitetään ideoita ongelman ratkaisemiseksi. Näiden ideoiden pohjalta luodaan konsepti, jota lähdetään jatkokehittämään (Hietikko 2021, luku 3). Tämän vaiheen aikana luodaan alustavia ja karkean tason malleja ja luonnoksia mahdollisesta tuotteesta. Näitä toisiinsa vertaamalla ideoita ja tuotteen ominaisuuksia yhdistellään, kunnes ideoista saadaan kehitettyä konsepti, johon ollaan tyytyväisiä.

### 3.2.4 Analyysi

Analyysivaiheessa käytetään insinööriäkaluja konseptin analysointiin. Tämän tarkoituksena on saada realistinen ja luotettava käsitys konseptin toimivuudesta (Hietikko 2021, luku 3). Tällaisia insinööriäkaluja ovat esimerkiksi FEM-analyysiohjelmit ja 3D-suunnitteluohjelmit, joilla kyetään tarkistamaan konseptitasolla olevan tuotteen toimivuus ja kestävyys. On todennäköistä, että konseptitason tuoteidea joudutaan jalostamaan eteenpäin ainakin paperitasolta tietokonetasolle, jotta kyseisiä insinööriäkaluja voidaan hyödyntää analysoinnissa. Putkistosuunnittelussa tässä vaiheessa suoritetaan yleensä putkiston joustavuusanalyysit.

### 3.2.5 Optimointi

Optimointivaihe sisältää detaljisuunnittelua, jolla tuote kehitetään lopulliseen muotoonsa. Tässä vaiheessa saadaan myös tietoon tuotteen tarkat valmistuskustannukset (Hietikko 2021, luku 3). Tähän vaiheeseen on syytä varata aikaa, koska vaiheeseen kuuluu muun muassa yksityiskohtien mallinnus, komponenttivalintojen ja materiaalivalintojen tekeminen, sekä valmistuspiirustusten laatiminen.

### 3.2.6 Testaus

Testausvaiheessa tuotteelle suoritetaan vaadittavat ja halutut testit, joiden perusteella varmistetaan tuotteen toimivuudesta. Tämä vaihe ei vielä tarkoita sitä, että tuotetta olisi fyysisesti valmistettu, vaan tuote voidaan testata esimerkiksi eri tietokoneohjelmistoilla. (Hietikko 2021, luku 3.)

### 3.2.7 Tuotannon käynnistäminen

Kun tuotteen toimivuudesta ja tarkoituksenmukaisuudesta ollaan varmistettu testausvaiheessa, voidaan aloittaa tuotteen valmistus. Ensimmäistä tuotantosarjaa kutsutaan koesarjaksi eli 0-sarjaksi, jonka avulla tuotantoa testataan ja työntekijöitä koulutetaan (Hietikko 2021, luku 3).

### 3.2.8 Arviointi

Arviointivaiheessa arvioidaan valmistettuja tuotteita eli lopputulosta kriittisesti. Tämän tarkoituksena on varmistaa, että tuote täyttää alussa määritetyn tarpeen ja sille asetetut vaatimukset. (Hietikko 2021, luku 3).

## 4 PUTKISTOSUUNNITTELUPROSESSI

Tässä luvussa käsitellään putkistosuunnitteluprosessia höyrykattilalaitosnäkökulmasta. Putkistosuunnittelu on monimutkainen prosessi, jossa tulee ottaa huomioon muun muassa mekaaniset, käytettävyyden asettamat sekä rakenteelliset vaatimukset (Vartiainen 2020a).

Sumitomo SHI FW Energia Oy:n johtavan putkistosuunnittelija Asko Vartiaisen mukaan höyrykattilalaitossuunnittelusta putkistosuunnittelu vie mekaanisesta suunnittelusta kaikista eniten aikaa (Vartiainen 2025). Voidaan siis todeta, että putkistosuunnittelu on yksi suurimmista kattilalaitossuunnittelun osa-alueista, minkä vuoksi putkistosuunnitteluprosessi on on äärimmäisen tärkeä osa-alue höyrykattilalaitossuunnittelua.

### 4.1 Höyrykattilalaitoksen putkistosuunnittelun alueet

Höyrykattilalaitosten putkistosuunnittelu voidaan jakaa kahteen pääalueeseen. Nämä alueet ovat kattilan vesi- ja höyrykiertoputkistot, sekä kattilan pienikokoiset putkistot ja ulkopuoliset putkistot. (Vartiainen 2020a.)

Kattilan vesi- ja höyrykiertoputkistot pitävät sisällään kattilan pääputkistolinjat syöttövesipumpulta kattilan vesi- ja höyrykierron läpi höyryturbiinille asti. Tähän sisältyvät myös välitulistinputkistot. (Vartiainen 2020a.)

Kattilan pienikokoisiin ja ulkopuolisiin putkistoihin kuuluvat kaikki kattilan pienikokoiset ja matalan paineen putkistot. Näihin kuuluvat muun muassa syöttövesisäiliön ja syöttövesipumpun välinen putkisto, kaikki tyhjennys- ja ilmauslinjat, sekä muut kattilan ulkopuoliset putkistot. (Vartiainen 2020a.)

### 4.2 Putkistosuunnitteluprosessin vaiheet

Projektimainen putkistosuunnitteluprosessi jakautuu kahteen päävaiheeseen, jotka ovat tarjousvaihe ja projektivaihe. Projektivaihe taas koostuu kolmesta eri vaiheesta, joita ovat reititysvaihe, perussuunnitteluvaihe ja detaljisuunnitteluvaihe. (Vartiainen 2020b.) Toinen tapa jaotella putkistosuunnittelu on jakaa se esisuunnitteluvaiheeseen, perussuunnitteluvaiheeseen ja toteutussuunnitteluvaiheeseen (PSK 2402, 2021, 6). Molemmat tavat ovat hyvin lähellä toisiaan, ja tässä raportissa käytetään ensimmäisenä mainittua tapaa jaotella putkistosuunnitteluprosessi eri vaiheisiin.

#### 4.2.1 Tarjousvaihe

Tarjousvaiheessa putkisto suunnitellaan hyvin karkealla tasolla tavoitteena se, että asiakkaalle osataan tehdä paikkaansa pitävä ja kannattava tarjous. Tarkoitus on määrittää putkiston layout, putkistoon vaikuttavat kuormat, sekä arvioida putkistoon menevien komponenttien ja erikoiskomponenttien määrät. Reititys tarjousvaiheessa tehdään pääputkistoille layout-tilanvarausmalleina ottaen huomioon putkiston koot, seinämävahvuudet, materiaalit ja eristykset. (Vartiainen 2020b.)

Materiaalivalintojen tekeminen perustuu todella moneen eri tekijään. Pääsääntöisesti oikea materiaalivalinta on se, joka täyttää sille asetetut vaatimukset mahdollisimman kustannustehokkaasti. On myös tilanteita, joissa tästä periaatteesta joudutaan poikkeamaan esimerkiksi tiukan aikataulun vuoksi.

Putkiston materiaalin valintaan vaikuttavat useat eri muuttujat. Näitä ovat muun muassa putken sisäinen ja ulkoinen paine, putken ulkopuolinen ja sisällä virtaavan kaasun tai nesteen lämpötila, putkelta

vaadittu sisäinen sekä ulkoinen korroosionkestävyys, materiaalin hitsattavuus, työstettävyys ja muokattavuus, sekä materiaalin hinta ja saatavuus. Lisäksi materiaalivalintaan vaikuttavat noudatettavat säädökset ja standardit, jotka rajoittavat materiaalien käyttöä.

Suomalainen standardisointiyhdistys PSK Standardointi on kehittänyt putkien ja putkenosien materiaalivalintaa helpottavan apuvälinejärjestelmän eli putkiluokkakäyttöjärjestelmän. Järjestelmä on EN-standardien mukainen, joten sitä voidaan käyttää töissä ja projekteissa, joissa kyseiset standardit ovat käytössä. (PSK 4201, 2022, 1.)

Putkiluokka tarkoittaa samaan putkilinjaan soveltuvien putkien ja putkenosien valikoimaa, jossa osien mitat ja materiaalit on määritetty valmiiksi. Putkiluokat sisältävät suoria putkia, putkikäyriä, putkikartioidia, T-kappaleita, T-haaroja, putkikauluksia, laippoja, päätyjä, kierteellisiä putkenosia, ruuveja, muttereja, aluslaattoja sekä tiivisteitä. (PSK 4201, 2022, 1.)

Putkiluokan valintaan vaikuttavat pääosin putkistossa virtaava aine, korroosio-olosuhteet, paine ja lämpötila (PSK 4201, 2022, 1). Tämän lisäksi putkiluokan valintaan voivat vaikuttaa myös aikaisemmin listatut materiaalivalintoihin vaikuttavat asiat.

Putkiluokat erotetaan toisistaan merkinnöillä, jotka koostuvat lyhenteistä, numeroista ja kirjaimista. Nämä kuvaavat putkiluokan ominaisuuksia. Esimerkki putkiluokkamerkinnästä ja merkinnän selitteet ovat esitettyinä kuvassa 4.

Esimerkki:	Putkiluokka	PSK 4233	E	16	H1	A
Nimi						
Standardi						
EN-viite <sup>1)</sup>						
Nimellis-paine						
Materiaalitunnus						
Lisätunnus						

<sup>1)</sup> Osoittaa, että putkiluokka perustuu EN-standardeihin.

Kuva 4. Standardin PSK 4201 mukainen esimerkki putkiluokkamerkinnästä selitteineen (PSK Standardointi 2022)

Putkiluokkien käyttö putkistosuunnittelussa nopeuttaa ja helpottaa suunnitteluprosessia merkittävästi, koska se antaa yksinkertaisen tavan hahmottaa putkien ja putkenosien yhteensopivuuksia keskenään. Näin suunnittelija säästyy eri standardien ja katalogien selaamiselta, sekä aikaa vievältä selvitystyöltä.

## 4.2.2 Reititys

Kun asiakas on hyväksynyt tarjouksen, voidaan siirtyä projektivaiheen ensimmäiseen vaiheeseen eli reititykseen. Reititystä lähdetään tekemään tarjousvaiheessa tehdyn mallin pohjalta.

Putkiston reitityksessä tavoitteena on löytää toimiva ja kustannustehokas reitti prosessilaitteiden välille. Reitityksessä on syytä huomioida useita eri asioita, jotta reitityksestä tulee kaikista näkökulmista mahdollisimman toimiva. Huomioitavia asioita ovat muun muassa putkiston pääreitit ja tilantarve, putkisiltojen ja putkikatujen käyttö, putkiston lämpöliikkeit, kannakointi ja tuenta, putkistovarusteet ja instrumentit, kaapelireitit ja ilmastointikanavat, sekä ajo-, huolto-, kulku- ja hätäpoistumistiet. (PSK 2402, 2021, 13.)

Reitityksessä käytetään apuna alustavia lähtötietoja. Projektista riippuen lähtötietoja voi olla hyvin suuri määrä, mutta tässä mainitaan vain merkittävimmät ja yleisimmät lähtötiedot putkistosuunnittelun kannalta. Näitä ovat muun muassa tarjousvaiheen 3D-malli, PI-kaaviot, putkiluettelot, venttiililuettelot, käyttöliittymäluettelot, rakenteelliset vaatimukset putkistolle, kattilan letku- ja putkispesifikaatiot, sekä kattilan lämpölaajenemspiirustukset. (Sumitomo SHI FW 2017, 10.)

Tietyissä kohti reititystä putkissa on syytä käyttää viettokulmia eli kaatoja, jos putkiston halutaan tyhjentävän itsestään. Tällainen tarve on esimerkiksi kondensaatioputkistoissa. Putkistoon lisätään myös alustavat putkitukien ja -kannakkeiden sijainnit suoritettavaa joustavuusanalyysiä varten. (Vartiainen 2020b.)

Joustavuusanalyysin tarkoituksena on varmistaa, että putkisto kestää sen omasta painosta ja muista siihen kohdistuvista kuormista aiheutuvat rasitukset. Kuormia tapauksesta riippuen putkistoon aiheuttavat putkiston sisäinen ja ulkoinen paine, lämpötila, putkiston ja sen sisällön paino, ilmastolliset kuormat, sisällön dynaamiset vaikutukset, erilaiset värähtelyt, seismiset vaikutukset, sekä muut maaperän ja rakennusten liikkeit. Lisäksi joustavuusanalyysiin on erittäin tärkeää sisällyttää myös putkiston lämpölaajenemisen ja -supistumisen sekä muiden siirtymien aiheuttamat vaikutukset. (SFS-EN 13480-3, 2024, 10,124.) Mikäli projekti tai työ kuuluu EN-standardien alaisuuteen, joustavuusanalyysi suoritetaan standardin EN13480-3 luvun 12 mukaisesti.

## 4.2.3 Perussuunnittelu

Putkistosuunnittelun perussuunnitteluvaiheessa viimeistellään perusmallin reititykset. Tehdyt reititykset, viettokulmat, putkispesifikaatiot, malliparametrit ja eristykset päivitetään vastaamaan senhetkisiä suunnittelukriteerejä. Putkiston primääri- ja sekundäärikannakkeet mallinnetaan suoritettun joustavuusanalyysin perusteella. (Vartiainen 2020b.) Primäärikannakkeilla tarkoitetaan kannakkeita, jotka liittyvät suoraan kannakoitavaan putkeen, ja sekundäärikannakkeilla kannakkeita, joilla primäärikannakkeet liitetään kantavaan rakenteeseen (PSK 2402 , 2021, 12).

Putkikannakkeet jaetaan standardin SFS-EN 13480-3 mukaan kolmeen eri kategoriaan, joita ovat jäykät kannakkeet, joustavat kannakkeet ja sekundäärikannakkeet. Kannakkeilla kannatetaan putkiston ja siinä olevien putkistovarusteiden painoa, estetään tai rajoitetaan putkiston liikettä vähintään yhden vapausasteen suhteen, sekä ohjataan ja siirretään putkistosta tulevia kuormia muihin rakenteisiin. (SFS-EN 13480, 2024, 143.)

SFS-EN 13480-3 mukaan putkikannakkeet on luokiteltava kannakointiluokkiin direktiivin PED 2014/68/EU määrittämien putkiston PED-luokitusten perusteella. Tämä luokittelutapa on esitettyinä taulukossa 1.

Taulukko 1. Kannakkeiden luokittelu (SFS-EN 13480-3, 2024, 143)

Putkiston PED-luokka	Kannakeluokka
I / ei luokkaa (x)	S 1
II	S 2
III	S 3
(x Luokka sisältää jäsenvaltion hyvän konepajakäytännön (SEP, PED artikla 4.3).	

Käyttötarkoituksen perusteella putkiston primäärikannakkeet voidaan jakaa kahteen kategoriaan, joita ovat kiintopisteet ja ohjauskannakkeet. Kiintopisteillä tarkoitetaan putkitukia tai -kannakkeita, joilla putken liike ja kiertyminen estetään joka suunnassa. Ohjauskannakkeet on kannakkeita, jotka sallivat putken liikkeen ennalta määrättyyn suuntaan estäen samalla putken liikkeen vähintään yhteen suuntaan. (SFS-EN 13480-3, 2024, 144.)

Standardin EN13480-3 mukaisia putkikannakkeita on saatavilla markkinoilla valmiiksi standardoituna. Suomalainen PSK Standardointi on standardisoinut omat putkikannakkeet EN-standardia noudattaen, minkä vuoksi niitä voi suoraan käyttää EN-projekteissa ja -töissä. Lisäksi putkikannakkeisiin erikoistunut saksalainen LISEGA Group valmistaa kyseisen EN-standardin mukaisia putkikannakkeita.

Putkistosuunnittelun perussuunnitteluvaiheeseen kuuluu myös liitosten ja komponenttien tarkistus, johon sisältyvät muun muassa venttiilien ja instrumenttien halkaisijoiden sekä osien nimeämisten tarkistukset (Vartiainen 2020b). Tyypilliset putkistoissa käytettävät putkiliitostyyppit ovat hitsausliitos, laipaliitos, pantaliitos ja kierrelliitos (PSK 2402, 2021, 15). Lisäksi mallille suoritetaan törmäystarkastus, jotta varmistetaan siitä, ettei putkisto törmää muihin komponentteihin. (Vartiainen 2020b.)

Kun edellä mainitut seikat on suoritettu, tehdään päivitetylle putkistomallille uusi joustavuusanalyysi. Joustavuusanalyysin tulosten pohjalta tehdään vielä tarvittavat muutokset putkistoon, kuten putkikannakkeiden siirrot optimaalisiin sijainteihin, tarvittavat reittimuutokset, putkikannakkeiden tyypit ja kiintopisteet. Joustavuusanalyysi on suoritettava kaikille ASME BPVC.I ja EN 12952 alaisille putkistoille sekä kattilan pienikokoisille putkistoille. Lisäputkistoille joustavuusanalyysi ei ole aina pakollinen, ja niille on määritetty omat raja-arvot, jotka määrittävät onko analyysi tehtävä vai ei. (Vartiainen 2020b.)

Kun edellisessä kappaleessa mainitut muutokset on tehty putkistoon, suoritetaan vielä joustavuusanalyysi, jonka perusteella tukien ja kannakkeiden paikat päivitetään, ja mahdolliset reittitarkennukset tehdään. Joustavuusanalyysi suoritetaan aina sen jälkeen, kun uusia muutoksia joudutaan tekemään putkistoon. (Vartiainen 2020b.)

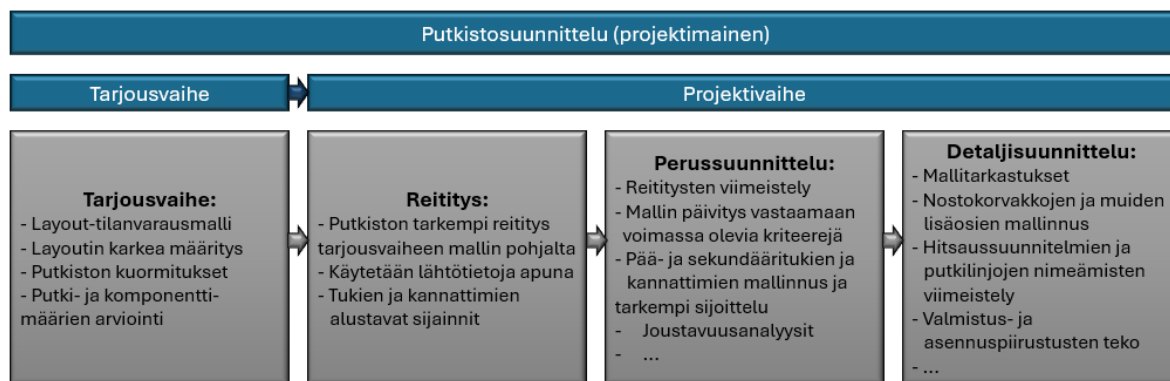
#### 4.2.4 Detaljisuunnittelu

Kun putkistomalli on valmistunut perussuunnitteluvaiheesta siirrytään detaljisuunnitteluvaiheeseen. Tässä vaiheessa tehdään loput projektikohtaiset mallinnustyöt. Näihin kuuluvat muun muassa venttiilien ja muiden komponenttien kokojen päivitys varmistuneiden tietojen mukaan, liitosten mittojen tarkistus lopullisten tietojen mukaan, nostokorvakkojen ja muiden lisäosien mallinnus, sekä hitsaus suunnitelman ja putkilinjan nimeämisten viimeistely. (Vartiainen 2020b.)

Detaljisuunnitteluvaiheen tuloksena saadaan tuotanto- ja asennusvaiheissa tarvittavat tiedot ja dokumentit. Näitä ovat lujuus- ja joustavuuslaskentarataportit, valmistus- ja asennuspiirustukset, materiaali- ja osaluettelot sekä hitsaus suunnitelmat. (Vartiainen 2020b.)

Yksi tärkeimpiä putkistoon liittyviä valmistuspiirustustyypppejä on putken valmistuspiirustus eli putkistoisometri. Putkistoisometrissä on yleensä yksi putkilinja isometrisessä kuvannossa. Kuvannon lisäksi putkistoisometrikuvaan sisällytettäviä asioita ovat muun muassa putkiston sijainnin mitat, putkiston mitat varusteineen, putkiston laiteliitäntöjen mitat, tunnistustiedot, varusteiden asennot, viedot, kannakoinnit ja niiden sijainnin mitat, virtaus suunnat, putkiluokat, toisiin piirustuksiin liittyvien linjojen tunnukset ja numerot, sekä eristykset ja pintakäsittelyt. (Pere 2021, luku 14.)

Detaljisuunnitteluvaihe on putkistosuunnitteluprosessin viimeinen vaihe. On kuitenkin mahdollista, että esimerkiksi valmistus- tai asennusteknisistä syistä putkistoon joudutaan vielä tekemään muutoksia sen valmistus- ja asennusvaiheiden aikana, jolloin putkistosuunnitteluprosessissa palataan takaisin perussuunnitteluvaiheeseen kyseiseltä osin. Putkistosuunnitteluprosessia kuvaava vuokaavio on esitettyä kuvassa 5.



Kuva 5. Projektimaisen putkistosuunnitteluprosessin etenemiskaavio (Virtanen)

## 5 PUTKISTOSUUNNITTELUPERIAATTEET

Putkistosuunnittelussa on otettava huomioon useita eri näkökulmia, jotta lopputuloksena on kaikin puolin kelvollinen ja toimiva putkisto. Näistä merkittävimmät näkökulmat ovat toiminnallisuus, kokoonpantavuus, huollettavuus sekä layout. (Vartiainen 2020c.) Putkistosuunnittelijan on pidettävä kaikki nämä näkökulmat mielessään, jotta hän voi onnistua.

### 5.1 Toiminnallisuus

Putkistosuunnittelijan on äärimmäisen tärkeää suunnitellessaan putkistoa ottaa huomioon putkiston lämpöliikkeet. Lämpöliikeilmion vuoksi on syytä kiinnittää huomiota putkien kiinnityspisteisiin kattilaan ja laitteistoihin, putkien lämpöliikkeisiin, sekä putkien viettokulmiin lämpöliikkeen jälkeen. Suunnittelijan on suoritettava törmäystarkastelu lämpöliikkeen jälkeisestä tilanteesta. Lämpöliike voi olla tilanteesta riippuen laajenevaa tai kutistuvaa, mikä on otettava myös suunnittelussa huomioon. (Vartiainen 2020c.)

Putkiston jokainen suunta tulee olla tuettu, ja putkistossa tulee olla ainakin yksi kiintopiste, joka lukitsee putkiston paikoilleen. Lisäksi putkistossa on oltava useita ohjauskannakkeita niin, että jokainen suunta on tuettu. (Vartiainen 2020c.) Ohjauskannake ei siis lukitse putkea paikalleen jokaisessa suunnassa, vaan se antaa putken liikkua vapaasti vähintään yhdessä suunnassa.

Putkisto tulee olla tyhjennettävissä. Tämä voidaan saavuttaa hyvällä reitityssuunnittelulla, sekä käyttämällä putkiston viettoja ja erillisiä tyhjennysyhteitä. Tyhjennykset tulee sijoittaa lähelle toisiaan mikäli vain mahdollista. Putkistossa on myös oltava riittävästi ilmanpoistoja, jos ilmaa ei saada putkistosta pois muilla keinoilla. Huuhtelu- ja pesuyhteiden lisäys voi tietyissä tapauksissa olla tarpeellista tyhjennys- ja ilmausyhteiden lisäksi. (PSK 2402, 2021, 14.)

Jos kyseessä on höyryputkisto, on sen riittävästi lauhteenpoistosta huolehdittava. Tyypillisiä lauhteenkertymispaikkoja putkistossa ovat putkien nousukohtat, säätöventtiilit ja suljetut putken osat. (PSK 2402, 2021, 14.)

### 5.2 Kokoonpantavuus

Putkistosuunnittelijan on toiminnallisuuden lisäksi ajateltava putkiston kokoonpantavuutta. Tarkoituksena on suunnitella putkisto niin, että sen kokoonpano on mahdollisimman helppoa ja yksinkertaista. Putkiston kokoonpantavuutta voidaan parantaa muun muassa sijoittamalla putkien reitit kulkemaan lähellä teräsrakenteita, minkä ansiosta putki on helpompi kannakoida ja tukea. Tällä tavoin myös asennus on helpompaa ja turvallisempaa. Pienten putkien ryhmittely parantaa myös kokoonpantavuutta, koska tällä tavoin komponenttien löytäminen ja toisiinsa yhdistäminen on helpompaa. (Vartiainen 2020c.)

Lisäksi on mahdollista tehdä tietyissä määrin esikokoonpanoja jo työpajalla, ennen kuin komponentteja tuodaan edes asennuspaikalle. Näin helpotetaan hitsaajien työtä ja asennusaikaa asennuspaikalla.

Putkien tavoin myös putkitukien ja -kannakkeiden sijoittaminen teräsrakenteiden lähelle helpottaa kokoonpanoa merkittävästi. Pienille putkikoille on myös mahdollista käyttää samaa kannaketta, jolloin ei ole tarvetta kiinnittää jokaista putkea erikseen omiin kannakkeisiin ja tukiin. (Vartiainen 2020c.) Tämä sekä nopeuttaa että helpottaa asennusta.

Myös eristysten asentaminen on otettava huomioon (Vartiainen 2020c). Koska eristäminen tapahtuu putkiston kokoonpanon jälkeen, on suunnittelijan jätettävä suunnitteluvaiheessa eristysten asentajille riittävästi tilaa putkiston komponenttien väliin, jotta eristysten asentaminen on mahdollista.

### 5.3 Huollettavuus

Huollettavuuden päätarkoituksena on varmistaa, että kaikkien putkistolaitteiden luokse päästään, ja että niitä voidaan käyttää helposti ja turvallisesti (Vartiainen 2020c).

Tyypillisiä putkistolaitteita, joiden luokse huoltonäkökulmasta on päästävää ovat venttiilit, lämpömittarit, painemittarit, instrumentit, jousikannakkeet, kiinteät kannakkeet, iskunvaimentimet, suodattimet ja palkeet. (Vartiainen 2020c.)

Huollettavuutta voidaan parantaa sijoittamalla edellä mainitut laitteet ja komponentit lähelle teräsrakenteita, kulkureittejä ja -tasoja. Näin niiden luoksepäästävyys on mahdollisimman helppoa. Esimerkiksi venttiilit, lämpömittarit ja painemittarit on syytä sijoittaa ja asentaa siten, että niihin pääse käsiksi suoraan kulkuväyliltä ilman apuvälineitä, kuten esimerkiksi tikapuita. Kokoonpanovaiheessa on tärkeää asentaa venttiilit niin päin, että venttiilien käsipyöriä ja kääntökahvoja voi käyttää kulkuväylältä päin esteettömästi.

Huoltotilanteita ajatellen putkistosuunnittelijan on myös jaettava putkistoa riittävän moneen eri osaan venttiileillä, jotta komponenttien vaihdon yhteydessä koko putkistoa ei tarvitse tyhjentää, vaan muu putkisto voidaan sulkea vaihdon ajaksi mahdollisimman laajalta alueelta. Näin mahdollistetaan, ettei laitosta tarvitse välttämättä ajaa alas huoltojen ajaksi.

### 5.4 Layout

Putkistosuunnittelijan on putkistoa suunnitellessaan otettava huomioon koko layout, jonne putkisto sijoitetaan. Layoutin mukana huomioon otettavaksi tulevat putkiston lisäksi kaikkien muiden layoutissa olevien komponenttien toiminnallisuudet, kokoonpantavuudet ja huollettavuudet. (Vartiainen 2020c.)

Aikaisempien onnistuneiden putkistojärjestelmien kopioiminen on suotavaa työn tuplaantumisen välttämiseksi, mikäli vain mahdollista. Prosessi- ja liityntäputkistot tulee yleisesti sijoittaa maanpinnan yläpuolelle. Putkisto tulee reitittää kulkemaan vaakatasossa niin pitkälti kuin mahdollista kannakoinnin helpottamiseksi. Eri ilmansuuntiin kulkevat putkikadut ja -sillat on hyvä suunnitella kulkemaan eri korkeuksilla toisiinsa nähden, jotta yhteentörmäyksiltä vältytään. (Moran 2017, luku 34.4.)

Suunnittelijan on syytä jättää layouttiin putkisilloihin, -katuihin ja -reitteihin tietty määrä ylimääräistä tilaa mahdollisille tuleville putkilinjojen lisäyksille. Tällainen määrä voi olla esimerkiksi 30 prosenttia. (PSK 2402, 2021, 8.)

Putkisillat ja -kadut ovat pääkeino pitkien prosessiputkistojen viemiseen laitosalueen läpi laitteiden luokse. Putkisillat sijaitsevat laitosrakennusten ulkopuolella ja putkikadut laitoksen sisätiloissa. Niiden avulla reititetään useita samaan suuntaan kulkevia putkia kulkemaan samaa reittiä pitkin vierekkäin. Näin laitoksen putkistojen reitityksestä tulee selkeämpää ja siistimpää. Putkisillat ja -kadut ovat yleensä nostettuina maanpinnasta korkeammalle, ja putket makaavat niiden päällä vierekkäin rivissä. Painavimmat putket sijoitetaan putkisiltojen ja -katujen reunoille, joissa ne aiheuttavat vähiten taivutusjännitystä putkisilta- ja -katurakenteisiin. (Moran 2017, luku 34.5.)

Putkistosuunnittelijan on jätettävä putkien väliin ja ympärille riittävästi tilaa putkistovarusteille ja eristyksille. Putkistovarusteita, jotka kasvattavat putken tilantarvetta, ovat esimerkiksi laippaliitokset, venttiilit ja toimilaitteet, laipallisten varusteiden eristyskotelot ja impulssiputket. (PSK 2410, 2024, 4.)

Putkiston instrumenttien sijoittelussa on otettava huomioon useita eri tekijöitä, jotka määräävät, mihin kohti putkistoa instrumentteja on mahdollista sijoittaa. Tällaisia tekijöitä ovat muun muassa instrumentin kytkentätapa putkistoon, asento, tilantarve, vaaditut häiriöttömät suorat osuudet ennen ja jälkeen instrumentin, mittarin luettavuus, sekä asennus-, käyttö-, tarkastus- ja huoltovaatimukset. (PSK 2402, 2021, 16.)

Eristeet on otettava huomioon putkikannakkeiden valinnassa, jotta kannakkeiden korkeudet ovat sopivia eristyksen paksuuteen nähden (PSK 2410, 2024, 5). Eristyspaksuus on myös huomioitava putkistovarusteissa ja instrumenteissa (PSK 2402, 2021, 12).

Putkistosuunnittelijan on otettava huomioon muun muassa esteettömien kulkuväylien säilyminen, niiden riittävän vapaat korkeudet, tilanvaraukset huollolle ja kokoonpanolle, huoltotasot sekä kulkuluukut. Myös läpivientireikien tekoa kulkutasojen läpi on vältettävä pienten putkien tapauksissa. (Vartiainen 2020c.)

Huollolle, kokoonpanolle ja asennukselle on jätettävä riittävästi tilaa layouttiin, jotta putkiston ja muiden laitteiden asennus ja myöhempi huolto on mahdollista suorittaa. Myös huoltotasolle on jätettävä riittävästi tilaa, ja niiden on pysyttävä esteettöminä.

Kulkuluukkujen eteen ei saa reitittää putkia, koska kulkuluukkujen ovien on mahdollista aukeamaan kokonaan ja esteettömästi. Näin taataan henkilöille esteetön ja turvallinen kulku luukkujen läpi.

## 6 PUTKISTOSUUNNITTELUA RAJOITTAVAT SÄÄDÖKSET JA STANDARDIT

Putkistosuunnittelua ohjaavat ja rajoittavat erilaiset voimassa olevat säädökset, rajoitukset ja direktiivit. Se, mitkä säädökset pätevät missäkin tapauksessa riippuu muun muassa siitä, minne markkinoille ja alueelle tuotetta ollaan viemässä, ja mitä säädöksiä asiakkaan sijaintivaltiossa tai maanosassa on voimassa.

Yleisimpiä putkistosuunnittelua koskevia säädöksiä ovat EU-direktiivit, EN-standardit sekä ASME-standardit. Sumitomo SHI FW Energia Oy:n johtavan putkistosuunnittelija Asko Vartiaisen mukaan jako EN- ja ASME-standardien käytön välillä menee pääpiirteittäin niin, että EN-standardeja käytetään EU-maissa, ja ASME-standardeja sen ulkopuolella (Vartiainen 2025). Näistä putkistosuunnittelun ja opinnäytetyöaiheen kannalta merkittävimmät standardit käsitellään tässä luvussa.

### 6.1 Painelaitedirektiivi PED 2014/68/EU

Euroopan Unionin asettama painelaitedirektiivi PED 2014/68/EU velvoittaa kaikkia jäsenvaltioitaan noudattamaan kyseistä direktiiviä putkisto- ja painelaitesuunnittelussa. Direktiiviä sovelletaan kaikkiin painelaitteisiin ja laitekokonaisuuksiin, joissa suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar. (Direktiivi 2014/68/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi painelaitteiden asettamista saataville markkinoille koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta, 1 artikla.)

Direktiivi asettaa turvallisuusvaatimukset painelaitteille. Turvallisuusvaatimusten taso riippuu painelaitteen vaarallisuusluokituksesta, jonka direktiivi määrittää. Direktiivin mukaan painelaitteet jaetaan vaaraluokkiin I-IV sen mukaan, kuinka vaaralliseksi painelaite ja sen sisällä oleva aine katsotaan. Tähän vaikuttavat myös laitteen suurin sallittu käyttöpaine sekä ominaistilavuus. Luokka I on vaarattomin luokka, ja luokka IV vaarallisin. Vaaraluokkien lisäksi direktiivi määrittää jokaiseen vaaraluokkaan soveltuvat turvallisuusvaatimusten arviointimenettelytavat eli moduulit. Moduuleja on A-H1, joista A on vähiten vaativin arviointimenettely, ja H1 kaikista vaativin. (Direktiivi 2014/68/EU, 13-14 artiklat.)

Painelaittevalmistajan on suoritettava laitteelle sen moduulin mukaiset arvioinnit, annettava EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus ja kiinnitettävä CE-merkintä laitteeseen. (Direktiivi 2014/68/EU, 17-19 artiklat.)

Direktiivi velvoittaa painelaitteelle tehtäväksi asianmukaiset lujuuslaskennat, joissa on otettava huomioon paineenkesto sekä muut rasitukset. Lisäksi direktiivi velvoittaa painelaitteelle tehtäväksi lopputarkastuksen, johon sisältyy muun muassa koeponnistus. (Direktiivi 2014/68/EU, liite 1.)

### 6.2 EN-standardit

Kaikki voimassa olevat eurooppalaiset standardit eli EN-standardit noudattavat voimassa olevia EU-direktiivejä. Tämän ansiosta noudattamalla ajan tasalla olevia EN-standardeja täyttyvät myös EU-direktiivin asettamat vaatimukset. Putkistosuunnittelua koskevia EN-standardeja on useita, etenkin jos mukaan lasketaan myös putkistokomponentteja ja materiaaleja koskevat standardit.

### 6.2.1 SFS-EN 13480-3:2024

Suomen kansalliseksi standardiksi hyväksytty standardi SFS-EN 13480-3 ”Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta” määrittää putkistosuunnitteluun ja lujuuslaskentaan liittyviä rajoitteita ja ohjeita. Standardi esittää valinnaisen tavan täyttää PED 2014/68/EU direktiivin asettamat vaatimukset (SFS-EN 13480-3, 2024, 357).

SFS-EN 13480-3 sisältää muun muassa suunnittelun perusteisiin, suunnittelujännityksiin, sisäisen paineen alaisten putkiston rakenneosien suunnitteluun, sisäisen paineen alaisten päätyjen suunnitteluun, aukkoihin ja haaroituksiin, ulkoisen paineen alaisten putkiston rakenneosien suunnitteluun, vaihtokuormitetun putkiston suunnitteluun, kiinteisiin kiinnittimiin, joustavuusanalyysiin sekä putkikannattimiin liittyviä vaatimuksia, rajoituksia ja ohjeita. (SFS-EN 13480-3, 2024, 2-3).

### 6.2.2 SFS-EN 12952-3:2022

Suomen kansallinen standardi SFS-EN 12952-3 ”Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 3: Paineenalaisten osien suunnittelu ja laskenta” määrittää vesiputkikattiloille ja sen oheislaitteille vaatimuksia ja rajoituksia. Standardi esittää edellisen standardin tavoin vaihtoehdoisen tavan täyttää PED 2014/68/EU direktiivin olennaiset vaatimukset (SFS-EN 12952-3, 2022, 154).

SFS-EN 12952-3 käsittelee paineenalaisten komponenttien, kuten lieriöiden, kammioiden, aukkojen, yhteiden, putkien, päätyjen, pallovaippojen ja epäsäännöllisen muotoisiin paneenalaisiin osiin liittyviä vaatimuksia ja ohjeita suunnittelun sekä laskennan kannalta. Lisäksi standardi käsittelee myös väsymisilmiötä ja väsymisanalyysiä (SFS-EN 12952-3, 2022, 2-3).

### 6.2.3 Muita putkistosuunnitteluun liittyviä EN-standardeja

Edellä mainittujen EN-standardien lisäksi on olemassa lukuisia muita putkistosuunnittelun kannalta merkittäviä ja tärkeitä EN-standardeja, joita suunnittelussa on syytä ottaa huomioon. Muita putkistosuunnitteluun liittyviä standardeja ovat muun muassa SFS-EN 13480 osat 1-5, sekä SFS-EN 12952 osat 1-6, jotka toimivat aikaisemmin mainittujen putkistosuunnittelustandardien lisäosina.

Lisäksi on olemassa monia putkistokomponentteja koskevia standardeja. Näitä ovat muun muassa laippa- ja laippaliitosstandardit SFS-EN 1092 osat 1-4, laippojen pulttiliitosstandardit SFS-EN 1515 osat 1-4, päittäishitsattavien putkenosien standardit SFS-EN 10253 osat 1-4, saumattomien painelaiteteräsputkien standardit SFS-EN 10216 osat 1-5, sekä venttiilistandardi SFS-EN 588. Putkistosuunnittelijan on osattava hakea tietoa kyseisistä standardeista ja käyttää kyseisiä standardeja suunnittelutyönsä tukena.

### 6.3 ASME-standardit

ASME on lyhenne sanoista ”American Society of Mechanical Engineers.” ASME-standardit ovat Yhdysvalloissa kehitettyjä, maailmanlaajuisesti käytettyjä standardeja. ASME-standardit ovat riippumattomia EU-direktiiveistä ja EN-standardeista ja eroavat niistä, minkä vuoksi niitä ei voida suoraan yhdistää toisiinsa. Tämän vuoksi tuotteille tai projekteille valitaan yleensä joko EN- tai ASME-standardit, joiden mukaisesti toimitaan.

ASME on standardoinut putkistoihin ja putkistosuunnitteluun liittyviä asioita hyvin laajasti, minkä vuoksi tässä työssä käsitellään vain työn kannalta merkittävimmät ja tärkeimmät putkistosuunnittelua koskevat ASME-standardit. Näitä ovat kattilalaitosten suunnittelua koskeva standardi ASME BPVC.1-

2023 ”2023 ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section I, Rules for Construction of Power Boilers”, voimalaitosputkistoja koskeva standardi ASME B31.1-2024 ”Power Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31”, sekä ASME B31.3-2024 ”Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31.”

### 6.3.1 ASME BPVC.1-2023

ASME BPVC.1-2023 ”2023 ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section I, Rules for Construction of Power Boilers” on erittäin laaja voimalaitoskattiloiden valmistukseen liittyvä standardi. Standardi sisältää kattilalaitoksen suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä vaatimuksia ja ohjeita. Standardiin sisältyvät myös kattilalaitoksen putkistot.

Standardi asettaa vaatimuksia muun muassa kattilalaitoksen putkistoissa käytettäville materiaaleille käyttökohteittain, putkistoissa käytettäville laipoille, putkenosille ja venttiileille, kattilan sisäpuoliselle ja ulkopuoliselle putkistolle, putkistojen merkitsemiselle, putkien ja venttiilien kohdakkaisuuksille, sekä hitsiliitoksille ja muille sallituille liitostavoille (ASME BPVC.1, 2023, iii-ix).

### 6.3.2 ASME B31.1-2024

Standardi ASME B31.1-2024 ”Power Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31” on standardin ASME BPVC.1-2023 kanssa yhdenmukainen niissä kohdissa, joita voidaan soveltaa voimalaitosputkistoihin (ASME B31.1, 2024, ix). ASME B31.1 käsittelee vain voimalaitosputkistoihin liittyviä asioista, eikä muita kattilalaitoskomponentteja.

ASME B31.1-2024 sisältää muun muassa viittauksia hyväksyttäviin materiaali- ja komponenttistandardeihin, suunnitteluvaatimuksia komponenteille ja kokoonpanoille mukaan lukien putkikannakkeet, vaatimuksia ja tietoa paineesta, lämpötilasta ja muista voimista johtuvien jännitysten ja liikkeiden arviointiin ja rajoittamiseen, rajoituksia ja ohjeita materiaali-, komponentti- ja liitostapavalintoihin, vaatimuksia putkiston valmistukseen, kokoonpanoon ja asennukseen liittyen, vaatimuksia putkiston tarkastukseen ja testaamiseen, sekä vaatimuksia putkistojärjestelmän käyttöön ja kunnossapitoon liittyen. (ASME B31.1, 2024, xv)

### 6.3.3 ASME B31.3-2024

Standardi ASME B31.3-2024 ”Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31” on prosessiteollisuuden putkistoja käsittelevä standardi. Standardiin eivät sisälly voimalaitosten putkistot. Standardi on kehitetty käytettäväksi erilaisissa prosessiteollisuuden putkistoissa. Käyttökohteita ovat muun muassa öljyjalostamot, öljyn ja maakaasun tuotantolaitokset, kemianteollisuuden, lääketeollisuuden, tekstiiliteollisuuden ja paperiteollisuuden laitokset, malmijalostamot, puolijohdeiden tuotantolaitokset, sekä ruuan- ja juomankäsittelylaitokset (ASME B31.3, 2024, 2).

ASME B31.3-2024 sisältää samat pääkohdat, kuin standardi ASME B31.1-2024. Tämän lisäksi ASME B31.3 sisältää tavallisten metallisten putkistojen lisäksi ohjeita ja vaatimuksia myös muunlaisille materiaaleille ja putkistotyypeille. Standardi esittää putkistokategoriointimenetelmän, joka määrittää, mitkä vaatimukset pätevät kyseiselle putkistolle (ASME B31.3, 2024, liite M). Tavallisten metallisten putkistojen lisäksi standardi käsittelee epämetalliputkistoja, epämetallipäällysteisiä putkistoja, D-kategorian palveluputkistoja, M-kategorian palveluputkistoja, korkeapaineisia putkistoja, sekä korkean puhtauden putkistoja (ASME B31.3, 2024, iii-viii).

## 7 TYÖKALUN TÄYDENTÄMINEN, KONFIGUROINTI JA KEHITTÄMINEN KÄYTTÖVALMIUTEEN

Autodesk Inventoriin sisäänrakennettu putkistosuunnittelutyökalu Tube & Pipe on monipuolinen ja tiettyissä putkistosuunnittelutöissä tehokas työkalu. Jotta työkalua voitiin alkaa käyttämään suunnittelussa, oli työkalu ensin täydennettävä ja konfiguroitava sisältämään ne komponentit ja ominaisuudet, joita haluttiin käyttää. Lisäksi työkaluun kehitettiin sen käyttöä helpottavia ominaisuuksia, jotka eivät suoranaisesti olleet pakollisia työkalun toimivuuden kannalta.

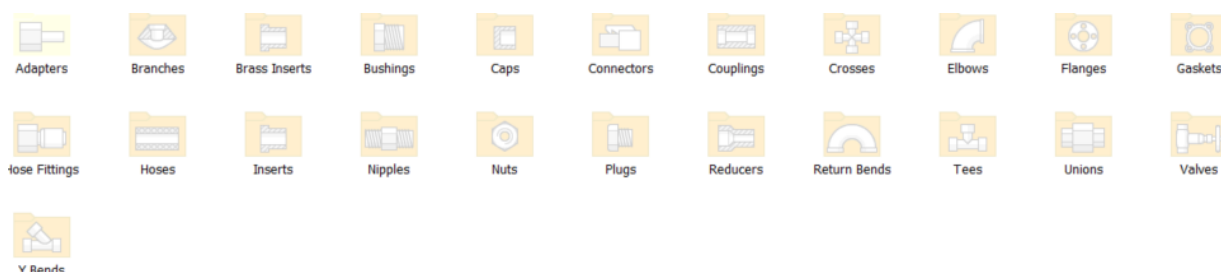
### 7.1 Työkalun täydentäminen ja konfigurointi

Tube & Pipe-työkalun täydentämis- ja konfigurointivaihe voidaan jakaa neljään osavaiheeseen. Ensimmäisenä työkalun alkuperäiset Content Center-kategoriat palautettiin Content Centeriin takaisin alkuperäiseen tilaansa. Tämän jälkeen luotiin standardin PSK 4206 putkiluokkaan E16C1B kuuluvien komponenttien älykkäät 3D-mallit eli iPartit. iParttien luomisen jälkeen komponentit autoroitiin putkistosuunnittelutyökalua varten, ja sen jälkeen ne julkaistiin Content Centeriin Tube & Pipe-kategorioiden alle. Lopuksi työkaluun konfiguroitiin PSK 4206 standardin mukainen putkiluokka molempiin putkistotyyleihin, sekä niiden asetukset ja säännöt määritettiin.

#### 7.1.1 Alkuperäisten Content Center-kategorioiden palauttaminen

Työn alkutilanteessa toimeksiantajan Content Centeristä oli poistettu suurin osa Tube & Pipe-komponenteista ja kategorioista. Jotta työkalu voi toimia oikein ja löytää hakemistonsa Content Centeristä putket, putkenosat ja putkivarusteet, on kyseisten komponenttien sijaittava alkuperäisissä Tube & Pipe-kategorioissaan. Lisäksi uusien Tube & Pipe-autoroitujen komponenttien julkaiseminen Content Centeriin ei myöskään toimi työkalun kannalta oikealla tavalla ilman alkuperäisiä kategorioita.

Kyseinen ongelma ratkaistiin ottamalla yhteyttä ohjelmistotoimittajaan, minkä myötä alkuperäiset Tube & Pipe-kategoriat saatiin palautettua Content Centeriin. Työn toimeksiantajan Autodesk Vault PDM-järjestelmään lisättiin Autodesk Inventor 2025 alkuperäiskirjasto "Inventor Routed Systems", jossa alkuperäiset Tube & Pipe-kategoriat sijaitsevat. Kirjasto ei sisältänyt alkuperäisiä Tube & Pipe Content Center-komponentteja, mutta tämä ei kuitenkaan haitannut, koska kyseisiä alkuperäiskomponentteja ei ollut tarkoituskaan lisätä takaisin. Alkuperäisen kirjaston sisältämät Fittings-kategoriat ovat esitettynä kuvassa 6.



Kuva 6. Alkuperäiset Inventor Routed Systems-kirjaston Fittings-kategoriat (Virtanen 2025)

Koska kyseessä on Autodesk Inventorin oma Content Center-kirjasto, ei siihen voi tehdä muutoksia. Tämän vuoksi kirjaston kategoriat kopioitiin toiseen toimeksiantajan omaan kirjastoon, ja näin sisältöä pystyttiin muokkaamaan. Kirjaston sisältämät, toimeksiantajan kannalta turhat Tube & Pipe-kategoriat poistettiin, ja uusien omien komponenttien lisääminen kategorioihin aloitettiin.

### 7.1.2 Tube & Pipe-komponenttien iPart-mallien luominen

Tube & Pipe- työkalu päätettiin rakentaa PSK-putkiluokkien mukaan. Ensimmäiseksi lisättäväksi putkiluokaksi valittiin standardin PSK 4206 putkiluokka E16C1B. Putkiluokan komponentit ovat painelaitteikäyttöön tarkoitettuja, kuumalujasta seostamattomasta teräksestä valmistettuja komponentteja, joiden suurin sallittu käyttöpaine on 16 bar.

Putkiluokan komponenteista mallinnettiin standardin EN 10216-2 mukainen putki, sekä standardin EN 10253-2 mukaiset putkikäyrät, päädyt, kartiot eli supistukset sekä T-putket. Lisäksi mallinnettiin standardin EN 1092-1 mukainen 11-B1 tyyppin kauluslaippa, tyyppin 05 umpilaippa, sekä standardin EN 1514-1 mukainen IBC-tyypin tiiviste. Kaikki komponentit mallinnettiin standardien mukaisesti. Putkiluokan sisältämien komponenttien lisäksi mallinnettiin kaksi toimeksiantajan omaa putkiyhdytystä, jotka noudattavat standardia EN 12952-5.

Jokaisesta yllä mainitusta komponentista tehtiin parametreillä ohjattava älykäs 3D-malli eli iPart. Ensiksi komponentista tehtiin tavallinen 3D-malli, jonka muutettavat parametrit, kuten halkaisijakoot, kulma- ja sädemitat sekä pituudet määritettiin ohjattaviksi parametreiksi. Esimerkkinä putkikäyrän 3D-mallille määritetyt parametrit ovat esitettynä kuvassa 7.

Parameter Name	Consumed by	Unit/Type	Equation	Nominal Value	Toleranc	Model Value	Key	E	Comment
<b>Model Parameters</b>									
alpha	Elbow path	deg	90 deg	90,000000	● <Def	90,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
R	Elbow path	mm	28 mm	28,000000	● <Def	28,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OD	ID, Elbow p...	mm	21,3 mm	21,300000	● <Def	21,300000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ID	Elbow profile	mm	OD - 2 ul * T_w	17,300000	● <Def	17,300000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d103	Elbow	deg	0 deg	0,000000	● <Def	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d104	Elbow	deg	0 deg	0,000000	● <Def	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>User Parameters</b>									
T_w	ID	mm	2 mm	2,000000	●	2,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Kuva 7. 90 asteen putkikäyrän 3D-mallin parametrit (Virtanen 2025)

Parametrien määrittämisen jälkeen 3D-mallista tehtiin iPart "Create iPart"-komennolla. iParttiin määritettiin avainparametrit, joiden avulla eri osavaraatit tullaan valitsemaan Content Centeriin julkaisemisen jälkeen. 90 asteen putkikäyrän tapauksessa avainparametreiksi määritettiin nimellishalkaisija ja seinämävahvuus. Putkikäyrän taivutuskulmaparametrin sarakkeesta tehtiin "custom parameter column", mikä mahdollistaa Content Center-komponentin taivutuskulman valinnan täysin vapaasti.

iPart-tilukseen lisätiin muiden osavariaatioiden mitat, sekä halutut osanumerot ja tiedostonimet Excel-tiluksen avulla valitsemalla tiluksen muokkaustavaksi "Edit via Spreadsheet". 90 asteen putki-käyrän iPart Excel-tilusku on esitettyä kuvassa 8.

Member<defaultRow>1</defaultRow><filename></filename>	Part Number [Project]	alpha<free>90</free> R	DN	OD	ID	T_w<key>1</key>	DN/OD<key>0</key>	
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-21,3x2	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-21,3x2	90	28	15	21,3	OD - 2 ul * T_w	2	15/21,3
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-26,9x2,3	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-26,9x2,3	90	29	20	26,9	OD - 2 ul * T_w	2,3	20/26,9
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-33,7x2,6	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-33,7x2,6	90	38	25	33,7	OD - 2 ul * T_w	2,6	25/33,7
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-42,4x2,6	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-42,4x2,6	90	48	32	42,4	OD - 2 ul * T_w	2,6	32/42,4
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-48,3x2,6	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-48,3x2,6	90	57	40	48,3	OD - 2 ul * T_w	2,6	40/48,3
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-60,3x2,9	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-60,3x2,9	90	76	50	60,3	OD - 2 ul * T_w	2,9	50/60,3
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-76,1x2,9	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-76,1x2,9	90	95	65	76,1	OD - 2 ul * T_w	2,9	65/76,1
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-88,9x3,2	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-88,9x3,2	90	114	80	88,9	OD - 2 ul * T_w	3,2	80/88,9
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-114,3x3,6	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-114,3x3,6	90	152	100	114,3	OD - 2 ul * T_w	3,6	100/114,3
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-139,7x4	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-139,7x4	90	190	125	139,7	OD - 2 ul * T_w	4	125/139,7
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-168,3x4,5	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-168,3x4,5	90	229	150	168,3	OD - 2 ul * T_w	4,5	150/168,3
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-219,1x6,3	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-219,1x6,3	90	305	200	219,1	OD - 2 ul * T_w	6,3	200/219,1
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-273x6,3	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-273x6,3	90	381	250	273	OD - 2 ul * T_w	6,3	250/273
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-323,9x7,1	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-323,9x7,1	90	457	300	323,9	OD - 2 ul * T_w	7,1	300/323,9
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-355,6x8	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-355,6x8	90	533	350	355,6	OD - 2 ul * T_w	8	350/355,6
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-406,4x8,8	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-406,4x8,8	90	610	400	406,4	OD - 2 ul * T_w	8,8	400/406,4
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-457x10	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-457x10	90	686	450	457	OD - 2 ul * T_w	10	450/457
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-508x11	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-508x11	90	762	500	508	OD - 2 ul * T_w	11	500/508
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-610x12,5	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-610x12,5	90	914	600	610	OD - 2 ul * T_w	12,5	600/610
Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-711x14,2	Elbow-EN 10253-2-type A-model 3D-90 deg-711x14,2	90	1070	700	711	OD - 2 ul * T_w	14,2	700/711

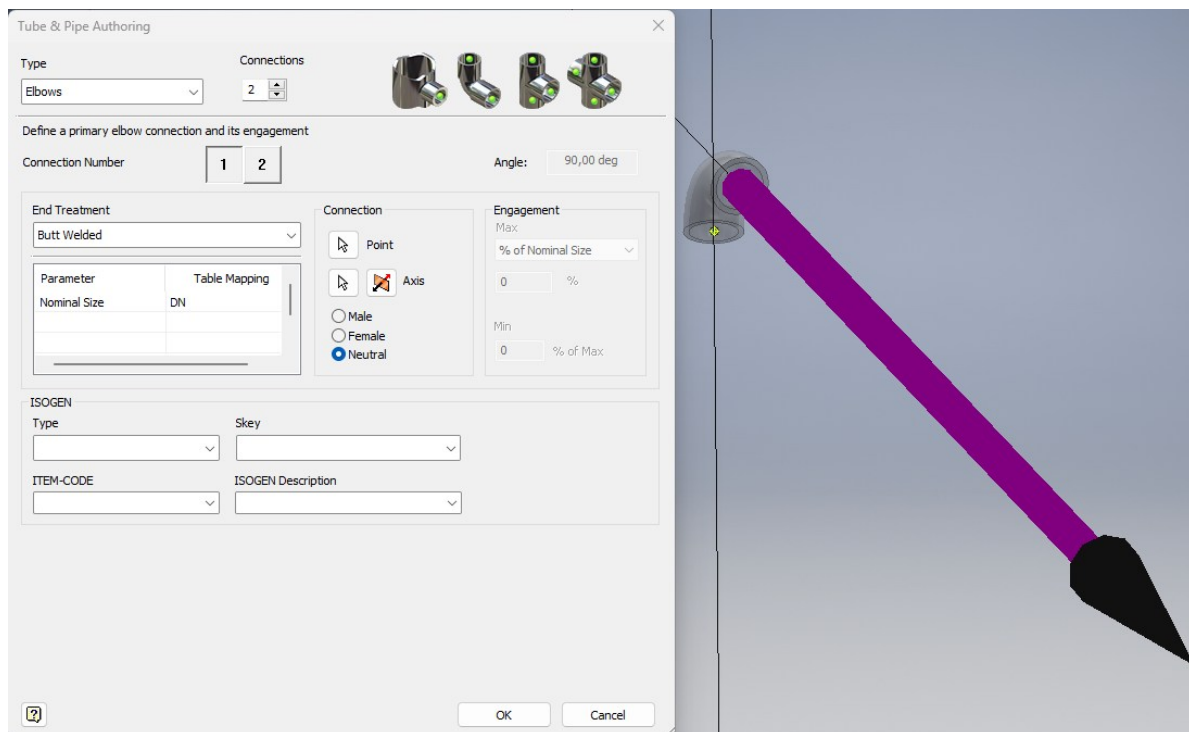
Kuva 8. 90 asteen putkikäyrän iPart-tilusku (Virtanen 2025)

Tiluksen täyttämisen jälkeen ohjelmisto loi tiluksen pohjalta muut osavariaatiot iPart-tiedostoon, minkä jälkeen iPart-osat olivat valmiita Tube & Pipe-autoroimista ja Content Centeriin julkaisemista varten.

### 7.1.3 Tube & Pipe-komponenttien autoroiminen ja julkaiseminen

Autodesk Inventor sisältää oman työkalun Tube & Pipe-komponenttien autoroimista varten. Kyseinen työkalu on "Tube & Pipe Auhtoring". Työkalulla määritetään komponentin osatyyppi, liitosten lukumäärä, liitostyytit, liitospäiden käyttäytymiset sekä yhdistetään komponentin parametrit Tube & Pipe-talokuun.

90 asteen putkikäyrän tapauksessa putken osatyyppiä valittiin ”Elbows”, ja liitosten lukumääräksi kaksi kappaletta. Liitostyyppiä molempiin liitoksiin valittiin päittäishitsattava. Liitospäiden pinnat ja akselit määritettiin, sekä osan nimellishalkaisijan parametrit yhdistettiin. 90 asteen putkikäyrän autorointiasetukset ovat esitettyinä kuvassa 9.



Kuva 9. 90 asteen putkikäyrän Tube & Pipe Authoring-asetukset (Virtanen 2025)

iPartien Tube & Pipe-autoroinnin jälkeen komponentit julkaistiin Content Centeriin ”Publish Part”-komennolla. Komennolla määritetään, mihin kirjastoon ja kategoriaan komponentit julkaistaan, yhdistetään komponenttien parametrit Content Centeriin, valitaan Content Center-osien avainsarakkeet, sekä määritetään komponentin nimet ja tiedot.

90 asteen putkikäyrän tapauksessa komponentin sijainniksi Content Centerissä valittiin EN-kirjasto ja ”Elbows”-kategoria. Tube & Pipe-autoroidun iPartin parametreista DN-koko yhdistettiin julkaistavan Content Center-komponentin molempien liitosten nimellishalkaisijaparametreiksi. Muita parametrejä ei yhdistetty, koska muiden parametrien yhdistäminen ei ollut kyseisen komponentin tapauksessa pakollista tai tarpeellista. Avainparametreiksi eli Content Center-komponentin valittavissa oleviksi parametreiksi määritettiin nimellishalkaisija, seinämävahvuus, taivutuskulma, sekä materiaali. Kyseiset parametrit ovat halutessaan suunnittelijan itse valittavissa ja muutettavissa komponenttia lisätessä kokoonpanoon. Viimeiseksi komponentin nimi, selite ja kansion nimi määritettiin, sekä komponentin standardiorganisaatio ja standardi lisättiin.

#### 7.1.4 Tube & Pipe-tyylijen konfiguroiminen

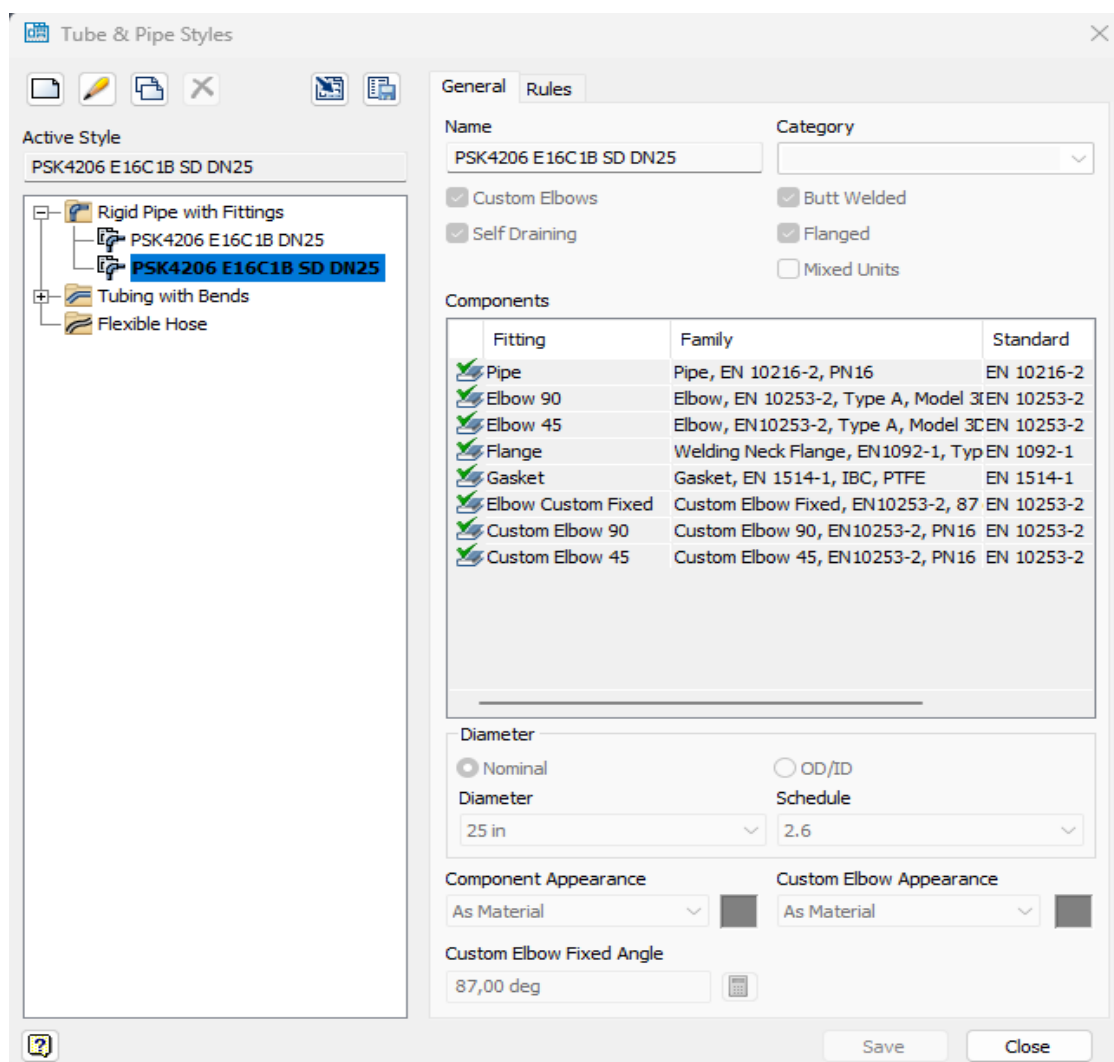
Kun uudet Tube & Pipe-komponentit saatiin julkaistua Content Centeriin, aloitettiin Tube & Pipe-tyylijen konfiguroiminen. Tube & Pipe sisältää kolme tyyliä, jotka ovat ”Rigid Pipe with Fittings”, ”Tubing with Bends” ja ”Flexible Hose”. Kyseisistä tyylytyypeistä joustavan letkun tyyppiä ei lähdetty kehittämään, koska sitä ei tarvittu toimeksiantajan putkistosuunnittelutöissä. Muihin tyylikategorioihin konfiguroitiin standardin PSK 4206 putkiluokan E16C1B mukaiset tyylit.

”Rigid Pipe with Fittings”-tyylityyppi luo suoria putkia, jotka yhdistyvät putkenosiin kuten putkikäyriin. Kyseinen putkityyli tarvitsee toimiakseen vähintään putken ja 90 asteen putkikäyrän. Todellisuudessa, jotta putkityyllillä voi tehokkaasti mallintaa putkistoja, on tyyliin sisällytettävä myös muita komponentteja. Nämä komponentit voi lisätä tyyliin sen jälkeen, kun tyylin yleisasetuksista on aktivoinut valinnaisia lisäominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ovat päittäishitsattavuus, itsestään tyhjenevyys, vapaan taivutuskulman putkikäyrät eli ”custom elbows”, sekä laipallisuus. Kun kaikki kaikki vapaavalintaiset lisäominaisuudet ovat aktiivisina, voi tyyliin sisällyttää kaiken kaikkiaan putken, 90 asteen ja 45 asteen putkikäyrät, laipan, tiivistein, viettokulmaputkikäyrän, sekä vapaan taivutuskulman 90 asteen ja 45 asteen putkikäyrät.

Tyylin yleisasetuksista voi myös valita putken nimellishalkaisijan, sekä ”schedulen” eli ASME B36.10-standardissa esitetyn putken paineluokituksen. Koska kyseessä on PSK putkiluokka, joka koostuu EN-standardikomponenteista, ei ASME-paineluokkavalintaominaisuutta otettu käyttöön. Kyseisessä kohdassa näkyy tässä tapauksessa valitun putken seinämävahvuus.

Tyylin sääntöasetuksista määritetään putkiosien minimi- ja maksimipituudet sekä vakiotaivutussäde. Lisäksi määritetään ilmaraon leveys, jos tyyli on päittäishitsattava, sekä valitaan käytetäänkö laippoja liitinkappaleina, jos tyyli on laipallinen. Tällöin tyyli lisää automaattisesti laippaliitoksen kohtiin, joissa tavallisesti olisi hitsiliitos.

Toimeksiantajalle konfiguroitiin edellä mainitusta PSK-putkiluokasta kaksi Rigid Pipe with Fittings-tyylityypin tyyliä, joista toinen on itsestään tyhjenevä, ja toinen ei. Tyylit ja niiden yleisasetusnäkyvät ovat esitettynä kuvassa 10.

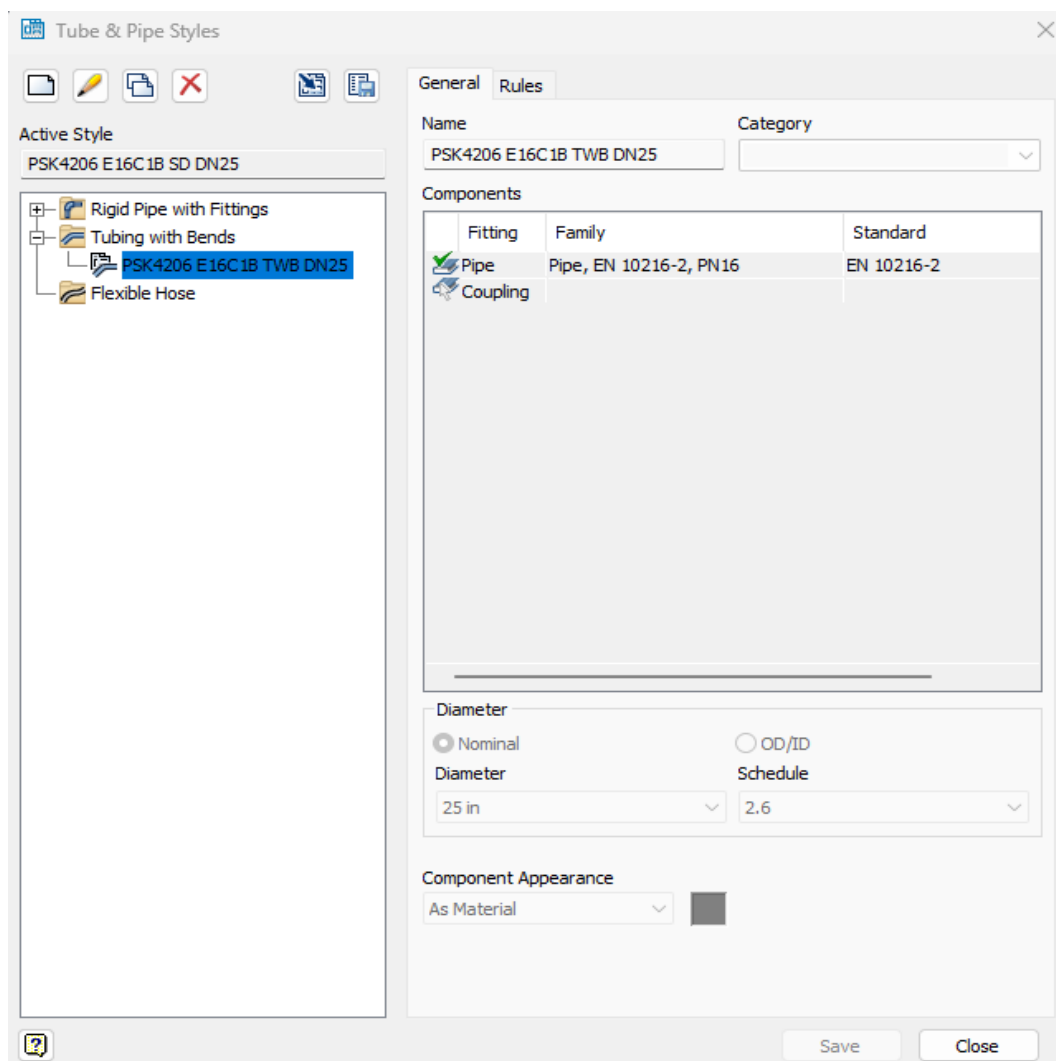


Kuva 10. Rigid Pipe with Fittings-tyylit ja yleisasetukset (Virtanen 2025)

Tubing with Bends-tyylityyppi luo putkea, joissa reitin käännöskohtiin se tekee putkeen taivutukset. Tyyliin sisältyy ainoastaan putki, sekä valinnaisesti myös liitinkappale, jolla putket liitetään toisiinsa. Tyyliin ei ole mahdollista sisällyttää mitään muita komponentteja, eikä se sillä lisäominaisuuksia.

Tyylin yleisasetuksista voi Rigid Pipe with Fittings-tyylin tavoin muuttaa putken nimellishalkaisijaa sekä "schedulea", jos kyseinen parametri on yhdistetty putken Content Center-osan vastaavaan parametriin Tube & Pipe-autorointivaiheessa. Tässä tapauksessa tätä ei tehty edellä mainituista syistä. Tyylin sääntöasetuksista määritetään putkiosan minimi- ja maksimipituudet, pituuden mitan porrassväli, sekä vakioitaivutussäde.

Toimeksiantajalle konfiguroitiin edellä mainitusta PSK-putkiluokasta E16C1B yksi Tubing with Bends-tyylityyppiin tyyli. Tyyliin ei lisätty liitinkappaletta, koska toimeksiantajan putkistosuunnittelutöissä ei käytetä putkiliittimiä. Kyseinen tyyli ja sen yleisasetukset ovat esitettynä kuvassa 11.



Kuva 11. Tubing with Bends-tyyli ja yleisasetukset (Virtanen 2025)

## 7.2 Työkalun kehittäminen

Työkalun täydentämis- ja konfigurointivaiheen jälkeen siirryttiin työkalun kehittämisvaiheeseen, jonka tavoitteena oli tehdä tarvittavat toimenpiteet työkalun käytön tehokkuuden ja helppokäyttöisyyden parantamiseksi. Työkalulla luotavien tiedostojen nimeämistä ja tallentamista helpottamaan luotiin Tube & Pipe-tiedostoille oma automaattinen nimeämisjärjestelmä. Lisäksi Tube & Pipe Content Center-komponentteihin lisättiin ja mapattiin tarvittavat osaluettelotiedot teknisiä piirustuksia ja erillisiä osaluetteloja varten. Lopuksi luotiin uusi Tube & Pipe Template-kokoonpanopohja, jonne lisättiin luodut putkityylit ja toimeksiantajan oma osaluettelorakenne.

### 7.2.1 Tiedostojen automaattinen nimeämisjärjestelmä

Ensimmäisenä Tube & Pipe-työkalulla luotaville tiedostoille, kuten osa-, kokoonpano- ja piirustustiedostoille, tehtiin uusi automaattinen tiedostojen nimeämisjärjestelmä. Automaattisen nimeämisjärjestelmän avulla työkalun käytön tehokkuus ja käytettävyys paranee merkittävästi. Tube & Pipe-työkalu voi tapauksesta riippuen luoda jopa satoja komponentteja mallinnetun putkiston laajuudesta riippuen, joille on määritettävä osanimet mallin tallennuksen yhteydessä. Ilman nimeämisjärjestelmää jokainen osa olisi nimettävä yksi kerrallaan, mutta nimeämisjärjestelmän avulla kaikille osatiedostoille voi valita automaattisen nimeämisen yhdellä kertaa.

Nimeämisjärjestelmä tehtiin Autodesk Vaultin kautta luomalla uusi "Custom Numbering Scheme" Vault-asetuksista. Nimeämisjärjestelmän nimeksi määritettiin "SFW\_Tube\_and\_Pipe". Nimeämisjärjestelmä määritettiin koostumaan vakiotekstistä, välimerkistä ja automaattisesta kuusinumeroisesta numerosarjasta. Nimeämisjärjestelmä on muotoa "Tube-Pipe\_#####". Näillä asetuksilla nimeämisjärjestelmällä voidaan luoda lähes miljoona tiedostonimeä. Nimeämisjärjestelmän astukset ovat esitettyinä kuvassa 12.

**Edit Numbering Scheme**

Name: SFW\_Tube\_and\_Pipe

Select Numbering Generator: Simple Number Generator (Default)

Preview: Tube-Pipe\_#####

Number Length (Max): 16

SFW\_Tube\_and\_Pipe fields

Name	Type	Value
Name	Fixed text	Tube-Pipe
Delimiter	Delimiter	-
Number	Auto-generated	0 - 999999

Force to uppercase

OK Cancel Help

Kuva 12. Tube & Pipe-nimeämisjärjestelmän asetukset (Virtanen 2025)

## 7.2.2 Osaluettelotietojen lisääminen ja mappaus

Seuraavaksi Tube & Pipe Content Center-komponenttien tiedot täydennettiin ja päivitettiin osaluetteloa varten. Content Centeriin lisättyihin Tube & Pipe-komponentteihin lisättiin osaluetteloon ja komponenttien tilaamiseen tarvittavat tiedot. Näitä ovat komponentin muoto, määrä metri- ja neliömetritavalle, mitat, materiaalistandardi, materiaalitodistus sekä tilauskoodi. Tällä tavoin teknisten piirustusten osaluettelo täydentyy automaattisesti, mikä vähentää manuaalista työtä piirustusten tekovaiheessa merkittävästi. Valmiiden tilauskoodien avulla tarjouskyselyjen ja tilausten tekeminen on myös nopeampaa, kun standardin mukaista tilauskoodia ei tarvitse etsiä joka komponentin kohdalla. Näin suunnitteluprosessi tehostuu, nopeutuu ja helpottuu huomattavasti.

Edellä mainitut tiedot lisättiin Content Centerin Tube & Pipe-komponentteihin "Content Center Editor"-työkalun avulla. Editorissa jokaisen komponentin parametritaulukkoon eli "Family Table"-taulukkoon lisättiin edellä mainitut tiedot yksi kerrallaan lisäämällä uusia sarakkeita taulukkoon. Sarakkeiden nimet määritettiin tietoja vastaaviksi, ja sarakkeisiin, jotka eivät sisällä parametreja itse 3D-mallista, kuten muoto, materiaalistandardi ja materiaalitodistus, kirjoitettiin tiedot käsin. Sarakkeisiin, joissa esiintyy parametreja 3D-mallista, kuten materiaali ja mitat, määritettiin kaavat, joiden perusteella taulukko luo tekstit riveille.

Jokaisen sarakkeen datatyyppiä valittiin "String". Sarakkeet, joissa jokaiselle riville tuli joko sama teksti tai kaava, valittiin "Expression"-valinta aktiiviseksi, ja saraketyypiksi "Expression Column". Viimeisenä sarakkeet mapattiin eli yhdistettiin toimeksiantajan omiin parametreihin "Map To Inventor Property"-valikosta, jotka ovat yhteydessä toimeksiantajan osaluetteloon. 90 asteen putkikäyrään itse lisätyt osaluettelosarakkeet ovat esitettynä kuvassa 13.

Material_Certificate	Form	Dimensions	Remarks
3.1	KP	21,3 x 2	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 21,3 x 2 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	26,9 x 2,3	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 26,9 x 2,3 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	33,7 x 2,6	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 33,7 x 2,6 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	42,4 x 2,6	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 42,4 x 2,6 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	48,3 x 2,6	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 48,3 x 2,6 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	60,3 x 2,9	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 60,3 x 2,9 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	76,1 x 2,9	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 76,1 x 2,9 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	88,9 x 3,2	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 88,9 x 3,2 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	114,3 x 3,6	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 114,3 x 3,6 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	139,7 x 4	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 139,7 x 4 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	168,3 x 4,5	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 168,3 x 4,5 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	219,1 x 6,3	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 219,1 x 6,3 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	273 x 6,3	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 273 x 6,3 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	323,9 x 7,1	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 323,9 x 7,1 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	355,6 x 8	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 355,6 x 8 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	406,4 x 8,8	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 406,4 x 8,8 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	457 x 10	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 457 x 10 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	508 x 11	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 508 x 11 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	610 x 12,5	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 610 x 12,5 - P235GH (1.0345) - TC2
3.1	KP	711 x 14,2	Elbow - EN 10253-2 - type A - model 3D - 90 deg - 711 x 14,2 - P235GH (1.0345) - TC2

Kuva 13. 90 asteen putkikäyrään lisätyt osaluettelosarakkeet (Virtanen 2025)

90 asteen putkikäyrän tapauksessa komponentin materiaalitodistusvaatimukseksi määritettiin "3.1" ja muodoksi "KP" toimeksiantajan käytännön mukaisesti. Putkikäyrän mitoiksi määritettiin ulkohalkaisija ja seinämävahvuus kaavaa käyttämällä, johon sisällytettiin 3D-mallin ulkohalkaisijan ja seinämävahvuuden parametrit. Kaavaan voidaan sisällyttää tekstiä laittamalla ne heittomerkkien sisään. Parametrit voidaan sisällyttää kaavaan laittamalla ne &-merkkien väliin. 90 asteen putkikäyrän Dimensions-sarakkeen määrittelyt näkyvät kuvassa 14.

Column Properties

Column Name: Dimensions Data Type: String

Column Caption: Dimensions Units:

Expression  
 Expression Column  Custom Column

&{OD}&' x '&{T\_w}&'

Map To Inventor Property: Custom.FW\_Dimensions

Custom Property Name:

Geometric Parameter

OK Cancel

Parameter Name	Parameter Description
Member	Member
PARTNUMBER	Part Number [Project]
alpha	alpha
R	R
DN	DN
OD	OD
ID	ID
T_w	T_w
DN/OD	DN/OD
FILENAME	FILENAME
MATERIAL	MATERIAL
DESIGNATION	DESIGNATION
Material_Certificate	Material_Certificate
Form	Form
Remarks	Remarks

Kuva 14. 90 asteen putkikäyrä Dimensions-sarakkeen määrittelyt (Virtanen 2025)

Putkikäyrän tilauskoodi lisättiin "Remarks"-sarakkeeseen toimeksiantajan osaluetteloparametrin nimen mukaisesti. Tilauskoodi muodostettiin kaavalla mitta-sarakkeen tavoin, mutta kaavaan lisättiin myös muut tarvittavat tiedot, kuten komponentin nimi, mittastandardi, tyyppi, malli, kulma, materiaali sekä materiaalin testikategoria. Koska putkikäyrä ei ole metri- tai neliömetrituote, ei sille lisätty määrä-saraketta. Määrä-sarake lisättiin putkelle, ja putken pituuden parametri mapattiin kyseiseen sarakkeeseen.

Kyseiset osaluettelotiedot lisättiin uusien Tube & Pipe-komponenttien lisäksi myös Content Centerissä oleviin vanhoihin komponentteihin, kuten PSK-putkikannakkeisiin. Näin ollen myös kyseisten komponenttien tiedot tulevat osaluetteluun automaattisesti.

Kun kaikkiin Content Centerin Tube & Pipe-komponentteihin lisättiin osaluettelon ja tilaamisen vaadittavat tiedot, muutettiin vielä komponenttien Content Center-kuvaukset niin, että ne eivät sisällä mitään osaluettelosarakkeiden tietoja. Tällä tavoin samat tiedot eivät esiinny osaluettelossa kahta kertaa, ja osaluettelo on tällä tavoin selkeämpi. Lisäksi Content Center-nimiin lisättiin kaikki ne tiedot, joita tarvitaan niiden erottamiseen toisistaan Content Centerissä. Content Center-nimet eivät tule näkyviin osaluetteluun, joten nimet voivat sisältää niin paljon tietoa, kuin on tarpeellista. Esimerkkinä 90 asteen putkikäyrän Content Center-nimi ja -kuvake ovat esitettyinä kuvassa 15.



Elbow 90, EN  
10253-2, Type A,  
Model 3D, PN16

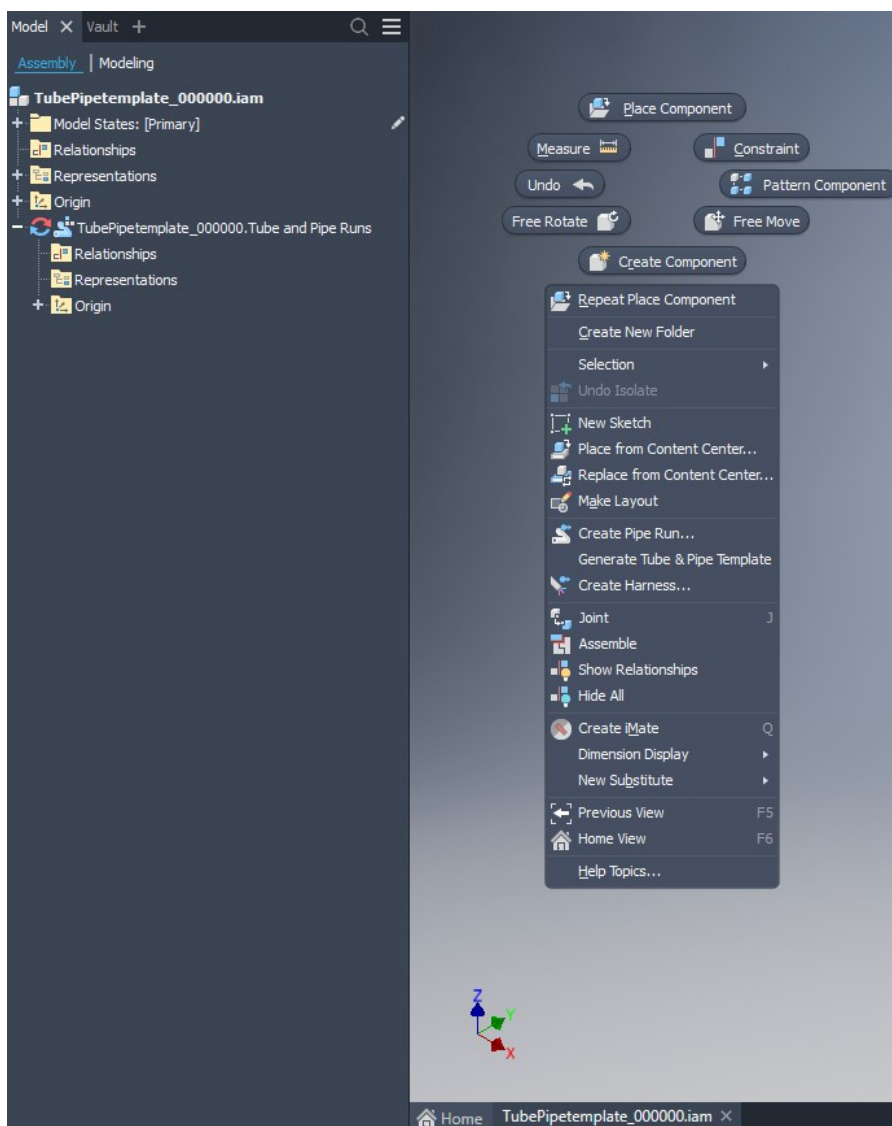
Kuva 15. 90 putkikäyrän nimi ja kuvake

### 7.2.3 Tube & Pipe Templaten päivitys

Viimeisenä vaiheena Tube & Pipe-työkalun kokoonpanon pohjatiedosto päivitettiin luomalla uusi "Tube & Pipe Template". Tämä tehtiin luomalla ensin uusi tavallinen kokoonpanotiedosto. Sitten kokoonpanotiedosto tallennettiin ja kokoonpanoon lisättiin Tube & Pipe-ympäristö "Environments"-välilehdeltä, jolloin työkalu lisäsi kokoonpanoon Tube & Pipe Runs-kokoonpanon ja ensimmäisen Run-kokoonpanon. Run-kokoonpano poistettiin, ja Runs-kokoonpano aktiivisena Tube & Pipe-tyyleistä poistettiin kaikki aikaisemmat tyylit. Tilalle määritettiin uudet tyylit, jotka käytiin läpi luvussa 7.1.4. Kaikkien tyylien sääntöihin määritettiin putken minimipituudeksi 1 mm, maksimipituudeksi 6000 mm ja taivutus säteeksi 50 mm. Tubing with Bends-tyyliin pituuden porrastusväliksi määritettiin 0,01 mm, ja Rigid Pipe with Fittings-tyyliin ilmaraon leveydeksi 2 mm. Määrittämällä putken minimipituus ja pituuden porrastusväli mahdollisimman pieneksi, vältetään ohjelman sisäisten rajoitusten haittaaminen suunnittelua tilanteissa, joissa on esimerkiksi saatava mallinnettua kaksi putkikäyrää peräkkäin.

Tyylien määrittämisen lisäksi Tube & Pipe Template-tiedostoon muokattiin Runs-kokoonpanon osaluettelorakenne vastaamaan toimeksiantajan peruskokoonpanon osaluettelo. Tämä onnistui laatamalla toimeksiantajan osaluettelorakenne "Export BOM customization"-komennolla, ja tämän jälkeen lisäämällä kyseinen rakenne Runs-kokoonpanon osaluetteluun "Import BOM customization"-komennolla.

Lopuksi tiedosto tallennettiin, ja siitä tehtiin uusi pohjatiedosto ”Generate Tube & Pipe Template”-komennolla, joka löytyy, kun painaa hiiren oikeaa näppäintä 3D-malli-ikkunan päällä. Komento korvaa automaattisesti aikaisemman pohjatiedoston ja nimeää aikaisemman tiedoston uudelleen. Tube & Pipe Template-tiedoston piirrepuu ja pohjatiedoston luomiskomento ovat esitettynä kuvassa 16.



Kuva 16. Tube & Pipe Template-tiedoston piirrepuu ja luomiskomento (Virtanen 2025)

Viimeiseksi uusi Tube & Pipe Template korvattiin toimeksiantajan Autodesk Inventor-resurssien sijaintiin yhteiselle tallennusasemalle, josta tiedostot kopioituvat automaattisesti suunnittelijoiden tietokoneiden C-asemille ennen ohjelman käynnistymistä. Autodesk Inventor hakee sitten Template- ja Design Data-tiedostot C-asemalta. Näin uudet Tube & Pipe-tyylit siirtyivät kaikkien suunnittelijoiden käyttöön.

## 8 PUTKISTOSUUNNITTELU TYÖKALULLE SOVELTUVIEN KÄYTTÖKOHTEIDEN MÄÄRITYS

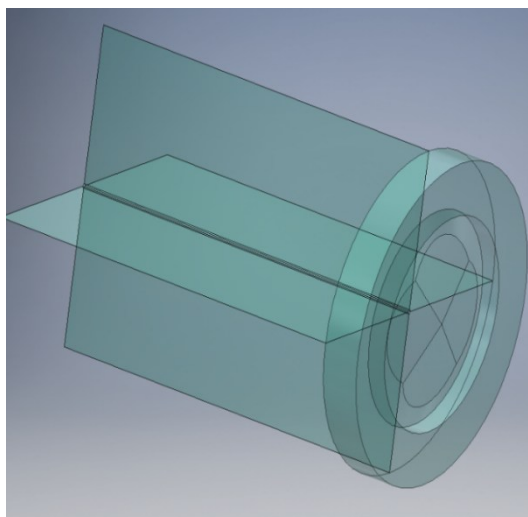
Yksi opinnäytetyölle asetetuista tavoitteista oli määrittää, missä töissä ja käyttökohteissa kyseistä putkistosuunnittelutyökalua on hyödyllistä ja järkevää käyttää. Työkalun käytön soveltuvuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Näistä merkittävimmät ovat lähtötietojen taso, putkistolta vaadittavat ominaisuudet, sekä työn laajuus ja kokoluokka.

### 8.1 Työkalun käyttöön tarvittavat lähtötiedot

Jotta työkalua voidaan käyttää, on tehtävästä työstä oltava selvillä tai selvitettävissä riittävästi lähtötietoja. Lähtötietojen on myös oltava riittävän tarkat, jotta suunnittelu kyetään tekemään onnistuneesti. Koska kyseessä on työkalu Service-osaston käyttöön, on töiden lähtötietojen taso hyvin vaihtelevaa eri töiden välillä. Optimaalisissa tilanteissa asiakkaan laitoksesta on olemassa ajan tasalla oleva 3D-layout malli, jonne kyseinen putkistosuunnittelu voidaan tehdä vaivattomasti. Huonoimmassa tapauksessa saatavilla ei ole edes PI-kaavioita, ja asiakkaan laitokselle on mentävä paikan päälle selvittämään tilannetta ja hankkimaan lähtötietoja itse.

Työkalun käyttöä varten on oltava tiedossa vähintään putkiston alustavan reitin mitat. Lisäksi on tiedettävä, onko putkistosta tehtävä itsestään tyhjenevä vai ei. Tätä ei ole mahdollista muuttaa myöhemmin, jos kokoonpanoa ei aloita alusta. Reitin määrittäminen auttaa merkittävästi, jos saatavilla on 3D-malli tai PI-kaavioita, mutta myös esimerkiksi laitoksen 3D-skannaus paikan päällä on oivallinen keino näiden tietojen saamiseen. Tarkkaa käytettävää putkikokoa tai -luokkaa ei tarvitse tietää ennen työkalun käytön aloittamista, koska se voidaan muuttaa jälkikäteen. Kokoonpanotiedostossa on myös oltava reitin aloituspiste, jotta putkireitin voi aloittaa.

Työkalu on siis hyvin joustava lähtötietojen suhteen, eikä lähtötietojen taso rajoita sen käyttömahdollisuuksia lähes ollenkaan. Tämä johtuu siitä, että putkistosuunnittelutyökalua varten kehitettiin opinnäytetyön aikana apukomponentti putkireitin alku-, väli- ja lopetuspisteiden sijaintien määrittämiseen. Komponentti autoroiitiin ”Tube & Pipe Authoring”-komennolla työkaluun ja se julkaistiin Content Centeriin. Kyseinen komponentti on esitetty kuvassa 17. Kyseiset komponentit voidaan paikoittaa kokoonpanossa haluttuun sijaintiin ja suuntaan, ja putkireitti voidaan helposti määrittää alkamaan kyseisestä pisteestä, kulkemaan kyseisen pisteen kautta tai päättymään kyseiseen pisteeseen.



Kuva 17. Reittipisteen paikannuskomponentti (Virtanen 2025)

## 8.2 Putkistolta vaadittavat ominaisuudet

Toimeksiantajan töissä ja projekteissa putkistoilta ja täten myös putkistosuunnittelutyökalulta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia. Näistä merkittävimmät ominaisuudet ovat itsestään tyhjenevyys eli putken viettokulma, 90 asteen ja 45 asteen kulmista poikkeavat putkikäyrät, putkiin tehtävät taivutukset, kannakointien ja putkivarusteiden lisäys, sekä ilmarakojen ja putkijakojen lisäys.

Putken viettokulmaa varten Tube & Pipe-työkalusta löytyy oma valintapainike ”Self Draining”, kun Tube & Pipe Styles-tyyliksi on valittu Rigid Pipe with Fittings. Kun kyseinen valinta on päällä, mukautuvat reititysvaiheessa tavallisesti painovoiman suunnan suhteen kohtisuorassa olevat suunnat määritetyn viettokulman verran viistoon. Tämä nopeuttaa ja tehostaa sellaisten putkistojen suunnittelua ja mallinnusta, joissa viettokulmien käyttö on tarpeellista. Esimerkki viettokulma-asetuksella mallinnetusta putkistosta on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Putkisto, joka on mallinnettu viettokulmavalinnalla (Virtanen 2025)

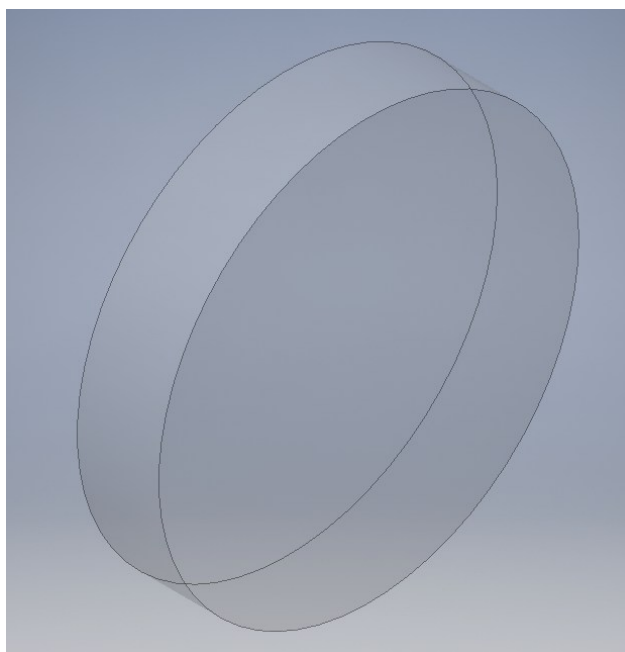
Viettokulman tavoin Rigid Pipe with Fittings-tyylissä on 90 asteesta ja 45 asteesta poikkeavia käännöksiä varten valinta Custom Elbows. Kun kyseinen valinta on aktiivinen, luo työkalu automaattisesti reitityksen jälkeen näistä kulmista poikkeaviin käännöksiin ”custom” putkikäyrät.

Tubing with Bends-tyylissä on mahdollista tehdä minkä asteisia käännöksiä tahansa, koska putkien taivutuskulmille ei ole tyylissä rajoituksia. Kyseisellä tyylillä on siis mahdollista mallintaa putkia, joissa on taivutuksia.

Putkistoja, jotka sisältävät sekä taivutettuja putkia että putkikäyriä on mahdollista suunnitella ja mallintaa työkalulla vaihtelemalla käytössä olevaa Tube & Pipe-tyyliä tarpeen mukaan. Tyylin vaihtaminen on mahdollista jopa Run-kokoonpanojen sisällä Route-tasolla.

Putkivarusteiden lisääminen putkistoon onnistuu työkalulla helposti "Place from Content Center"-komennolla. Putkivarusteen voi lisätä mihin kohtaan putkea tahansa, jossa on riittävästi tilaa kyseiselle komponentille. Putkivarusteen tarkan sijainnin voi määrittää Route-tason reitityksestä, ja sen orientaatiota voi muokata helposti "Edit fitting orientation"-komennolla. Lisäksi putkivarusteen liitoskohtia voi muokata "Edit fitting connections"-komennolla.

Ilmaraot päittäishitsiliitoskohtiin tulevat Rigid Pipe with Fittings-tyylissä automaattisesti säännöissä määritetyn ilmarakomitan mukaisesti, jos tyyli on määritetty päittäishitsittävaksi. Tubing with Bends-tyylissä ilmaraot eivät tule itsestään. Tämän ongelman ratkaisemiseksi kehitettiin ilmarako-komponentti, joka voidaan lisätä kyseisiin kohtiin. Komponentti autoroiitiin työkaluun ja lisättiin Content Centeriin. Se on painoton sekä läpinäkyvä, eikä se tule näkyviin kokoonpanon osaluetteloon. Ilmarako-komponentti on esitettyä kuvassa 19.



Kuva 19. Ilmarakokomponentti (Virtanen 2025)

Putkijakojen tekeminen onnistuu työkalulla lisäämällä Route-tasolla reittiin pisteitä eli nodeja "Insert node"-komennolla. Työkalu tekee kyseiseen kohtaan putkijaon, ja jos käytössä on päittäishitsittävä tyyli, tekee työkalu putkien väliin ilmaraon automaattisesti.

Putkikannakkeiden lisääminen onnistuu Tube & Pipe-putkistoon "Place from Content Center"-komennolla. Jos putkikannake halutaan paikoittaa kokoonpanoon niin, että se seuraa putkea, on putkikannake lisättävä Run-tasolle kyseiseen linjaan tai linjan osaan. Primäärikannake "matetetaan" putkeen kiinni, ja sekundäärikannake primäärikannakkeeseen sekä tukevaan rakenteeseen kiinni. Tällä tavalla putken reitin muuttuessa myös primääri- ja sekundäärikannakkeet adaptoituvat uuden reittimuutoksen mukaisesti.

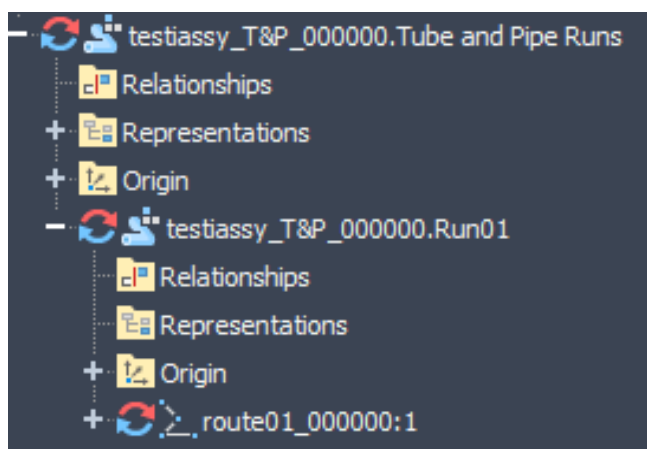
Tube & Pipe- suunnittelutyökalu sisältää siis kaikki toimeksiantajan putkistolta ja putkistosuunnittelu-työkalulta vaatimat ominaisuudet, joten nämä eivät rajoita työkalun käyttökohteita.

### 8.3 Työn laajuus ja kokoluokka

Suunniteltavan putkiston laajuus ja koko on yksi Tube & Pipe-putkistosuunnittelutyökalun käyttöä eniten rajoittavista tekijöistä. Kyseiseen työkaluun ja ohjelmaan ei tule toimeksiantajan tapauksessa automaattisesti olemassa olevaa dataa mistään muusta ohjelmistosta, vaan putkiston suunnittelu aloitetaan suunniteltavan putkiston kannalta tyhjästä. Tämän vuoksi kaikki putkistoon liittyvät yksilökohtaiset tiedot, kuten linjatunnukset ja kannaketunnukset, joutuu syöttämään 3D-malleihin tai vaihtoehtoisesti teknisiin piirustuksiin itse. Ohjelma ei myöskään sisällä automaattista hitsaus- ja tarkastusluetton laadintaa, joten tämäkin joudutaan laatimaan täysin manuaalisesti. Ohjelmasta puuttuu automaattisten putkistoisometrioiden laadintaominaisuus, minkä vuoksi putkiston mitat joutuu lisäämään joka piirustukseen itse.

Tästä johtuen suunniteltavan putkiston laajuuden kasvaessa suureksi työkalun käytön tehokkuus heikenee merkittävästi manuaalisen työn ajallisen osuuden kasvaessa suhteessa muihin vaiheisiin. Jotta työkalun käyttö on tehokasta, ei kyseisten työvaiheiden osuus koko työhön kuluva ajasta saa kasvaa liian suureksi. Tämä tulee tapahtumaan, jos suunniteltava putkisto on liian suurikokoinen ja koostuu liian suuresta määrästä eri linjoja ja komponentteja. Siispä työkalu soveltuu parhaiten pientöihin.

Toinen työn laajuutta ja kokoa rajoittava tekijä on työkalun sisäinen kokoonpano- ja piirrepuurakenne. Tube & Pipe-työkalussa on kolme tasoa, jotka ovat koko Tube & Pipe-ympäristön sisältävä Tube & Pipe Runs-kokoonpano, yksittäisen putkilinjan sisältävä Run-kokoonpano, sekä yksittäisen putkireitin sisältävä Route-reititys. Nämä Tube & Pipe-työkalun sisäiset tasot ovat esitettyinä kuvassa 20.



Kuva 20. Tube & Pipe-työkalun piirrepuutasot (Virtanen)

Tube & Pipe Runs-kokoonpanoja ei voi olla kuin vain yksi kappale pääkokoonpanossa. Run-kokoonpanoja voi olla rajaton määrä yhtä Tube & Pipe Runs-kokoonpanoa kohden, ja Route-reitityksiä rajaton määrä yhtä Run-kokoonpanoa kohden.

Piirustuksia on mahdollista tehdä vain Tube & Pipe Runs- ja Tube & Pipe Run-kokoonpanoista. Route-reitityksistä voi piirustuksiin tuoda vain reitit, joissa ei ole ollenkaan komponentteja. Näiden rajoitusten vuoksi valmistus- ja asennuspiirtustusten luontia ajatellen on työkalun Run-kokoonpanot jaettava jo suunnittelu- ja mallinnusvaiheessa niin, että järkevä osa putkistoa tai linjaa tulee yhteen piirustukseen.

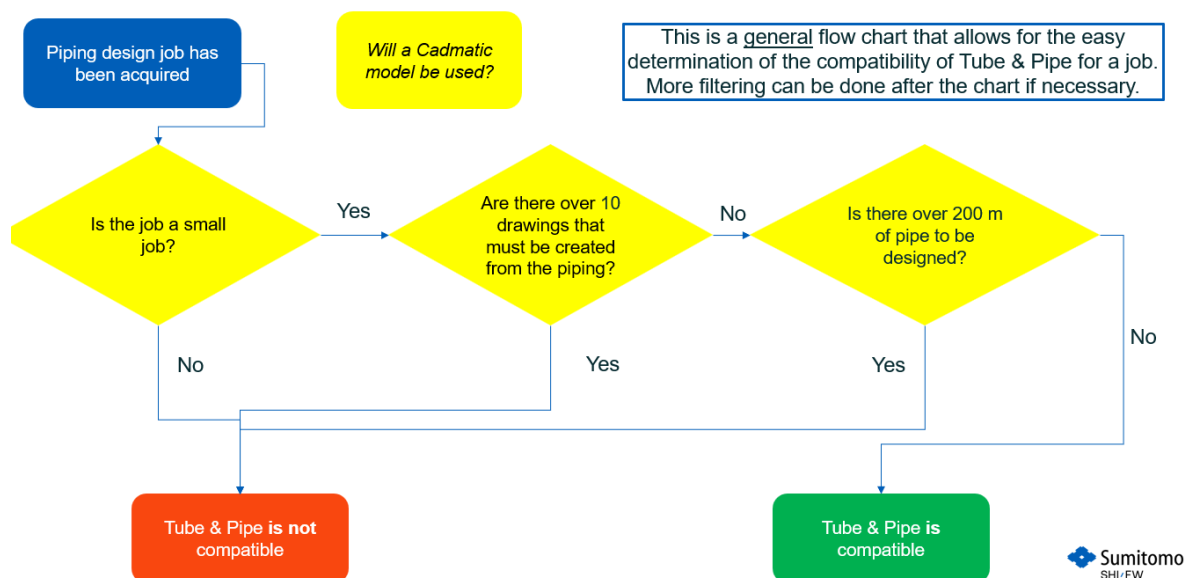
Tämä niin sanottu rajoitus on kuitenkin kierrettävissä luomalla kopioita kyseisestä pääkokoonpanotiedostosta, ja poistamalla mallista kaikki ne kokoonpanot, reitit ja osat, joita ei piirustukseen halua. Tämä

vaihe vie aikaa, mutta tällä tavoin piirustuksen luonti mistä tahansa putkiston osasta on mahdollista huolimatta työkalun kokoonpanorakenteesta.

#### 8.4 Vuokaavio työkalun soveltuvuuden määrittämiseen

Luvussa 8 tarkasteltujen rajoittavien tekijöiden pohjalta luotiin vuokaavio, jonka perusteella toimeksiantaja kykenee yleistasolla määrittämään, voidaanko kyseessä olevaa putkistosuunnittelutyötä tehdä Tube & Pipe-työkalulla. Vuokaavio ei ole absoluuttisen tarkka, vaan antaa väljät rajoitukset, joiden perusteella työkalun käyttömahdollisuuden voi rajata pois ilman huolta siitä, että työkalua olisikin kannattanut käyttää. Vuokaavioon lisättiin kolme valintakohtaa, joiden perusteella työkalun soveltuvuus määritetään. Ensimmäisenä selvitetään, onko kyseinen putkistosuunnittelutyö pientyö vai ei. Sen jälkeen selvitetään, tullaanko putkistosta luomaan yli 10 kappaletta valmistuspiirustuksia. Kolmantena ja viimeisenä kohtana selvitetään, ylittääkö putkiston kokonaispituus 200 metriä. Näiden kysymysten perusteella rajautuvat pois sellaiset työt, joissa työkalua ei missään tapauksessa kannata käyttää. Vuokaavio on esitetty kuvassa 21.

#### Determining the compatibility of Tube & Pipe for a job



Kuva 21. Vuokaavio työkalun soveltuvuuden määrittämiseen (Virtanen 2025)

## 9 TYÖKALUN TOIMIVUUDEN JA KÄYTETTÄVYYDEN TESTAAMINEN

Työkalun toimivuutta ja käytettävyyttä testattiin tavallisen työkalun ominaisuuksien ja toimintojen testaamisen lisäksi kahdella oikealla toimeksiantajan putkistosuunnittelutyöllä asiakasprojekteissa. Näin työkalun käyttökelpoisuus ja soveltuvuus saatiin varmistettua, kun sitä käytettiin oikeisiin putkistosuunnittelutöihin. Työt tehtiin kahteen eri suomalaiseen voimalaitokseen. Kyseiset työt olivat pienputkistöitä.

### 9.1 Testityö 1

Ensimmäisessä testityössä suunniteltiin reduktiolämmönvaihtimen jäähdytysvesilinjan osa. Työtä varten työkaluun rakennettiin ja lisättiin työhön vaadittavan putkimateriaalin ja paineluokan mukainen PSK-putkiluokka PSK 4217 E250C2B, jossa paineluokka on PN 250 ja putken sekä putkenosien materiaali on 16Mo3. Tähän sisältyivät putki, putkikäyrät, pääty, supistuskappaleet, sekä t-kappale. Lisäksi työkalun kirjastoon lisättiin putkiluokan mukainen kauluslaippa ja tiiviste. Työssä käytettiin ”Tubing with Bends”-putkityylityyppiä, jotta taivutettuja putkia kyettiin luomaan.

Työssä optimoitiin putken ja putkenosien seinämävahvuuksia suorittamalla niille painelaitelaskennat prosessin suunnitteluarvojen pohjalta. Näin seinämävahvuudet saatiin mahdollisimman pieniksi, ja valmistuskustannuksia saatiin vähennettyä. Tästä syystä työkaluun tehtiin edellä mainitusta putkiluokasta muunnos, joka sisälsi lasketulla seinämällä olevan putken ja putkenosat.

Työtä varten ei ollut olemassa mallinnettua tai 3D-skannattua tehdasympäristöä, joten suunnittelu aloitettiin täysin tyhjästä kokoonpanotiedostosta. Putkilinjan aloituspiste määritettiin kuvan 17 reittipisteen paikannuskomponentin avulla. Lähtötiedot putkistotyölle oli kerätty työmaakäynniltä ylös paperisena, joten mallinnus tehtiin paperille tehdyn hahmotelman ja mittojen perusteella. Putkilinjassa tarvittiin suorja putkia, taivutettuja putkia, kauluslaippoja, T-kappaletta, venttiilejä, sekä kiinnikekomponentteja. Kaikkien näiden lisääminen mallinnetulle putkireitille onnistui, ja työkalu sisälsi kaikki kyseisen työn 3D-mallintamiseen ja -suunnitteluun tarvittavat ominaisuudet. Luotu 3D-malli on esitettyinä kuvassa 22.



Kuva 22. Testityö 1 3D-malli (Virtanen 2025)

3D-mallin pohjalta luotiin putkilinjan aksonometrinen asennuspiirustus, johon kuvanto saatiin liitettyä, ja osaluettelo lisättyä. Osaluettelo täyttyi automaattisesti, eikä lisäyksiä tarvinnut tehdä. Työkalu suoriutui työstä kaikin puolin hyvin.

## 9.2 Testityö 2

Toisessa testityössä suunniteltiin kahden eri kattilan ruiskutusvesilinjojen yhdyslinja. Työssä käytettiin pohjana samaa PSK 4217 E250C2B-putkiluokkaa kuin edellisessä työssä. Tässäkin tapauksessa putken ja putkenosien seinämävahvuudet optimoitiin prosessin suunnitteluarvojen mukaan, ja niiden pohjalta muokattiin juuri kyseiselle työlle soveltuva putkityyli.

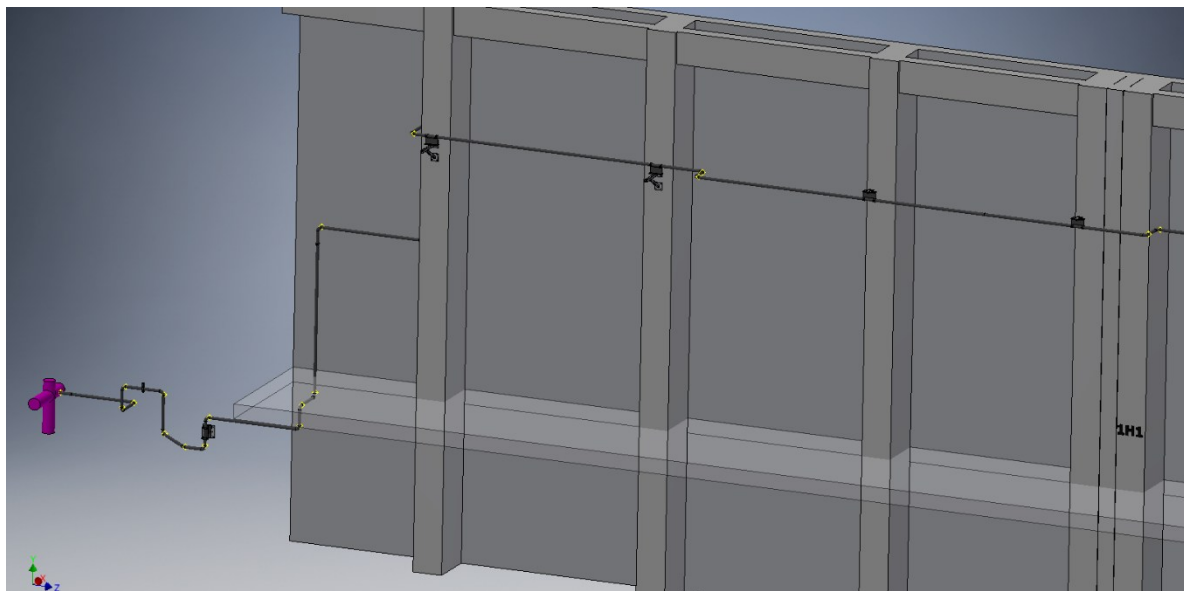
Työssä käytetty putkityylityyppi oli "Rigid Pipe with Fittings", joka luo suoraa putkea ja putkikäyriä. Tämä valittiin siksi, että irtokäyriä käyttäessä niiden taivutussäde on huomattavasti pienempi. Työn tapauksessa linjan alku- ja loppupäiden vapaa tila oli erittäin rajallinen, minkä vuoksi kyseinen vaihtoehto oli huomattavasti parempi tähän työhön.

Työn putkistosuunnitteluprosessi aloitettiin työmaakäynnillä jo projektin tarjousvaiheessa, jossa alustava lähtöpiste ja -tapa, reititys, kannakointi sekä lopetuspiste- ja tapa määritettiin. Alustavat mittaukset tehtiin ja putkivarusteiden tarve kartoitettiin. Tämän pohjalta suunnittelija laati hyvin karkean tarjousvaiheen mallin sekä tarjouksen kyseisestä työstä asiakkaalle. Tarjousvaiheen 3D-mallia ei tehty Tube & Pipe-työkalulla.

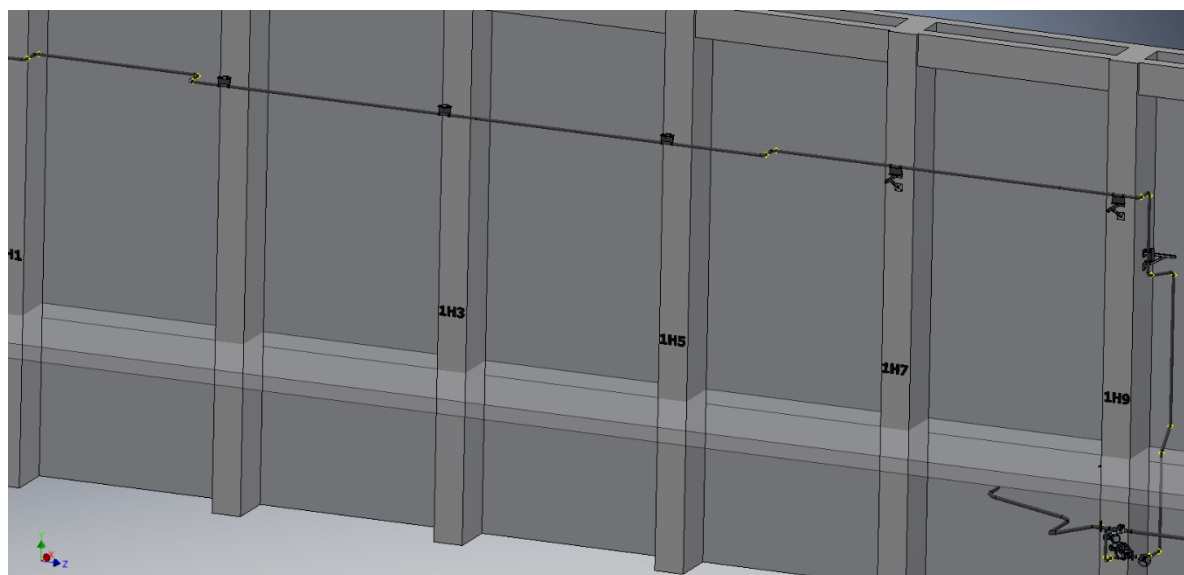
Asiakkaan hyväksytyä tarjouksen siirryttiin putkistosuunnitteluprosessissa projektivaiheeseen. Aluksi laadittiin lista kaikista projektiin tarvittavista venttiileistä, ja pyydettiin niistä tarjous eri toimittajilta. Tämä tehtiin projektin alkuvaiheessa pitkien toimitusaikojen vuoksi. Sen jälkeen tehtiin toinen työmaakäynti, jossa tehtiin tarvittavat muutokset tarjousvaiheen reittiin ja muihin seikkoihin. Tarkemmat mittaukset tehtiin reitistä, ympäristöstä, sekä alku- ja loppupäiden vapaasta tilasta.

Työmaakäynnin eli lähtötietojen tarkemman selvittämisen jälkeen aloitettiin putkilinjan reititys Tube & Pipe-työkalulla. Suunnittelu aloitettiin tyhjistä kokoonpanotiedostosta, jonne lisättiin linjan alkupisteen vanha putki, josta linja lähtee. Reitti aloitettiin vanhasta putkesta ja reitti mallinnettiin työmaamittojen mukaisesti aina putken liittymiskohtaan asti. Putkikannakkeiden alustavat sijainnit määritettiin.

Perussuunnitteluvaiheessa kokoonpanotiedostoon mallinnettiin myös ympäristöä kannakkeiden sijoittelun tarkentamiseksi. Reittiin lisättiin tarvittavat putkivarusteet eli venttiilit, sekä primääri- ja sekundäärikannakkeet. Kannakoinnissa otettiin huomioon voimassa olevat ohjeistukset ja standardit muun muassa lämpöliikkeen tarkastelussa ja kannakointivälien määrittämisessä. Reititystä tarkennettiin ja siihen lisättiin joustavuutta lisääviä käänöksiä. Putkilinjalle suoritettiin joustavuusanalyysi, jolla todettiin putkilinjan kestävyys ja riittävä kannakointi lämpöliikkeet huomioiden. Joustavuusanalyysissä otettiin huomioon myös putken eristyksen paino. Joustavuusanalyysissä käytetty 3D-malli on esitetty kuvissa 23 ja 24.



Kuva 23. Testityö 2 joustavuusanalyysi 3D-mallin alkupuoli (Virtanen 2025)



Kuva 24. Testityö 2 joustavuusanalyysi 3D-mallin loppupuoli (Virtanen 2025)

Detajlisuunnitteluvaiheessa putkilinjan malli tarkastettiin ja joustavuusanalyysin pohjalta tulleet muutostarpeet tehtiin, kaikki kannakointiin tarvittavat komponentit täsmennettiin, määritettiin ja lisättiin, sekä tarkat kannaketyypit ja ratkaisut valittiin. Putkilinjan aksonometrinen asennuspiirustus luotiin, johon lisättiin muun muassa osaluettelo sekä tarvittavat tiedot ja detajlit. Hitsaus- ja tarkastussuunnitelma asennusta varten sekä erillinen osaluettelo hankintoja varten luotiin.

Tulevaisuudessa asennuksen jälkeen putkilinjasta tullaan luomaan vielä "As Built"-malli ja -piirustus sen mukaisesti, kuinka putkilinja todellisuudessa asennettiin. Tämä ei kuitenkaan sisälly opinnäytetyöhön.

Työkalu suoriutui tästäkin työstä erinomaisesti, ja reitin jälkimuokkaaminen onnistui hyvin joustavasti. Uusien reittikäännöksien tekeminen keskelle jo mallinnettua reittiä onnistui ongelmitta, ja kannakkeet toimivat myös hyvin työkalun kanssa.

## 10 TYÖKALUN KÄYTTÖ- JA JATKOKEHITYSOHJEIDEN LAATIMINEN

Työkalun käyttöä ja jatkokehittämistä varten luotiin molemmille omat ohjeensa. Työkalun käyttöohjeeseen sisällytettiin ohjeet työkalulle soveltuvien putkistosuunnittelutöiden määrittämiseen, selostus työkalun käytön tavallisesta työnkulusta, selostukset ja ohjeet työkalun putkityyliin käytöstä, ohjeet putkenosien, putkivarusteiden ja kiinnikkeiden lisäämiseen, ohjeet putkikannakkeiden käyttöön, ohjeet teknisten piirustusten laatimiseen, sekä ohjeet työkalun pohjatiedoston päivittämiseen ja luomiseen. Työkalun jatkokehitysohjeisiin sisällytettiin ohjeet uusien työkalun alle kuuluvien putkien, putkenosien ja putkivarusteiden luomiseen, konfiguroimiseen sekä julkaisemiseen.

### 10.1 Työkalun käyttöohje

Työkalun käyttöohjeeseen sisällytettiin kaikki Tube & Pipe-työkalun käyttöä varten tarvittava tieto. Ohje laadittiin toimeksiantajan omalle Microsoft Powerpoint-pohjalle.

Ohjeen ensimmäiseen osaan sisällytettiin kuvassa 21 esitetty vuokaavio, jota seuraamalla suunnittelijan on helppo tehdä päätös, käyttääkö hän työkalua kyseisessä työssään vai ei.

Ohjeen toisessa osassa käytiin läpi tyypillisen putkistosuunnitteluprosessin työnkulku, kun suunnittelu tehdään kyseisellä työkalulla. Työnkulku jaettiin kuuteen päävaiheeseen, joita ovat työkalun lisääminen kokoonpanotiedostoon, putkistotyylin valitseminen ja muokkaus, reititys, putkenosien ja putkivarusteiden lisääminen, putkikannakkeiden lisääminen, sekä teknisten piirustusten luonti. Kyseiseen työnkulkuun sisällytettiin vain työkalulla tehtävät putkistosuunnitteluprosessin vaiheet, koska kyseessä on työkalun käyttöohje.

Ohjeen kolmanteen osaan sisällytettiin ”Rigid Pipe with Fittings”-putkityylityypin yleistiedot, uuden tyylin luomisohejeet, sekä reititysohjeet kyseiselle putkityylityypille. Yleistiedot sisältävät kaiken suunnittelijan kannalta tarpeellisen tiedon kyseisestä tyylityypistä ja sen ominaisuuksista. Uusien tyylien luomisohejeet sisältävät laajan ja kattavan ohjeistuksen uusien tyylien luomista varten kyseisen tyylityypin mukaisesti. Reititysohjeet sisältävät kaikki kyseisen tyylityypin reititykseen liittyvät mahdollisuudet ja ominaisuudet jaoteltuna erikseen tavalliselle sekä itsestään tyhjenevälle putkistolle.

Ohjeen neljänteen osaan sisällytettiin ”Tubing with Bends”-putkityylityypin yleistiedot, uuden tyylin luomisohejeet, sekä reititysohjeet kyseiselle putkityylityypille. Ohjeisiin sisällytettiin samat kohdat, kuin edelliseenkin osaan, mutta sisältö räätälöitiin kyseisen tyylityypin mukaisesti. Reititysohjeisiin sisällytettiin vain yksi ohje, koska kyseisessä putkityylityypissä ei ole itsestään tyhjenevän putkiston reititysominaisuutta.

Ohjeen viidenteen osaan sisällytettiin ohjeet putkenosien, putkivarusteiden ja kiinnikkeiden käyttöön liittyen. Ohje käsittää ohjeet komponenttien lisäämisen, käyttäytymisen sekä muokkaamisen.

Ohjeen kuudenteen osaan sisällytettiin ohjeet putkikannakkeiden lisäämiseen ja käyttämiseen liittyen. Kyseiset ohjeet sisältävät yksityiskohtaiset ohjeet siitä, kuinka putkikannakkeiden sijantia voidaan ajaa putkireitillä, ja kuinka putkireittä voidaan ajaa putkikannakkeilla.

Ohjeen seitsemänteen osaan laadittiin ohjeet teknisten piirustusten luontia varten. Nämä ohjeet sisältävät pääasiassa kuvantojen tuontimahdollisuudet, kuvantojen ominaisuudet, sekä osaluettelon määrittämisen ja luomisen.

Ohjeen kahdeksanteen ja viimeiseen osaan sisällytettiin ohjeet työkalun pohjatiedoston luomiseen ja päivittämiseen. Ohjeet kertovat vaihe vaiheelta, kuinka pohjatiedosto rakennetaan ja luodaan, sekä kuinka se viedään toimeksiantajan jaetulle tallennusasemalle, josta pohjatiedosto päivittyy jokaisen suunnittelijan ohjelmistoon automaattisesti.

## 10.2 Työkalun jatkokehitysohje

Työkalun jatkokehittämissohjeeseen sisällytettiin ohjeet kaikkien toimeksiantajan putkistosuunnittelu-työissä tarvittavien putki-, putkenosa- ja putkivarustekomponenttityyppien lisäämiseen. Ohjeet käsittelevät komponenttien 3D-mallinnuksen, iPart-tiedostojen luomisen ja muokkaamisen, Tube & Pipe-autoroimisen, Content Centeriin julkaisemisen, sekä tarpeellisten osaluettelotietojen lisäämisen Content Center-julkaistuihin komponentteihin.

Yksityiskohtaiset ohjeet luotiin erikseen putkille, putkikäyrille, päädyille, yhteille, laipoille, tiivisteille, keskeisille ja epäkeskeisille supistuskappaleille, sekä T-kappaleille. Jokaiselle kyseisistä komponenttityypeistä luotiin 3D-mallinnusohjeet, iPart-osan luomis- ja muokkausohjeet, Tube & Pipe-autoroimiohjeet, Content Center-julkaisuohjeet, sekä osaluettelotietojen lisäämisohjeet. Ohjeet luotiin niin, että niitä seuraamalla jokaisesta komponentista tulee täysin valmis ja käyttökelpoinen, Tube & Pipe-työkalun kanssa yhteensopiva komponentti, joka sisältää kaikki toimeksiantajan osaluettelon vaatimat tiedot.

Lisäksi ohjeen loppuun sisällytettiin yleiset ohjeet muiden Tube & Pipe-komponenttien lisäämiseen, jonka vaiheet ovat samat kuin muillakin edellä mainituilla komponenteilla. Näitä ovat muun muassa esimerkiksi erilaiset venttiilit, joiden 3D-mallit ladataan suoraan valmistajien sivuilta.

## 11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli ottaa Autodesk Inventor Professional 2025:n putkistosuunnittelutyökalu "Tube & Pipe" käyttöön Sumitomo SHI FW Energia Oy:n Service-osastolle. Työn menetelmänä oli kehittämistyö.

Putkistosuunnittelu on tuotekehitysprosessi tai osa sitä. Putkistosuunnitteluprosessi pitää sisällään tarjousvaiheen suunnittelun, reititysvaiheen, perussuunnitteluvaiheen, sekä detaljisuunnitteluvaiheen. Putkistosuunnitteluperiaatteita, jotka tulee ottaa huomioon ovat toiminnallisuus, kokoonpantavuus ja asennettavuus, huollettavuus, sekä layout. Putkistosuunnittelua ohjaavat ja rajoittavat monet eri direktiivit ja standardit.

Opinnäytetyön tavoitteet olivat työkalulle soveltuvien käyttökohteiden määrittäminen, työkalun rakentaminen ja kehittäminen käyttökelpoiseksi, sekä työkalun käyttö- ja jatkokehitysohjeiden luominen.

Työkalulle soveltuvien käyttökohteiden määrittämisessä onnistuttiin ja tavoite saavutettiin. Työkalun ominaisuuksiin sekä rajoitteisiin liittyviä seikkoja tarkasteltiin laajasti. Lähtötietojen taso ja putkistolta vaadittavat ominaisuudet eivät rajoita työkalun käyttömahdollisuuksia, sillä työkalusta löytyy kaikki tarvittavat ominaisuudet. Työkalulla mallintamisen voi aloittaa tyhjästä kokoonpanosta ainoastaan kehitetyn reitipisteen paikannuskomponentin avulla. Työkalun käyttöä merkittävämmiin rajoittaa suunniteltavan putkiston koko ja laajuus. Työkalu ei sisällä automaattista putkistosometripiirustusten luontia, minkä vuoksi piirustukset on luotava manuaalisesti. Tämän vuoksi luotavien piirustusten lukumäärä asetettiin yhdeksi työkalun soveltuvuutta rajoittavaksi tekijäksi. Piirustusten lukumäärän ylärajaksi asetettiin 10 kappaletta. Toiseksi rajoittavaksi tekijäksi asetettiin suunniteltavan putkiston kokonaispituus. Kokonaispituuden ylärajaksi asetettiin 200 metriä. Tämä asetettiin sen vuoksi, että sillä kyettiin rajaamaan soveltuvan putkiston laajuutta ja kokoa helpoiten. Putkiston pituus korreloi melko luotettavasti suunnitteluun tarvittavan työn määrään, minkä vuoksi tämä rajauskeino on hyvä valinta. Työkalun käyttöä rajoittamaan asetettiin näiden lisäksi myös kysymys siitä, onko kyseessä pientyö vai ei. Tällä suurikokoiset työt saadaan rajattua välittömästi pois. Työkalu siis soveltuu pieniin putkistosuunnittelutöihin, joiden laajuus ja luotavien piirustusten lukumäärä on pieni.

Tämän pohjalta kehitettiin vuokaavio, jonka perusteella toimeksiantaja kykenee määrittämään työkalun soveltuvuuden yleisellä tasolla. Rajaukset ovat väljiä, koska väärin rajausten mahdollisuus haluttiin poistaa täysin. Jatkokehityskohteena vuokaaviota voitaisiin jatkossa tarkentaa, kun työkalun käytöstä ollaan saatu lisää kokemusta. Näin vuokaavion avulla kyettäisiin rajaamaan pois soveltumattomia töitä entistä tehokkaammin ja tarkemmin.

Työkalun rakentamisessa ja kehittämisessä käyttökelpoiseksi onnistuttiin erinomaisesti ja tavoite saavutettiin. Työkalun Content Center-kirjastoon lisättiin PSK-putkiluokkien E16C1B ja E250C2B komponentit, sekä muita komponentteja. Kyseiset putkiluokat lisättiin myös työkalun putkityyleihin. Tiedoston automaattinen nimeämisjärjestelmä lisättiin työkalua varten, mikä nopeutti suunnittelutyötä merkittävästi. Toimeksiantajan tarvitsemat osaluettelotiedot lisättiin tehtyihin Content Center-komponentteihin, joista ne täyttyvät automaattisesti osaluetteloon piirustusta luotaessa. Tämä vähensi suunnittelijalta vaadittua manuaalista työtä ja tehosti prosessia. Työkalun pohjatiedosto päivitettiin sisältämään uudet putkityylit, sekä toimeksiantajan oma osaluettelorakenne lisättiin työkalun kokoonpanoihin. Päivitetty pohjatiedosto lisättiin toimeksiantajan yhteiselle tallennusasemalle, josta pohja päivittyi jokaiselle suunnittelijalle automaattisesti.

Työkalun toimivuus ja käyttökelpoisuus testattiin tavallisen testailun lisäksi kahdella oikealla putkistosuunnittelutyöllä toimeksiantajan asiakasprojekteissa. Työkalu suoriutui molemmista töistä hyvin, ja työkalulla kyettiin tekemään kaikki työkalulta vaadittava putkistosuunnitteluun liittyen kummassakin tapauksessa.

Työkalun kaikki ominaisuudet saatiin toimimaan, eikä mikään työkalun ominaisuus jäänyt epäkuuntoon. Toimeksiantaja kykenee siis aloittamaan työkalun käytön omissa putkistosuunnittelutöissään. Jatkokehityskohteenä työkalun Content Center-kirjastoon tulisi lisätä useampia PSK-putkiluokkia, jotta kirjasto sisältää valmiiksi tarpeeksi monta eri PSK-putkiluokkaa. Näin suunnittelijan ei tarvitse luoda ensin itse sopivaa putkiluokkaa kirjastoon ja rakentaa siitä putkityyliä työkaluun, vaan nämä olisivat jo valmiiksi työkalussa. Tällöin suunnitteluprosessin voisi aloittaa heti. Tätä varten kehitettiin työkalulle jatkokehitysohje.

Työkalun käyttöohjeiden ja jatkokehitysohjeiden luonnissa onnistuttiin kiitettävästi ja tavoite saavutettiin. Käyttöohjeista tuli kattavat ja laajat, ja niihin sisällytettiin kaikki työkalun käyttöä koskevat seikat. Käyttöohjeeseen sisällytettiin aikaisemmin mainittu työkalun soveltuvuuden määrittämisvuokaavio, suunnitteluprosessin tavallinen työnkulku työkalua käytettäessä, molempien putkityylytyyppien ominaisuudet sekä niiden luomiset ja reitittämiset, putkivarusteiden, -kannakkeiden ja kiinnikkeiden lisääminen, piirustusten luominen, sekä työkalun pohjatiedoston luominen ja päivittäminen.

Jatkokehitysohjeeseen sisällytettiin uusien Tube & Pipe-työkalun Content Center-komponenttien luomis- ja lisäämisohjeet, joiden avulla toimeksiantajan Autodesk Inventor-käyttäjät voivat luoda uusia komponentteja työkalulle. Ohjeista tehtiin yksityiskohtaiset, ja ne etenevät vaihe vaiheelta. Jokaiselle komponenttityypille tehtiin oma osio ohjeeseen, jota seuraamalla uuden komponentin saa tehtyä alusta loppuun saakka. Lisäksi yleisohjeet komponenttien luontiin sisällytettiin ohjeen loppuun siltä varalta, jos on lisättävä jokin komponentti, jolle ei juuri oikeaa ohjetta ole. Jatkokehityskohteenä ohjeen LIDAR-skannauksen hyödyntämisestä työkalulla suunniteltaessa voisi kehittää. Tätä ei vielä opinnäytetyön aikana ollut saatavilla, mutta se olisi erittäin suuren potentiaalinen omaava lisä työkaluun.

Opinnäytetyöprosessi eteni lähes koko ajan alkuperäisen suunnitelman ja aikataulun mukaisesti. Alkuperäistä aikataulua kyettiin tiivistämään, mikä mahdollisti oikeiden testitöiden lisäämisen alkuperäiseen suunnitelmaan. Tämä toi työkalun käyttökelpoisuuden testaamiseen merkittävästi enemmän luotettavuutta. Kaikki 3 alkuperäistä tavoitetta saavutettiin, ja työn seurauksena toimeksiantaja voi aloittaa työkalun käytön pienikokoisissa putkistosuunnittelutöissä, sekä työkalun jatkokehittämisen sitä varten luotujen ohjeiden avulla.

Opinnäytetyön suorittajan ammatillinen osaaminen kehittyi merkittävästi opinnäytetyöprosessin aikana. Suorittaja oppi paljon ja kattavasti Autodesk Inventorin, Vaultin ja Tube & Pipe-työkalun käyttöä, putkistosuunnittelusta, projektityöskentelystä, projektiviestinnästä, oman työn johtamisesta, sekä teollisesta kirjoittamisesta.

## LÄHTEET

- ASME B31.1. 2024. Power Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31. New Jersey, USA: The American Society of Mechanical Engineers.
- ASME B31.3. 2024. Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31. New Jersey, USA: The American Society of Mechanical Engineers.
- ASME BPVC.1. 2023. 2023 ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section I, Rules for Construction of Power Boilers. New Jersey, USA: The American Society of Mechanical Engineers.
- Direktiivi 2014/68/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi painelaitteiden asettamista saataville markkinoille koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 14.5.2014. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CE-LEX:32014L0068>. Viitattu 20.1.2025.
- Hietikko, E. 2021. Tuotekehitystoiminta. E-kirja. Helsinki: BoD – Books on Demand GmbH. Viitattu 16.1.2025.
- Jääskeläinen, J. & Lovio, R. 2003. Globalisaatio saapui Varkauteen. Helsinki: Yliopistopaino
- Moran, S. 2017. Process Plant Layout. E-kirja. Oxford: Butterworth-Heinemann. Viitattu 23.1.2025
- Pere, A. 2021. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.
- PSK 2402. 2021. Teollisuuden putkistot. Putkistosuunnittelun perusteet. Helsinki: PSK Standardisointi.
- PSK 2410. 2024. Teollisuuden putkistot. Putkiston tilantarve ja suositeltavat putkivälit. Helsinki: PSK Standardisointi.
- PSK 4201. 2022. Putkiluokat. Määrittely. Helsinki: PSK Standardisointi.
- SFS-EN 12952-3. 2022. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 3: Paineenalaisten osien suunnittelu ja laskenta. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN 13480-3. 2024. Metalliset teollisuusputkistot. Osa 3: Suunnittelu ja laskenta. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
- Sumitomo SHI FW. 2017. Job\_specification\_piping\_TEMPLATE\_EN. Yrityksen sisäinen ohje. Viitattu 17.1.2025.
- Sumitomo SHI FW. 2024. SFW Services brochure 2024. Verkkojulkaisu. <https://www.shi-fw.com/media/hwhl4wkx/sfw-services-brochure-2024.pdf>. Viitattu 16.1.2025.
- Vartiainen, A. 2020a. 001\_SFW Piping Design Introduction. PowerPoint-diat. Putkistosuunnittelu. Sumitomo SHI FW Energia Oy. Viitattu 17.1.2025.
- Vartiainen, A. 2020b. 002\_SFW Piping Design process. PowerPoint-diat. Putkistosuunnittelu. Sumitomo SHI FW Energia Oy. Viitattu 17.1.2025.
- Vartiainen, A. 2020c. SFW Piping basic modeling principles. PowerPoint-diat. Putkistosuunnittelu. Sumitomo SHI FW Energia Oy. Viitattu 17.1.2025.
- Vartiainen, A. 2025. Sumitomo SHI FW Energia Oy:n johtava putkistosuunnittelija. Haastattelu. 21.1.2025.