



Eemeli Siikaoja

3D-mallikatselmusohjeen kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

11.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Eemeli Siikaoja
Otsikko: 3D-mallikatselmusohjeen kehittäminen
Sivumäärä: 20 sivua + 1 liitettä
Aika: 11.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine: Energiantuotantomenetelmät
Ohjaajat: Osastopäällikkö Anssi Lehtinen
Lehtori Juha Kotamies

Tämän insinööryön tavoitteena oli kehittää Sweco Finland Oy:n laitossuunnitteluosaston työntekijöiden käyttöön 3D-mallikatselmusohje, jonka tarkoitus on helpottaa ja yhtenäistää 3D-mallikatselmusten läpivientiä ja dokumentointia. Ohje koottiin yrityksen sisäistä materiaalia, standardeja ja ohjeistuksia, asiantuntijoiden kokemusta sekä yleistä tietoa ja aineistoa hyödyntäen.

Työssä perehdyttiin asiakasyrityksen liiketoimintaan ja liiketoiminta-alueisiin, 3D-mallinnukseen ja -mallikatselmuksiin laitossuunnittelussa sekä toiminta- ja työohjeiden ominaisuuksiin ja kehittämisen vaiheisiin.

Insinööryön tuloksena syntyi 3D-mallikatselmusohje, joka käsittelee mallinnuksen työlaajuutta 3D-malleissa, mallikatselmuksessa tarkasteltavia asioita suunnittelualoitain sekä mallikatselmusten valmistelua, järjestäjän tai järjestäjien tehtäviä ja mallikatselmuksen dokumentointia. Ohje viimeistellään ja tarkastetaan, minkä jälkeen se lisätään yrityksen sisäiseen tietokantaan kaikkien Swecon asiantuntijoiden käytettäväksi.

Avainsanat: laitossuunnittelu, mallikatselmus, 3D-mallinnus, ohje

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Eemeli Siikaoja
Title: Developing a 3D Model Review Manual for Plant Engineering
Number of Pages: 20 pages + 1 appendices
Date: 11 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Technology
Professional Major: Energy Production Technologies
Supervisors: Anssi Lehtinen, Head of Department
Juha Kotamies, Senior Lecturer

The aim of this thesis was to develop a 3D model review manual for the employees of Sweco Finland Oy's plant engineering department, to facilitate and attempt to standardize the conduct and documentation of 3D model reviews. The manual was compiled using internal company material, standards and guidelines, the experience of experts and general information and material.

For the thesis, the business operations and business areas of the client company, 3D modelling and model reviews in plant design, as well as the characteristics and development stages of operating and working instructions were examined.

The result of the thesis was a 3D model review manual, which covers the scope of work for modeling with 3D models, the issues to be considered in a model review by different design areas, the preparation of model reviews, the tasks of the organizer(s) and the documentation of the model review. The manual will be finalized and reviewed, after it will be added to the company's internal database for the use of all Sweco experts.

Keywords: plant engineering, model review, 3D modeling, manual

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sweco	2
2.1	Sweco Finland	2
2.2	Teollisuus-, energia- ja ympäristöpalvelut	3
3	3D-mallinnus laitossuunnittelussa	4
3.1	3D- ja BIM-mallit ja niiden erot	4
3.2	4D- ja 5D-mallit	6
3.3	3D-mallinnuksen hyödyt	6
3.4	Laitossuunnittelu	6
3.5	Laitossuunnittelussa käytettävät suunnitteluohjelmat	9
4	3D-mallikatselmukset ja niiden käyttö laitossuunnittelussa	11
4.1	Mallikatselmukset projektien laadunvarmistuksessa	11
4.2	3D-mallikatselmusten sisältö, valmistelu ja kulku	12
4.2.1	30 % -mallikatselmus	13
4.2.2	60 % -mallikatselmus	13
4.2.3	90 % -mallikatselmus	14
4.3	3D-mallikatselmukset tulevaisuudessa	14
5	Toiminta- ja työohjeiden laatiminen	16
5.1	Hyvän työohjeen ominaisuudet	16
5.2	Työvaiheet ohjeen laatimisessa	16
6	3D-mallikatselmusohjeen kehittäminen	17
6.1	Ohjeen toteutus	17
6.2	Ohjeen rakenne ja sisältö	18
7	Yhteenveto	20
	Lähteet	21
	Liite 1: 3D-mallikatselmusohjeen sisällysluettelo	

Lyhenteet

- 3D: Three-dimensional. Grafiikka, joka on mallinnettu kolmen tilaulottuvuuden suhteen.
- AFC: Approved for Construction. Suunnitelma tai asiakirja, joka on katselmoitu ja hyväksytty valmistettavaksi.
- BIM: Building Information Model. Rakennuksen tietomalli.
- CAD: Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
- YVA: Ympäristövaikutusten arviointi.

1 Johdanto

Isossa suunnittelu- ja konsultointiyrityksessä on suuri määrä työntekijöitä, joista hyvin usean polku nykyisiin tehtäviin on toisistaan erilainen. Työntekijöillä voi olla kokemusta useista erilaisista työtehtävistä ja alan yrityksistä, joissa työkentelytavat ja käytettävät suunnittelujärjestelmät ovat voineet poiketa toisistaan ja nykyisestä huomattavasti. Työn tehokkuuden ja laadun varmistamiseksi pyritään henkilöstön osaamista ja tietoa, eli inhimillistä pääomaa, jakamaan yrityksessä työntekijältä toiselle mahdollisimman paljon. Inhimillisen pääoman kiinnityssä yksilöihin voi pääoman korvaaminen olla vaikeaa esimerkiksi huippuosaajien poistuessa yrityksestä (1, s. 35). Työn tehokkuutta ja laatua voidaan parantaa myös yhtenäistämällä toimintatapoja yrityksen sisällä. Yhtenäisillä toimintatavoilla voidaan helpottaa muun muassa lisäresurssien tuomista jo aloitetuihin prosesseihin sekä varmistaa esimerkiksi asiakkaalle päätyvän lopputuotoksen tasalaatuisuus (2, s. 139–140). Inhimillisen pääoman jakamista ja toimintatapojen yhtenäistämistä yrityksen sisällä voidaan hoitaa esimerkiksi työohjeita laatimalla.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tuottaa Sweco Finland Oy:n laitossuunnitteluosaston sisäiseen käyttöön 3D-mallikatselmusohje. Ohjeessa käsitellään 3D-mallikatselmusten tarkoitusta ja tavoitteita, 3D-mallin sisältöä ja mallinnettavia primitiivejä suunnittelualoittain, mallikatselmuksen tyyppejä ja niiden sisältöä sekä mallikatselmuksen valmistelua, läpivientiä ja dokumentointia.

Insinööriyössä käsitellään nykyaikaista 3D-mallinnusta ja 3D-mallien käyttöä laitossuunnittelussa, 3D-mallikatselmusten roolia, käyttöä ja sisältöä laitossuunnittelussa sekä toiminta- ja työohjeiden kehittämisprosessia.

2 Sweco

Sweco on lähemmäs 20 000 asiantuntijaa työllistävä Euroopan johtava suunnittelun ja konsultoinnin asiantuntijayritys. Sweco on listattu Tukholman pörssiin, ja sen liikevaihto vuonna 2022 oli noin 2,2 miljardia euroa. Vuosittain Sweco toteuttaa kymmeniä tuhansia projekteja 70 maassa eri puolilla maailmaa. Toimipisteitä Swecolla on 13 eri maassa Euroopassa. (3.)

2.1 Sweco Finland

Sweco Finland on osa kansainvälistä Sweco-konsernia, ja sillä on toimipisteitä 27 paikkakunnalla Suomessa ja kahdella paikkakunnalla Virossa. Sweco Finland tarjoaa palveluita koko rakentamisen prosessin hankkeen esiselvityksistä aina kohteen valmistumisen jälkeisiin laadunvarmistus- ja ylläpitopalveluihin asti. Kuvassa 1 on esitetty Sweco Finlandin asiantuntijoiden määrä ja jakautuminen eri alojen kesken.



Kuva 1. Sweco Finlandin työntekijöiden jakautuminen eri toimialojen kesken (4).

Sweco Finland tarjoaa suunnittelu- ja konsultointipalveluita useille eri aloille, joita ovat

- arkkitehtuuri ja kaupunkisuunnittelu
- infra ja liikenne
- johdon konsultointi
- projektinjohto ja rakennuttaminen
- talot ja kiinteistöt
- teollisuus, energia ja ympäristö (4).

2.2 Teollisuus-, energia- ja ympäristöpalvelut

Teollisuus-, energia- ja ympäristöpalvelut tarjoavat korkealaatuista osaamista energia- ja kiertotaloushankkeissa Suomessa ja Euroopassa. Tarjottavia palveluita energiasektorilla ovat esimerkiksi uusiutuvan energian hankkeet, energia-palvelut voimalaitoksille sekä energia- ja elinkaarikonsultointi. (5.)

Ympäristöpalveluiden erikoisosaamista ovat suurten teollisuushankkeiden YVA- ja ympäristölupamenettelyt. Muita tarjottavia palveluita ovat esimerkiksi BAT-selvitykset, ympäristöjohtaminen, ympäristölakipalvelut sekä ympäristöselosteet. Lisäksi ympäristöpalvelut tarjoaa päästölupiin liittyvää konsultointia, PIMA-selvityksiä ja päästömallinnusta, jossa AERMOD-ohjelmistoa käyttäen mallinnetaan erilaatuisten päästöjen leviäminen. (6.)

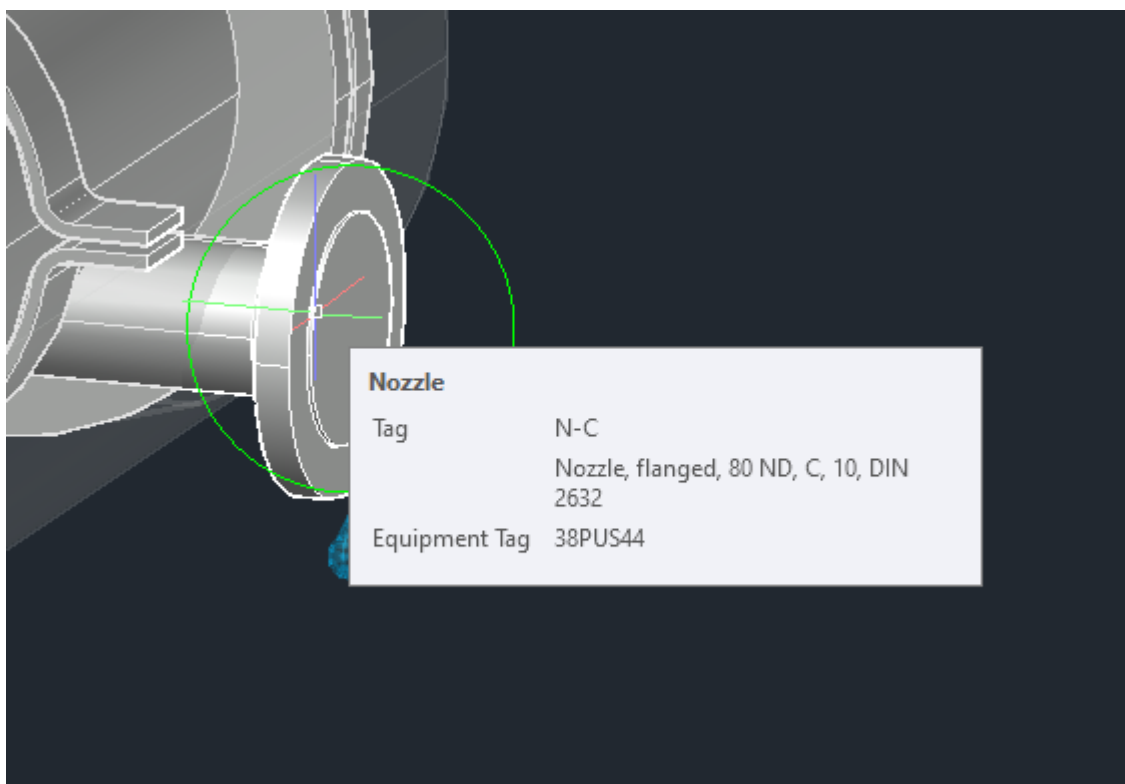
Teollisuuden suunnittelun ja konsultoinnin pääliiketoiminta-aloja ovat energian tuotanto, massa- ja paperiteollisuus, kemianteollisuus, petrokemianteollisuus sekä kaivosteollisuus. Markkinasegmenttejä ovat myös kemikaaliturvallisuus, kiertotalous, bioteollisuus, elintarviketeollisuus, kemikaali- ja lääketeollisuus sekä valmistava teollisuus. Teollisuuden asiantuntijoilla on laajasti kokemusta ja osaamista teollisuuden kohteiden ja prosessien suunnittelusta sekä teollisuusprojektien eri vaiheista esiselvityksistä toteutukseen. (7.)

3 3D-mallinnus laitossuunnittelussa

3.1 3D- ja BIM-mallit ja niiden erot

Sanatarkasti 3D-mallilla tarkoitetaan digitaalisesti esitettävää kolmiulotteista mallia fyysisestä kappaleesta tai tilasta. 3D-mallia voidaan käyttää apuna hahmottamisessa, suunnittelussa ja viestinnässä. 3D-mallista voidaan saada selville tilan tai kappaleen perustietoja, kuten esimerkiksi mitat, väri ja tekstuuri, mutta se ei sisällä kaikkia rakentamiseen tarvittavia yksityiskohtaisia tietoja. (8.) 3D-malleja voidaan luoda laajalla valikoimalla ohjelmia, aina ilmaisesta Autodeskin Tinkercad-ohjelmasta useita kymmeniä euroja tunnissa maksaviin mallinnusohjelmiin.

BIM-malli (Building Information Modeling) tai tietomalli on yksityiskohtainen digitaalinen esitysmuoto rakennus- tai suunnitteluprojektista. Se sisältää pelkkää 3D-mallia huomattavasti enemmän informaatiota, kuten esimerkiksi materiaalit, mitat, massat ja kappalemäärät. Putkiston osalta tietomalli sisältää tiedon virtaavasta aineesta sekä sen lämpötilasta ja paineesta. Tietomalli sisältää tiedon putkiston osista, eli sen rakentamiseen tarvittavien putkien, käyrien, haarojen ja muiden tarvikkeiden määrästä ja painosta, jolloin voidaan automaattisesti luoda putkimateriaaliluettelo. Putkimateriaaliluettelo voidaan ajaa suunnitteluohjelmasta suoraan Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, jolloin vältytään manuaaliselta täyttämiseltä. Taulukkolaskentaohjelman avulla voidaan laskea putkiston osuus laitoksen investointikustannuksista. (9.) Kuten kuvasta 2 voidaan nähdä, esimerkiksi prosessilaitteiden osalta 3D-tietomalli sisältää yleensä laitteen ja yhteen tunnuksen lisäksi tiedot myös putkiyhteen koosta, tyypistä, paineluokasta ja materiaalista.



Kuva 2. Esimerkki 3D-tietomallin sisältämästä tiedosta Autodeskin Plant 3D -ohjelmistossa.

Yleisesti puhuttaessa 3D-mallista laitossuunnittelussa sillä tarkoitetaan enemmän laitoksen 3D-tietomallia eli laajemmin tietoa sisältävää kokonaisuutta kuin pelkästään laitteiden, instrumenttien, rakenteiden ja putkiston tilavarauksen visuaalista esittämistä (10).

Tietomallinnus on kehittynyt merkittävästi viime vuosikymmeninä ja on nyt vakiinnuttanut asemansa rakennusalan standardina ympäri maailmaa. BIM-mallit mahdollistavat rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon tietomallipohjaisesti, jossa malliin tallennetaan kaikki rakennuksen tiedot ja niiden keskinäiset suhteet. BIM-mallien käyttömahdollisuudet ovat laajat. Tietomallia voidaan käyttää erilaisten analyysien ja simulointien tekemiseen, kuten energiatehokkuuden, tilojen käytön, rakennusfysiikan, kustannusten ja aikataulun optimointiin. BIM-malliin voidaan myös lisätä erilaisia lisätietoja, kuten turvallisuus- ja ympäristötietoa, joka auttaa esimerkiksi riskienhallinnassa ja sertifiointissa. (11.)

3.2 4D- ja 5D-mallit

BIM-malleja voidaan täydentää 4D- ja 5D-malleilla, jotka sisältävät aikatieta (4D) ja kustannustietoa (5D). 4D-mallissa aikatieta lisätään BIM-malliin, jolloin voidaan simuloida rakentamisprosessia ja tarkastella, miten eri työvaiheet vaikuttavat toisiinsa. 4D-mallin avulla voidaan suunnitella rakennustyötä tehokkaammin, kuten aikatauluttamalla eri työvaiheet optimaalisesti, suunnittelemalla logistiikkaa ja tarkastelemalla resurssien käyttöä. Aikataulutettu 4D-malli mahdollistaa myös eri osapuolten, kuten tilaajan, suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja rakennuttajien yhteistyön samanaikaisesti. (12, s. 139–152.)

5D-mallissa puolestaan yhdistetään BIM-malliin kustannustietoa, jolloin voidaan arvioida rakennusprojektin kustannuksia ja budjettia eri vaiheissa. Kustannusmallin avulla voidaan tarkastella suunniteltujen ratkaisujen vaikutuksia kustannuksiin ja hakea kustannussäästöjä. Tämä auttaa suunnittelemaan kustannustehokkaampia ratkaisuja ja pitämään projektin budjetin hallinnassa. (13, s. 427–435.)

3.3 3D-mallinnuksen hyödyt

3D-mallia voidaan hyödyntää tiedonvaihdon välineenä eri suunnittelualojen ja projektihenkilöstön välillä. Mallien koordinointi ja päivittäminen on kuitenkin sovitettava tarkasti, jotta kaikki osapuolet ovat selvillä mallin ajantasaisuudesta (14, s. 7). Laitossuunnittelussa 3D-mallinnus on tehokkain tapa saattaa suunnittelu valmiiksi, sillä virtuaalisesti rakennettu kopio tulevasta laitoksesta iteroituu useasti, ennen kuin rakennustyöt alkavat työmaalla (15).

3.4 Laitossuunnittelu

Laitossuunnittelun tehtävänä on suunnitella erilaisten teollisuuslaitosten turvallinen sekä kustannustehokas rakentaminen, käyttö ja kunnossapito. Pääosin

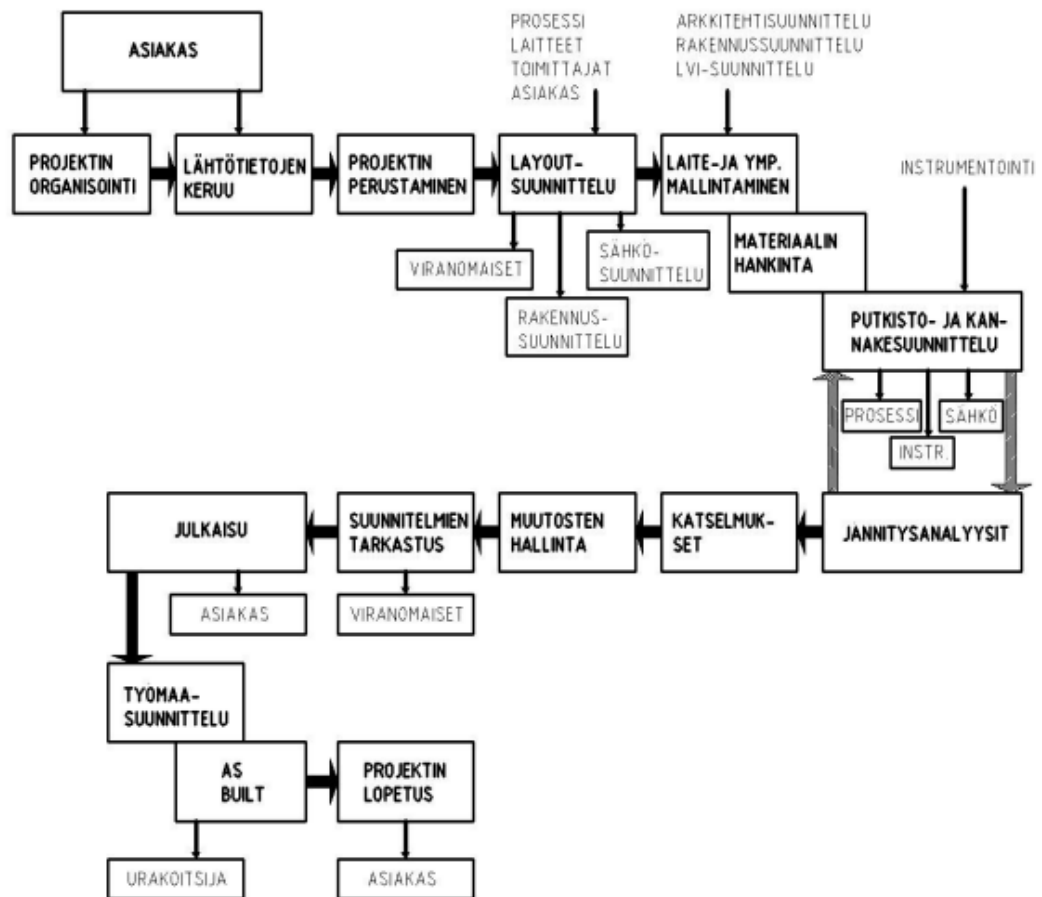
prosessisuunnittelusta saatavan tiedon perusteella laitteet, putkistot ja teräsra-
kenteet suunnitellaan siten, että ne täyttävät voimassa olevien standardien ja la-
kien lisäksi myös asiakkaan vaatimukset. Suunniteltavia tuotantolaitoksia voivat
olla esimerkiksi voimalaitokset, kemiantehtaot ja polttoaineenjalostamot. (16.)

Kokonaisuutena laitossuunnitteluprosessi voidaan jakaa useisiin eri vaiheisiin,
joita ovat seuraavat:

- Tarvekartoitus ja suunnittelun aloitus: Laitossuunnitteluprosessi al-
kaa tarvekartoituksella, jossa määritellään laitoksen käyttötarkoitus
ja tarpeet. Tämän jälkeen voidaan aloittaa suunnittelu. Suunnittelun
aloitusvaiheessa määritellään yleisellä tasolla laitoksen rakenne,
koko ja toiminta.
- Esisuunnittelu: Esisuunnitteluvaiheessa tehdään yksityiskohtai-
sempi suunnitelma laitoksen rakenteesta ja toiminnasta. Tässä vai-
heessa tutkitaan myös erilaisia toteutusvaihtoehtoja ja valitaan niistä
sopivin.
- Toteutussuunnittelu: Toteutussuunnitteluvaiheessa laitoksen raken-
teesta ja toiminnasta tehdään vieläkin yksityiskohtaisempi suunni-
telma. Tämä vaihe sisältää tarkkojen piirustusten, 3D-mallien, suun-
nitelmien ja teknisten määritysten laadinnan.
- Rakentaminen: Rakentamisvaiheessa suunnitelmat pannaan täytän-
töön. Tämä vaihe sisältää laitoksen rakentamisen, asennukset, tes-
tauksen ja käyttöönoton.
- Käyttö ja kunnossapito: Laitoksen käyttöönoton jälkeen tärkeä osa
prosessia on sen käyttö ja kunnossapito, joiden tavoitteena on var-
mistaa laitoksen optimaalinen toiminta ja turvallisuus. (17.)

Laitossuunnitteluprosessin päävaiheisiin sisältyy paljon erilaisia työvaiheita.

Prosessit, joita sisältyy suunnittelun aloituksesta rakentamiseen, on kuvattu ku-
vassa 3.



Kuva 3. Laitossuunnittelun työvaiheet (18).

Laitossuunnittelu koostuu eri suunnittelualoista, joita tyypillisesti ovat

- prosessisuunnittelu
- layoutsuunnittelu
- laitesuunnittelu
- putkistosuunnittelu
- rakennesuunnittelu
- sähkösuunnittelu
- instrumentointi- ja automaatio-suunnittelu
- lvi-suunnittelu (16).

Suunnittelun perusteella tuotetaan väli- ja loppudokumentteina suunnitteluasiakirjoja ja piirustuksia. Nykyaikana suunnittelutyötä tehdään pääsääntöisesti

mallipohjaisesti, jonka avulla dokumentit voidaan tuottaa mahdollisimman automaattisesti. (16) Tuotettavia väli- ja loppudokumentteja ovat esimerkiksi

- aluekartta
- tehdassijoitus- eli layoutpiirustus
- taso- ja leikkauspiirustukset
- laitesijoituspiirustukset
- putkireittipiirustukset
- putki- ja instrumenttikaaviot
- putkiston isometripiirustukset
- laite-, putkisto- ja instrumenttiluettelot
- kannakepiirustukset
- rakennustehtäväpiirustukset
- 3D-katselumallit (19).

3.5 Laitossuunnittelussa käytettävät suunnitteluohjelmat

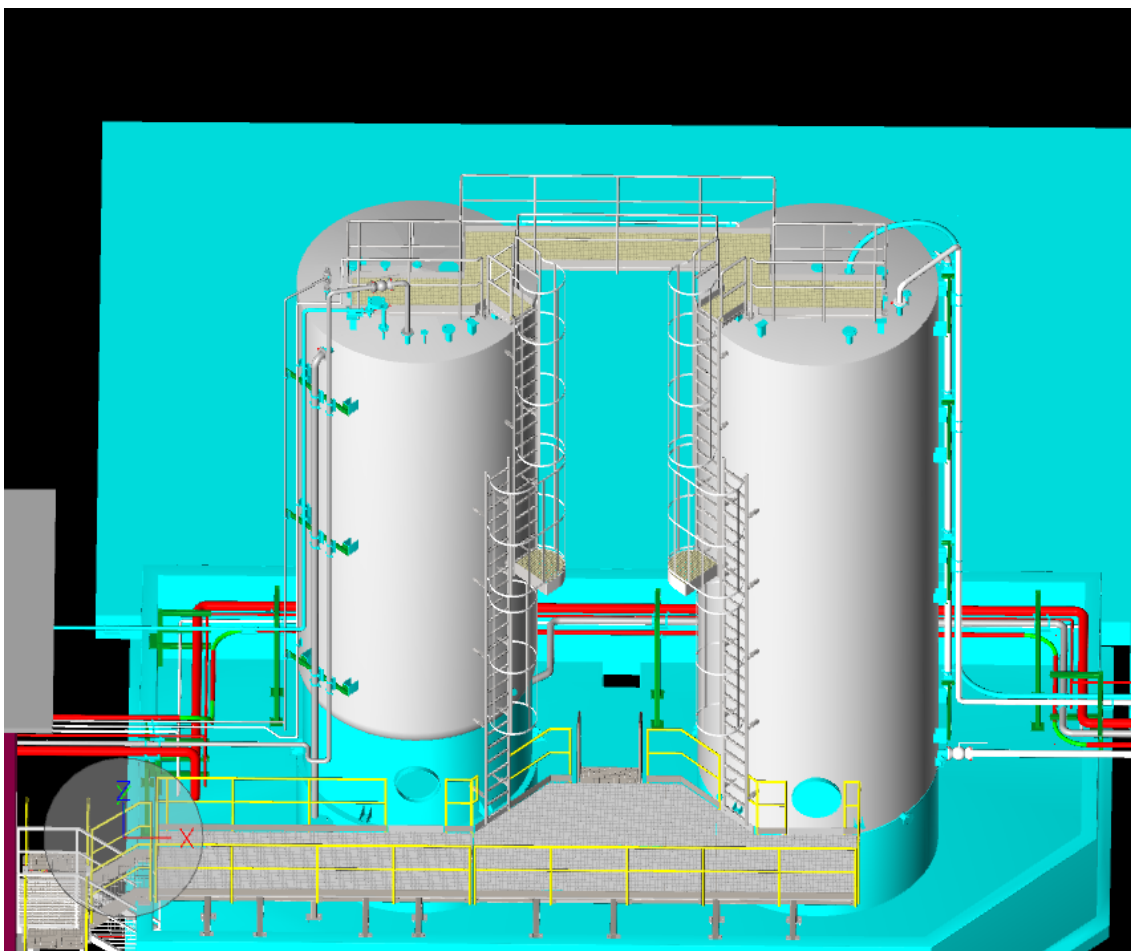
Laitossuunnittelussa käytetään pääsääntöisesti pelkästään tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmia. CAD-ohjelmat mahdollistavat tarkemman ja tehokkaamman suunnittelun sekä helpottavat tiedonvaihtoa projektihenkilöstön kesken, sillä tehdyt muutokset päivittyvät suunnitelmiin välittömästi (16).

Laitossuunnittelussa laitteiden, putkiston ja rakenteiden mallintamiseen käytettäviä ohjelmia ovat esimerkiksi

- Aveva PDMS
- Aveva Everything 3D
- Intergraph Smart 3D
- Autodesk AutoCAD Plant 3D
- Autodesk Revit
- Cadmatic 3D Plant Design
- Vertex G4Plant
- Trimble Solutions Tekla Structures.

Eri ohjelmistoilla tehdyt 3D-mallit voidaan koota yhdeksi malliksi suunnittelun tukemiseksi ja mallikatselmuksia varten esimerkiksi Autodesk Navisworks -, Solibri Model Checker ja Intergraph Smart Review -ohjelmilla (20). Tätä eri suunnittelujärjestelmällä luotujen suunnittelumallien yhdistelmää kutsutaan koontimalliksi.

Kuvassa 3 on esimerkki Navisworks-ohjelmaan kootusta 3D-koontimallista. Teräsrakenteet, eli hoitotasot, tikkaat ja portaat on mallinnettu Tekla Structures -ohjelmistoa käyttäen. Prosessilaitteet, putkistot sekä kannakoinnit taas Autodesk Plant 3D -ohjelmistoa käyttäen.



Kuva 4. Kuvakaappaus Autodesk Navisworks -ohjelmaan kootusta 3D-tietomallista.

Autodesk Navisworks -ohjelman avulla voi tarkastella esimerkiksi 3D-koontimallin hierarkiaa eli rakennepuuta, objektien eli esimerkiksi laitteiden ja putkistojen ominaisuuksia, tallentaa valmiita katselukulmia sekä tehdä punakynämerkintöjä ja tallentaa kommentteja. Navigointityökalujen avulla mallissa voi esimerkiksi kävellä ja lentää, tarkastella mallia mistä tahansa suunnasta ja kulmasta sekä rajata näkymää haluamaansa laatikkoon.

4 3D-mallikatselmukset ja niiden käyttö laitossuunnittelussa

4.1 Mallikatselmukset projektien laadunvarmistuksessa

3D-mallikatselmusten rooli projektien laadunvarmistuksessa on esitellä suunnittelun edistymää asiakkaalle ja sidosryhmille sekä saada hyväksyntä teknisille ratkaisuille. Mallikatselmuksilla tarkoitetaan 3D-mallien tarkistamista ja arviointia ennen niiden käyttöä rakentamisessa tai tuotannossa. Katselmukset voivat olla sisäisiä tai ulkoisia. 3D-mallien katselmoinnit ovat olennainen osa suunnittelu-prosessia ja niitä tulee järjestää riittävästi, jotta voidaan varmistaa suunnittelun laatu. Katselmointikäytännöt tulee kirjata projektiohjeisiin. (14.)

Sisäisissä katselmuksissa 3D-malli tarkistetaan suunnittelutiimin sisällä. Tavoitteena on varmistaa, että malli sisältää viimeisimmät tiedot, näyttää asialliselta ja sen sisältö vastaa sovittua. Ulkoisissa katselmuksissa 3D-malleja tarkastellaan laajemman osallistujakunnan, kuten rakennuttajan, asiakkaan tai sidosryhmien kanssa. Tarkoituksena on varmistaa, että mallit vastaavat käyttäjien tarpeita ja että ne ovat käyttökelpoisia ja helposti ymmärrettäviä. Ulkoiset katselmukset voivat myös auttaa tunnistamaan mahdollisia ongelmia tai puutteita 3D-malleissa ennen niiden käyttöä rakentamisessa tai tuotannossa. Mallikatselmukset voivat olla manuaalisia tai automatisoituja. Manuaalinen tarkistus tapahtuu yleensä suunnittelijan tai muun asiantuntijan tekemänä, kun taas automatisoidussa tarkistuksessa käytetään erilaisia automaattisia ohjelmistoja ja työkaluja. Automatisoidut katselmukset voivat tietyissä tapauksissa olla nopeampia ja tarkempia kuin manuaaliset tarkistukset, mutta ne eivät aina tunnista kaikkia mahdollisia ongelmia. (11.)

Mallikatselmusten avulla voidaan

- eliminoida kalliita ja aikaa vieviä perinteisiä rakennusvirheitä
- vertailla erilaisia ratkaisuja ja vaihtoehtoja
- lyhentää ja tehostaa suunnittelua sekä helpottaa palautteen antamista
- parantaa tiedonkulkua eri suunnittelualojen välillä (21).

4.2 3D-mallikatselmusten sisältö, valmistelu ja kulku

3D-mallikatselmukset jaetaan sisällöltään yleensä kolmeen vaiheeseen, joita ovat 30, 60 ja 90 prosentin katselmukset. Prosenteilla kuvataan suunnitteluprojektin valmiusastetta. Jokaisen vaiheen katselmuksessa tarkasteltavien asioiden pääpaino on toisistaan erilainen.

Mallikatselmusten valmisteluilla on tarkoitus varmistaa, että katselmus saadaan suoritettua mahdollisimman sujuvasti ja tehokkaasti, jotta ehditään katselmoida ennalta sovitut asiat mallikatselmukseen varatun ajan puitteissa. 3D-mallikatselmuksen sujuvaan läpivientiin vaikuttavia valmisteluja ovat esimerkiksi 3D-mallin etukäteistarkastus ja siistiminen sekä valmiiksi tallennetut näkymät, joiden avulla voidaan nopeasti siirtyä esimerkiksi katselmoitavista laitteista tai putkilinjoista toiseen. Mallikatselmukseen kutsuttavat henkilöt on hyvä miettiä katselmuksen asialistan mukaan, sillä suuri osallistujien määrä aiheuttaa kuluja, eikä siitä ole välttämättä hyötyä. (22.)

Mallikatselmusten sisältö sekä katselmuksissa saadut kommentit tulee dokumentoida kattavasti ja jakaa myös niiden ulottuville, jotka eivät ole katselmuksissa paikalla. Tarkalla dokumentoinnilla on iso merkitys myös jatkossa, kun tiedoista voidaan käydä läpi jo hyväksytyt kohteet ja välttää turhaa katselmointia. Dokumentoinnin avulla on helppoa vertailla myös nykyisen ja edellisen katselmuksen aikaisten ratkaisujen eroavaisuuksia.

4.2.1 30 % -mallikatselmus

30 % -mallikatselmus on 3D-tietomallin ensimmäinen suurempi tarkastelutilaisuus. Katselmuksen tarkoituksena on saada lukittua mallin kriittisimpien ja suurimpien laitteiden ja putkistojen sijoittelu. Ensimmäisen vaiheen katselmuksessa tarkastellaan lisäksi myös luoksepäästävyyttä, rakennettavuutta, HSE (Health, Care and Environment) -asioita sekä käytettävyyttä. Esimerkkejä 30 % -katselmuksessa tarkasteltavista asioista ovat

- rakennusten ja laitteiden sijoitus
- kulku- ja pelastustiet
- lastaus- ja purkupaikat
- kriittiset putket
- tärkeimmät teräs- ja betonirakenteet
- pääkaapelihyllyt ja -kanavat.

4.2.2 60 % -mallikatselmus

60 % -mallikatselmus on katselmoinneista laajin. Mallikatselmuksen pääpainona on tarkastella rakennettavuutta, lukita tärkeimpien putkilinjojen reitit ja tarkastaa, että aikaisemmassa mallikatselmuksessa tehdyt muutosehdotukset on saatettu valmiiksi. 60 % -mallikatselmukseen on varattava eniten aikaa, sillä 3D-malli sisältää aikaisempaa enemmän tarkastelun alla olevia mallinnettuja putkistoja, laitteita ja rakenteita. Mallikatselmuksen tarkoituksena on saada ratkaisuja mahdollisimman paljon hyväksytyksi, sillä muutoksilla ja vaihtoehtoisilla ratkaisuilla voi tämän vaiheen jälkeen olla vaikutuksia aikataulussa pysymiseen. Esimerkkejä 60 % -mallikatselmuksessa tarkasteltavista asioista ovat

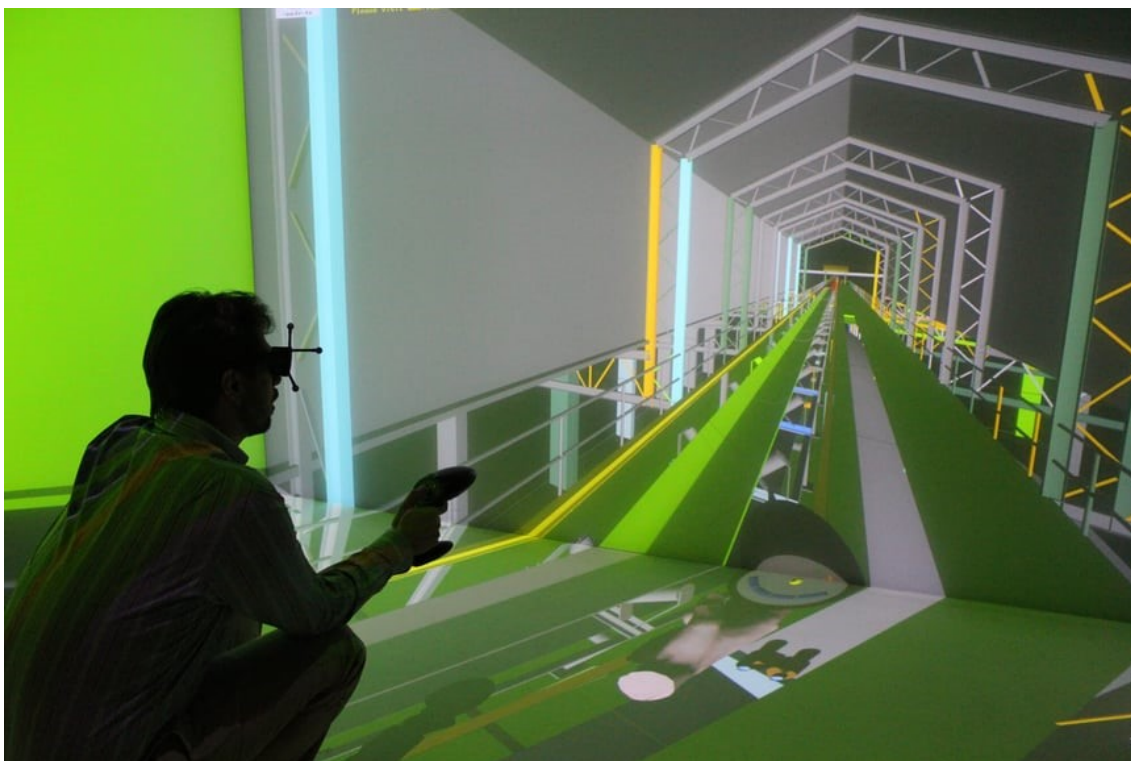
- laitteiden lopulliset yhdesuunnat
- putkisillat ja sekundäärikannakkeet
- säätöventtiilien sijoitus, käytettävyys ja huollettavuus
- teräsrakenteet, tikkaat ja portaat
- sähkökaapit
- palosuojelu ja turvasuihkujen sijoittelu.

4.2.3 90 % -mallikatselmus

90 % -mallikatselmuksessa on tarkoituksena esittää kaikki, mitä projektissa on sovittu mallinnettavaksi. Mallikatselmuksessa tarkastetaan, että suunnittelutyö on tehty asiakkaan vaatimusten sekä vallitsevien asetusten ja ohjeiden mukaisesti. Katselmuksessa tarkastetaan myös, että 60 % -mallikatselmuksessa esitetyt muutosehdotukset ja sovitut asiat on saatettu loppuun asti. 90 % -mallikatselmus on viimeinen vaihe, jossa asiakas voi ehdottaa malliin pienimuotoisia muutoksia, sillä tämän jälkeen suunnitelmista tuotetaan AFC-loppudokumentit. (4.)

4.3 3D-mallikatselmuksset tulevaisuudessa

Todellisuuden teknologian kehittyminen on tuonut uusia mahdollisuuksia myös 3D-mallikatselmuksiin. Kuten kuvasta 4 voidaan nähdä, virtuaalitodellisuus (VR) ja lisätty todellisuus (AR) tarjoavat käyttäjille mahdollisuuden tutkia ja tarkastella 3D-malleja aivan uudella tavalla.



Kuva 5. Virtuaalitodellisuuden hyödyntämistä laitosmallin tarkastelussa (23).

Virtuaalitodellisuus (VR) on teknologia, joka luo käyttäjälle kokemuksen siitä, että hän on kokonaan toisessa todellisuudessa. VR-tekniikalla varustetut laitteet, kuten lasit tai kypärät, antavat käyttäjälle mahdollisuuden liikkua ja tutkia 3D-malleja eri kohdista ja näkökulmista. Tämä auttaa käyttäjää hahmottamaan mallin kokonaisuutta ja yksityiskohtia paremmin.

Lisätty todellisuus (AR) puolestaan yhdistää reaali maailman ja virtuaali maailman. AR-laitteilla, kuten älypuhelimilla tai erityisillä laseilla, käyttäjä voi nähdä 3D-mallin oikeassa ympäristössä. Esimerkiksi rakennustyömaalla voidaan käyttää AR-laitteita, joiden avulla käyttäjä voi tarkastella suunniteltua rakennusta sen oikeassa ympäristössä ja verrata sitä todellisuuteen. (24.)

Suunnitellessa rakennusta tai tuotetta VR- tai AR-teknologiaa hyödyntäen käyttäjät voivat käydä virtuaalisesti läpi kohteen käyttöä ja huoltoa ennen sen fyysistä valmistumista. Näin voidaan helpottaa mahdollisten ongelmien ja vianlähteiden tunnistamista jo varhaisessa vaiheessa, mikä vähentää merkittävästi jälkikäteisiä korjauksia ja muutostöitä. Kun käyttäjät voivat tutkia virtuaalisesti rakennuksen tai tuotteen kaikkia osia ja toimintoja, he voivat myös helpommin havaita mahdolliset käyttöön tai kunnossapitoon liittyvät ongelmat ja antaa palautetta suunnittelijoille. (25.)

Palautteen kerääminen jo suunnitteluvaiheessa voi auttaa vähentämään myös myöhempiä kunnossapitokustannuksia, sillä suunnittelijat voivat käyttäjien palautteen perusteella tehdä tarvittavat parannukset suunnitelmiin ja varmistaa, että käyttö ja huolto on helppoa ja kustannustehokasta.

Lisäksi VR- ja AR-teknologian avulla voidaan kouluttaa käyttäjiä tai huoltotyöntekijöitä uusien laitteiden tai rakennusten käytössä ja kunnossapidossa. Tämä voi auttaa varmistamaan, että käyttäjät osaavat käyttää laitteita tai rakennuksia oikein ja että huoltotyöntekijät tietävät, miten suorittaa tarvittavat huoltotoimenpiteet tehokkaasti ja turvallisesti. (26, s. 799–805.)

5 Toiminta- ja työohjeiden laatiminen

5.1 Hyvän työohjeen ominaisuudet

Hyvä työohje on yksityiskohtainen, selkeä ja helppolukuinen. Se koostuu työvaiheiden kuvauksista, joissa käydään läpi tarvittavat materiaalit, laitteet ja asiakirjat. Hyvä ohje on myös käytännönläheinen, jotta se auttaa työntekijöitä suorittamaan tehtävänsä oikein ja tehokkaasti. (27.) Tärkeää on, että ohjeet ovat helposti löydettävissä ja niitä päivitetään säännöllisesti. Hyvä ohje on myös jäsennellyt ja siinä on selkeät otsikot, jotta lukija voi helposti löytää etsimänsä tiedot. Ohjeet tulisi myös merkitä muutosversioilla ja niissä tulisi olla päivämäärä, jotta lukijat voivat varmistaa, että he käyttävät aina viimeisintä versiota. (28, s. 16.)

5.2 Työvaiheet ohjeen laatimisessa

Ohjeen laatiminen voidaan jakaa useisiin eri työvaiheisiin, jotta varmistetaan ohjeen selkeys ja toimivuus. Ensimmäinen vaihe on määrittellä ohjeen kohdeyleisö eli ne henkilöt, joille ohje on suunnattu. Kohdeyleisön tarpeiden ja tietotasojen tunteminen auttaa varmistamaan, että ohje on ymmärrettävä ja helppo seurata.

Seuraavassa vaiheessa on tärkeää määrittää ohjeen tarkoitus ja käyttötilanne. Ohjeen tarkoitus voi olla esimerkiksi tietyn työvaiheen suorittaminen tai jonkin tietyn laitteen käyttö. Käyttötilanteen tunteminen auttaa varmistamaan, että ohjeen sisältö vastaa käytännön tarpeita.

Kolmas vaihe on ohjeen rakenne ja sisältö. Ohjeen rakenne tulisi suunnitella selkeäksi ja helposti seurattavaksi. Tärkeät kohdat kannattaa korostaa, ja ohje kannattaa jakaa selkeisiin alaotsikoihin. Ohjeen sisältö tulisi suunnitella niin, että se vastaa kohdeyleisön tarpeita ja sisältää kaikki tarvittavat tiedot ja toimenpiteet.

Neljäs vaihe on ohjeen testaaminen ja arviointi. Ohjeen laatijan tulisi testata ohjetta käytännössä ja varmistaa sen toimivuus ja ymmärrettävyys. Tarvittaessa ohjetta kannattaa muokata ja parantaa sen toimivuutta. Lopuksi on tärkeää

varmistaa, että ohjeen päivitykset ja muutokset tallennetaan ja että kaikilla käyttäjillä on aina käytössään ajantasainen versio ohjeesta. (27.)

6 3D-mallikatselmuksen ohjeen kehittäminen

3D-mallikatselmuksen ohjeen kehitystyö aloitettiin marraskuussa 2022 pitämällä aloituspalaveri opinnäytetyön työpaikkaohjaajana toimineen osastopäällikkö Anssi Lehtisen ja Kuopion aluepäällikkö Juho Rissasen kanssa. Palaverissa keskusteltiin ohjeen tavoitteista ja pyrittiin rajaamaan ohjeen aihealuetta, mutta todettiin, että sekä ohjeen tavoite että aihealue tulee tarkentumaan myöhemmin. Aiheen mukana syksyllä 2022 esiin tullut toive ohjeen valmistumisesta vuoden loppuun mennessä todettiin saavuttamattomaksi.

Ohjeen kehittämisen tukena toimi aikaisemmin aloitettu ohje 3D-mallikatselmuksista. Ohjeen toivottiin palvelevan yrityksen työntekijöitä siten, että mallikatselmuksen voisi ohjeen avulla järjestää myös sellaiset henkilöt, joilla ei ole kokemusta 3D-mallikatselmuksen järjestämisestä, läpiviennistä ja dokumentoinnista. Ohjeen haluttiin tuovan lisäksi yhtenäisyyttä ja viimeisteltyä tyyliä nykyisiin mallikatselmuksen käytäntöihin. Tavoitteena oli myös aikataulun ja mahdollisuuksien sallissa päivittää Microsoft Excel -pohjainen mallikatselmuksen tarkastuslista helppokäyttöisemmäksi ja palvelemaan nykyisiä mallikatselmuksen käytäntöjä. Ohje toteutettiin Microsoft Word -asiakirjana aikaisemmin aloitetun ohjeen tavoin, jotta sen käyttö, jakaminen ja päivittäminen on helpompaa. Ohjeen kieleksi valittiin suomi, sillä se on yrityksen suunnittelijoiden pääasiallinen äidinkieli.

6.1 Ohjeen toteutus

Ohjeen toteutus sovittiin alkamaan aiheeseen tutustumisella erilaisia kirjallisuus- ja verkkolähteitä käyttäen. Päätettiin myös, että tietoa yrityksen sisäisistä mallikatselmuksen käytännöistä kerätään järjestämällä haastatteluita Swecolla työskentelevien asiantuntijoiden kanssa. Haastatteluja varten kerättiin nimilista,

jossa oli asiantuntijoita layout-, putkisto-, prosessi-, rakenne- sekä sähkö-, instrumentointi- ja automaatio suunnittelusta.

Haastattelut olivat luonteeltaan samankaltaisia ja niissä esitettiin kysymyksiä, joita olivat esimerkiksi seuraavat:

- Mitkä ovat selkeimpiä ongelmia nykyisissä toimintatavoissa?
- Mitä turvallisuuteen liittyviä asioita halutaan painottaa?
- Mitkä ovat missäkin projektin vaiheessa kaikista tärkeimmät katsel-
musta vaativat kohdat, jotka määrittävät tulevaa?
- Mitkä ratkaisut pitäisi pystyä lukitsemaan missäkin vaiheessa?
- Onko katselmuksiin varattu tarpeeksi aikaa?

6.2 Ohjeen rakenne ja sisältö

Ohjeen rakenteen ja sisällön valmistelun tukena käytettiin jo aikaisemmin aloitettua mallikatselmusohjetta. Ohjeen luettavuutta pyrittiin helpottamaan selkeällä rakenteella jakamalla aihealueet sopivien otsikoiden alle, joita olivat

- mallikatselmuksen tarkoitus ja tavoitteet
- 3D-mallin sisältö
- mallikatselmuksien
- mallikatselmuksen kulku.

Ohjeen tarkempi sisällysluettelo alaotsikoineen on esitelty liitteessä 1.

Mallikatselmuksen tarkoitus ja tavoitteet -otsikon alla käytiin läpi, mitä mallikatselmuksilla tarkoitetaan ja mikä on niiden tavoite. 3D-mallin sisältö -otsikon alla lueteltiin suunnittelualoittain yrityksen työnlaajuuteen kuuluva mallinnettava sisältö. Mallikatselmus-otsikon alla käsiteltiin suunnittelualoittain katselmuksissa läpikäytävät asiat. Mallikatselmuksen kulku -otsikon alla ohjeistettiin mallikatselmuksen valmisteluun, läpivientiin ja dokumentointiin liittyvät asiat.

Kirjallinen ohje sisältää 10 sivua tekstimuotoista ohjeistusta liitteenään katselmuksien ohjeistusta, ja ohje on lähetetty eri asiantuntijoille kommentoitavaksi. Ennen

kuin ohje viedään yrityksen sisäiseen tietokantaan, ohje täydentyy kommenttien mukaisesti ja siihen lisätään yksityiskohtainen kuvia ja tekstiä sisältävä osio, joka koskee valmiiden näkymien tallentamista ja kommentointia Navisworks-ohjelmassa. Osiossa käsitellään myös katselmusraportin ajaminen ohjelmasta Word-asiakirjaan sekä vaiheet asiakirjan editoinnista lopulliseen julkaistavaan ulkoasuun.

7 Yhteenveto

Tässä työssä syvennyttiin 3D-mallinnukseen ja mallikatselmuksiin osana laitossuunnittelun laadunvarmistusta ja suunnittelualojen välistä tiedonjakoa. Kokoon saatujen tietojen sekä yrityksen sisäisten materiaalien ja resurssien pohjalta luotiin mallikatselmusohje, jonka tarkoituksena on helpottaa ja varmistaa laadukkaan 3D-mallikatselmusten järjestämistä, yhtenäistää yrityksen mallikatselmuuskäytäntöjä sekä parantaa mallikatselmuksista saadun tiedon dokumentointia ja jakamista.

Ohjeen kehitystyö oli ajoittain hidasta, ja ohjeen rajaaminen osoittautui tekijälle hankalaksi. Laitossuunnittelun projektit ovat eriluonteisia ja erikokoisia, joten ongelmallista oli löytää sopiva tulokulma ohjeen kehittämiseksi. Ohje saatiin lopulta rajattua koskemaan 3D-mallikatselmuksia yleisesti laitossuunnitteluprojekteissa ja yksityiskohtaisempaa ohjeistusta kohdenettiin sitä vaativille aihealueille. Kaiken kattavan ohjeen tekemiseen kuluisi loputtomasti aikaa, eikä liian suuren tietomäärän omaksuminen kerrallaan ole lukijallekaan mielekäästä.

Julkaisun jälkeen ohjetta testataan käytännössä ja sitä tullaan tarpeen mukaan päivittämään ja kehittämään, jotta saavutetaan yhtenäisempiä käytäntöjä 3D-mallikatselmuksien järjestämisessä ja dokumentoinnissa.

Lähteet

- 1 Virtainlahti, S. 2011. Hiljainen tietämys ja aineeton pääoma organisaation voimavarana. Kuopio: UNIpress
- 2 Brandon, Joel S. & Morris, Daniel C. 1993. Re-engineering Your Business. McGraw-Hill Companies, T.H.E.
- 3 Tietoa Swecosta. Verkkoaineisto. Sweco Finland Oy <<https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>>. Luettu 2.4.2023.
- 4 Sweco Finland-presentaatio. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sweco Finland Oy.
- 5 Energiamurroksen ratkaisulla kestävä kasvua ja kilpailukykyä. Verkkoaineisto. Sweco Finland Oy <<https://www.sweco.fi/energia/>>. Luettu 4.4.2023.
- 6 Teollisuus-, energia- ja ympäristöpalvelut. Verkkoaineisto. Sweco Finland Oy. <<https://www.sweco.fi/palvelumme/teollisuus-energia-ja-ymparisto/>> Luettu 4.4.2023.
- 7 Teollisuuden suunnittelu ja konsultointi. Verkkoaineisto. Sweco Finland Oy <<https://www.sweco.fi/palvelumme/teollisuus-energia-ja-ymparisto/teollisuuden-suunnittelu-ja-konsultointi/>>. Luettu 2.4.2023.
- 8 BIM Guide 01 - BIM Overview. 2007. Verkkoaineisto. Administration, U.S. General Services. <https://www.gsa.gov/cdnstatic/GSA_BIM_Guide_v0_60_Series01_Overview_05_14_07.pdf>. Luettu 2.4.2023.
- 9 Building Information Modeling. Verkkoaineisto. Autodesk. <<https://www.autodesk.com/industry/aec/bim>>. Luettu 2.4.2023.
- 10 Profox. Laitossuunnittelujärjestelmät. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sweco Finland Oy.
- 11 Eastman, C.M.; Teicholz, P.; Sacks, R. & Liston, K. 2011. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons.
- 12 Kang, J.; Wang, Q.; Yu, K. & Anumba, C. 2016. Developing a 4D BIM model for construction planning and scheduling.

- 13 Chua, D.K.H.; Liu, J. & Chou, S.K. 2012. 5D BIM: Conceptual structures and research issues.
- 14 PSK 2402. Teollisuuden putkistot. Putkistosuunnittelun perusteet. 2021. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 15 Paulin, Seppo. 2018. 3D-järjestelmät laitossuunnittelussa. Luentomateriaalit. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 16 Sweco Finland. 2022. Laitossuunnittelun perehdytysohje. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sweco Finland Oy
- 17 Matikainen, M. 2017. Laitossuunnittelun perusteet. Luentomateriaali. Aalto-yliopisto.
- 18 Ahlgren, Sanna. 2011. Prosessikuvaus laitossuunnittelusta. Opinnäytetyö-Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 19 Sweco Finland. 2017. Tiedonvaihto projektin elinkaarella. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sweco Finland Oy
- 20 Puuskari, Ari. 2018. PSK-Putkistosuunnittelukurssi VR AR. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 21 Messner, J.; Anumba, C.; Dubler, C.; Goodman, S.; Kasprzak, C.; Kreider, R.; Leicht, R.; Saluja, C. & Zikic, N. 2019. BIM Project Execution Planning Guide. Computer Integrated Construction Research Program.
- 22 Berghem, Antti. Projekti- ja tiimipäällikkö. Sweco Finland Oy, Helsinki. Haastattelu 20.12.2022.
- 23 Techviz. 2020. How Virtual Reality helps manufacturing and industry 4.0. Verkkojulkaisu. <<https://blog.techviz.net/how-virtual-reality-vr-helps-manufacturing-and-industry-4.0>>. Luettu 2.4.2023.
- 24 Hyypä, Juha. 2018. Virtuaalitodellisuus rakennusalan tiedonhallinnassa. Rakennustekniikka.
- 25 Kang, Y.; Kim, K.; Choi, H. & Lee, H. 2019. Analysis of augmented reality technology in building maintenance.
- 26 Lee, J. H. & Shin, D. 2015. A study on the application of virtual reality technology for maintenance work of naval vessels.

- 27 Ohjeita ohjeiden tekijöille. Verkkoaineisto. Kotimaisten kielten keskus. <https://www.kotus.fi/ohjeet/hyvan_virkakielen_ohjeita/millaisia_ovat_toimivat_ohjeet_ja_kysymykset/ohjeita_ohjeiden_tekijoille>. Luettu 4.4.2023.
- 28 SFS-ISO 10013:2021. Laadunhallintajärjestelmät. Dokumentoitua tietoa koskevaa ohjeistusta. 2021. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

3D-mallikatselmusohjeen sisällysluettelo

3D-MALLIKATSELMUSOHJE

Sisällysluettelo

1 Mallikatselmuksen tarkoitus ja tavoitteet	
2 3D-mallin sisältö	
2.1 Laitteet	
2.2 Putkisto	
2.3 Teräsrakenteet	
2.4 Perustukset	
2.5 Rakennukset	
2.6 Maanalaiset rakenteet	
2.7 Sähkö	
2.8 Instrumentit	
3 Mallikatselemukset	
3.1 Sisäiset mallikatselemukset	
3.2 Asiakkaan kanssa käytävät mallikatselemukset	
3.2.1 0 % -mallikatselmus	
3.2.2 30 % -mallikatselmus	
3.2.3 60 % -mallikatselmus	
3.2.4 90 % -mallikatselmus	
4 Mallikatselmuksen kulku	
4.1 Mallikatselmuksen valmistelut	
4.1.1 Mallikatselmuksen osallistujat	
4.1.2 Katselmuskutsu	
4.2 Mallikatselmuksen läpivienti	
4.3 Mallikatselmuksen dokumentointi	
5 Liitteet	

