

**SAVONIA**



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN ALA

# 3D-SUUNNITTELUN HYÖDYNTÄMINEN TALOTEKNIIKAN ESIVALMISTETUOTANNOSSA

TEKIJÄ/T Juha Laatikainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Juha Laatikainen	
Työn nimi 3D-suunnittelun hyödyntäminen talotekniikan esivalmistetuotannossa	
Päiväys	12.3.2026
	39/0
Yhteistyötaho Moduls Oy	
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia 3D-suunnittelun hyödyntämistä talotekniikan esivalmistetuotannossa sekä tunnistaa kehityskohteita tilaajalle uuden suunnitteluohjelman käytössä. Pääaiheen ohella käsiteltiin yleisellä tasolla energiakontteja sekä esivalmistusta osana nykyaikaista talotekniikkaa.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena työnä työharjoittelujakson yhteydessä. Työssä hyödynnettiin käytännön havainnointia, kokeiluja 3D-suunnittelun parissa sekä suunnitteluprosessin analysointia toimeksiantajan näkökulmasta. Suunnittelutyössä tarkasteltiin mm. kansiorakenteen käyttöä, esikoottuja alikokoonpanoja ja hajautettujen 3D-mallien merkitystä. Lisäksi pohdittiin tekoälyn käyttöä suunnittelua tukevana apuvälineenä.</p> <p>Tuloksina havaittiin, että 3D-suunnittelua tukevat toimintamallit voivat tehostaa työskentelyä ja parantaa suunnittelutiedon käytettävyyttä myös varsinaisen projektin jälkeen. Erityisesti ensisijaiset valmistajavalinnat ja esikootut alikokoonpanot osoittautuivat toimiviksi ratkaisuksiksi. Kaikki tulokset eivät kuitenkaan olleet sellaisenaan käyttökelpoisia, ja esim. tekoälyn hyödyntäminen vaatii jatkokehitystä.</p>	
Avainsanat 3D-suunnittelu, lämpöpumput, esivalmistus	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	TEKNINEN SUUNNITTELU .....	6
2.1	Yleistä .....	6
2.2	Historia .....	6
2.3	3D-suunnittelu .....	6
2.4	Autodesk Inventor .....	7
2.5	Autodesk Vault .....	7
2.6	Sovelia Routing .....	8
3	LÄMPÖPUMPUT .....	9
3.1	Yleistä .....	9
3.2	Toimintaperiaate .....	9
3.3	Lämpöpumpputyypit .....	10
3.3.1	Ilmalämpöpumput .....	10
3.3.2	Maalämpöpumput .....	14
3.3.3	Geotermiset laitteet .....	15
4	ENERGIAKONTIT .....	18
5	TALOTEKNIIKAN ESIVALMISTEET .....	19
5.1	Keskeiset käsitteet .....	19
5.2	Esivalmisteratkaisujen luokittelu .....	19
5.2.1	Tilamoduulit .....	19
5.2.2	Tekniset tilaosat .....	19
5.2.3	Talotekniikan keskus-, siirto- ja pääteosat .....	20
5.2.4	Talotekniikan yhteensovittaminen muihin rakennusosiin .....	20
6	3D-SUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN TOIMEKSIANTAJAN TARPEISIIN .....	21
6.1	Toimeksiantaja .....	21
6.2	Lähtötilanne .....	21
6.3	Havainnot ja toimenpide-ehdotukset .....	21
6.3.1	Tarvittavien lähtötietojen kartoitus .....	21
6.3.2	Komponenttikirjasto .....	22
6.3.3	Suunnittelun ensisijaiset valmistajavalinnat .....	24
6.3.4	Esikootut alikokoonpanot .....	25
6.3.5	Hajautetut 3D-mallit .....	29

6.3.6	Tekoälyn hyödyntäminen .....	30
6.3.7	Suunnittelutietojen hyödyntäminen jaettavassa dokumentaatiossa.....	35
7	POHDINTA.....	36
	LÄHTEET.....	37

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö kertoo 3D-suunnittelun hyödyntämisestä talotekniikan esivalmistetuotannossa. Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä 3D-suunnitteluun, lämpöpumpputekniikkaan ja sen kehittämiseen Moduls Oy:n tarpeisiin. Tavoitteena on löytää kehityskohtia suunnittelutyöhön Moduls Oy:lle ja pyrkiä hyödyntämään Autodesk Inventor-ohjelmistoa mahdollisimman tehokkaasti.

Työharjoittelupaikkani Moduls Oy sai keväällä suurehkon asiakastilauksen liittyen ilma-vesilämpöpumpputekniikkaan. Asiakas on kansainvälisesti toimiva rakennusalan konserni. Yrityksen liiketoiminnan ydinalueet keskittyvät asuin-, toimitila- ja infrarakentamiseen. Yrityksen arvot kohdistuvat vahvasti kestäväen kehityksen ja energiatehokkuuden suuntaan. Tähän liittyy myös yrityksen tekemä asiakastilaus, eli siirrettävä ilma-vesilämpöpumppukontti työmaa-aikaiseen lämmitykseen. Osallistuin projektin suunnitteluvaiheeseen ja kyseisessä projektissa oli tarkoitus hyödyntää 3D-suunnittelua muun suunnittelutyön ohella.

Siirrettäviä energiakontteja on markkinoilla erilaisilla teknisillä ratkaisuilla ja energiantuotantomuodoilla. Energiakonttien suurin hyöty on niiden muunneltavuus ja logistinen käytännöllisyys. Suurin osa työmaa-aikaiseen lämmitykseen tarkoitetuista energiakonteista käyttää polttoaineena fossiilisia polttoaineita. Ilma-vesilämpöpumpputekniikka on tämän opinnäytetyön kirjoitushetkellä vielä melko uusi tekninen toteutustapa siirrettävissä energiakonteissa. Moduls Oy on yksi ensimmäisiä suomalaisia yrityksiä, joka tarjoaa tehdasvalmisteisia siirrettäviä ilma-vesilämpöpumppukontteja niin vuokratuna, leasing-sopimuksella tai suorahankintana. Yrityksenä Moduls Oy tarjoaa kattavasti ja valtakunnallisella tasolla rakennusteollisuuden sekä kiinteistöalan toimijoille erilaisia esivalmiste-, energia- ja urakointiratkaisuja (Moduls 2024).

Energia-ala elää tällä hetkellä vahvaa uudistumisen aikakautta. Fossiilisista polttoaineista irtaannutaan maailmalla kiihtyvään tahtiin ja korvaavia tuotantomuotoja tuodaan tilalle. Tulevaisuuden näkyvät näyttävät vääjäämättä siltä, että esimerkiksi Suomessa vahvassa asemassa olevista polttavista energiantuotantomuodoista on pyrittävä irtaantumiseen maailman muuttuessa ja määräysten kiristytessä, mutta muutos tulee viemään aikaa todennäköisesti vielä vuosikymmeniä. Ympäristöystävällisiä energiantuotantomuotoja vertaillen lämpöpumpputekniikka on suuressa roolissa energiamuroksen tulevaisuudennäkymissä.

## 2 TEKNINEN SUUNNITTELU

### 2.1 Yleistä

Suunnittelijan työ on hyvin monipuolista ja laaja-alaista. Teknisellä alalla työskentelevä suunnittelija voi työtehtävistä riippuen toimia esimerkiksi rakennusten, sisätilojen, talotekniikan, ajoneuvojen tai teollisuuden parissa. Ammatissa tarvitaan suunnitteluohjelmistojen hallintaa, tarkkaa työskentelyasennetta, pitkäjänteisyyttä ja ryhmätyötaitoja. Suunnittelija työskentelee yleensä työryhmän jäsenenä suunnittelutoimistossa tai erillisellä suunnitteluosastolla. Työ tehdään pääsääntöisesti toimistoympäristössä ja apuna käytetään erilaisia tietokoneohjelmia (Koulutus.fi n.d.).

### 2.2 Historia

Suunnittelutyö tapahtui vielä 1970-luvulla käytännössä käsin piirtämällä. Suunnittelutoimistot olivat piirustuskonttoreita, joita hallitsivat suuret piirustuspöydät ja pitkät viivaimet. Tietokoneita oli käytetty mallinnustehtävissä jo 1960-luvulta lähtien, mutta ne alkoivat yleistymään kaikkien suunnittelijoiden käyttöön vasta 1980-luvun tienoilla, kun ensimmäiset henkilökohtaiset PC-tietokoneet saapuivat markkinoille. 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa tyypillinen suunnittelukäytössä ollut tietokone muodostui 16-bittisestä minitietokoneesta, jossa oli enintään 512 kilotavua keskusmuistia ja 20-300 megatavun kiintolevy. Tällaisen tietokoneen hankintahinta on ollut silloin noin 125 000 dollaria (Hietikko 2023, 8).

Ensimmäisillä suunnitteluohjelmilla jäljiteltiin piirustuspöydän käyttöä. Piirtäminen tapahtui kaksiulotteisessa maailmassa. Kolmiulotteista suunnittelua kokeiltiin jo 1980-luvulla, mutta heikoin tuloksin. Tietotekniset järjestelmät perustuivat suljettuihin ratkaisuihin, minkä seurauksena tiedonsiirto järjestelmien välillä oli käytännössä mahdotonta (Hietikko 2023, 8).

Avions Marcel Dassault niminen lentokoneisiin keskittynyt yritys antoi 1977-luvulla tiimilleen tehtäväksi kolmiulotteisen vuorovaikutteisen suunnitteluohjelmiston luomisen. Tämä antoi alkusysäyksen ensimmäiselle aidolle 3D-ohjelmalle, jolle annettiin nimi CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application). Kehitystyö kesti noin viisi vuotta, ja ensimmäinen virallinen versio tuli markkinoille vuonna 1982. Samana vuonna perustettiin myös nykyaikaisessa ohjelmistomaailmassa varsin merkittävään asemaan kasvanut Autodesk (Hietikko 2023, 8).

### 2.3 3D-suunnittelu

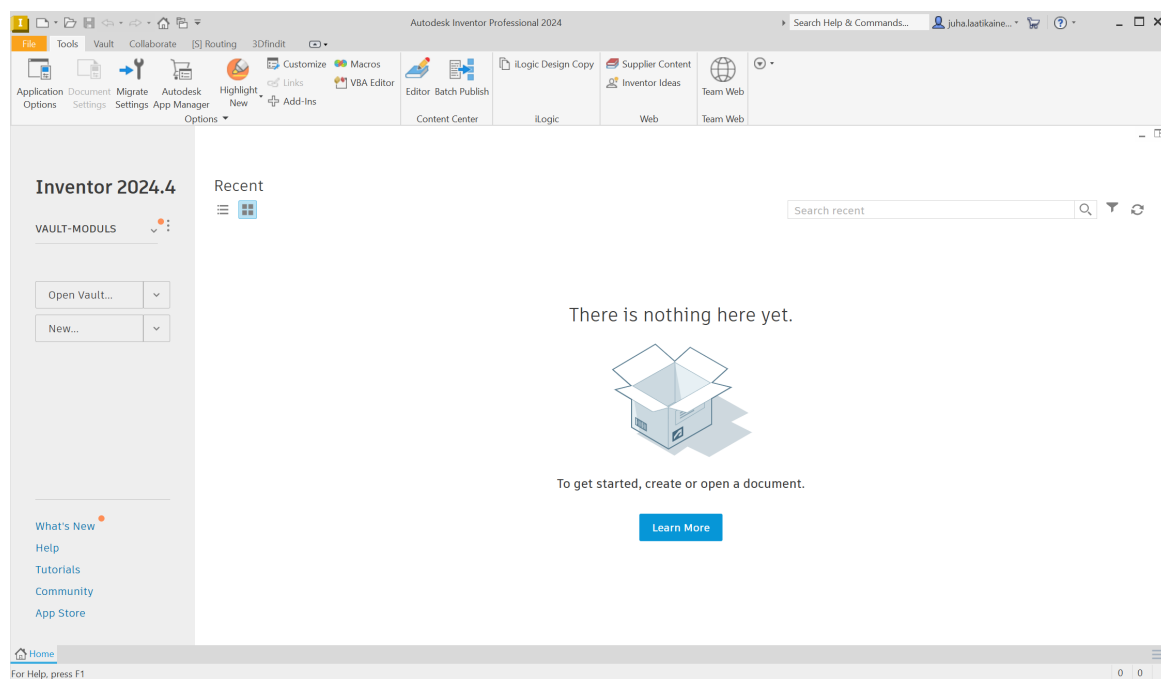
Yksi modernin ja ajankohtaisen suunnittelutyön perusta on nykyaikainen 3D-suunnittelu. Se mahdollistaa monimutkaisten kokonaisuuksien, vaativien rakenteiden ja tarkkuutta edellyttävien tuotteiden suunnittelun. 3D-suunnittelu on kuulunut kone- ja tuotantotekniikkaan vuosikymmeniä, mutta on vasta yleistymässä talotekniikan puolella.

Peruseriaate muodostuu kolmiulotteisen mallin luomiseen, jota voidaan tarkastella ja muokata eri näkökulmista. Mallien luomisessa yksi yleisimmistä tekniikoista on parametrinen mallinnus, jossa mallin luonti perustuu matemaattisiin yhtälöihin ja parametreihin. Parametrin mallintamisen vahvuuksia on sen helppo muokattavuus, mikä tekee siitä joustavan ja tehokkaan. 3D-mallit voidaan myös integroida muihin suunnittelutyökaluihin ja prosesseihin, joka lisää niiden monipuolisuutta ja tehokkuutta entisestään (Hefmec n.d.).

## 2.4 Autodesk Inventor

Tässä opinnäytetyössä käytetään Autodesk Inventor- ohjelmiston vuosiversioita 2024. Kyseessä on vuonna 1999 julkaistu 3D CAD-ohjelmisto, joka tarjoaa työkalut mekaaniseen suunnitteluun, dokumentointiin ja simulointiin. Inventor hyödyntää mekaniikkasuunnittelun 3D CAD-ohjelmissa yleisimpiä tekniikoita, kuten parametristä piirre pohjaista tilavuusmallinnusta, tekoälytekniikkaa sekä pintoja ja käyriä yhdistelevää NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) – geometriaa (Home n.d, 8).

Inventor hyödyntää Autodeskin omaa ShapeManager-mallinnusyöntä (kuva 1). Ohjelmisto sisältää kattavat työkalut ohutlevyjen, runkorakenteiden, putkien, kaapeleiden ja johtosarjojen suunnitteluun sekä layoutteihin, renderöintiin, simulointiin ja konesuunnitteluun (3Dnatives 2023).



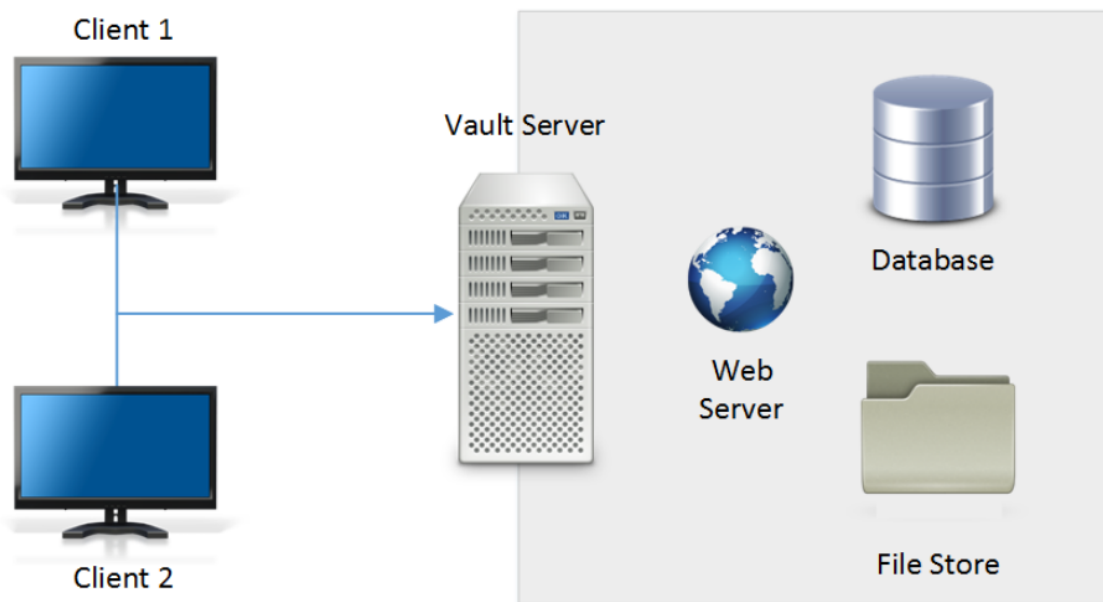
Kuva 1. Autodesk Inventor aloitusnäkö (Moduls Oy n.d.)

## 2.5 Autodesk Vault

Inventorin käyttöön liittyy vahvasti myös Autodesk Vault-ohjelmisto. Vault on keskitetty tiedonhallintajärjestelmä, joka koostuu useista eri osa-alueista. Vault-palvelin toimii järjestelmän keskiössä. Palvelin ottaa vastaan tietopyyntöjä käyttäjiltä, hallinnoi tietokantaa ja tarjoaa varsinaisen käyttöliittymän. Vault-ohjelmiston olennaisin toimintaperiaate perustuu siihen, että kaikki käyttäjien tekemät muutokset kulkevat palvelimen kautta (kuva 2). Palvelin tarkistaa käyttäjän käyttöoikeudet ja päivittää tehdyt muutokset tietokantaan ja tiedostot tallennuspaikkaan (Autodesk 2025).

Vault-ohjelmiston arkkitehtuuri on modulaarinen ja skaalautuva. Tämä tarkoittaa, että eri tiedostoja voidaan sijoittaa eri palvelimille tai tarvittaessa laajentaa niitä jälkikäteen. Tällainen ohjelmiston rakenne edesauttaa sen mukautumista erilaisiin IT-ympäristöihin ja yritysten tarpeisiin. Monipuolisista ominaisuuksista huolimatta tärkeimmät tekijät liittyvät projektityöskentelyn turvallisuuteen, eli vain valtuutetut käyttäjät voivat vaikuttaa sisältöön ja kaikki tehdyt toimenpiteen tallentuvat hallittuun versiohistoriaan.

Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tehdyt muutokset tallentuvat tekijän omalla nimellä versiohistoriaan uutena tiedostona. Tämän avulla tehtyjä muutoksia on helppo tarkistaa historiaa tarkkailemalla. Versiohistoria rakentaa myös kattavan varmuuskopioiden ”varaston”, jossa voi myös tarvittaessa palata aikaisempiin tiedostoversioihin (Autodesk 2025).



Kuva 2. Autodesk Vault järjestelmärakenne (Autodesk 2025)

## 2.6 Sovelia Routing

Tässä opinnäytetyössä olennaisessa roolissa on myös Sovelia Routing-lisäosa. Kyseessä on Symetri-ohjelmistoyhtiön tekemä putki-, letku- ja kaapelointityökalu, joka voidaan integroida suoraan Autodesk Inventorin käyttöliittymään.

Käyttäjystävällisenä tunnettu Sovelia Routing korvaa käytännössä Inventorin oman Tube&Pipe –toiminnon. Lisäosan tärkeimpiä ominaisuuksia ovat mm. helppo putkireittien luonti, erilaisten putkiosien sujuva lisääminen, kannakointi, tarvittavien eristysten lisääminen sekä piirustusten luonti (Symetri n.d.).

## 3 LÄMPÖPUMPUT

### 3.1 Yleistä

Lämpöpumppujen suosio Suomessa kasvaa jatkuvasti. Pumpputyypistä riippuen lämpöenergiaa otetaan ulkoilmasta, ilmanvaihdon poistoilmasta, vedestä, maasta tai kalliosta. Lämpöpumppujen hyödyntämä energia on pääsääntöisesti peräisin auringosta (Motiva 2024). Geoterminen energia on suurimmalta osin maapallon ytimestä johtuvaa lämpöä ja se rinnastetaan yleensä perinteiseen maalämpöön, vaikka ne tarkoittavat teknisesti hieman eri asioita.

Lämpöpumput olivat aluksi lähinnä pientalojen lämmityslähteitä, mutta ovat viimeisen vuosikymmenen aikana yleistyneet myös suurempien kiinteistöjen lämmitysjärjestelminä tekniikan kehityksen johdosta. Laitteilla saavutetaan merkittäviä säästöjä sekä ympäristöhyötyjä niin pienissä kuin suurissa kiinteistöissä. Aikaansaatu energiansäästö vaikuttaa kansallisella tasolla mm. sähkönkulutuksen hiilidioksidipäästöjen ja terveydelle haitallisten pienhiukkaspäästöjen vähenemiseen (Motiva 2024).

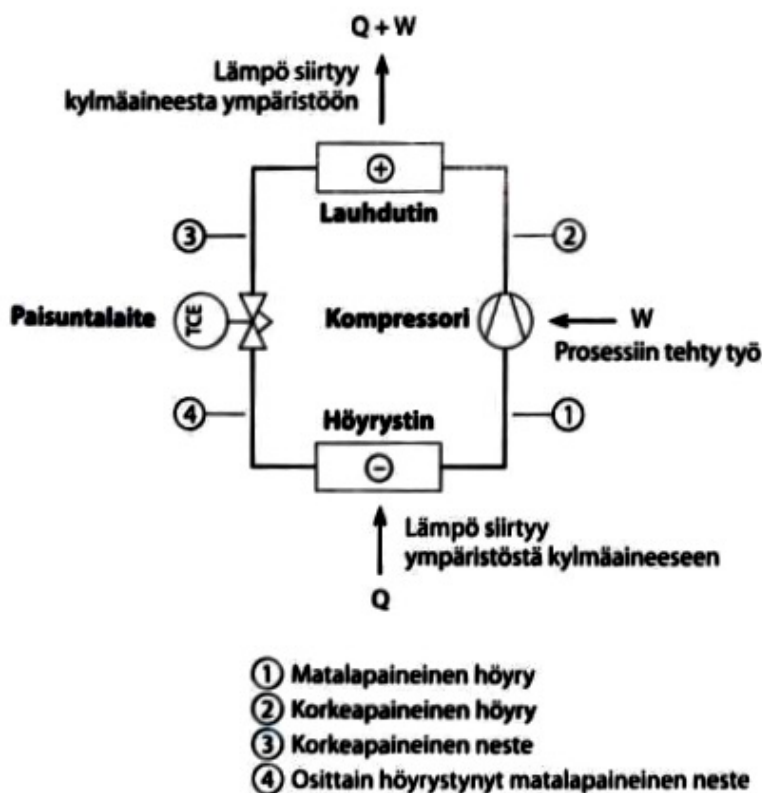
Lämpöpumput ovat tekniikkana ja keksintönä yllättävän iäkkäitä. Raution (2008,4) mukaan lämpöpumppujen periaate on keksitty jo 1700-luvulla. Tekniikkaa on tosin käytetty lähinnä jäähdytykseen, ja lämmityskäytössä lämpöpumput ovat yleistyneet Suomen pientalojen lämmitysjärjestelminä 1970-1980-luvulla. Lämpöpumppujen varsinainen suosio alkoi lisääntymään 1990-luvun lopulla. Nykyisin Suomeen on asennettu yli 1,6 miljoonaa lämpöpumppua viime vuosikymmenen aikana (Talotekniikka-lehti 2025).

### 3.2 Toimintaperiaate

Lämpöpumpun teknisessä kiertoprosessissa siirretään prosessiin tehdyn työn avulla lämpöä kylmäaineen välityksellä (kuva 3).

Höyrystimessä matalapaineinen ja lämpötilainen kylmäaine sitoo lämpöä itseensä ympäristöstään ja höyrystyy samalla. Seuraavaksi höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin, joka puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen. Puristuksen aikana kylmäaine tulistuu ja sen lämpötila nousee voimakkaasti. Kompressorin jälkeen tulistuneeksi höyryksi muuttunut kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa se jälleen tiivistyy nesteeksi eli lauhuu luovuttaen lämpöä ympäristöön. Lauhduttimesta kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa nestemäisen kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat, ja osa siitä höyrystyy jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen kiertoprosessi alkaa jälleen alusta (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2014, 18).

Termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpö siirtyy luonnostaan aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Mikäli siirtyminen halutaan kääntää päinvastaiseksi, täytyy systeemiin aina tehdä työtä. Lämpöpumpun teknisessä kiertoprosessissa systeemiin tehty työ on kompressoriin viety sähköenergiaa. Kompressorin sähköverkosta ottama sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi, josta osa siirtyy kylmäaineeseen ja osa poistetaan kompressoria jäähdyttämällä ympäröivään ilmaan tai jäähdyttävään väliaineeseen, esimerkiksi veteen (Kaappola ym. 2014, 18).



Kuva 3. Kylmätekninen kiertoprosessi (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011)

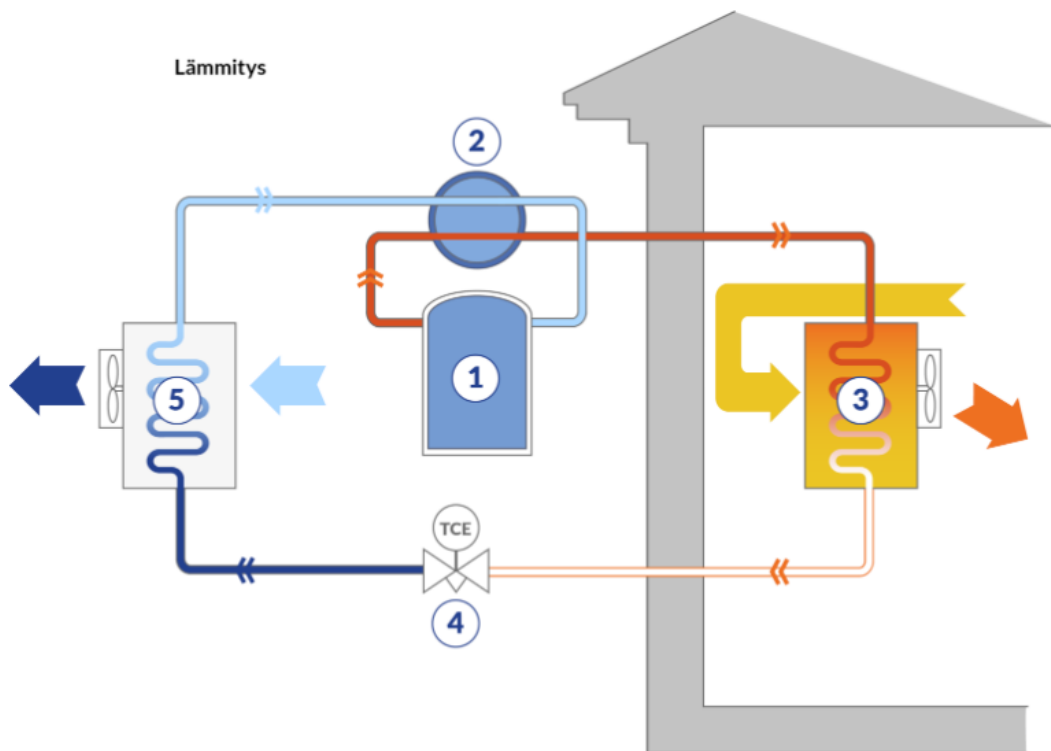
### 3.3 Lämpöpumpputyypit

#### 3.3.1 Ilmalämpöpumput

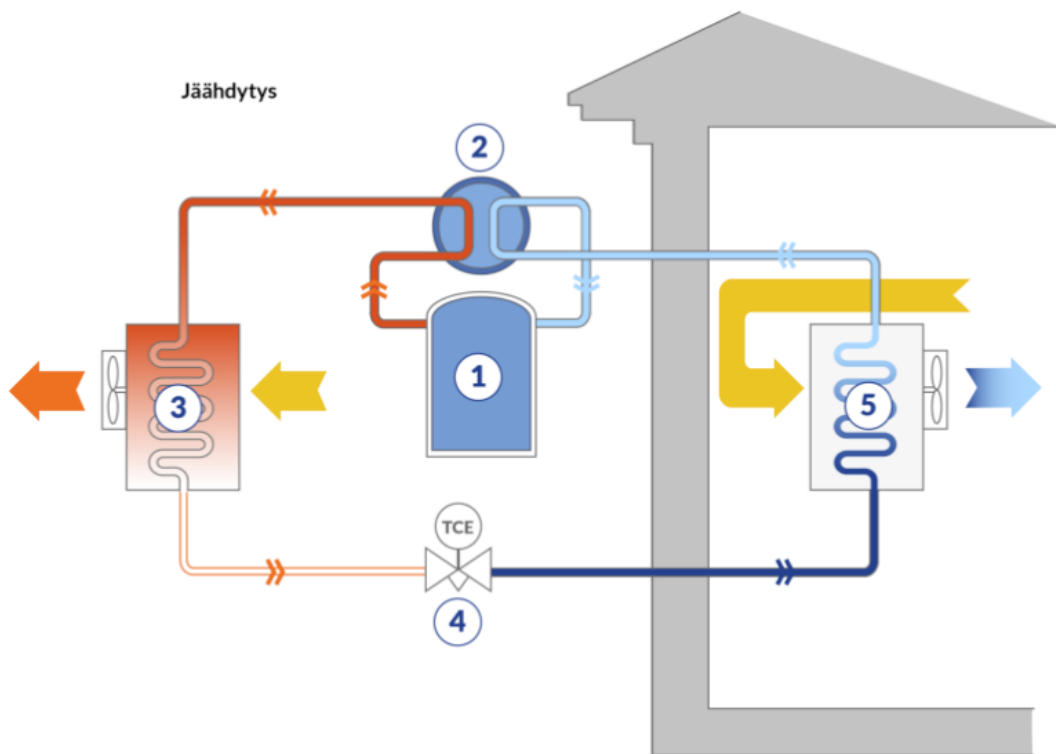
##### 3.3.1.1 Ilma-ilmalämpöpumput

Ilma-ilmalämpöpumput ovat perinteisin pumpputyypit Suomessa. Ne siirtävät lämpöenergiaa ulkoilmasta ja luovuttavat sen suoraan sisäilmaan (kuva 4). Kokonaisuuteen kuuluu ulkoyksikkö sekä yksi tai useampi sisäyksikkö. Ilmalämpöpumppu soveltuu uusiin sekä vanhoihin kiinteistöihin, ja toimii erityisen hyvin sähkö- tai öljylämmitteisessä kiinteistössä pudottaen merkittävästi energiakustannuksia. Ilmalämpöpumpun hyötysuhde ja lämmitysteho heikkenevät ulkolämpötilan laskiessa, joten päälämmönlähteenä on oltava jokin toinen ratkaisu (Motiva 2024).

Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää myös sisäilman viilentämiseen (kuva 5). Tekninen kiertoprosessi toimii jäädytyskäytössä käänteisesti, eli siirtää lämpöenergiaa sisäilmasta ulkoilmaan höyrystävän kylmäaineen välityksellä. On olemassa myös niin sanottuja split-laitteita, jotka on tarkoitettu vain viilennyskäyttöön (Scanoffice n.d.).



Kuva 4. Ilmalämpöpumppu lämmityskäytössä (Scanoffice n.d.)



Kuva 5. Ilmalämpöpumppu jäähdytyskäytössä (Scanoffice n.d.)

### 3.3.1.2 Ilma-vesilämpöpumput

Ilma-vesilämpöpumppu on toimintaperiaatteeltaan samankaltainen kuin perinteinen ilmalämpöpumppu. Ratkaiseva ero laitteiden välillä on lämmön luovutuskohde. Ilma-vesilämpöpumppu hyödyntää ulkoilmassa olevaa lämpöenergiaa kuten ilmalämpöpumppu, mutta siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään (kuva 6). Ilma-vesilämpöpumppu on erityisen toimiva vaihtoehto kohteissa, joissa ei voida järkevästi hyödyntää esim. maalämpöä. Syitä tälle voi olla mm. vaakaputkituksen suurehko tilantarve, este lämpökaivojen poraamiselle tai liian suuriksi kasvavat kustannukset suhteessa energiantarpeeseen (Motiva 2024).

Nykyaikaiset ilma-vesilämpöpumput ovat inverter-laitteita, joissa lämmitystehon tuottoa säädetään kompressorin kierroslukua ohjaamalla. Inverter-tekniikka vaikuttaa positiivisesti hyötysuhteeseen sekä pidentää kompressorin elinikää. Tämän lisäksi se vähentää myös kompressorin käynnistymisestä johtuvia hetkellisiä sähkövirran kulutuspiikkejä. Inverter-tekniikan lisäksi ilma-vesilämpöpumput voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin; split- ja monoblock-laitteisiin. Split-laitteessa lämpöpumpun kylmätekniinen prosessi on jaettu sisä- ja ulkoyksikköön, ja niiden välillä kiertää kylmäaine. Monoblock-laite tarkoittaa sitä, että kaikki kylmätekniikka on ulkoyksikössä, eli sisällä olevien laitteiden ja ulkoyksikön välillä kiertää vesi tai glykoliseos (Motiva 2024).

Ilma-vesilämpöpumpulla on myös omat heikkoutensa. Suurimmat haasteet liittyvät kylmiin vuodenaikoihin. Laitteen hyötysuhde ja lämmitystehon tuotto alkavat heikentyä ulkoilman lämpötilan laskiessa alle -15-celsiusasteen. Kovimmilla pakkasilla ilma-vesilämpöpumpun sulatusjaksot lisääntyvät sekä laite voi myös sammuttaa itsensä automaattisesti. Tällöin tarvittava lämpöenergia tuotetaan yleensä laitteen omilla sähkövastuksilla tai muulla ulkoisella lämmönlähteellä. Myös erilaiset hybridijärjestelmät ovat suosittuja, kuten ilma-vesilämpöpumppu rinnastettuna öljy- tai puulämmitykseen, tai suuremmissa kohteissa esim. kaukolämpöön (Motiva 2024).

Ilma-vesilämpöpumput on pitkään yhdistetty lähinnä yksityisten omakotitaloasujien lämpöpumpuiksi. Laitteet ovat alkaneet yleistyä suuremmissa kiinteistöissä ja teollisuudessa edellisen vuosikymmenen aikana. Tätä ovat edesauttaneet tekniikan kehitys myös suurempien laitteiden kohdalla sekä tietoisuuden lisääntyminen puhtaisiin energialähteisiin siirtymisestä erilaisten määräysten tiukentamisessa.

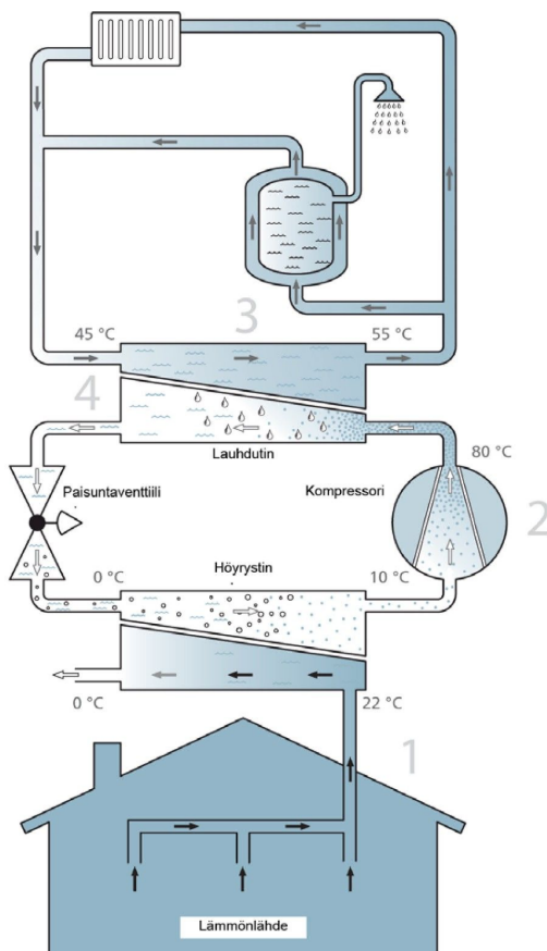


Kuva 6. Ilma-vesilämpöpumpun havainnekuva (Motiva 2024)

## 3.3.1.3 Poistoilmalämpöpumput

Poistoilmalämpöpumppu hyödyntää sisätiloista poistettavan lämpimän poistoilman sisältämää energiaa ilmanvaihtokanaviston kautta (kuva 7). Laite välittää talteen otetun lämpöenergian tarpeen mukaan lämpimään käyttöveteen, vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään tai tuloilman lämmitykseen. Poistoilmalämpöpumpun on toimiva ratkaisu kohteissa, joissa sisätilavuus on suuri suhteessa tarvittavaan lämmitystehoon. Suunnitteluvaiheessa on huomioitava riittävä ilmanvaihdon mitoitus, koska laitteen optimaalinen käyttö vaatii tehokasta lämmöntalteenoton hyödyntämistä. Poistoilmalämpöpumppu tuottaa tarvittavaa lämpöä lähes vakioteholla vuoden ympäri, koska lämmönlähteenä on sisätiloista poistettava sisäilma. Tästä huolimatta laitteella ei voida tuottaa kaikkea kiinteistön tarvitsemää lämmitysenergiaa kylminä vuodenaikoina, vaan ilma-vesilämpöpumpun tavoin lisälämpö tuotetaan yleensä laitteen omilla sähkövastuksilla (Motiva 2024).

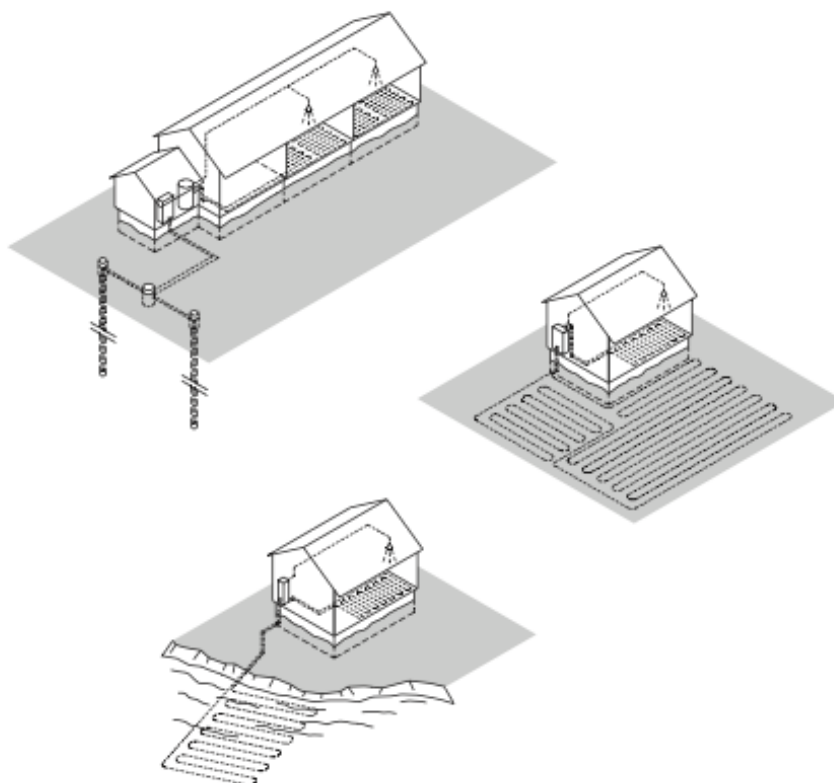
Poistoilmalämpöpumput ovat aikaisemmin olleet ilma-vesilämpöpumppujen tavoin lähinnä omakotitaloon tarkoitettuja laitteita. Nykyään poistoilmalämpöpumput ovat toimiva ratkaisu esim. kerrostalojen saneerauskohteissa. Suomessa on merkittävä määrä asuinrakennuksia, joissa lämmin poistoilma puhalletaan koneellisen poistoilmajärjestelmän kautta suoraan ulos ilman lämmöntalteenottoa. Tämän kaltaisessa rakennuksessa poistoilmalämpöpumpulla voidaan saavuttaa säästöjä pitkällä aikavälillä, kun lämpimän ilman sisältämä energia pystytään hyödyntämään esim. käyttöveden lämmitykseen.



Kuva 7. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate (Rakennustieto 2021)

### 3.3.2 Maalämpöpumput

Maalämpö on auringosta peräisin olevaa energiaa, joka on varastoitunut maa- ja kallioperään sekä vesistöjen pohjakerrokseen auringonsäteilyn ja maan sisäosista vapautuvan lämmön vaikutuksesta. Lämpöenergian siirtäminen lämmityskäyttöön tapahtuu kompressorin ja muun kylmäainepiirin avulla, kuten muissakin lämpöpumpuissa. Oleellinen ero muihin lämpöpumppeihin nähden on lämmönlähde ja lämmönkeruuneste, joka kiertää sille tarkoitetussa putkistossa. Lämmönkeruuputkisto on mahdollista sijoittaa kallioperään, maaperään tai vesistöön, mutta putkisto tarvitsee aina asennusluvan lain-säädännön puitteissa (kuva 8). Keruuputkiston sijoittamista voivat rajoittaa esim. maanalaiset rakenteet, pohjavesialueet ja suojaetäisyydet muihin rakennuksiin (LVI 11-10623 Maalämpöpumput Pientalot. Ohjeet 2018, 1,4).



Kuva 8. Maalämmön talteenottotapoja (Rakennustieto 2018)

Maalämpöpumpputyyppejä on erilaisia ja ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

1. Kiinteä lauhdutus
2. Vaihtuva lauhdutus
3. Tulistuspumput

Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumpuissa lämpöpumpun tuottama lämpö siirretään varaajaan, jossa lämmitetty vesi jakaa lämpöä sekä lämmitysverkostoon ja käyttöveteen. Suureksi mitoitettu varaaja pidentää pumpun käyntijaksoja ja vähentää kompressorin teknistä kulumista. Varaajaan voidaan liittää myös muita lämmönlähteitä, kuten puukattila, jolloin eri lähteiden tuottama lämpö kerätään samaan säiliötilaan. Järjestelmä toimii pääosin käyttöveden lämmitystarpeen perusteella, ja

siksi vettä lämmitetään ympäri vuoden. Tästä johtuen kiinteälauhdutteiset maalämpöpumput kuluttavat enemmän energiaa kuin muut järjestelmät, koska jatkuva korkea käyttöveden lämpötila lisää sähkönkulutusta. Varaajan sisällä tapahtuva veden lämpökerrostuminen ja käynnistyksissä syntyvä sekoittuminen voivat myös heikentää hetkellisesti käyttöveden lämmitystä. Tästä johtuen järjestelmää täydennetään usein pienemmällä sähköisellä tulistusvaraajalla, joka huolehtii käyttöveden riittävästä lämmöstä ja varmistaa tasaisen lämpimän veden saannin (Valle 2023, 14).

Vaihtuvan lauhtuksen maalämpöjärjestelmä toimii joustavasti lämmitystarpeen mukaan. Pumppu tuottaa vuorotellen joko lämmintä käyttövettä tai lämmitysverkoston vettä. Käyttöveden lämmityksessä maalämpöpumppu hyödyntää koko tehonsa lämminvesivaraajan kuumentamiseen. Varaajan sisällä oleva lämmityskierukka siirtää lämpöä varaajassa olevaan käyttöveteen, kunnes haluttu lämpötila saavutetaan. Varaajan ollessa lämmin, järjestelmän vaihtoventtiili ohjaa lämmön tuotannon automaattisesti lämmitysverkostoon, mikäli lämmitystä tarvitaan. Lämmitysverkoston menoveden lämpötila määräytyy ulkolämpötilan mukaan. Kovilla pakkasilla lämmitystarve on korkeimmillaan, mutta suurimman osan vuodesta vaihtuvan lauhtuksen järjestelmä toimii matalalämpöisellä vedellä. Tämä parantaa järjestelmän hyötysuhdetta ja vähentää sähkönkulutusta, koska lämpöä tuotetaan vain todellisen tarpeen mukaan (Valle 2023, 19).

Tulistusmaalämpöpumppu sisältää muista järjestelmistä poiketen kaksi lämmönsiirrintä. Ensimmäistä lämmönsiirrintä kutsutaan tulistuksen poistimeksi ja toista lämmönsiirrintä perinteiseksi lauhttimeksi. Tulistuksen poistimessa hyödynnetään kompressorin kuumakaasusta saatava korkea lämpöenergian määrä käyttöveden lämmitykseen. Tämän jälkeen jäljellä oleva lämpömäärä siirretään lauhttimen avulla lämmitysverkostoon. Tulistusjärjestelmässä lämminvesivaraaja on kaksiosainen. Vesi virtaa ala- ja yläosan välillä niin, että lämpötilavyöhykkeet säilyvät. Käyttövesi esilämmitetään alaosan kierukassa ja tulistetaan yläosan kierukassa. Lämpötilaa säädetään kolmitieventtiilillä, joka ohjaa esilämmitetyn veden määrää tulistusvaiheeseen. Kompressorin tehosta noin 15-20 % menee tulistimelle, joten käyttöveden lämmitys on hidasta ja käyntijaksot pitkiä. Suurin osa kompressorin tehosta menee siis lauhttimelle. Lauhttimelta tuleva lämmin vesi saadaan hyödynnettyä lämmityskaudella lämmitysverkostoon, mutta lämmityskauden ulkopuolella lämmitettävän veden sisältämää energiamäärää ei voida täysin hyödyntää ja tämä vaikuttaa negatiivisesti tulistusjärjestelmän hyötysuhteeseen (Valle 2023, 16).

### 3.3.3 Geotermiset laitteet

Geotermisen energia on pääsääntöisesti maansisäistä lämpöenergiaa. Maalämmön ja geotermisen energian erottaa toisistaan lämmönlähde. Kuten aikaisemmassa kappaleessa todettiin, maalämpö on auringosta peräisin olevaa energiaa, joka on varastoitunut maa- ja kallioperään. Geotermisen energia taas muodostuu syvemmällä maan sisuksissa, josta noin kaksi kolmasosaa on peräisin radioaktiivisten isotooppien, kuten uraanin, toriumin sekä kaliumin hajoamisesta. Loput geotermisestä energiasta säteilee maapallon ytimeistä ja vaipasta (Helsingin kaupunki, Geotekninen osasto 2017).

Geotermistä energiaa voidaan hyödyntää sähkön sekä lämmön tuotannossa. Tuliperäisillä alueilla geotermistä energiaa on hyödynnetty jo vuosikymmeniä, koska kuuma höyry ja vesi sijaitsevat lähellä maanpintaa. Hyvänä esimerkkinä tästä toimii Islanti, jossa peräti 85 % asunnoista lämmitetään geotermisellä energialla (Helsingin kaupunki, Geotekninen osasto 2017).

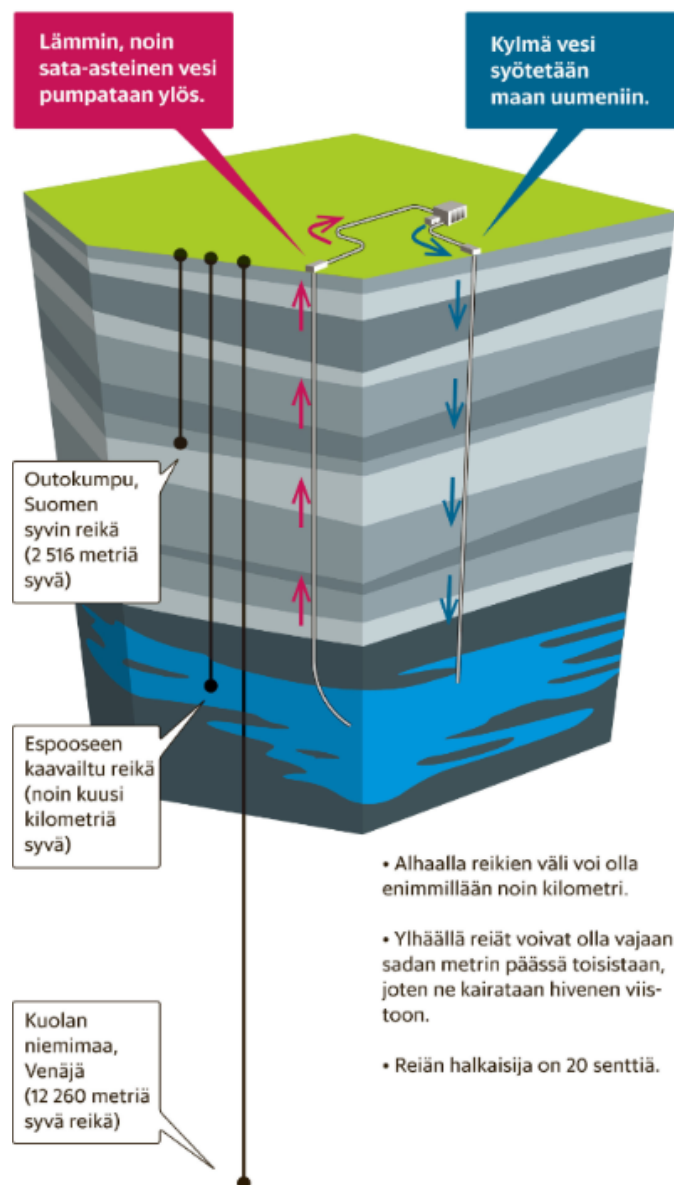
Maankuoressa olevia yli 130°C vesi- tai höyryesiintymiä voidaan hyödyntää suoraan lämmitykseen tai sähköntuotantoon käyttämällä geotermistä voimaa pääosin vulkaanisilla alueilla. Voimaloita on kolmea erilaista tyyppiä:

1. Dry steam – laitos hyödyntää suoraan maan kuoresta tulevaa kuumaa vesihöyryä turbiinien avulla.
2. Flash steam – laitoksessa kuuma korkeapaineinen vesi muutetaan maan pinnalla höyryksi alentamalla sen painetta.
3. Binäärikiertolaitoksessa vesi pumpataan maasta lämmönsiirtimeen, joka välittää lämmön eteenpäin työaineen höyrystyessä.

Edellä mainittujen voimalatyyppien lisäksi geotermistä energiaa on pyritty hyödyntämään Euroopassa keinotekoisien kuumien lähteiden eli ESG-voimaloiden avulla. Tekninen prosessi sisältää kaksi syvälle porattua reikää, joista toisesta pumpataan syvältä maankuoresta lämmintä vettä hyödynnettäväksi ja jäähtynyttä vettä syötetään takaisin syvyyksiin toisen reiän kautta. Porattujen reikien välille luodaan keinotekoinen yhteys säröttämällä, räjäyttämällä tai kemikaalien avulla (Helsingin kaupunki, Geotekninen osasto 2017).

Nykyteknologian avulla geotermistä energiaa voidaan hyödyntää myös lämpöpumppujen avulla pohjavesiesiintymistä. Pohjavesijärjestelmä perustuu kahteen pystykaivoon, joista toinen on lämmönlähteenä toimiva pohjavesikaivo ja toinen pohjaveden purkukaivo. Lämmönlähteenä toimivasta kaivosta kierrätetään lämpöä käyttökohteeseen lämpöpumpun avulla ja jäähtynyt pohjavesi palautetaan purkukaivoon (Helsingin kaupunki, Geotekninen osasto 2017).

Suomen ensimmäistä geotermistä lämpölaitosta alettiin rakentaa pilottiprojektina Espoon Otaniemessä energiayhtiö St1:n toimesta vuonna 2016 (kuva 9). Hankkeessa porattiin kallioperään kaksi yli kuuden kilometrin syvyistä lämpökaivoa, joissa kallioperän lämpötila kohoaa noin 120°C asteeseen. Geotermisen lämpö oli tarkoitus hyödyntää kierrättämällä kallioperän lämmintä vettä ja siirtää sen lämpöenergia kaukolämpöverkkoon suoraan lämmönsiirtimen avulla ilman erillisiä lämpöpumppuja. Valitettavasti projekti keskeytyi, koska kaivojen välille ei saatu tuotettua tarpeeksi suurta virtausmäärää ja suunnitellun lämpölaitoksen teho olisi ollut kaupallisesti kannattamaton. Poratut lämpökaivot ovat nykyään tutkimuskäytössä, ja mm. Helsingin yliopisto suoritti kaivoilla tutkimuksia vuonna 2024 yhteistyössä VTT:n ja saksalaisen GFZ:n kanssa (St1 2024).



Kuva 9. Geotermisen lämmön hyödyntämisprosessi St1:n projektissa (Helsingin Sanomat 2016)

## 4 ENERGIAKONTIT

Energiakontit ovat tekniikan alalla suhteellisen tuore ja laaja käsite. Energiakontti voi sisältönsä puolesta tarkoittaa useita erilaisia kokonaisuuksia. Uusiutuvien energiatuotantomuotojen lisääntyessä erityisesti akkuteknologiaa sisältävät konttiratkaisut ovat voimakkaasti lisääntymässä. Kantaverkkoon tai jakeluverkkoon on liitetty jo satojen megawattien edestä ns. akkuvarastoja, joiden pääsääntöinen tehtävä on tasata erityisesti aurinko- ja tuulivoiman tuotannosta syntyviä vaihteluita. Toimintaperiaatteeltaan akkuvarastot ovat yksinkertaisia. Varastot latautuvat, kun sähkö on halpaa ja sitä on tarjolla runsaasti, ja purkavat energiasisältönsä takaisin verkkoon, kun sähkön tarve ja hinta kohoavat korkeaksi (Yle 2024).

Lämmöntuotantoon liittyviä energiakontteja on markkinoilla myös useilla erilaisilla kokoonpanoilla. Yleinen käytössä oleva termi on myös lämpökontti. Konttien tekninen toteutus voidaan tehdä mm. kauko-, maa- tai ilma-vesilämmöllä sekä polttoon perustuvilla ratkaisuilla, kuten öljyllä, hakkeella ja pelleteillä. Myös useita lämmitysmuotoja yhdistäviä hybridiratkaisuja on olemassa. Kirjoitushetkellä suoritettu vertailu konevuokraamojen sivuilla paljastaa, että Suomen markkinoilla on tarjolla vain muutamia valmiita lämpöpumpputekniikkaan perustuvia energiakontteja, jotka soveltuvat mm. työmaa-aikaisten tilojen lämmitykseen. Suurin osa tarjolla olevista laitekokoonpanoista perustuu öljylämmitykseen.

Moduls Oy:n muutamia vuosia sitten lanseeraama siirrettävä ilma-vesilämpöpumppukontti oli ensimmäisiä lajissaan. VILP-moduuli on merikontin pohjalle rakennettu ympäristöystävällinen ja energiatehokas lämpöpumppukokonaisuus, joka tarjoaa helpon ja joustavan tavan rakennuksen lämmitykseen ja jäähtymykseen. Lämpöpumpun ulkoilmasta tuottama uusiutuva energia pienentää merkittävästi kiinteistön hiilijalanjälkeä sekä energiankulutusta, jonka lisäksi kestävä merikontti on helppo kuljettaa ja sijoittaa määränpäähän. Tarvittaessa VILP-moduuli voidaan myös siirtää uuteen käyttökohteeseen (kuva 10), mikä tekee siitä kustannustehokkaan ja monikäyttöisen ratkaisun tilapäisiin tai pysyviin tarpeisiin (Moduls Oy n.d).



Kuva 10. VILP-moduuli lähdössä kuljetukseen (Moduls Oy n.d)

## 5 TALOTEKNIIKAN ESIVALMISTEET

### 5.1 Keskeiset käsitteet

Peltokorpi, Lavikka, Kokko & Seppänen (2018, 2-3) esittävät raportissaan, että esivalmistamisella tarkoitetaan rakennus- tai asennuspaikan ulkopuolella tapahtuvaa tuoteosan valmistusta tai siihen kuuluvien komponenttien alikokoonpanoa. Esivalmistamisen avulla päästään paikkariippumattomampaan tuotantoon ja parempiin tuotanto-olosuhteisiin, jotka mahdollistavat tehokkaamman, nopeamman ja laadukkaamman tuotannon. Esivalmistus voi kohdistua joko yksittäiseen projektiin räätälöityihin tai useissa projekteissa uudelleen hyödynnettäviin tuoteosiin. Se voidaan toteuttaa projekti-kohtaisissa tiloissa, kuten rakennuskohteen läheisyydessä, tai vaihtoehtoisesti pysyvissä tuotantoympäristöissä. Kokoonpanoon perustuva modulaarisuus tukee yleensä esivalmistusta, sillä se mahdollistaa esivalmistettujen osien asentamiseen liittyvien rajapintojen sekä asennustyön yhtenäistämisen ja standardoinnin.

Talotekniikan esivalmisteesiin liittyy myös olennaisena osana edellä mainittu modulaarisuus. Peltokorpi ym. (2018) mukaan modulaarisuudella tarkoitetaan monimutkaisen tuotteen, järjestelmän, prosessin tai organisaation selkeyttämistä kokoamalla se ennalta määritellyistä alijärjestelmistä (tuotesosat, komponentit ja moduulit), joiden väliset rajapinnat ovat mahdollisimman yksinkertaisia ja standardoituja. Modulaarinen lähestymistapa mahdollistaa kokonaistuotteen jakamisen helpommin hallittaviin osiin, jotka voidaan suunnitella ja valmistaa toisistaan riippumatta sekä liittää yhteen valmiiksi määriteltyjen vakioliitosten avulla.

### 5.2 Esivalmisteratkaisujen luokittelu

Talotekniikan esivalmistusta voidaan hyödyntää useilla eri tasoilla. Toisessa ääripäässä ovat kokonaan esivalmistetut rakennukset, joihin talotekniset järjestelmät on valmiiksi integroitu. Vastakkaisessa ääripäässä ovat pienimuotoiset talotekniset osat, joiden alikokoonpano voidaan toteuttaa teollisissa olosuhteissa. Vesimittarit ja jakotukit ovat hyvä esimerkki pienimuotoisesta alikokoonpanosta. Peltokorpi ym. (2018) toteavat tutkimuksessaan, että talotekniikan esivalmisteteet ovat selkeyden vuoksi järkevää jakaa neljään eri luokkaan, jotka esitellään seuraavissa kappaleissa. Merkittävin syy luokitteluun on se, että esivalmisteen laajuus vaikuttaa sen suunnittelu- ja toteutusprosessiin.

#### 5.2.1 Tilamoduulit

Yksittäisen tilan tai huoneen muodostavat moduulit, jotka voidaan liittää rakennuksen runkorakenteeseen. Jokaisella tilaelementillä on yleensä ennalta määritelty käyttötarkoitus, esim. potilashuone, kylpyhuone tai leikkaussali. Tilamoduuli voi olla joko kokonaan esiasennettu tai koostua komponenttien asennussarjasta, jotka kohteessa asennettuina muodostavat valmiin tilan.

#### 5.2.2 Tekniset tilaosat

Rakennusosiin esiasennetut talotekniset järjestelmät tuottavat tiloille niiden tarvitseman suorituskyvyn. Näitä voivat olla mm. tekniikkaseinät, lattiaelementit, pystykuiluelementit ja huoneiden kattopalkit. Tilaosiin asennettu tekniikka on viety esivalmistusvaiheessa mahdollisimman pitkälle, ja ne voidaan asentaa kohteessa nopeasti paikoilleen standardisoiduilla liitoksilla.

### 5.2.3 Talotekniikan keskus-, siirto- ja pääteosat

Tilaa muodostamattomat rakennusosat ovat mitoitukseltaan ja suunnitteluratkaisuiltaan vakioituja sekä esivalmistettavia, ja ne voidaan liittää toisiinsa tai rakennuksen runkoon. Tällaisia ovat esimerkiksi LVI-pystykuiluelementit sekä vedenjäähdytykseen ja lämmönjakoon liittyvät konehuoneosat. Tilamoduuleihin verrattuna tehdastuotanto ja logistiikka ovat yleensä helpompia toteuttaa, mutta ratkaisu edellyttää enemmän viimeistelytyötä varsinaisella kohteella.

### 5.2.4 Talotekniikan yhteensovittaminen muihin rakennusosiin

Talotekniikan järjestelmien yhteensovittaminen muiden rakennusosien kanssa edellyttää suunnittelun koordinoitua erityisesti vesikaton läpiviennin sekä väliseinien, alapohjan ja käytävien rei'itysten osalta. Tavoitteena on varmistaa talotekniikan sujuva asennus ja rakenteiden toimivuus (kuva 11).

Esivalmiste	LVI	S	SPR
<b>1. Tilamoduulit</b>			
Kerrososaelementti/suurelementti	x	x	x
Kylpyhuonemoduulit	x	x	
Konehuoneet	x	x	
Leikkaussalit	x	x	
<b>2. Tekniset tilaosat</b>			
Alakattolevyjen tate (esim. valaisin ja savuilmaisin asennettuna)	x	x	x
Tekniikkaseinäelementit (mm. keittiö, potilashuone)	x	x	x
Lattiaelementit ja asennuslattiat (P27R)	x	x	x
Käytäväelementti (+ katot + otsat)	x	x	x
Pystykuiluelementit (mm. Elpo, Pilster)	x	x	x
Kantavat kattoelementit	x		x
<b>3. Talotekniikan keskus-, siirto-, ja pääteosat</b>			x
LVI-pystykuiluelementit	x		x
VJK/LJK konehuoneosat	x		
Yhteiskannakointijärjestelmät	x	x	x
Toimistokattoelementit + jäähdytys	x	x	x
IV-koneet pumppuryhmillä	x		
Johtosarjat		x	
Jakotukkikaappi	x		
Putkistot (esim. BIM-mallista, yksilöidyt numerot)	x		x
Moduulikohtaiset toimituserät (esim. pesuallaspaketti, johtosarjat, sähkömittarit, jako- ja vesitukit)	x	x	
Esi-asennettavat tarvikkeet (vesimittarit, jakotukit)	x		
<b>4. Tate-yhteensovittaminen muihin osiin</b>			
Vesikaton läpiviennit	x		
Väliseinä/välipohja rei'itys	x		x
Käytäväläpiviennit	x		x

Kuva 11. Kuvaleike talotekniikan esivalmisteiden luokittelusta ja osalajeista. S=sähkö ja SPR=sprinkleri (Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos 2018)

## 6 3D-SUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN TOIMEKSIANTAJAN TARPEISIIN

### 6.1 Toimeksiantaja

Moduls Oy on vuonna 2013 perustettu suomalainen yritys, joka tarjoaa rakennusteollisuuden ja kiinteistöalan toimijoille valtakunnallisesti esivalmiste-, energia- ja urakointiratkaisuja erityisesti talotekniikan alueella. Yrityksen ydinosaaminen kohdistuu tehdasvalmistisiin moduuliratkaisuihin, joiden tavoitteena on tehostaa rakentamisen läpivientiaikoja, parantaa työmaiden hallintaa sekä vähentää materiaalihukkaa ja jätteiden määrää. Tuote- ja palveluvalikoimaan kuuluvat erilaiset energia-, ilmastointikonehuone-, pystykuilu- ja ilma-vesilämpöpumppumoduulit, joita voidaan sijoittaa rakennuksen sisä- tai ulkotiloihin. Lisäksi yritys tarjoaa energiaratkaisuja ja energiasaneerauksia, joihin sisältyvät energiaturvakeselvitukset ja energiakannattavuuslaskelmat, tavoitteena parantaa kiinteistöjen energiatehokkuutta ja tukea kestävästä kehityksestä. Moduls Oy toteuttaa myös hankkeita useilla urakkamalleilla, kuten projektinjohtourakkana, allianssi-, elinkaari- ja kiinteähintaisina urakoina, ja räätälöi toteutusmallit hankekohtaisesti asiakkaan tarpeiden mukaisesti (Moduls 2024).

### 6.2 Lähtötilanne

3D-suunnittelun hyödyntäminen ja käyttö oli vielä alkutekijöissään tullessani yritykseen työharjoitteluun keväällä 2025. Tarpeet ja tavoitteet perinteisen cad-suunnittelun tehostamiseen oli kartoitettu aikaisemmin ja tultu siihen tulokseen, että kyseistä osa-aluetta lähdetään kehittämään. Moduls Oy:n suunnittelupääällikkö päätyi ohjelmistovalinnassa Autodesk Inventor-ohjelmistoon. Tärkein tekijä suunnittelutyön kehittämisessä oli esivalmistetuotannon tehokkuuden ja tarkkuuden lisääminen, joihin oli tarkoitus pyrkiä tarkkojen 3D-mallien ja kokoonpanotiedostoista tehtyjen työpiirustusten avulla. Autodesk Inventor on pohjimmiltaan mekaniikkasuunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto, joten vaadittava tarkkuustaso on saavutettavissa.

3D-suunnitteluun liittyvä kehitystyö alkoi varsinaisesti johdannossa mainitun ilma-vesilämpöpumppukontin muun suunnittelutyön ohella. Kyseinen projekti oli kohteena monipuolinen suunnittelutyön kannalta sisältäen monia erilaisia muuttuvia tekijöitä sekä uusia toimintatapoja. Varsinaista aikaisempaa vertailupohjaa tai selkeää toimintasuunnitelmaa esim. 3D-mallin tai työkuvioiden sisällöstä ei ollut, joten 3D-suunnitteluun esitetyt havainnot ja niihin liittyvät toimenpide-ehdotukset on esitetty tilanteessa, jossa lähdettiin ns. ”puhtaalta pöydältä” liikkeelle.

### 6.3 Havainnot ja toimenpide-ehdotukset

#### 6.3.1 Tarvittavien lähtötietojen kartoitus

##### 6.3.1.1 Havainto

Lähtötietojen mahdollisimman tarkka kartoitus suunnittelutyön alussa on tärkeä työvaihe, jolla luodaan tarvittava pohja projektin aloitukselle ja sujuvalle jatkumiselle. Jos lähtötiedot ovat puutteellisia tai virheellisiä, suunnittelutyö altistuu negatiivisille muuttujille heti alkuvaiheessa. Tämä taas voi johtaa esim. tuotteen heikkoon laatuun ja muihin ongelmiin projektin viimeistelyvaiheessa. Hyvin kartoitetut lähtötiedot auttavat ymmärtämään, mitä projektissa ollaan oikeasti suunnittelemassa. Esim. olosuhteet, mitat, käyttäjien tarpeet, ympäristötekijät ja tekniset vaatimukset voivat kaikki olla ratkaisevia tekijöitä onnistuneessa lopputuloksessa. Mahdollisimman tarkasti kartoitetut lähtötiedot ovat

myös taloudellinen tekijä. Puutteellisten tai virheellisten tietojen korjaaminen jälkikäteen teettää aina ylimääräisiä kustannuksia siihen käytetyn ajan muodossa.

### 6.3.1.2 Toimenpide-ehdotus

Moduls Oy:llä on jo entuudestaan panostettu laadukkaaseen kokonaisuuden hallintaan ISO 9001-sertifikaatin muodossa. ISO 9001 on kansainvälinen standardi, joka auttaa organisaatiota parantamaan suorituskykyään, täyttämään asiakkaiden ja sidosryhmien vaatimukset sekä varmistamaan tuotteiden ja palveluiden jatkuvan laadun ( Kiwa n.d.). Sertifikaatin pohjalta aikaisemmin luodun selkeän kansiorakenteen tueksi olisi järkevää luoda erillinen 3D-suunnittelua tukeva kansiorakenne Autodesk Vault-ohjelmistoon sekä Onedrive-tallennustilaan, joihin 3D-suunnittelussa tarvittavia lähtötietoja voisi tallentaa. Toimivan kansiorakenteen käyttäminen nopeuttaa merkittävästi tiedostonhallintaa jatkossa.

Taulukko 1. Esimerkki 3D-suunnittelussa käytettävästä kansiorakenteesta

Otsikko	Rakenne	Sisältö
1. Projekti	1.1 Lähtötiedot	1.1.1 Yleiset
		1.1.2 Koneet ja laitteet
		1.1.3 Rungot ja alustat
		1.1.4 Komponentit
		1.1.5 Dokumentit
	1.2 Suunnittelu	1.2.1 LVI
		1.2.2 Sähkö
		1.2.3 Rakenteet
		1.2.4 Valitut laitteet ja komponentit
		1.2.5 Muut
	1.3 3D-suunnittelu	1.3.1 Koneet
		1.3.2 Komponentit
		1.3.3 Kokoonpanot
		1.3.4 Muut
		1.3.5 Valmiit 3D-mallit
	1.4 Suunnitelmat	1.4.1 Pääkokoonpano
		1.4.2 Erilliset kokoonpanot
		1.4.3 DWG-kuvat
		1.4.4 PDF-työkuvat
1.4.5 Ulkoiseen jakoon		
1.4.6 Muut		

### 6.3.2 Komponenttikirjasto

#### 6.3.2.1 Havainto

3D-suunnittelua voi toteuttaa monella erilaisella tavalla ja jokainen alalla työskentelevä löytää varmasti oman mieleisen tyylin ja toimintatavan työskentelyyn. 3D-suunnittelu voi sisältää esim. osien mallintamista ja erilaisten osakokoonpanojen rakentamista. Moduls Oy:llä suunnittelutyö painottuu

enemmän kokoonpanojen toteutukseen. Olemme itse mallintaneet joitain venttiilejä, varaajia, ilmanvaihtoon liittyviä osia sekä sähkölaitteita, mutta suurin osa 3D-suunnitteluun käytetystä työajasta kuluu kokoonpanojen rakentamiseen.

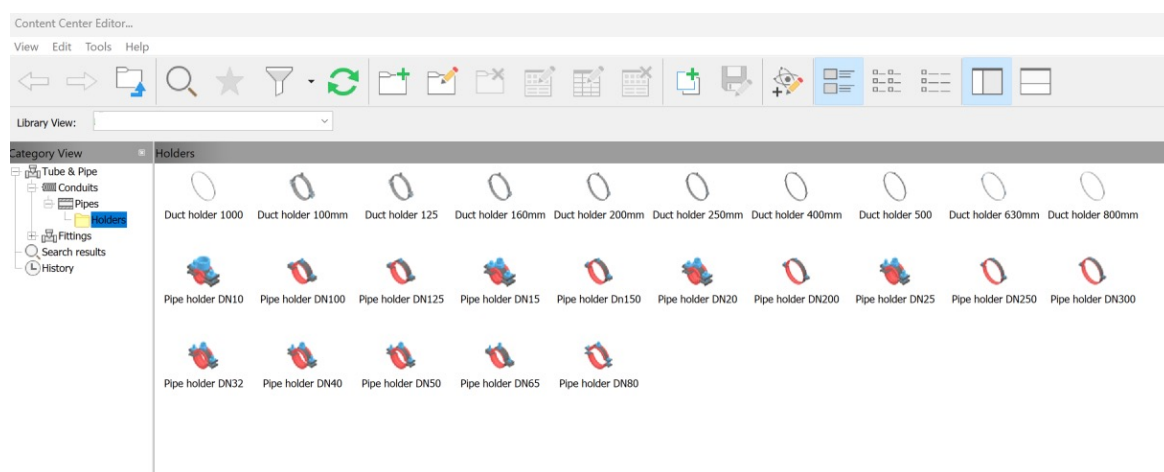
### 6.3.2.2 Toimenpide-ehdotus

Omassa käytössä oleva ja kattava komponenttikirjasto luo käytännöllisen pohjan suunnittelutyön aloitukselle ja edistämiseksi. Varsinkin kokoonpanojen työstäminen nopeutuu huomattavasti, koska käytössä on valmiita ja toimiviksi havaittuja komponentteja.

Kirjaston luomiseen on olemassa erilaisia vaihtoehtoja. Yksinkertaisimmillaan kirjasto voidaan tallentaa suunnittelijan tietokoneen omalle kiintolevylle, mutta tämä rajoittaa tiedostojen jakamista ja yhteiskäyttöä. Tiedostojen tallentaminen OneDrive-alustalle mahdollistaa komponenttien helpon jakamisen useiden käyttäjien kesken, varmistaa tiedostojen ajantasaisuuden sekä tuo mukanaan automaattisen varmuuskopioinnin. Tämä parantaa yhteistyötä ja vähentää riskiä tiedostojen katoamisesta.

Autodesk Vault -ohjelmiston käyttö on suositeltavaa erityisesti silloin, kun suunnittelutyössä on mukana useampi käyttäjä. Vault mahdollistaa tiedostojen versionhallinnan, käyttöoikeuksien hallinnan sekä sen, että samaa tiedostoa ei muokata samanaikaisesti useassa paikassa. Lisäksi Vault helpottaa kokoonpanojen ja niihin liittyvien osien hallintaa nähtävissä olevan versiohistorian kautta.

Yksi varteenotettava vaihtoehto komponenttikirjastoksi on myös Autodesk Inventorissa valmiina oleva Content Center, joka toimii ohjelmiston sisäisenä osakirjastona. Content Center sisältää laajan valikoiman standardoituja komponentteja, kuten pultteja, muttereita, tiivisteitä, venttiilejä ja muita yleisesti käytettäviä osia. Näiden valmiiden komponenttien käyttö nopeuttaa suunnittelua ja varmistaa, että osat täyttävät yleiset standardit. Content Centeriin on mahdollista lisätä myös itse mallinnettuja komponentteja osatiedostoina, jolloin yrityksen omat vakiokomponentit saadaan osaksi samaa keskitettyä kirjastoa (kuva 12).



Kuva 12. Content Centeriin itse lisättyjä putkistokannakkeita (Moduls Oy n.d.)

### 6.3.3 Suunnittelun ensisijaiset valmistajavalinnat

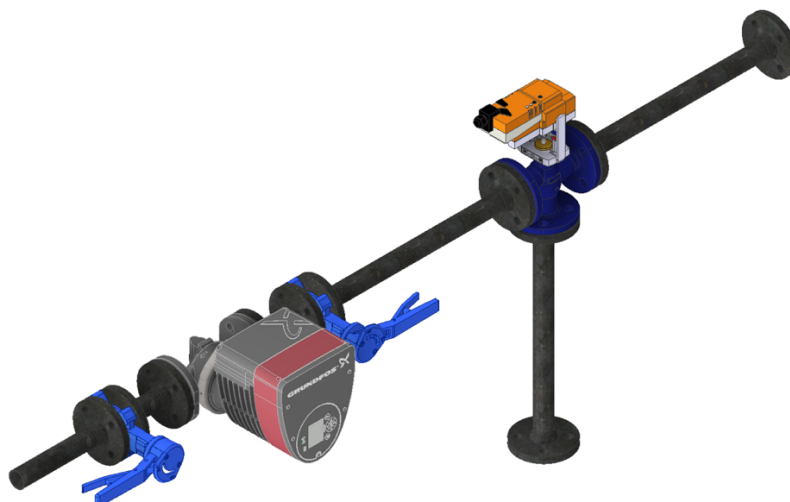
#### 6.3.3.1 Havainto

Suunnittelutyön jouhevuutta lisää komponenttikirjaston ohella myös ennalta sovittujen komponentti-valmistajien käyttö. Monilla alan suurimmilla valmistajilla on jo olemassa omilla verkkosivuillaan valmiit 3D-tiedostot tuotteistaan. Nämä valmiit ladattavissa olevat tiedostot nopeuttavat huomattavasti suunnittelutyötä, koska työaikaa ei tarvitse käyttää osien mallintamiseen. Tiedostoja on myös saatavilla erikseen kysymällä, mikäli ne eivät ole suoraan tarjolla verkkosivujen kautta. Valmistajien omat tiedostot ovat yleensä hyvin tarkkoja ja viimeistelyjä. Ne tuovat esteettisyyttä 3D-suunnitelmiin sekä lisäävät valmistajien näkyvyyttä ja brändiarvoa.

#### 6.3.3.2 Toimenpide-ehdotus

Yleinen käytössä oleva ja lähes jokaisella ohjelmistoalustalla toimiva tiedostomuoto on ns. STEP-tiedosto. Standard for the Exchange of Product Data (STEP) on ISO 10303-standardin mukainen 3D-mallinnukseen ja tulostukseen käytetty tiedostomuoto, joka sisältää koko 3D-mallin rungon (Adobe n.d.). Valmistajien sivuilla olevat ladattavat tiedostot ovat pääsääntöisesti juuri edellä mainittuja STEP-tiedostoja.

Ensisijaiset valmistajavalinnat on järkevää kohdentaa valmistajiin, joilla on valmiiksi olevat STEP-tiedostot verkkosivuillaan. Tämä edesauttaa suunnittelutyön aloitusta ja etenemistä. Käytettävät komponentit tarkentuvat yleensä projektiin edetessä ja lopulliset osatiedostot on suhteellisen nopea toimenpide päivittää 3D- mallin kokoonpanoon. Mekaniikkasuunnittelua hyödynnetään valmistajien keskuudessa laajasti ja esim. mittatilaustyönä hankitun varaajan STEP-tiedoston saa lähes aina pyytämällä. Alla oleva kuva Inventorilla luodusta kokoonpanosta havainnollistaa valmiiden STEP-tiedostojen hyödyntämistä Grundfosin, Belimon ja Soclan verkkosivuilta löytyvistä tiedostoista (kuva 13).



Kuva 13. Autodesk Inventorilla luotu esimerkki kokoonpanosta (Moduls Oy n.d.)

## 6.3.4 Esikootut alikokoonpanot

### 6.3.4.1 Havainto

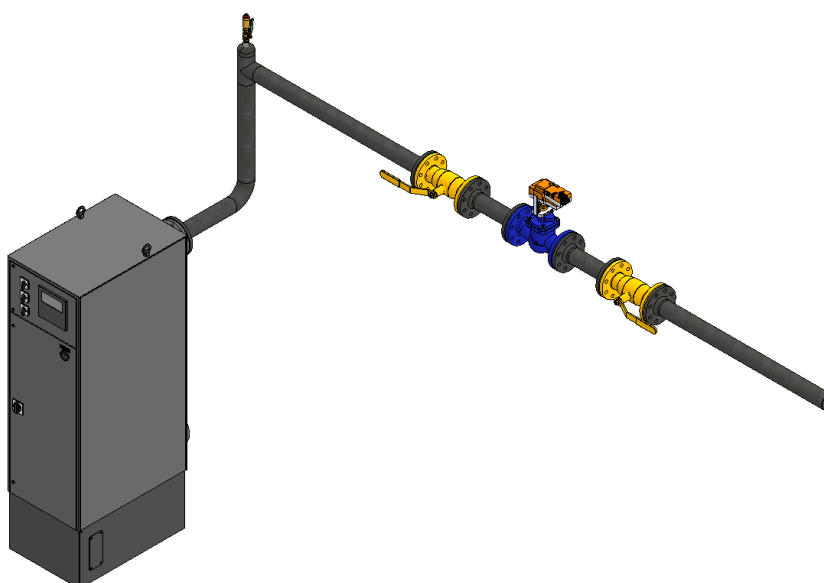
Suurissa kokoonpanoissa on usein paljon komponentteja. Autodesk Inventorilla tehty kokoonpano perustuu tarkkoihin parametrisiin määrittämiin, joita tehdään esim. Joint- ja Constrain- työkaluilla. Joint-toiminto on hyödyllinen pyörivien osien liitoksissa, kun taas Constrain- toiminto toimii parhaiten yksinkertaisempien osien kohdistamisessa, kuten neliskanttisen vedenlämmittimen määrittäminen 1000 mm etäisyydelle varaajasta. Osien sijoittelu ja kokoonpanojen rakentamisen parametrinen määrittäminen kerrallaan voi viedä väliillä yllättävän paljon työaika, mikäli pyritään mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen.

### 6.3.4.2 Toimenpide-ehdotus

Yleisesti ottaen suuremman kokoonpanon jakaminen pienempiin kokonaisuuksiin on järkevää muokkaamisen, hallinnan ja piirustusrakenteen kannalta. Tämän lisäksi pienemmistä kokoonpanoista koottu kokonaisuus on vielä pelastettavissa ja tehtävissä suhteellisen inhimillisellä työmäärällä uudestaan, mikäli ns. pääkokoonpanon tiedosto jostain syystä vaurioituu.

Pienemmät kokoonpanot on vielä mahdollista jakaa esikoottuihin alikokoonpanoihin. Esikootut pienemmät alikokoonpanot säästävät suuremmissa kokoonpanoissa käytettävää työaika, koska useiden erilaisten osien liittämisen sijaan suurempaan kokoonpanoon tuodaan valmis kokonaisuus, jossa osat ovat valmiiksi määritettyinä yhdeksi kokonaisuudeksi.

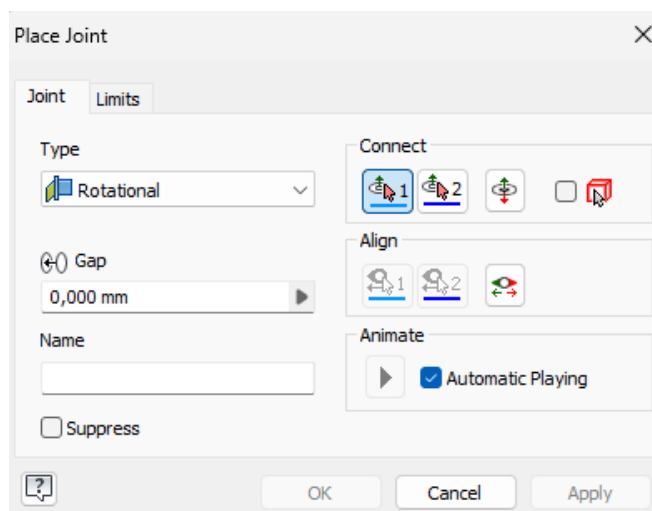
Seuraavat kaksi esimerkkiä havainnollistavat esikoottujen alikokoonpanojen ideaa. Kummatkin esimerkit sisältävät samat komponentit samanlaisessa kokoonpanossa (kuva 14), joista toinen rakennettu komponentti kerrallaan ja toinen esikootuista kokoonpanoista. Kokoonpano sisältää talotekniikan puolella yleisesti käytetyn sähkökattilan, ja siitä lähtevän lämpimän menoveden kuvitteellisen putkiston, joka sisältää ilmausyhteen, sulkuventtiilit sekä toimilaitteella varustetun säätöventtiilin. Venttiilien ja sähkökattilan osalta käytetään laippaliitännöitä.



Kuva 14. Esimerkissä käytettävä kokoonpano (Moduls Oy n.d.)

## 6.3.4.3 Esimerkki 1

Ensimmäisessä esimerkissä kokoonpano kasataan komponentti kerrallaan yhdeksi kokonaisuudeksi. Asian selkeyttämiseksi komponentit, komennot ja niiden määrät esitetään myös taulukkomuodossa kummassakin esimerkissä. Taulukoissa olevat termit ovat Inventorissa käytettävien komentojen nimityksiä. ”Toimenpiteet” tarkoittavat valitun Inventor-komennon sisällä tapahtuvia valintoja ja ”Lukumäärä” kertoo niiden kappalemäärän eli esim. Parker Brass-sulkuventtiilin kohdalla on käytetty ”Joint”-toimintoa (kuva 15), jota on erikseen hienosäädetty muuttamalla ”Type”-valikosta valinnaksi ”Rotational”. Tämän jälkeen ”Gap”-asetukseen on lisätty etäisyyttä 2 mm, ja ”Limits”-välilehdeltä on säädetty komponentin kulmaa 90 astetta kohdasta ”Current”. Seuraava kuva esittää ”Joint”-komennon hallintaikkunaa Inventorissa.

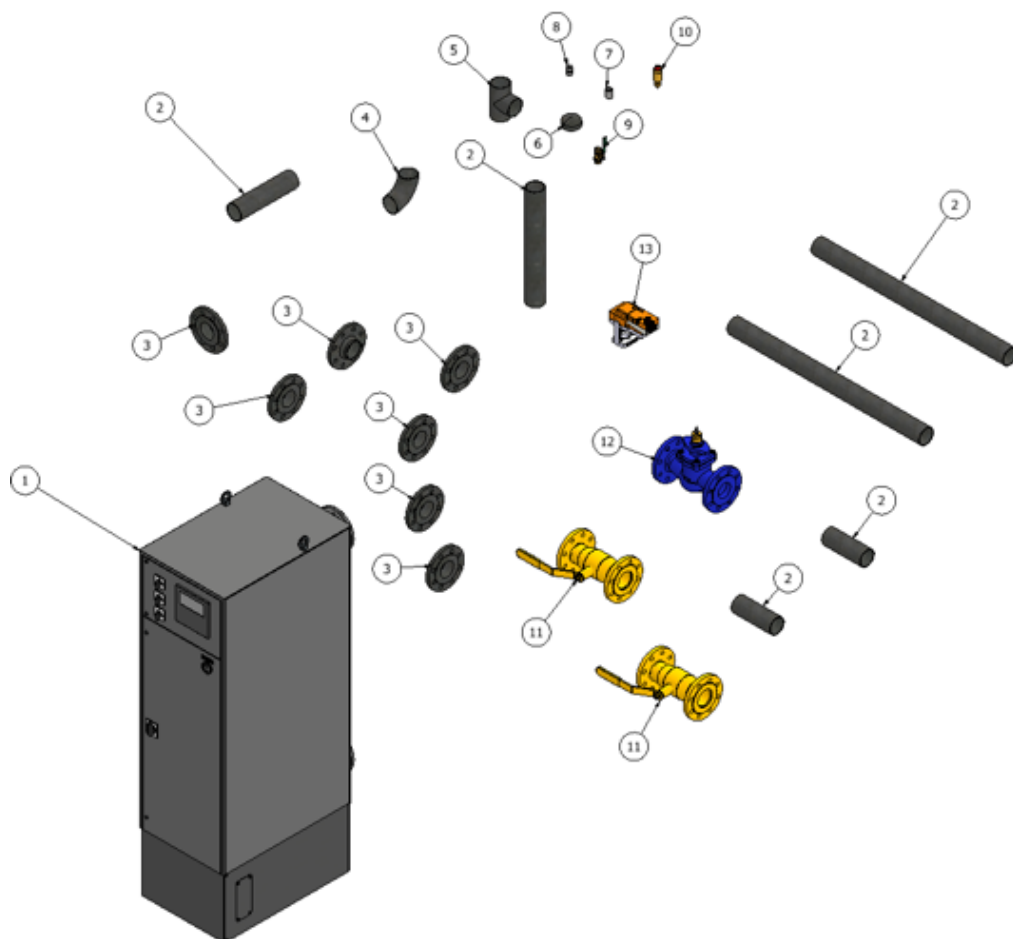


Kuva 15. Inventorin ”Joint”-toiminto (Moduls Oy n.d.)

Taulukko 2. Esimerkki 1 kokoonpanon komponentit ja tarvittavat toimenpiteet

Numero ja komponentti	Lukumäärä (kpl)	Käytettävä Inventor-komento	Toimenpiteet	Lukumäärä (kpl)
1 = Jäspi FIL SPL 31.5-140 sähkökattila	1	Place Component	Grounded	1
2 = DN65 putkisto Sovelia Routing	6	(S) Routing-lisäosa	New Route → Create Pipe	6
3 = DIN EN 1092 DN65 laippa	7	Constrain	Assembly → Type = Insert	7
4 = DIN 2605 90 Deg DN65 käyrä	1	Joint	Joint = Type = Rotational → Limits = Angular = Current = 90 deg	2
5 = DIN 2615 T-haara DN65	1	Joint	Joint = Type = Rotational → Limits = Angular = Current = 90 deg	2
6 = DN65 putkipäätty JIS B 2311 cap	1	Constrain	Assembly → Type = Insert	1
7 = ISO 4144 1/2" Muhvi	1	Constrain	Assembly → Type = Insert = Offset = -25 mm	2
8 = ISO 4144 1/2" Kaksoisnipa	1	Constrain	Assembly → Type = Insert = Offset = 2 mm	2
9 = Parker Brass sulkuventtiili 1/2"	1	Joint	Joint = Type = Rotational = Gap = 2 mm → Limits = Angular = Current = 90 deg	3
10 = Flamco Flexvent 27740 1/2" ilmanpoistin	1	Constrain	Assembly → Type = Insert	1
11 = Vexve 103065 sulkuventtiili DN65	2	Joint	Joint = Type = Rotational → Limits = Angular = Current = 90 deg	2
12 = Belimo H6065X58 säätöventtiili	1	Constrain	Assembly → Type = Insert	1
13 = Belimo NV24A toimilaite	1	Joint	Joint = Type = Rotational → Limits = Angular = Current = 45 deg	2
Yhteensä	25			32

Aloitustilanteen havainnollistamiseksi kaikki tarvittavat komponentit on tuotu kummassakin esimerkissä ensin kokoonpanoon ja tarvittavat toimenpiteet on suoritettu sen jälkeen. Seuraava kuva esittää lähtötilannetta komponentit numeroituna (kuva 16), josta päädytään kuvassa 14 näkyvään lopputulokseen.



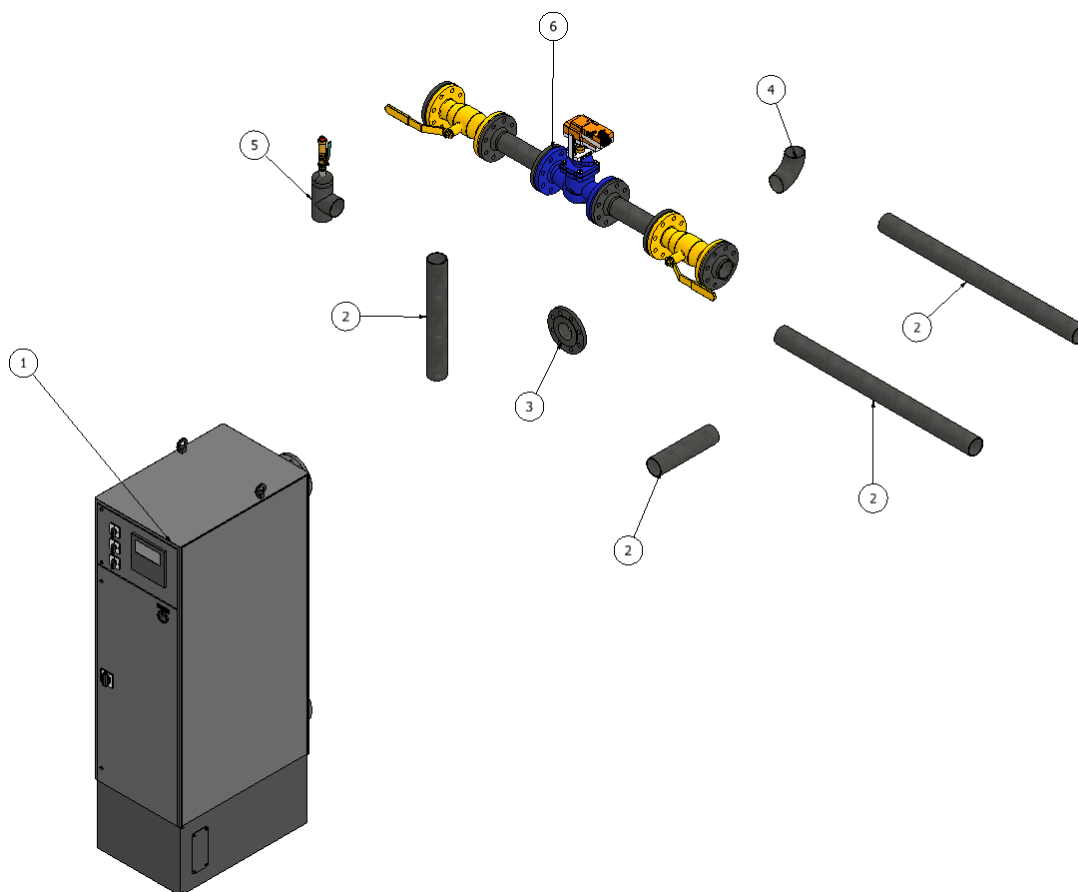
Kuva 16. Esimerkki 1 lähtötilanne (Moduls Oy n.d.)

#### 6.3.4.4 Esimerkki 2

Toisen esimerkin kokoonpanossa hyödynnetään esikoottuja alikokoonpanoja (kuva 17). Tulokset esitetään samalla tavalla, kuin ensimmäisessä esimerkissä, eli ensin taulukko ja sen jälkeen lähtötilannetta esittävä kuva.

Taulukko 3. Esimerkki 2 kokoonpanon komponentit tai alikokoonpanot ja tarvittavat toimenpiteet

Komponentin tai alikokoonpanon numero ja sisältö	Lukumäärä (kpl)	Käytettävä Inventor-komento	Toimenpiteet	Lukumäärä (kpl)
1 = Jäspi FIL SPL 31.5-140 sähkökattila	1	Place Component	Grounded	1
2 = DN65 putkisto Sovelia Routing	4	(S) Routing-lisäosa	New Route → Create Pipe	4
3 = DIN EN 1092 DN65 laippa	1	Constrain	Assembly → Type = Insert	1
4 = DIN 2605 90 Deg DN65 käyrä	1	Joint	Joint = Type = Rotational → Limits = Angular = Current = 90 deg	2
5 = DIN 2615 T-haara + JIS B 2311 Cap DN65 putkipääty + ISO 4144 1/2" Muhvi + ISO 4144 1/2" Kaksoisnippa + Parker Brass sulkuventtiili 1/2" + Flamco Flexvent 27740 1/2" ilmanpoistin	1	Joint	Joint = Type = Rotational → Limits = Angular = Current = 90 deg	2
6 = DIN EN 1092 DN65 laippa x 6 + Vewe 103065 sulkuventtiili DN65 x 2 + DN65 putkisto Sovelia Routing x 2 + Belimo H6065X58 säätöventtiili + Belimo NV24A toimilaite	1	Constrain	Assembly → Type = Insert	1
Yhteensä	9			11



Kuva 17. Esimerkki 2 lähtötilanne (Moduls Oy n.d.)

Taulukoita 2 ja 3 tutkimalla voidaan havaita, että tarvittavien komponenttien ja toimenpiteiden lukumäärässä on erittäin selkeät eroavaisuudet. Esimerkin 1 mukaan tehdyssä kokoonpanossa komponentteja oli yhteensä 25 kappaletta ja toimenpiteitä tehtiin yhteensä 32 kappaletta, jotta päästiin kuvan 14 mukaiseen haluttuun lopputulokseen. Esimerkissä 2 käytettiin esikoottuja alikokoonpanoja sekä muutamia yksittäisiä komponentteja, joita oli yhteensä 9 kappaletta ja tarvittavien toimenpiteiden lukumäärä oli 11 kappaletta, jotta päästiin myös kuvan 14 mukaiseen lopputulokseen. Kyseisessä kuvan 14 kokoonpanossa voidaan siis esikoottuja alikokoonpanoja hyödyntämällä vähentää käytettävien komponenttien määrää 16 kappaletta ja tarvittavien toimenpiteiden määrä vähenee 21 kappaletta. Myös lähtötilanteita esittäviä kuvia katsomalla voidaan havaita, että toisessa esimerkissä käytetyt esikootut alikokoonpanot tekevät varsinaisen kokoonpanon rakentamisesta huomattavasti selkeämmän.

Kuten kaikissa työtehtävissä, myös 3D-suunnittelussa on monia erilaisia tapoja työskennellä. Kokenut suunnittelija kykenee mallintamaan esimerkissä käytetyn kokoonpanon nopeasti myös komponentti kerrallaan, eikä välttämättä koe esikoottuja alikokoonpanoja hyödylliseksi. Esikoottujen alikokoonpanojen muodostaminen vie myös resursseja työajan puitteissa, mutta mikäli vastaavia kokonaisuuksia pystytään hyödyntämään jatkossa myös muissa projekteissa, voi esikoottujen alikokoonpanojen hyödyntäminen olla järkevää.

## 6.3.5 Hajautetut 3D-mallit

### 6.3.5.1 Havainto

Taloteknisten esivalmisteiden yksi alkuperäisistä tavoitteista ja lähtökohdista on ollut tuottaa mahdollisimman laadukkaita ja virheettömiä kokonaisuuksia tilaajalle sekä samalla nopeuttaa työmaalla tapahtuvaa asennustyötä. Esivalmistuksen avulla voidaan vähentää työmaalla tapahtuvia virheitä, parantaa työturvallisuutta sekä hallita aikatauluja ja kustannuksia paremmin. Laadukkaaseen lopputulokseen pyrkiessä keskeisessä roolissa ovat ammattitaitoiset työntekijät sekä tarkat, projektiokohtaiset suunnitelmat, piirustukset ja työkuvat.

Autodesk Inventorin kaltaiset 3D-suunnitteluohjelmistot mahdollistavat taloteknisten kokonaisuuksien tarkan mallintamisen jo suunnitteluvaiheessa. Mallinnuksen avulla voidaan tunnistaa mahdollisia yhteensopivuusongelmia sekä varmistaa, että esivalmistettavat kokonaisuudet ovat teknisesti toteutuskelpoisia. Samalla 3D-mallit toimivat tärkeänä viestintävälineenä suunnittelun, esivalmistetuotannon ja asennuksen välillä.

### 6.3.5.2 Toimenpide-ehdotus

Tarkka ja useita eri osa-alueita sisältävä mallinnettu 3D-malli voi kuitenkin olla projektiin vasta mukaan liittyneelle suunnittelijalle tai esimerkiksi esivalmistetuotannossa työskentelevälle asentajalle hankalasti ymmärrettävä ja hahmotettava kokonaisuus. Erityisesti laajat pääkokoontuotokset, joissa on runsaasti putkistoja, laitteita ja liitoksia, voivat heikentää mallin käytettävyyttä tuotannon ja asennuksen näkökulmasta. Lisäksi 3D-mallia alusta asti työstäneelle henkilölle voi helposti syntyä ns. "vauhtisokeus", jolloin mallin selkeys muille käyttäjille jää vähemmälle huomiolle. Samalla voidaan huomauttaa unohtaa yksi projektityöskentelyn tärkeimmistä osa-alueista, eli tiimityöskentely ja tiedon selkeä jakaminen.

Kuten aikaisemmin todettiin, suuret kokoonpanot on järkevää eritellä pienempiin osakokoonpanoihin jo 3D-mallin rakennusvaiheessa. Sama periaate toimii taloteknisessä 3D-suunnittelussa myös toiseen suuntaan, eli ns. "pääkokoontuotokset" eritellään pienempiin kokonaisuuksiin piirustusten ja työkuviin luomista varten. Näin varmistetaan, että jokainen esivalmistettava osa on selkeästi esitetty ja helposti ymmärrettävissä.

Pääkokoontuotoksesta voidaan siis luoda pienempiä, erillisiä 3D-malleja eriyttämällä ne omiksi kokonaisuuksikseen. Näistä erillisistä 3D-malleista laaditaan työkuvat, ja 3D-mallit voidaan liittää työkuvakansioon esimerkiksi omaan 3D-mallit kansioon. Tällöin asentajilla on mahdollisuus tarkastella malleja helposti esimerkiksi Navisworksin tai Autodesk Viewerin avulla ilman varsinaista suunnitteluohjelmistoa. Tämä parantaa tiedonkulkua ja vähentää väärinymmärryksiä esivalmistetuotannossa ja asennusvaiheessa.

Esimerkiksi ilmavesilämpöpumppukontin pääkokoontuotoksesta voidaan jakaa kuvien ja mallien osalta meno- ja paluupuolen kokonaisuuksiin siten, että niissä näkyvät tarvittavien putkien ja putkisto-osien lisäksi myös suuremmat laitteet, kuten lämmönsiirrin tai energiavaraaja. Putkistot on järkevää värittää eri väreillä pääkokoontuotoksesta ja käyttää samoja värejä erillisissä kokoonpanoissa, mikä helpottaa putkien tunnistusta ja kokonaisuuden hahmottamista. Vaikka pääkokoontuotoksesta voidaan myös

piilottaa osia ja putkistoja havainnollistamista varten, tämä toimintatapa voi suurissa kokoonpanoissa olla työlästä ja aikaa vievää.

### 6.3.6 Tekoälyn hyödyntäminen

Tekoäly on ollut yksi yhteiskunnan puhutuimmista aiheista viime vuosina. Tekoälyä on pidetty merkittävänä kehitysaskelena teknologian kehitykselle, ja jotkut pitävät sitä suurimpana harppauksena ihmiskunnalle sitten internetin käyttöönoton jälkeen. Alkuinnostuksen jälkeen on syntynyt myös vastustusta. Tekoäly tulee erittäin todennäköisesti muuttamaan maailmaa ja sen jatkuva kehitys voi vaikuttaa myös tulevaisuudessa ihmisten työllistymiseen, koska joitain aikaisemmin ihmisten tekemiä työtehtäviä voidaan ulkoistaa tekoälylle.

Tekoäly ei sinällään ole kovinkaan uusi keksintö. Tekoäly-termi syntyi jo vuonna 1956 Dartmouthin konferenssissa, johon kokoontui joukko aikansa huippututkijoita ja matemaatikkoja pohtimaan, että miten kone saataisiin ajattelemaan kuin ihminen. Erinäisten vaiheiden ja vuosikymmenien kehitystyön jälkeen koettiin merkittävä virstanpylväs, kun vuonna 1997 IBM:n kehittämä shakkietokone Deep Blue voitti shakin maailmanmestari Garry Kasparovin ensimmäisen kerran (Tampereen Yliopisto n.d.). Tekoäly teki lopullisen läpimurron ihmisten tietoisuuteen, kun San Franciscossa vuonna 2015 perustettu yritys OpenAI lanseerasi 30.11.2022 kielimalliin perustuvan ChatGPT 3.5-chatbotin (Undetectable.AI 2025).

#### 6.3.6.1 Havainto

Tekoäly on yhä useammin läsnä uusissa ohjelmistoissa ja se integroituu sujuvasti myös olemassa oleville alustoille. Myös 3D-suunnittelussa tekoälyn hyödyntäminen voi olla työskentelyä nopeuttava tekijä. Monissa ohjelmissa tekoäly toimii jo taustalla esim. renderöinnin ja simulaatioiden tehostamisessa, vaikka käyttäjä ei olisi tästä tietoinen.

#### 6.3.6.2 Toimenpide-ehdotus

Ainakin työuran alkuvaiheessa olevalle suunnittelijalle tulee välillä kokemuksen puutteen takia eteen tilanteita ja hetkiä, jolloin ymmärrys esim. Inventorin kanssa loppuu kesken. Kyseessä voi olla jonkun tietynlaisen osan mallinnus tai ongelman ratkaisu kokoonpanossa. Yksi vaihtoehto ongelmien selvittämiseen voi olla vastauksen etsiminen Autodeskin keskustelufoorumeilta tai Inventorin käyttöohjeesta. Toimiva ja aikaa säästävä ratkaisu voi olla myös tekoälyn hyödyntäminen. Tekoälyn voi valjastaa itselleen ”suunnitteluassistentiksi” antamalla sille tausta-aineistoksi edellä mainitun keskustelufoorumin ja käyttöohjeen. Testataan tätä käytännössä seuraavassa esimerkissä.

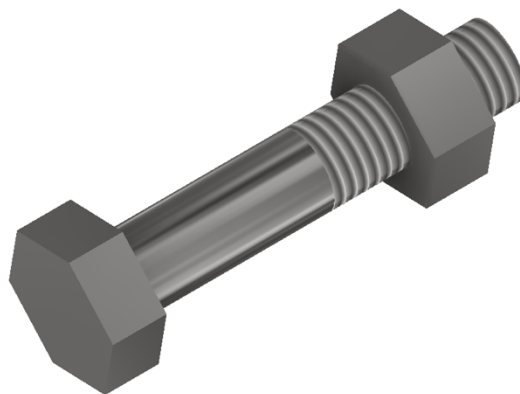
#### 6.3.6.3 Esimerkki

Tässä esimerkissä mallinnan ensin itse Autodesk Inventorilla muutaman yksinkertaisen osan ja teen niistä lopuksi yhtenäisen kokoonpanon (kuva 18). Esimerkki sisältää yhden M10-kokoisen pultin ja mutterin. Tämän jälkeen annan mahdollisimman selkeän kuvauksen tekoälylle haluamastani kokonaisuudesta, ja pyydän sitä luomaan minulle ohjeet osien mallintamiseen sekä kokoonpanon suorittamiseen (kuva 20). Annan tekoälylle materiaaliksi verkossa olevat Inventorin käyttöohjeet ja Auto-

deskin keskustelufoorumiin. Esimerkissä käytetään ChatGPT Free- versiota, joka on kaikkien käytettävissä ilmaiseksi tietokoneella, älypuhelimella ja tabletilla. Tulosten selkeyttämiseksi komennot ja toimenpiteet on esitetty taulukkomuodossa.

Taulukko 4. Itse mallinnettujen osien ja kokoonpanon sisältö

Osa/kokoonpano	Komento	Toimenpiteet
1. Aloitus	New	Part (.ipt)
2. Pultin kanta	Start 2D Sketch	XY Plane
	Create	Polygon → Origo → Inscribed → Number of Sides = 6 ul → Done → Dimension = 17 mm → Finish
	Extrude	Direction = Default → Distance A = 7 mm → OK
3. Pultin kierre	Start 2D Sketch	Valitaan "Top" näkymän "Face" - pinta
	Create	Circle → Origo → Dimension = 10 mm → Finish
	Extrude	Direction = Default → Distance A = 50 mm → OK
	Modify	Thread → Select Surface → Threads = Type = ISO Metric profile = Size = 10 = Designation = M10x1.5 = Class = 6g = Direction = R → Behavior = Depth = 25 mm = Offset = 25 mm → OK
	Appearance	Valitaan koko osa → Steel - Polished → Add appearance to document
4. Aloitus	New	Part (.ipt)
5. Mutteri	Start 2D Sketch	XY Plane
	Create	Polygon → Origo → Inscribed → Number of Sides = 6 ul → Done → Dimension = 17 mm → Finish
	Extrude	Direction = Default → Distance A = 8 mm → OK
6. Mutterin kierre	Start 2D Sketch	Valitaan "Top" näkymän "Face" - pinta
	Modify	Hole → Select Positions → Type = Hole = Tapped Hole = Seat = None → Threads = Type = ISO Metric profile = Size = 10 = Designation = M10x1.5 Class = 6H = Direction = R → Behavior = Termination = Through All = Direction = Default
	Appearance	Valitaan koko osa → Steel - Polished → Add appearance to document
7. Aloitus	New	Assembly (.iam)
	Component	Place = Pultti = Open
	Component	Place = Mutteri = Open
	Relationships	Joint → Type = Automatic → Connect 1 = Valitaan mutterin vasen pääty kierteen keskeltä → Connect 2 = Valitaan pultin kierteellinen pääty → Gap = -15 mm → OK



Kuva 18. Itse mallinnetun kokonaisuuden lopputulos (Moduls Oy n.d.)

Seuraava teksti annettiin ChatGPT Free:lle ohjeeksi osien ja kokoonpanon luomiseksi = ”Olen juuri aloittanut Autodesk Inventor 2024 - ohjelman käytön. Luo minulle erittäin selkeät ohjeet vaihe vaiheelta järkevässä taulukkomuodossa seuraavista asioista :

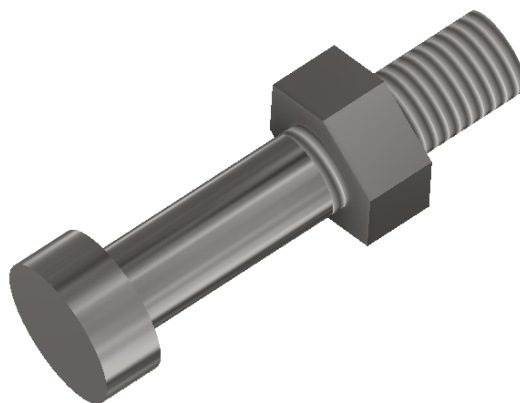
1. Pultin mallinnus. Kuusiokantainen M10 pultti, jonka kannan halkaisija on 17 mm, kannan pituus 7 mm, kierreosan pituus 50 mm ja kierteen korkeus 25 mm niin, että kannan jälkeen on 25 mm kierteen pultin osuus. Kierteen koko M10x1,5. Pultin väri on kiillotettu teräs.
2. Mutterin mallinnus. M10 mutteri, jonka kannan halkaisija on myös 17 mm ja kannan pituus 8 mm. Kierteen koko M10x1.5 ja pituus sama kuin mutterilla. Sama väri kuin pultilla.
3. Pultin ja mutterin kokoonpano. Yhdistä luomasi pultti ja mutteri kokoonpanoksi niin, että mutteri kiinnittyy pultin kierteeseen ja mutterin sisempi sivu on 15 mm syvyydellä pultin päästä.
4. Käytä taulukossa oikeita Inventor-komentoja englannin kielellä ja luo lopuksi kuva (kuva 19), mille kokoonpanon kuuluisi näyttää. Käytä tietomateriaalina seuraavia sivuja = <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2024> ja = <https://forums.autodesk.com>”.



Kuva 19. Tekoälyn luoma kuva annettujen ohjeiden perusteella (Moduls Oy n.d.)

Taulukko 5. Tekoölyn tuottama ohjeistus esimerkin kokonaisuuteen

Pultin mallinnus		
Vaihe	Inventor-komento	Toiminto
1	New → Part	Luo uusi part-tiedosto
2	Start 2D Sketch	Valitse XY Plane
3	Circle	Piirrä ympyrä Ø 17 mm
4	Finish Sketch	Lopeta sketsi
5	Extrude	Pituus 7 mm (kanta)
6	Start 2D Sketch	Valitse kannan etupinta
7	Circle	Piirrä ympyrä Ø 10 mm
8	Finish Sketch	Lopeta sketsi
9	Extrude	Pituus 50 mm
10	Thread	Valitse sylinteripinta
11	Thread settings	Standard: ISO Metric
12		Size: M10x1.5
13		Length: 25 mm
14	Appearance	Valitse Polished Steel
Mutterin mallinnus		
Vaihe	Inventor-komento	Toiminto
1	New → Part	Luo uusi part
2	Start 2D Sketch	Valitse XY Plane
3	Polygon	6 sivua (hex)
4	Dimension	Avainväli 17 mm
5	Finish Sketch	Lopeta sketsi
6	Extrude	Pituus 8 mm
7	Hole	Valitse keskikohta
8	Hole settings	Type: Tapped
9		Thread: M10x1.5
10		Termination: Through All
11	Appearance	Polished Steel
Pultin ja mutterin kokoonpano		
Vaihe	Inventor-komento	Toiminto
1	New → Assembly	Luo uusi kokoonpano
2	Place	Lisää pultti
3	Place	Lisää mutteri
4	Constrain	Valitse Mate
5	Mate	Mutterin reikä ↔ pultin akseli
6	Flush	Mutterin sisäpinta ↔ pultin pää
7	Offset	Aseta 15 mm



Kuva 20. Tekoälyn antamien ohjeiden perusteella luotu kokonaisuus (Moduls Oy n.d.)

Tekoälyn tuottamassa ohjeistuksessa voidaan nähdä muutamia virheitä. Ensinnäkin osien mallinnuksessa annetut välivaiheet ovat hieman puutteellisia ja toiminnoista kertovat sarakkeet eivät ole sisällöltään kovin kattavia, jos taulukkoa 4 ja 5 verrataan keskenään. Inventor-komennot tekoäly osaa nimetä oikein ja järjestys on looginen.

Vertaamalla kuvia 18 ja 20 voidaan nähdä selkeä virhe tekoälyn tuottamassa ohjeistuksessa. Tekoälyn laatimista ohjeista jäi uupumaan M10 pultin kannassa olevat viisteet, ja ohjeiden mukaan tehty lopputulos nähdään kuvasta 20. Puutteellisista ohjeista huolimatta tekoäly ymmärsi, että mitä siltä haluttiin, koska tekoälyn luoma kuva 19 vastaa haluttua lopputulosta. Mutterin sijainnissa on pieni epäkohta verrattuna kuvaan 18. Mutteri ei sijaitse keskellä pultin kierrettä, vaikka tätä pyydettiin mittoja esittämällä. Muuten kokonaisuus on hyvin samantyyppinen kuin itse tehty versio.

Kuten Inventorilla työskentelyssä, niin myös tekoälyn käytössä on useita vaihtoehtoja. Nykyiset ilmaiskäyttöön tarkoitetut tekoälyversiot ovat ominaisuuksiltaan rajoitettuja, ja joissain tapauksissa tekoälyn ”roolittaminen” voi olla järkevää. Tekoälyn roolittaminen voi kannattaa, jos halutaan esim. tiettyä tyyliä, kuten ”selitä kuin ammattikorkeakoulun opettaja” tai toivotaan omaa ammattikieltä, ”vastaa kuin ohjelmistosuunnittelija”.

Eryteisesti yrityskäyttöön tarkoitetuissa maksullisissa versioissa on yleensä täyden kapasiteetin ominaisuudet käytössä aina rajattomista kuvan muokkauksista uusimpiin ”syvä ajattelu” – vaihtoehtoihin. Yrityskäyttöön tarkoitetuissa versioissa tekoälylle voi myös jakaa yrityksen omaa materiaalia, koska tätä ei käytetä tekoälyn kouluttamiseen.

Oma näkemykseni on, että tekoälyn käyttö voi olla järkevää tietyissä tilanteissa ja työtehtävissä. Sen käytössä on kuitenkin oltava huolellinen ja tekoälylle annettava materiaali on syytä silmäillä läpi esim. arkojen henkilötietojen osalta. Tekoälyn tuottama materiaali on aina tarkistettava ennen sen jalostamista eteenpäin ja lopullinen päätös on tehtävä aina itse. Tekoäly on hyvä renki, mutta erittäin huono isäntä.

### 6.3.7 Suunnittelutietojen hyödyntäminen jaettavassa dokumentaatiossa

#### 6.3.7.1 Havainto

Suunnittelutyön yhteydessä kertyy väistämättä suuri määrä erilaista tietoa, joka liittyy teknisiin ratkaisuihin sekä käytettäviin laitteisiin ja määräyksiin. Talotekniikan 3D-suunnittelussa tietoa syntyy esim. laitteista, komponenteista, lämpöpumpuista, putkistoista, säädöksistä ja standardeista. Lisäksi itse 3D-malliin syötetään rakenteellista ja teknistä dataa, kuten laitteiden ja putkisto-osien fyysiset mitat, massat, liitostavat ja materiaalit. Tämä tieto on usein hajallaan eri järjestelmissä ja jää helposti hyödyntämättä varsinaisen suunnittelu- ja esivalmistusvaiheen jälkeen, vaikka sillä voisi olla merkittävää arvoa esim. myöhemmän ylläpidon tai markkinoinnin kannalta.

Talotekniikan esivalmistetuotannossa 3D-suunnittelun tuottama tieto tarjoaa mahdollisuuden parantaa tiedonkulkua eri sidosryhmien välillä. Suunnitteluvaiheessa kerättyä ja jalostettua tietoa voitaisiin hyödyntää tehokkaammin esim. asentajien, huoltohenkilöstön, tilaajien ja asiakkaiden tarpeisiin so- pivassa muodossa. Tiedon järkevä hyödyntäminen edellyttää kuitenkin sitä, että se kootaan selkeästi ja helposti saatavilla olevaksi dokumentaatioksi.

#### 6.3.7.2 Toimenpide-ehdotus

Eritasoisien dokumentaation tuottaminen eri käyttäjäryhmille 3D-malliin perustuen. Asiakkaille ja tilaajille voitaisiin tarjota supistettu ja rajattu 3D-malli jo tarjousvaiheessa. Tällainen malli toimisi esitelmämateriaalina ja antaisi yleiskuvan tarjottavasta ratkaisusta ilman, että yrityksen kannalta kriittisiä yksityiskohtia paljastetaan. Supistettu malli voisi sisältää kokonaisuuden mittasuhteet, pääkomponentit ja yleisilmeen.

Omille asentajille ja huoltohenkilöstölle suunnattu dokumentaatio olisi huomattavasti yksityiskohtaisempaa. 3D-mallista voitaisiin tuoda työkuviin liittyviä osaluetteloita, joita voisi jalostaa tarkemmaksi esim. pdf-muotoon ja jakaa keskitetysti pilvipalvelun, kuten Onedrive:n kautta. Dokumentaatio voisi sisältää mm. yksittäisten komponenttien massat, putkilähtöjen koot, venttiilien ja toimilaitteiden tyypit sekä sarjanumerot, ja tiedon liitostavoista, kuten hitsaus-, ja kierre- tai laippaliitoksista. Tämän tyyppinen tieto olisi käytännöllistä vuosihuoltojen, varaosien tilaamisen ja vikojen paikantamisen yhteydessä. Lisäksi asentajien käyttöön voidaan tarjota tarkka 3D-malli, joka sisältää kaikki mahdolliset osat ja kokonaisuudet. 3D-mallia voisi tarkastella esim. Autodesk Viewer-ohjelman avulla, jota voi käyttää tietokoneella, tabletilla tai älypuhelimella. Tarkan mallin avulla asentajat voisivat tarkastella kokonaisuutta jo ennakkoon ennen varsinaiselle kohteelle saapumista, joka helpottaa mm. mahdollisten huoltotoimenpiteiden tekemistä.

#### 6.3.7.3 Esimerkki

Asentajille tarkoitettu dokumenttipohja, joka on toteutettu Excel-pohjaisena huolto- ja komponentti- taulukkona. Dokumenttipohja voisi sisältää projektin perustiedot, kuten kohteen nimen, sijainnin ja järjestelmätyypin. Tämän lisäksi taulukossa olisi sarakkeet komponentit nimelle, sijainnille, massalle, liitostavalle, valmistajalle, tyyppitunnisteelle ja sarjanumerolle. Dokumentin liitteiksi voidaan myös liittää Inventorilla aikaisemmin tehdyt osaluettelot ja tarvittavat 3D-mallit sekä työkuvat.

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia 3D-suunnittelun hyödyntämistä talotekniikan esivalmistetuotannossa, löytää kehityskohtia tilaajalle uuden suunnitteluohjelman käytössä sekä perehtyä lämpöpumpputekniikkaan. Pääaiheen ohella käsiteltiin yleisellä tasolla myös energiakontteja ja esivalmistusta. Aihevalinta oli opiskelijan näkökulmasta onnistunut ja sopivan haasteellinen, koska pääsin heti ensimmäisessä työharjoittelussa työskentelemään itseäni kiinnostavan asian parissa, joka oli samalla minulle sekä toimeksiantajalle uusi kokonaisuus.

Tulokset olivat mielestäni realistisia ja käytännönläheisiä. Uusia toimintatapoja löydettiin 3D-suunnittelua tukevan kansiorakenteen käytössä ja suunnittelutiedon hyödyntämisessä myös varsinaisen suunnitteluprojektin jälkeen. Myös työskentelyä nopeuttavia ja tehostavia tekijöitä havaittiin esikootujen alikokoonpanojen osalta sekä pohdittiin tekoälyn käyttöä ns. suunnitteluassistenttina. Hajautetut 3D-mallit kertovat taas lisääntyneestä tarkkuudesta suunnittelutyössä.

Opinnäytetyö oli mielestäni kokonaisuutena onnistunut. Teoriaosuuden käsittely laajensi käsitystäni erilaisista lämpöpumpputekniikoista ja näihin liittyen erityisesti geoterminen energia oli mielenkiintoinen osio. Energiakontteja ja esivalmistusta käsiteltiin yleisellä tasolla, ja kummastakin aihealueesta olisi varmasti saanut koottua lisää teoriaa tarvittaessa, joten näitä osioita ei voi pitää täysin onnistuneena opinnäytetyön kannalta. Suunnittelutyön kehitys toimeksiantajan tarpeisiin keskittyi vahvasti omiin käytännön havaintoihin harjoittelujakson aikana, eli mitä olisi järkevää tehdä tulevaisuudessa toisin, jotta samoilta haasteilta vältyttäisiin. 3D-suunnittelun parissa kauan työskennellyt voi pitää tuloksia itsestäänselvyytenä, mutta suunnittelijan työuran alkumetreillä olevalle opiskelijalle tulokset voivat olla täysin uusi aihekokonaisuus.

Kaikki tulokset eivät välttämättä ole sellaisenaan käyttökelpoisia tai anna täyttä toimintavarmuutta aiheeseen liittyen. Nostan tästä esimerkkinä tekoälyn käytön. Kuten asiaa käsittelevässä kappalessa mainittiin, niin tekoälyn ilmaisversiot voivat olla ominaisuuksiltaan rajoitettuja ja yrityskäyttöön tarkoitetuilla versioilla olisi todennäköisesti päästy haluttuun lopputulokseen. Tämän lisäksi tekoälyn tarkempi roolittaminen ja parempien lähtötietojen antaminen olisi voinut vaikuttaa tulokseen positiivisella tavalla.

Opinnäytetyössä käsitellyjä aiheita on jo otettu käytännön testaukseen suunnittelutyössä. Erityisesti ensisijaiset valmistajavalinnat ja esikootut alikokoonpanot ovat osoittautuneet työskentelyä tehostaviksi toimenpiteiksi ja nämä pyritään integroimaan yrityksen sisäiseen projektityöskentelyyn 3D-suunnittelun osalta. Jatkokehityksen kannalta oleellista on kehittää suunnittelutietojen hyödyntämistä jaettavassa dokumentaatioissa käytännön tasolle ja etsiä tähän lisää kehitettävää esim. yrityksen omien asentajien kanssa, koska kuten monessa muussakin ammatissa, niin myös suunnittelutyössä se paras ja kehittävin palaute saadaan kentältä sekä käytännön kautta opittuna.

## LÄHTEET

- 3Dnatives 2023. What is Autodesk Inventor and how does it work? Verkkojulkaisu. <https://www.3dnatives.com/en/what-is-autodesk-inventor-180620224/>. Viitattu 29.9.2025.
- Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos 2018. Taulukko 1. Esivalmisteet luokiteltuna neljään eri kategoriaan. [https://www.aalto.fi/sites/default/files/2019-02/loppuraportti\\_visio2030\\_esivalmistus\\_19-09-2018.pdf](https://www.aalto.fi/sites/default/files/2019-02/loppuraportti_visio2030_esivalmistus_19-09-2018.pdf). Viitattu 3.1.2026.
- Adobe n.d. STEP-tiedostot. Verkkojulkaisu. <https://www.adobe.com/fi/creativecloud/file-types/image/vector/step-file.html>. Viitattu 17.1.2026.
- Autodesk 2025. What is Vault? Verkkojulkaisu. <https://help.autodesk.com/view/VAULT/2025/ENU/?guid=GUID-87D9CA09-9881-4506-9465-0677392BCD7E>. Viitattu 11.10.2025.
- ChatGPT 2026. OpenAI. GPT 4.1. Pyydetty luomaan ohjeet ja kuva aiheessa 6.3.6, tammikuu 2026. <https://chat.openai.com>
- Hefmec n.d. 3D-suunnittelu: Tekniikat ja työkalut. Verkkojulkaisu. <https://hefmec.fi/3d-suunnittelu-tekniikat-ja-tyokalut/>. Viitattu 23.8.2025.
- Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, Geotekninen osasto 2017. Verkkojulkaisu. <https://www.hel.fi/static/kv/Geo/Julkaisut/julkaisu97.pdf>. Viitattu 23.12.2025.
- Helsingin Sanomat 2016. Geoterminen lämpö. Valokuva. <https://www.hs.fi/pkseutu/art-2000002886305.html>. Viitattu 25.12.2025.
- Hietikko, E. 2023. SolidWorks 2023 - Tietokoneavusteinen suunnittelu. E-kirja. Helsinki. BoD-Books on Demand GmbH. <https://www.ellibslibrary.com/reader/9789528016915/preview>. Viitattu 7.9.2025.
- Home, L n.d. Inventor 2022 perusteet. Koulutusmateriaali. Cadlink Oy. Viitattu 29.9.2025.
- Kaappola, E, Hirvelä, A, Jokela, M. & Kianta, J. 2011. Kylmäteknikan perusteet. Helsinki. Opetushallitus.
- Kaappola, E, Hirvelä, A, Jokela, M. & Kianta, J. 2014. Kylmäteknikan perusteet. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Kiwa n.d. Laatu järjestelmän sertifiointi (ISO 9001). Verkkojulkaisu. <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelutyypit/sertifiointi-ja-arviointi/laatu-jarjestelman-sertifiointi-iso-9001/>. Viitattu 11.1.2026.
- Koulutus.fi n.d. Teknisen suunnittelun koulutukset. Verkkojulkaisu. <https://www.koulutus.fi/haku/tek-ninen-suunnittelu>. Viitattu 6.9.2025.
- LVI 11-10623 Maalämpöpumput Pientalot. Ohjeet kesäkuu 2018. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://www.rakennustieto.fi/>. Viitattu 1.11.2025.
- Moduls Oy 2024. VILP-moduuli. Verkkojulkaisu. <https://moduls.fi/esivalmisteratkaisut/vilp-moduuli/>. Viitattu 16.8.2025.
- Moduls Oy 2025. Yrityksen etusivu. <https://moduls.fi/>. Viitattu 29.6.2025.
- Moduls Oy n.d. Autodesk Inventor aloitusnäky. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 28.2.2026.

- Moduls Oy n.d. Autodesk Inventor Content Center. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 17.1.2026.
- Moduls Oy n.d. Autodesk Inventorilla luotu esimerkki kokoonpanosta. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 17.1.2026.
- Moduls Oy n.d. Esimerkissä käytettävä kokoonpano. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 24.1.2026.
- Moduls Oy n.d. Esimerkki 1 lähtötilanne. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 24.1.2026.
- Moduls Oy n.d. Esimerkki 2 lähtötilanne. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 24.1.2026.
- Moduls Oy n.d. Inventorin "Joint"-toiminto. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 24.1.2026.
- Moduls Oy n.d. VILP-moduuli. Verkkajulkaisu. <https://moduls.fi/esivalmisteratkaisut/vilp-moduuli/>. Viitattu 27.12.2025.
- Moduls Oy n.d. VILP-moduuli lähdössä kuljetukseen. Valokuva. Naarajärvi. Moduls Oy. Viitattu 27.12.2025.
- Motiva 2024. Ilmalämpöpumppu. Verkkajulkaisu. 2.10.2025. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_pientalo/pientalon\\_lammitys/ilmalampopumppu\\_ilp](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/ilmalampopumppu_ilp). Viitattu 23.10.2025.
- Motiva 2024. Lämpöpumput. Verkkajulkaisu. Päivitetty 27.9.2024. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput). Viitattu 2.8.2025.
- Motiva 2024. Poistoilmalämpöpumppu (PILP). Verkkajulkaisu. Päivitetty 29.7.2024. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu). Viitattu 26.10.2025.
- Motiva 2025. Ilma-vesilämpöpumput (IVLP). Verkkajulkaisu. Päivitetty 3.1.2025. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_pientalo/pientalon\\_lammitys/ilma-vesilampopumppu\\_ivlp](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/ilma-vesilampopumppu_ivlp). Viitattu 3.8.2025.
- Peltokorpi, A. Lavikka, R. Kokko, L. Seppänen, O. 2018. Talotekniikan esivalmistus: esteet, mahdollistajat ja prosessi. Aalto-yliopisto. Raportit ja selvitykset 2018:1. [https://www.aalto.fi/sites/default/files/2019-02/loppuraportti\\_visio2030\\_esivalmistus\\_19-09-2018.pdf](https://www.aalto.fi/sites/default/files/2019-02/loppuraportti_visio2030_esivalmistus_19-09-2018.pdf). Viitattu 3.1.2026.
- RT 103316 Poistoilmalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. Ohjekortti 2021. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. <https://www.rakennustieto.fi/>. Viitattu 26.10.2025.
- Rautio, J. 2008. Lämpöpumput ja niiden taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys erillisten pientalojen lämmityksessä. Opinnäytetyö. Ympäristötekniikan tiedekunta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/43221/nbnfi-fe200901081010.pdf;jsessionid=C5439914FDD4C98CE4041E5604839C55?sequence=3>. Viitattu 2.8.2025.
- Scanoffice n.d. Miten ilmalämpöpumppu toimii? Verkkajulkaisu. [https://scanoffice.fi/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Performance%20Max%20-%20lis%C3%A4%C3%A4mm%C3%B6n%C3%A4hde%20-%20ilmal%C3%A4mp%C3%B6pumppu&utm\\_id=19763213160&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=22119683736&gbraid=0AAAAAC4TwR2aGJ2dz2epaDjmUtyBjASIn&gclid=EAlaIqob-ChMlOaPv6d26kAMVWAuiAx2Bny9eEAAAYiAAEglsSfD\\_BwE](https://scanoffice.fi/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Performance%20Max%20-%20lis%C3%A4%C3%A4mm%C3%B6n%C3%A4hde%20-%20ilmal%C3%A4mp%C3%B6pumppu&utm_id=19763213160&gad_source=1&gad_campaignid=22119683736&gbraid=0AAAAAC4TwR2aGJ2dz2epaDjmUtyBjASIn&gclid=EAlaIqob-ChMlOaPv6d26kAMVWAuiAx2Bny9eEAAAYiAAEglsSfD_BwE). Viitattu 23.10.2025.
- St1 2024. St1:n geotermisillä lämpökaivoilla Otaniemessä aloitettiin tutkimustyö. Verkkajulkaisu. Päivitetty 14.10.2024. <https://st1.fi/artikkeli/st1-n-geotermisilla-lampokaivoilla-otaniemessa-aloitettiin-tutkimustyo>. Viitattu 25.12.2025.
- Symetri n.d. Sovelia Routing. Verkkajulkaisu. <https://www.symetri.fi/tuotteet/sovelia-routing/>. Viitattu 11.10.2025.

Talotekniikka-lehti. Odotettavissa kovaa kasvua- Näin monta lämpöpumppua viime vuonna myytiin. Verkkajulkaisu. <https://talotekniikka-lehti.fi/suomessa-myytiin-satatuhatta-lampopumppua/>. Viitattu 2.8.2025.

Tampereen yliopisto n.d. Tekoälyn historia. Verkkajulkaisu. <https://projects.tuni.fi/kite/tekoalysta-yleisesti/tekoalyn-historia/>. Viitattu 30.1.2026.

Undetectable.AI 2025. Kuka keksi ChatGPT:n? Historia ja perustajat. Verkkajulkaisu. <https://undetectable.ai/blog/fi/joka-keksi-chatgpt/>. Päivitetty 29.4.2025. Viitattu 30.1.2026.

Valle, K. 2023. Maalämpöpumppujen toiminta, ylläpito ja huolto. Opinnäytetyö. Talotekniikka. Metropolia Ammattikorkeakoulu. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/802514/Valle\\_Kim.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/802514/Valle_Kim.pdf?sequence=2). Viitattu 1.11.2025.

Yle 2024. Tällaisia kontteja yhtiöt pystyttävät nyt kaikessa hiljaisuudessa metsiin ja teiden varsille. Verkkajulkaisu. Päivitetty 23.8.2024. <https://yle.fi/a/74-20106456>. Viitattu 27.12.2025.