

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Infratekniikka

2025

Jari-Pekka Miekkaniemi

# Inframalliopetus Turun ammattikorkeakoulussa



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä  
Turun ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK  
Infratekniikka  
2025 | 68 sivua

Jari-Pekka Miekaniemi

## Inframalliopetus Turun ammattikorkeakoulussa

Tämän insinööriyön tavoitteena oli kartoittaa inframalliopetuksen nykytilaa ja arvioida sen muutostarpeita Turun ammattikorkeakoulun rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri koulutuksessa. Työssä selvitettiin, miten opetus vastaa infra-alan kasvaviin digitalisaatio- ja osaamisvaatimuksiin, jotka korostuvat alan kansallisissa ohjeistuksissa. Tutkimusongelmaa lähestyttiin selvittämällä opetuksen nykyisiä käytäntöjä, haasteita ja kehityskohteita sekä opiskelijoiden että työelämän edustajien näkökulmista.

Tutkimus toteutettiin laadullisena tapaustutkimuksena, jossa menetelmänä käytettiin triangulaatiota yhdistämällä integroiva kirjallisuuskatsaus ja puolistrukturoidut teemahaastattelut. Aineisto kerättiin haastattelemalla viittä rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opiskelijaa ja viittä infra-alan yritysten edustajaa, jotka edustivat suunnittelua, urakointia ja omaisuudenhallintaa. Kerätty aineisto analysoitiin laadullisella sisällönanalyysillä, ja tulokset yhdistettiin synteetiksi, jossa eri näkökulmat rinnastettiin toisiinsa.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että vaikka inframalliopetus Turun ammattikorkeakoulussa kattaa perusteita ohjelmistoista ja inframallista, opetuksen ja työelämän tarpeiden välillä on selkeä kuilu. Opiskelijat kokivat opetuksen liian teoreettiseksi ja suppeaksi, ja käytännön taidot opittiin pääosin vasta työelämässä. Työelämän edustajat tuotannossa puolestaan korostivat tarvetta syvemmälle käytännön osaamiselle, ja suunnittelussa ymmärrystä, joka kattaisi koko inframallin elinkaaren tiedonsiirtoineen ja laadunvarmistuksineen. Keskeisiksi kehityssuosituksiksi nousivat käytännönläheisten ja työelämälähtöisten oppimisprojektien lisääminen, tiiviimpi yritysysteistyö, opetusmateriaalien ja -menetelmien modernisointi sekä uusimpien opetusmenetelmien ja teknologioiden integroiminen opetukseen.

Asiasanat: inframalli, BIM, opetuksen kehittäminen, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, osaamistarpeet, laadullinen tutkimus, Turun ammattikorkeakoulu

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering

2025 | 68

Jari-Pekka Miekaniemi

## BIM in infrastructure “Inframodel” education in Turku university of applied sciences

The aim of this bachelor's thesis was to survey the current state of infrastructure building information modeling (BIM) in infrastructure education and to evaluate the need for change within the Civil Engineering degree program at Turku University of Applied Sciences. The thesis examined how education meets the growing digitalization and competence requirements of the infrastructure sector, which are emphasized in national industry guidelines. The research problem was answered by investigating the current teaching practices, challenges, and development areas from the perspectives of both students and industry representatives.

The study was conducted as a qualitative case study employing triangulation, which combined an integrative literature review with semi-structured thematic interviews. The data was collected by interviewing five civil engineering students and five representatives from infrastructure sector organizations covering the fields of design, contracting, developing and asset management. The collected data was analyzed using qualitative content analysis, and the results were combined into a synthesis that juxtaposed different viewpoints.

The results of the study indicate that while the BIM in infrastructure education at Turku University of Applied Sciences covers the fundamentals of software and national guidelines, there is a clear gap between the education provided and the needs of the industry. Students perceived the teaching as too theoretical and limited, with practical skills being acquired mainly on the job. Industry representatives, in turn, emphasized the need for deeper practical competence covering the entire InfraBIM lifecycle, including data exchange and quality assurance and understanding it through the whole lifecycle. Key recommendations for development include increasing the number of practical and industry-oriented learning projects, fostering closer collaboration with companies, modernizing teaching materials and methods, and integrating the latest technologies into the curriculum.

Keywords: InfraBIM, BIM in infrastructure, BIM, educational development, civil engineering, competence needs, qualitative research, Turku University of Applied Sciences.

# Sisältö

<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta	1
1.2 Ongelman asettelu	1
1.3 Opinnäytetyön tavoite ja rajaukset	2
1.4 Tutkimuskysymykset	2
<b>Inframallit Infra-alalla ja opetuksessa</b>	<b>4</b>
2.1 Yleistä Inframalleista	4
2.2 Inframalli ja InfraBIM elinkaariajattelussa	6
2.3 Inframallit suunnittelussa	8
Suunnitelmamalli - määritelmä ja rooli	9
Suunnitelmamalli – määritelmä ja rooli	9
Laadunvarmistus ja mallin tarkastaminen	10
Suunnitteluohjelmistot ja työkalut	10
Lähtötietoaineisto ja sen merkitys suunnittelulle	10
2.4 Inframallit rakentamisessa	11
Inframallin tarkoitus rakentamisvaiheessa	11
Toteutusmalli	11
Koneohjausmalli ja koneohjaus	11
Mittaustekniikka ja paikalleenmittausaineisto	12
Tietomallipohjainen laadunvarmistus ja dokumentointi	12
Yhteistyö ja tiedonsiirto työmaalla	12
2.5 Inframallit käytössä ja kunnossapidossa	13
Kunnossapitomallin määritelmä ja sisältö	13
Tiedon ajantasaisuus ja tiedonsiirto	13
Inframalli omaisuudenhallinnan työkaluna	13
Automatisoitu kunnossapito, sensorit ja digitaaliset kaksoiset	14
2.6 Uudet digitaaliset ratkaisut inframallien kanssa	14
Digitaaliset kaupunkimallit ja niiden suhde inframalleihin	14
Digitaalinen kaksonen	15

Sensoriteknologia ja IoT osana digitaalisia ratkaisuja	15
Lisätty todellisuus (AR), virtuaalitodellisuus (VR) ja visualisointi	16
Avoimet rajapinnat ja datan yhteistoimivuus	16
2.7 Opetukselliset käsitteet	17
Pelillistäminen (Gamification)	17
Aktiivinen oppiminen	17
Simulaatiot, Digital Twin sekä VR- ja AR-tekniikat	17
Projektipohjainen (PBL) ja kokemuksellinen oppiminen	18
Teollisuusyhteistyö ja monitieteinen yhteistyö	18
<b>Tekoäly (AI) ja tutkimuksen menetelmälliset käsitteet</b>	<b>19</b>
3.1 Opinnäytteen menetelmälliset käsitteet	19
Integroiva kirjallisuuskatsaus	19
Puolistrukturoitu teemahaastattelu	19
Sisällönanalyysi	19
Synteesi	20
Triangulaatio	20
Negatiiviset tapaukset	20
Luotettavuus ja validiteetti	21
3.2 Tekoäly (AI) osana opinnäytetyötä	21
Johdanto ja eettinen perusta	21
Tekoälyn käyttö kirjallisuuskatsauksen laadinnassa	22
Tekoäly aineiston litteroinnissa ja teemojen muodostamisessa	22
Rajaukset, eettiset näkökulmat ja vastuullisuus	22
Tekoäly osana tutkimuksen kehittämistä	23
<b>Inframallit opetuksessa insinöörikoulutuksessa</b>	<b>24</b>
4.1 integroivan kirjallisuuskatsauksen menetelmäkuvaus, toteutus ja aineiston haku	24
4.2 Kansallisen tason opetus inframallien opetustarjonnasta	26
4.3 Systemaattinen kirjallisuuskatsaus inframalliopetuksesta	32
4.4 Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen vastaukset kysymykseen (PTK)	
<i>Millainen on inframalliopetuksen nykytila Turun ammattikorkeakoulussa?</i>	36

(ATK1) Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä?	37
(ATK2) Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet?	38
(ATK3) Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan, jotta se vastaisi paremmin infra-alan tuleviin osaamistarpeisiin?	39
<b>Haastatteluaineiston kerääminen, analyysi ja tulokset</b>	<b>42</b>
5.1 Haastattelumenetelmä ja aineistonkeräämisen toteutus	42
Puolistrukturoidun teemahaastattelun valinta ja perustelut	42
Haastateltavien valinta ja taustatiedot	43
Haastatteluiden toteutus ja eettiset käytännöt	43
5.2 Aineiston analyysimenetelmä	44
Laadullinen sisällönanalyysi- analyysivaiheet:	44
Luotettavuus ja tutkimusetiikka	45
5.3 Tulokset- Oppilaiden näkemykset inframalliopetuksesta	46
Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä? (ATK1)	47
Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet? (ATK2)	47
Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan, jotta se vastaisi paremmin infra-alan tuleviin osaamistarpeisiin? (ATK3)	48
Poikkeavat tapaukset, esimerkit ja suorat sitaatit	50
5.4 Tulokset: Työelämänedustajien näkemykset inframalliopetuksesta	51
Nykytila (PTK)	51
Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä? (ATK1)	52
Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet? (ATK2)	52

Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan, jotta se vastaisi paremmin infra-alan tuleviin osaamistarpeisiin?	
(ATK3)	53
Poikkeavat tapaukset, esimerkit ja sitaatit	55
<b>Synteesi ja johtopäätökset</b>	<b>57</b>
6.1 Johdanto	57
6.2 Päättökysymys (PTK): <i>Millainen on inframalliopetuksen nykytila Turun ammattikorkeakoulussa ja millaisia muutostarpeita siihen liittyy?</i>	58
6.3 Alatutkimuskysymykset	58
(ATK1) <i>Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä?</i>	58
(ATK2) <i>Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet?</i>	59
(ATK3) <i>Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan?</i>	59
6.4 Poikkeavat havainnot ns. negatiiviset tapaukset	60
6.5 Synteessin ja triangulaation arviointi (metatasoinen reflektointi)	60
6.6 Johtopäätökset ja kehittämissuosituksien	61
6.7 Jatkotutkimuksen aiheet ja työn rajoitukset	61
<b>Lähteet</b>	<b>63</b>

## Taulukot

Taulukko 1. Yhteenveto inframalli sisällöistä.	28
Taulukko 2. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen parhaat käytännöt ja suositukset inframalli opetuksesta.	32
Taulukko 3. Oppilas haastatteluissa tunnistetut keskeiset haasteet ja puutteet.	47

Taulukko 4. Tutkimuskysymykset ja havoinnot kootusti oppilaiden haastatteluaineistosta (N=5).	49
Taulukko 5. Poikkeavat tapaukset tutkimuskysymysten mukaan esiintyvinä.	69

# Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Inframallinnus on muodostunut keskeiseksi osaksi modernia infra-alan suunnittelua, rakentamista ja omaisuudenhallintaa. Niiden avulla voidaan hallita laajoja kokonaisuuksia mallipohjaisesti, mikä mahdollistaa entistä tehokkaamman suunnittelun, rakentamisen ohjauksen ja elinkaaren hallinnan. Digitalisaation kehitys ja infra-alan toimintaympäristön monimutkaistuminen ovat nostaneet inframalliosaamisen yhdeksi keskeiseksi osaamisalueeksi työelämässä, erityisesti urakoinnin, suunnittelun, kunnossapidon ja infraomaisuudenhallinnan tehtävissä (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Koulutuksella on keskeinen rooli inframalliosaamisen kehittämisessä. Ammattikorkeakouluissa koulutetaan suuri osa infra-alan asiantuntijoista. Koulutuksen tulisi vastata sekä teknologian kehitykseen että työelämän odotuksiin. Tässä yhteydessä on tärkeää tarkastella, kuinka hyvin koulutus vastaa niihin osaamistarpeisiin, joita työelämä edellyttää inframalliosaajilta (Opetus- ja kulttuuriministeriö 2025; Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006; Creswell 2009; Flick 2014).

Opetuksen kehittämiseksi on tarpeen kartoittaa nykytilanne ja tunnistaa mahdolliset muutostarpeet. Opinnäytetyössä keskitytään Turun ammattikorkeakoulun rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutuksen tarjoaman inframalliopetuksen tilaan ja kehittämismahdollisuuksiin. Arviossa otetaan huomioon sekä opiskelijoiden kokemukset että työelämän edustajien näkemykset, jotta saadaan kattava kokonaiskuva opetuksen toimivuudesta ja kehityskohteista.

## 1.2 Ongelman asettelu

Inframallien hyödyntäminen on lisääntynyt nopeasti osana rakennusalan digitalisaatiota. Samalla tarve ajantasaiselle ja käytännönläheiselle

inframalliosaamiselle on kasvanut, mikä korostuu erityisesti työelämän vaatimusten, suunnittelu- ja toteutusprosessien integroinnin sekä elinkaarinäkökulman merkityksen lisääntyessä. Ammattikorkeakoulujen opetuksen on vastattava tähän kehitykseen tarjoamalla opiskelijoille valmiuksia, jotka kattavat niin teknologisten välineiden hallinnan kuin inframallinnuksen toimintalogiikan ymmärtämisen läpi infraomaisuuden elinkaaren.

Opetuksen ajantasaisuudesta ja sen vastaavuudesta työelämän tarpeisiin on esitetty erilaisia näkemyksiä, joita on mahdollista tutkia empiirisesti.

Inframalliosaamisen opetus on moniulotteinen kokonaisuus, joka yhdistää teknisiä ohjelmistoja ja niihin yhteensopivia laitteistoja, standardoituja mallivaatimuksia ja vuorovaikutteisia työprosesseja. Ongelmaksi muodostuu se, missä määrin nykyinen opetus kykenee vastaamaan näihin osa-alueisiin kattavasti ja yhdenmukaisesti sekä opiskelijan että työnantajan näkökulmasta.

### 1.3 Opinnäytetyön tavoite ja rajaukset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa inframalliosaamisen opetuksen nykytila ja arvioida siihen liittyviä muutostarpeita Turun ammattikorkeakoulussa. Tarkastelu keskittyy sekä opiskelijoiden että työelämän edustajien näkemyksiin inframalliosaamisen opetuksen sisällöstä, toteutuksesta ja kehittämistarpeista rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutuksessa.

Rajaukset kohdistuvat ajallisesti vuoden 2024–2025 opetussuunnitelmiin ja työelämän nykyisiin osaamistarpeisiin. Aineisto on kerätty teemahaastatteluilla viideltä opiskelijalta ja viideltä työnantajien edustajalta, jotka edustavat urakoinnin, suunnittelun ja tilaajatoiminnan sekä omaisuudenhallinnan näkökulmia. Tarkastelun ulkopuolelle jäävät muut korkeakoulut muutostarpeen arvioinnissa.

### 1.4 Tutkimuskysymykset

Laadullisessa tutkimuksessa esitetään tyypillisesti yksi keskeinen päätutkimuskysymys ja sitä täsmentäviä alatutkimuskysymyksiä. Nämä

kysymykset suuntaavat aineistonkeruuta ja analyysiä tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti (Creswell 2009). Triangulaation periaatteen mukaan ilmiötä valaistaan monesta näkökulmasta. Jakamalla päätutkimuskysymys osaongelmiin voidaan parantaa tutkimuksen kattavuutta ja luotettavuutta useiden aineistojen ja menetelmien avulla. Hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti tutkimuskysymysten tulee olla selkeästi johdettuja tutkimusongelmasta ja tavoitteesta. (Patton 1999; Creswell 2009; Flick 2014).

Tämän opinnäytetyön päätutkimuskysymys on johdettu suoraan tutkimuksen tavoitteesta kartoittaa inframallit opetuksessa nykytilaa ja arvioida sen muutostarpeet Turku AMK:ssa. Päätutkimuskysymys on muotoiltu seuraavasti:

*Päätutkimuskysymys (PTK): Millainen on inframalliopetuksen nykytila Turun ammattikorkeakoulussa ja millaisia muutostarpeita siihen liittyy?*

Edellä mainittua päätutkimuskysymystä täsmennetään seuraavilla alatutkimuskysymyksillä (ATK), jotka lähestyvät aihetta eri näkökulmista laadullisen triangulaation hengessä:

*ATK1: Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä?*

*ATK2: Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet?*

*ATK3: Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan, jotta se vastaisi paremmin infra-alan tuleviin osaamistarpeisiin?*

## Inframallit Infra-alalla ja opetuksessa

### 2.1 Yleistä Inframalleista

Inframalli on digitaalinen, kolmiulotteinen malli, joka kuvaa infrarakenteen geometrian ja siihen liittyvät ominaisuustiedot koko elinkaaren ajalta. Inframalli toimii tiedonhallinnan, suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon perustana sekä mahdollistaa tiedon siirron eri osapuolten välillä yhteisten tiedonsiirtoformaattien, kuten IFC:n ja Inframodelin (LandXML), avulla (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Infra-alalla tietomallintamisesta käytetään termejä inframallintaminen, tietomalli ja InfraBIM (Building Information Model), jotka kattavat geometrisen mallinnuksen lisäksi myös ominaisuustiedot ja elinkaaren hallinnan. BIM-käsitettä käytetään sekä talonrakennuksessa että infra-alalla, mutta infra-alalla korostetaan erityisesti infrarakenteiden erityispiirteitä (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Inframallin käsite sisältää useita erilaisia mallityyppejä, joita käytetään eri projektin vaiheissa ja eri tarkoituksiin kuten:

- **Lähtötietoaineisto:** (aik. lähtötietomalli): Koostuu digitaalisessa muodossa olevasta, eri lähteistä kerätystä aineistosta, joka sisältää suunnittelun ja rakentamisen pohjaksi tarvittavat suunnittelun raaka-aineet ja lähtötiedot (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).
- **Suunnitelmamalli:** Infrarakenteen tai -järjestelmän malli, joka kattaa suunnitteluratkaisut eri suunnitteluvaiheissa (yleis-, tie-, rakennussuunnitelma). Toimii perustana toteutus- ja toteumamalleille (Väylävirasto 2022).

- Toteutusmalli: Rakentamista varten laadittu, tarkastettu ja hyväksytty malli, jonka perusteella työmaa toteutetaan (Väylävirasto 2022).
- Toteumamalli: Kuvaa infrarakenteen lopullisen, toteutuneen tilan – sisältää toteutuksen aikana tehdyt muutokset ja täydennykset. Toteumamallista muodostetaan digitaalinen luovutusaineisto, joka siirtyy seuraaviin elinkaaren vaiheisiin (Väylävirasto 2022).
- Kunnossapitomalli: Inframalli, joka ylläpidetään ajan tasalla kunnossapidon tarpeisiin. Mahdollistaa omaisuudenhallinnan ja infrastruktuurin tehokkaan ylläpidon. Termin ylläpitomalli käyttö on pääosin korvattu kunnossapitomallilla (Väylävirasto 2022).
- Koneohjausmalli: Suunnitelma- tai toteutusmalleista johdettu malli, jota käytetään työkoneautomaatiossa. Koostuu pintamalleista, viiva- ja pistemäisistä aineistoista (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).
- Yhdistelmämalli: Eri tekniikkalajien ja projektin osien malleista yhdistetty kokonaisuus, jonka avulla tarkastellaan yhteensopivuutta ja törmäysriskejä, sekä mahdollistetaan eri osapuolten välinen vuorovaikutus (buildingSMART Finland 2021).
- Esittelymalli: Visuaalisesti havainnollistava malli, jota käytetään viestintään, päätöksenteon tukemiseen ja markkinointiin. Esittelymalli ei välttämättä ole mittatarkka, mutta voi sisältää myös tietoa suunnitteluratkaisuista (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).
- Paikalleenmittausaineisto: ja kontrollimittausaineisto: Mittalaitteissa hyödynnettävää aineistoa, jota käytetään työmaamittausten, laadunvarmistuksen ja koneohjauksen tukena (Väylävirasto 2022).

Tietomallien siirrossa käytetään kansainvälisiä avoimia standardeja, kuten IFC (Industry Foundation Classes) ja Inframodel (LandXML), jotka mahdollistavat tiedon yhteiskäytön eri ohjelmistojen välillä (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Inframallien tarkka terminologia ja käyttötavat on kuvattu kansallisissa ohjeistuksissa. Yleiset inframallivaatimukset (YIV) määrittelevät kattavasti inframallinnuksen peruskäsitteet, vaatimukset ja suositellut käytännöt. Väyläviraston ohjeet puolestaan täsmentävät erityisesti julkisten hankkeiden mallintamisvaatimuksia ja -prosesseja Suomessa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Inframallien ja niihin liittyvän terminologian tuntemus muodostaa perustan sekä infra-alan koulutuksessa, että työelämässä vaadittavalle osaamiselle. Nämä peruskäsitteet ja -mallit mahdollistavat myös kirjallisuuskatsauksen (luku 3) ja haastattelututkimuksen (luku 4) sisältämien havaintojen ja kehitysehdotusten ymmärtämisen.

## 2.2 Inframalli ja InfraBIM elinkaariajattelussa

Inframallinnus perustuu elinkaariajatteluun, jossa digitaalista mallia hyödynnetään infrarakenteen koko elinkaaren ajan, lähtötietojen hankinnasta suunnittelun ja rakentamisen kautta aina käyttöön, kunnossapitoon ja lopulta mahdolliseen purkuun saakka. Elinkaariajattelu varmistaa, että kaikki malliin tallennettu tieto palvelee sekä suunnittelun että käytännön toteutuksen ja ylläpidon tarpeita (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

InfraBIM (Infrastructure Building Information Model) tarkoittaa infra-alan digitaalista tiedonhallintaa ja mallintamista, jonka tavoitteena on parantaa hankkeiden laatua, tiedon siirrettävyyttä, kustannustehokkuutta sekä eri osapuolten yhteistyötä koko infrarakenteen elinkaaren ajan (Väylävirasto 2022). InfraBIM:n avulla varmistetaan, että tiedot säilyvät yhtenäisinä ja ajantasaisina,

mikä tehostaa tiedonkulkua eri toimijoiden välillä sekä mahdollistaa laaja-alaiset analyysit, suunnitelmien visualisoinnin ja omaisuudenhallinnan (buildingSMART Finland 2021).

Elinkaariajattelussa inframalli kehittyy vaiheittain:

- Lähtötietoaineisto: Mallinnus alkaa lähtötiedoista, joissa kerätään nykytilan ja ympäristön keskeiset tiedot digitaaliseen muotoon. Tämä vaihe luo perustan suunnitteluratkaisuille (Väylävirasto 2022).
- Suunnittelu: Suunnitelmamalli laaditaan infrarakenteen toteutusta varten. Mallia tarkennetaan hankkeen edetessä eri suunnitteluvaiheissa (yleis-, tie-, rata-, rakennussuunnitelma) ja siihen liitetään hankkeen tavoitteiden kannalta oleelliset tiedot (buildingSMART Finland 2021).
- Rakentaminen: Toteutusmalli toimii rakentamisen ohjeena. Toteutuksen aikana malli päivittyy rakentamisen edetessä ja siihen tallennetaan toteumatietoja (Väylävirasto 2022).
- Toteuma ja kunnossapito: Valmis toteumamalli siirtyy käytön ja kunnossapidon vaiheeseen. Kunnossapitomallia ylläpidetään ajan tasalla koko käyttöiän ajan, ja se toimii pohjana esimerkiksi omaisuudenhallinnalle, ylläpitotoimille ja myöhemmin mahdolliselle rakenteen purkamiselle tai muutoksille (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Elinkaarivisiossa käytetään yhteisiä tietorakenteita ja tiedonsiirtostandardeja (kuten IFC ja Inframodel), jotta tiedot siirtyvät sujuvasti vaiheesta toiseen ja eri ohjelmistojen sekä organisaatioiden välillä (Väylävirasto 2022; buildingSMART Finland 2021).

InfraBIM:n elinkaariajattelu edistää tiedonhallinnan läpinäkyvyyttä, laadunvarmistusta ja kustannustehokkuutta sekä mahdollistaa uusien

digitaalisten ratkaisujen kuten kaupunkimallien, Digitaalinen kaksonen, sensorien ja automaattisten analyysien, hyödyntämisen infra-alan projekteissa (buildingSMART Finland 2021).

InfraBIM (Infrastructure Building Information Model) ei ole tekninen työkalu tai yksittäinen ohjelmisto, vaan se on kokonaisvaltainen toimintatapa ja tiedonhallinnan malli, joka ohjaa inframallin hyödyntämistä kaikissa hankkeen ja infrarakenteen elinkaaren vaiheissa. InfraBIM mahdollistaa inframallin tiedon jalostamisen ja käytön järjestelmällisesti vaiheesta toiseen (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Keskeistä on, että InfraBIM varmistaa tiedon jatkuvan jalostumisen ja laadun hallinnan. Tietojen yhtenäisyys ja laatu mahdollistavat luotettavat analyysit, määrä- ja kustannuslaskennan, laadunvarmistuksen sekä automatisoidut tarkastelut, joita ilman koko elinkaaren optimointi ei olisi mahdollista. InfraBIM toimii myös sillanrakentajana erilaisten ohjelmistojen, työkalujen ja osapuolten välillä hyödyntämällä avoimia tiedonsiirtoformaatteja, kuten IFC ja Inframodel, sekä yhtenäistä sanastoa ja mallinnusvaatimuksia (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

### 2.3 Inframallit suunnittelussa

Inframallien käyttö suunnittelussa on vakiintunut osaksi infra-alan projektinhallintaa ja tiedonhallintaa. Suunnitteluvaiheessa inframalli toimii koko projektin tiedon perustana ja mahdollistaa eri osapuolten tehokkaan yhteistyön, visuaalisen suunnittelun tarkastelun, törmäystarkastelut sekä tiedon hyödyntämisen jatkossa rakentamisen ja kunnossapidon vaiheissa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Suunnitteluvaiheen inframallit mahdollistavat eri alojen ja osapuolten (esim. tie-, katu-, rata-, vesihuolto-, ympäristö-, sähkö-, tele-, ja kaukolämpösuunnittelu) tietojen yhdistämisen yhdistelmämalliksi. Yhdistelmämalli helpottaa

törmäystarkasteluja, suunnitelmien yhteensovittamista ja projektin kokonaisuuden hahmottamista. Mallipohjainen yhteistyö tukee myös eri osapuolten välistä vuorovaikutusta ja päätöksentekoa, mikä on edellytys onnistuneelle infraprojektille (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

#### Suunnitelmamalli - määritelmä ja rooli

Suunnitelmamalli tarkoittaa suunnitteluratkaisuja kuvaavaa digitaalista tietomallia, joka laaditaan eri suunnitteluvaiheissa – yleissuunnitelma, tiesuunnitelma, rakennussuunnitelma tai muu tekninen suunnitelma. Suunnitelmamalli sisältää geometrisen tiedon lisäksi myös ominaisuustietoja, kuten materiaali-, rakenne- ja liikenneteknisiä tietoja (Väylävirasto 2022).

Malliin kirjataan myös suunnitteluperusteet, lähtötiedot, reunaehdot ja muut hankkeen kannalta keskeiset tiedot, mikä mahdollistaa suunnittelupäätösten perustelun ja jäljitettävyyden myöhemmin (buildingSMART Finland 2021).

#### Suunnitelmamalli – määritelmä ja rooli

Suunnitelmamalli tarkoittaa suunnitteluratkaisuja kuvaavaa digitaalista tietomallia, joka laaditaan eri suunnitteluvaiheissa – yleissuunnitelma, tiesuunnitelma, rakennussuunnitelma tai muu tekninen suunnitelma. Suunnitelmamalli sisältää geometrisen tiedon lisäksi myös ominaisuustietoja, kuten materiaali-, rakenne- ja liikenneteknisiä tietoja (Väylävirasto 2022).

Malliin kirjataan myös suunnitteluperusteet, lähtötiedot, reunaehdot ja muut hankkeen kannalta keskeiset tiedot, mikä mahdollistaa suunnittelupäätösten perustelun ja jäljitettävyyden myöhemmin (buildingSMART Finland 2021).

Suunnitelmamallien laatimisessa ja tiedonsiirrossa käytetään avoimia tiedonsiirtoformaatteja, kuten IFC (Industry Foundation Classes) ja Inframodel (LandXML). IFC on laajalti käytetty avoin standardi, joka mahdollistaa mallin

siirtämisen eri ohjelmistojen välillä, kun taas Inframodel/LandXML on kehitetty erityisesti infrarakentamisen tarpeisiin Suomessa. Avoimet tiedonsiirtoformaattit edistävät tiedon yhteiskäyttöä eri organisaatioiden ja järjestelmien välillä, parantavat tiedon laatua ja helpottavat projektienhallintaa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

### Laadunvarmistus ja mallin tarkastaminen

Suunnittelumallin laatua arvioidaan sekä teknisen oikeellisuuden että tietosisällön osalta. Laadunvarmistukseen kuuluu mallin rakenteen, geometrian ja ominaisuustietojen tarkistus sekä mallin yhteensopivuuden varmistaminen muiden projektin osien ja tietolähteiden kanssa. Tiedon oikeellisuus ja kattavuus ovat kriittisiä, koska suunnittelumalli toimii jatkossa pohjana toteutus-, koneohjaus- ja toteumamalleille (Väylävirasto 2022).

### Suunnitteluohjelmistot ja työkalut

Suunnittelumallien laatimiseen käytetään suomessa alan vakiintuneita ohjelmistoja, kuten erilaisia Autodesk CAD-ohjelmistoja, 3D-Win, Trimble Novapoint, jotka tukevat tiedonsiirtoa avoimilla formateilla. Ohjelmistojen yhteensopivuus ja kyky tuottaa hyväksytyjä tiedonsiirtotiedostoja on keskeistä niiden käytettävyydelle mallintamisessa (buildingSmart Finland 2021; Väylävirasto 2022; Opinnäytetyö, luku 5.4.2).

### Lähtötietoaineisto ja sen merkitys suunnittelulle

Suunnittelun pohjaksi laadittava lähtötietoaineisto (aiemmin lähtötietomalli) sisältää kaikki suunnittelun kannalta olennaiset lähtötiedot, kuten nykytila-aineistot (esim. laserkeilaus, maastomallit, rajat, olemassa olevat rakenteet, suojeltavat kohteet, geotekniset ja ympäristötiedot). Lähtötietoaineiston laatu ja kattavuus määrittelevät koko suunnitteluprosessin onnistumisen ja vaikuttavat

lopulta myös toteutuksen kustannuksiin ja laatuun (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

## 2.4 Inframallit rakentamisessa

### Inframallin tarkoitus rakentamisvaiheessa

Rakentamisen vaiheessa inframallien merkitys korostuu tiedonsiirrossa, työmaan ohjauksessa, laadunvarmistuksessa sekä koneohjauksen ja mittaus teknologian hyödyntämisessä. Rakentamisessa mallien avulla hallitaan toteutuksen suunnitelmallisuutta, kustannuksia, aikatauluja ja laatua (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

### Toteutusmalli

Toteutusmalli tarkoittaa rakentamisen ohjaamiseen laadittua, tarkastettua ja hyväksyttyä inframallia, jossa suunnitteluratkaisut on viety käytännön toteutuksen edellyttämälle tarkkuudelle ja rakenteellisten yksityiskohtien tasolle. Toteutusmalli sisältää muun muassa geometrian, korkeusasemat, reunaehdot, materiaali- ja rakenneratkaisut sekä toteutuksen kannalta oleelliset ominaisuustiedot. Toteutusmallista muodostetaan usein erilaisia osamalleja, kuten pintamallit, rakenteen poikkileikkausmallit ja linjausmallit, joita käytetään eri työvaiheissa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

### Koneohjausmalli ja koneohjaus

Koneohjausmalli johdetaan toteutusmallista ja se sisältää työkoneiden ohjausjärjestelmille tarvittavat pintamallit, viivamallit sekä mahdolliset pisteaineistot. Koneohjausmallit mahdollistavat automaation maansiirtokoneilla, kuten kaivureilla ja puskutraktoreilla, jolloin työ voidaan toteuttaa mallin mukaisesti ja tarkasti.

Koneohjauksella saavutetaan parempi laatu, tarkkuus, kustannustehokkuus

sekä työmaan tuottavuus. Mallipohjainen koneohjaus vähentää myös inhimillisiä virheitä ja nopeuttaa työmaan etenemistä (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022)

#### Mittaustekniikka ja paikalleenmittausaineisto

Rakentamisessa hyödynnetään laajasti mittaustekniikkaa (esim. GPS, takymetrit, laserkeilaus) sekä digitaalista paikalleenmittausaineistoa.

Paikalleenmittaukset varmistavat, että rakenteet toteutetaan suunnitelmien mukaisesti ja mahdollistavat laadunvarmistuksen eri työvaiheissa.

Mittausaineistoja käytetään myös toteumamallien pohjatietona ja myöhemmin kunnossapidon tarpeisiin (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

#### Tietomallipohjainen laadunvarmistus ja dokumentointi

Tietomallien hyödyntäminen mahdollistaa tehokkaan ja läpinäkyvän laadunvarmistuksen rakentamisen aikana. Toteutetut rakenteet, muutokset ja poikkeamat voidaan kirjata suoraan malliin, jolloin tieto siirtyy saumattomasti myöhempisiin vaiheisiin, kuten toteumamallin muodostamiseen. Dokumentointi ja laadunvarmistusprosessi perustuvat kansallisiin ohjeisiin (YIV, Väyläviraston inframallivaatimukset) ja hankekohtaisiin vaatimuksiin (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

#### Yhteistyö ja tiedonsiirto työmaalla

Mallipohjainen rakentaminen vaatii toimivaa yhteistyötä eri työmaan osapuolten välillä –urakoitsijat, mittaajat, valvojat, aliurakoitsijat ja suunnittelijat hyödyntävät samaa tietomallia eri päätelaitteilla. Avoimet tiedonsiirtoformaatit (kuten Inframodel, IFC) mahdollistavat mallien jakamisen eri ohjelmistojen ja laitteiden välillä, mikä lisää joustavuutta ja vähentää tiedon siiloutumista (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

## 2.5 Inframallit käytössä ja kunnossapidossa

### Kunnossapitomallin määritelmä ja sisältö

Kunnossapitomalli on tietomalli, jota ylläpidetään ja päivitetään infrarakenteen käytön ja kunnossapidon aikana. Malliin tallennetaan rakenteiden tiedot, materiaalit, huoltohistoria, tarkastukset, korjaukset ja kaikki elinkaaren aikaiset muutokset. Kunnossapitomallin avulla voidaan suunnitella, toteuttaa ja dokumentoida huoltotyöt sekä arvioida rakenteiden kuntoa ja jäljellä olevaa käyttöikää. Kunnossapitomalli mahdollistaa omaisuudenhallinnan – eli esimerkiksi siltakohteiden, katuverkoston, rata- ja vesihuoltolaitteiden huoltotoimien suunnittelun ja toteutuksen sekä budjetoinnin ja riskienhallinnan (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

### Tiedon ajantasaisuus ja tiedonsiirto

Ajantasainen kunnossapitomalli mahdollistaa tiedon reaaliaikaisen siirron eri ylläpitojärjestelmien ja sidosryhmien välillä – esimerkiksi kuntotarkastusten, ennakoivan huollon ja investointisuunnittelun yhteydessä. Kaikki kunnossapidon toimenpiteet, tarkastukset ja vauriotiedot kirjataan suoraan malliin, jolloin tieto säilyy järjestelmällisesti ja on helposti hyödynnettävissä myöhemmissä toimenpiteissä. Avoimet tiedonsiirtoformaatit (esim. IFC, Inframodel/LandXML) tukevat mallien siirtoa järjestelmästä toiseen sekä mahdollistavat tiedon hyödyntämisen erilaisissa digitaalisissa ratkaisuissa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

### Inframalli omaisuudenhallinnan työkaluna

Inframalli toimii monissa organisaatioissa keskeisenä työkaluna omaisuudenhallinnassa. Mallin avulla voidaan hallita rakenteiden sijainti-, kunto- ja historiatietoja, seurata investointeja ja suunnitella kunnossapitotoimia tehokkaasti. Paikkatietopohjainen omaisuudenhallinta yhdistettynä

kunnossapitomalliin mahdollistaa rakenteiden kuntoseurannan, ennakoivan huollon ja kustannusten hallinnan ja jopa automaattiset huoltohälytykset (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

#### Automatisoitu kunnossapito, sensorit ja digitaaliset kaksoset

Kehittyneet sensoriteknologiat ja digitaaliset kaksoset ovat yleistymässä inframallien yhteydessä. Sensoreiden tuottamaa dataa voidaan integroida kunnossapitomalliin, jolloin esimerkiksi siltojen, teiden tai rautateiden kuntoa voidaan seurata reaaliajassa. Digitaaliset kaksoset yhdistävät fyysisen rakenteen ja sen virtuaalimallin, mikä mahdollistaa automaattisen kunnossapidon seurannan, analytiikan ja jopa tekoälypohjaiset huoltosuositukset. Vaikka kunnossapitomallin hyödyntäminen etenee nopeasti, haasteina ovat yhä tiedon yhtenäisyys, päivitysprosessit ja eri ohjelmistojen yhteensopivuus. Kehitystä viedään eteenpäin mm. kansallisilla ohjeistuksilla, standardisoinnilla ja avoimen tiedon hallintajärjestelmillä (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

#### 2.6 Uudet digitaaliset ratkaisut inframallien kanssa

##### Digitaaliset kaupunkimallit ja niiden suhde inframalleihin

Digitaaliset kaupunkimallit ovat laajoja, kolmiulotteisia malleja, jotka kuvaavat koko kaupunkirakenteen rakennukset, kadut, infrastruktuurin, viherympäristöt ja verkostot digitaalisessa muodossa. Kaupunkimallien avulla voidaan tukea kaupunkisuunnittelua, päätöksentekoa, osallistavaa suunnittelua sekä viestiä sidosryhmille. Kaupunkimallit pohjautuvat usein inframalleihin, jotka tarjoavat infrastruktuurin geometrian ja ominaisuustiedot suoraan kaupunkimalliin. Inframallien tarkkuus ja tietosisältö mahdollistavat yksityiskohtaisen kaupunkitason analyysin ja simuloinnin (Väylävirasto 2022; buildingSMART Finland 2021; Helsingin kaupunki 2023).

## Digitaalinen kaksonen

Digitaalinen kaksonen tarkoittaa fyysisen kohteen (esim. tie, silta, vesihuoltoverkko tai kokonainen kaupunki) ja sen reaaliaikaisen digitaalisen mallin yhdistelmää. Digitaalinen kaksonen kokoaa yhteen inframallin, sensoridatan ja muun tilannetiedon muodostaen jatkuvasti päivittyvän tiedonlähteen, joka tukee omaisuudenhallintaa, huoltoa, seuranta ja päätöksentekoa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022; Forum Virium Helsinki 2023).

Infra-alalla digitaaliset kaksoiset mahdollistavat muun muassa:

- Reaaliaikaisen kuntoseurannan ja hälytykset
- Automatisoidun huollon suunnittelun ja analyysin
- Rakenteiden elinkaaren optimoinnin ja riskienhallinnan
- Simuloinnin ja tilannekuvan hallinnan, esimerkiksi siltaturvallisuudessa tai liikenteen ohjauksessa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022; Forum Virium Helsinki 2023).

## Sensoriteknologia ja IoT osana digitaalisia ratkaisuja

Sensorit ja esineiden internet (IoT, Internet of Things) täydentävät inframalleja ja digitaalisia kaksosia tuottamalla reaaliaikaista tietoa rakenteiden tilasta, liikenteestä, ympäristöstä ja energiankulutuksesta. Sensorit voidaan liittää siltoihin, tunneleihin, teihin tai vesihuoltoverkkoihin. Näiden avulla havaitaan poikkeamat, kuluminen tai mahdolliset vauriot nopeasti, jolloin ylläpito ja korjaus voidaan kohdistaa täsmällisesti (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

## Lisätty todellisuus (AR), virtuaalitodellisuus (VR) ja visualisointi

Lisätty todellisuus (AR) ja virtuaalitodellisuus (VR) ovat nopeasti yleistäviä teknologioita inframallien ja kaupunkimallien hyödyntämisessä. AR/VR mahdollistavat mallien tarkastelun suoraan kentällä, työmaalla tai päätöksenteon tukena virtuaaliympäristöissä. Näin voidaan parantaa suunnittelun ja rakentamisen laatua sekä lisätä käyttäjien osallistumista ja ymmärrystä (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

## Avoimet rajapinnat ja datan yhteistoimivuus

Uusien digitaalisten ratkaisujen hyödyntäminen inframallien yhteydessä perustuu avoimiin rajapintoihin, standardeihin ja tietomallien yhteen toimivuuteen. Kansainväliset standardit, kuten IFC ja CityGML, sekä kansalliset ohjeet (esim. Inframodel/LandXML) mahdollistavat tiedon siirtämisen eri järjestelmien, sovellusten ja organisaatioiden välillä. Yhteen toimivuus edistää tiedon laadukasta hyödyntämistä, innovaatioita ja kilpailukykyä (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Inframallit ovat kehittyneet yksittäisistä projektikohtaisista tietomalleista osaksi laajoja kaupunkimalleja ja digitaalisia kaksosia, jotka mahdollistavat reaaliaikaisen tiedonhallinnan ja monipuolisen omaisuudenhallinnan infrastruktuurissa. Digitaaliset ratkaisut, kuten sensoriteknologia, IoT, AR/VR ja automaattinen tiedonsiirto, laajentavat perinteisten mallien hyödynnettävyyttä koko infrastruktuurin elinkaaren ajalle. Avoimet standardit ja rajapinnat tukevat tiedon yhteen toimivuutta sekä mahdollistavat datan tehokkaan hyödyntämisen suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä ja kunnossapidossa (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Tämän teoreettisen viitekehyksen avulla voidaan ymmärtää ja analysoida, miten inframalliosaaminen, digitalisaatio ja uudet teknologiat näkyvät sekä opetuksessa että työelämän käytännöissä. Näin teoria tukee sekä

kirjallisuuskatsauksessa että haastatteluissa tunnistettujen ilmiöiden tarkastelua ja kehitysehdotusten perustelua (Creswell 2009; Flick 2014; Salminen 2023).

## 2.7 Opetukselliset käsitteet

### Pelillistäminen (Gamification)

Pelillistämällä tarkoitetaan pelimekaniikkojen ja -elementtien hyödyntämistä opetuksen kontekstissa, vaikka varsinainen oppimisympäristö ei olisikaan peli. Pelillistäminen lisää opiskelijoiden motivaatiota, kilpailuhenkeä ja sitoutumista sekä voi tehdä oppimisesta mielekkäämpää ja tavoitteellisempaa. Tyypillisiä pelillisiä elementtejä ovat esimerkiksi pisteytys, tasot, merkit, kilpailut ja välitön palaute. Inframalliopetuksessa pelillistämistä voidaan hyödyntää esimerkiksi ohjelmistokoulutuksessa, projektilpailuissa ja sertifikaattien saavuttamisessa (Huotari & Hamari 2017).

### Aktiivinen oppiminen

Aktiivinen oppiminen tarkoittaa pedagogista lähestymistapaa, jossa opiskelija osallistuu aktiivisesti tiedon hankintaan, käsittelyyn ja soveltamiseen. Oppija ei ole passiivinen vastaanottaja, vaan osallistuu itse ratkaisemaan ongelmia, analysoimaan ja soveltamaan oppimaansa. Aktiivisen oppimisen keskeisiä muotoja ovat muun muassa kokemuksellinen oppiminen, projektipohjainen oppiminen (PBL), simulaatiot sekä yhteistyössä tapahtuva oppiminen. Infra-alalla tämä näkyy käytännön harjoituksina, ryhmätöinä, työelämälähtöisinä projekteina sekä ohjelmistojen aktiivisena käyttönä (Freeman, Eddy, McDonough, Smith, Okoroafor, Jordt, & Wenderoth 2014).

### Simulaatiot, Digital Twin sekä VR- ja AR-teknologiat

Simulaatiot ovat digitaalisia ympäristöjä, joissa voidaan harjoitella oikeita työelämän tilanteita ja prosesseja ilman todellista riskiä. Digital Twin eli

digitaalinen kaksonen tarkoittaa fyysisen kohteen digitaalista vastinetta, joka mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon keruun, analysoinnin ja mallintamisen. Virtuaalitodellisuus (VR) ja lisätty todellisuus (AR) tuovat visuaalisuuden, vuorovaikutteisuuden ja havainnollistamisen uudelle tasolle. Näiden teknologioiden hyödyntäminen infra-alan opetuksessa mahdollistaa monimutkaisten prosessien ymmärtämisen sekä käytännön taitojen syventämisen (Lindgren 2023; Zhang, Zhu, Tu, Wang, Yang, Qian & Xu 2024).

### Projektipohjainen (PBL) ja kokemuksellinen oppiminen

Projektipohjainen oppiminen (PBL, Project-Based Learning) on aktiivisen oppimisen malli, jossa opiskelijat työskentelevät autenttisten, usein työelämälähtöisten projektien parissa. Opiskelijat pääsevät ratkomaan aitoja ongelmia ja kehittämään tiimityöskentelyä, projektinhallintaa ja viestintää. Kokemuksellinen oppiminen puolestaan korostaa omakohtaista kokemusta ja reflektointia osana oppimisprosessia. Infra-alalla PBL ja kokemuksellinen oppiminen toteutuvat esimerkiksi suunnittelu- ja mallinnusprojekteissa sekä ohjelmistojen käytön harjoittelussa (Almulla 2020; Kolb 2014).

### Teollisuusyhteistyö ja monitieteinen yhteistyö

Teollisuusyhteistyöllä tarkoitetaan opetuksen ja työelämän välistä yhteistyötä, jossa yritykset, viranomaiset ja oppilaitokset kehittävät yhdessä opetussisältöjä ja mahdollistavat aitoja harjoitusprojekteja, työharjoitteluja ja yritysvierailuja. Monitieteinen yhteistyö puolestaan yhdistää eri alojen (esim. insinöörit, arkkitehdit, tietotekniikka, ympäristöala) osaamista, mikä vastaa infra-alan projekteissa tarvittavaa laaja-alaista näkemystä. Näin opiskelijat saavat kokemusta monialaisesta yhteistyöstä ja vuorovaikutuksesta, jotka ovat keskeisiä inframalliosaamisessa (Santos & Escórcio 2022; Leite & Brooks 2020; Chen, Lu & Xue 2020).

## Tekoäly (AI) ja tutkimuksen menetelmälliset käsitteet

### 3.1 Opinnäyteyön menetelmälliset käsitteet

#### Integroiva kirjallisuuskatsaus

Integroiva kirjallisuuskatsaus (integrative literature review) on tutkimusmenetelmä, jossa kootaan, analysoidaan ja yhdistetään laajasti erilaisia tutkimuslähteitä – niin teoreettisia kuin empiirisiä – tietystä aiheesta. Sen tavoitteena on muodostaa mahdollisimman kattava ja monipuolinen kuva käsiteltävästä ilmiöstä, tunnistaa tutkimusaukkoja ja koota kehitysehdotuksia. Integroiva katsaus yhdistää sekä kuvailevia että systemaattisia piirteitä: se voi sisältää sekä aikaisempien tutkimusten tiivistämistä että niiden kriittistä vertailua ja yhdistelyä (Creswell 2009; Souza, Silva & Carvalho 2010; Salminen 2023).

#### Puolistrukturoitu teemahaastattelu

Puolistrukturoitu teemahaastattelu on laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmä, jossa tutkija käyttää ennalta suunniteltua kysymysrunkoa, mutta antaa haastateltaville myös tilaa tuoda esiin omia kokemuksiaan ja näkemyksiään. Haastattelu etenee teemojen mukaan – ei siis täysin avoimesti, mutta ei myöskään tiukan kaavamaisesti. Tämä lähestymistapa mahdollistaa sekä eri vastaajien kokemusten vertailun että yksilöllisten havaintojen esiin tuomisen (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006; Creswell 2009; Flick 2014).

#### Sisällönanalyysi

Sisällönanalyysi on laadullinen tutkimusmenetelmä, jolla pyritään tunnistamaan, luokittelemaan ja tulkitsemaan tekstiaineistossa esiintyviä teemoja, käsitteitä tai ilmiöitä. Analyysi voi perustua aineistolähtöiseen (induktiivinen) tai teoriaohjaavaan (deduktiivinen) otteeseen. Käytännössä aineisto pilkotaan pienempiin osiin (esim. lauseet, kappaleet) ja niistä nostetaan esiin

merkityksellisiä havaintoja, jotka ryhmitellään teemoiksi ja kategorioiksi (Patton 1999; Creswell 2009).

### Synteesi

Synteesi tarkoittaa tutkimuksessa erillisten aineistojen, löydösten ja näkökulmien yhdistämistä kokonaisvaltaiseksi tulkinnaiksi. Synteesissä esimerkiksi kirjallisuuskatsauksen, haastatteluaineiston ja teoreettisen viitekehysten löydökset kootaan yhteen, jolloin saadaan laajempi ymmärrys tutkimusilmiöstä. Synteesi auttaa myös löytämään uusia yhteyksiä ja kehitysehdotuksia, jotka eivät tulisi esiin yksittäisistä aineistoista (Flick 2014; Creswell 2009; Salminen 2023).

### Triangulaatio

Triangulaatio on laadullisen tutkimuksen menetelmä, jossa yhdistetään useita eri aineistoja, menetelmiä, tutkijoita tai teorioita tutkimuskohteen tarkasteluun. Tavoitteena on lisätä tutkimuksen luotettavuutta ja uskottavuutta. Tässä työssä triangulaatiolla tarkoitetaan erityisesti eri aineistotyyppien (teoria, kirjallisuus, haastattelut) yhdistämistä analyysissä ja synteesissä. Triangulaatio mahdollistaa tutkimuskysymysten tarkastelun useista näkökulmista ja auttaa havaitsemaan ilmiön monipuolisemmin kuin yksittäisellä aineistolla olisi mahdollista (Patton 1999; Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006; Creswell 2009; Flick 2014).

### Negatiiviset tapaukset

Negatiiviset tapaukset (negative cases) tarkoittavat aineistossa esiintyviä havaintoja tai yksittäisiä näkemyksiä, jotka poikkeavat enemmistön mielipiteistä tai teemojen valtavirrasta. Negatiivisten tapauksien tunnistaminen ja analysointi parantavat tutkimuksen luotettavuutta ja avoimuutta, koska niiden avulla voidaan osoittaa, ettei tuloksia ole yksinkertaistettu liikaa, vaan myös poikkeukset ja vaihtoehtoiset näkemykset on huomioitu (Patton 1999; Flick 2014).

## Luotettavuus ja validiteetti

Luotettavuus (trustworthiness) ja validiteetti (validity) ovat laadullisen tutkimuksen laadun arviointikriteerejä. Luotettavuus tarkoittaa tutkimuksen uskottavuutta ja toistettavuutta: miten hyvin tutkimuksen toteutus ja analyysi ovat perusteltuja ja läpinäkyviä. Validiteetti viittaa siihen, mittaako tutkimus oikeasti sitä mitä sen oli tarkoitus mitata. Laadullisessa tutkimuksessa luotettavuutta vahvistetaan muun muassa avoimella analyysiprosessilla, triangulaatiolla ja negatiivisten tapausten tunnistamisella (Creswell 2009; Flick 2014).

### 3.2 Tekoäly (AI) osana opinnäytetyötä

#### Johdanto ja eettinen perusta

Tekoälyn hyödyntäminen korkeakoulututkimuksessa on yleistynyt erityisesti tiedonhaussa, aineiston käsittelyssä ja laadullisessa analyysissä. Ammattikorkeakoulut ovat julkaisseet suosituksia tekoälyn vastuullisesta käytöstä, joissa korostetaan sekä opiskelijan että oppilaitoksen vastuuta, eettisyyttä, tietosuojaa ja avoimuutta. Tekoälyn käyttö tässä työssä on rajattu oppimisprosessiksi, eikä sillä ole korvattu tutkijan omaa tulkintaa, päätöksentekoa tai vastuuta. Kaikki tekoälyn tuottamat tulokset on arvioitu kriittisesti ja tarkistettu. Opinnäytetyössä noudatetaan AI-Arene-suosituksia, Turun AMK:n ohjeita sekä kansallista tutkimusetiikkaa (AI-Arene 2023; TENK 2023).

Tekoäly osana opinnäytetyön laadullisessa analyysissä nousi esiin käyttökelpoisena ideana erityisesti Dr. Philip Adun (2023) tuottamista koulutusmateriaaleista ja Youtube-videoista, joissa hän käsittelee tekoälyn mahdollisuuksia tutkimusaineiston analyysissä. Dr. Adun esitykset toimivat inspiraationa erityisesti eettisen näkökulman ja mahdollisuuksien pohdintaan, mutta varsinaisia hänen analyysimenetelmiään tai ohjelmistokohtaisia prosesseja ei tässä työssä ole suoraan sovellettu sellaisenaan vaan on etsitty omia käyttökelpoisia ratkaisuja läpi koko opinnäytetyöprosessin (Adu 2023).

### Tekoälyn käyttö kirjallisuuskatsauksen laadinnassa

Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisessa tekoälyä hyödynnettiin erityisesti kansainvälisen ja kotimaisen tutkimuskirjallisuuden haussa ja jäsentelyssä. Hakualustoina käytettiin SciSpace alustaa, jonka avulla voidaan hyödyntää semanttista hakua sekä automaattista lähdeanalyysiä. AI-järjestelmät auttoivat tunnistamaan ja ryhmittelemään relevantteja lähteitä sekä kokoamaan tiivistelmiä tutkimuksista, mikä tehosti hakuprosessia ja lisäsi kirjallisuuskatsauksen kattavuutta. Lopullinen analyysi ja synteesi tehtiin tutkijan oman harkinnan ja substanssiosaamisen perusteella (SciSpace 2023a; SciSpace 2023b; SciSpace 2023c).

### Tekoäly aineiston litteroinnissa ja teemojen muodostamisessa

Haastatteluaineisto litteroitiin tekoälypohjaisella työkalulla (TurboScribe, OpenAI Whisper -malli), mikä mahdollisti nopean ja tarkan litteroinnin. Lopullinen litterointi tarkistettiin käsin ääninauhan ja tarvittaessa videon kanssa luotettavuuden ja tietosuojan varmistamiseksi ja tekoälyä käytettiin myös alustavaan teemojen tunnistamiseen, mutta varsinaisen analyysin ja lopullisen koodauksen toteutti tutkija itsenäisesti (TurboScribe 2023; OpenAI 2023; Adu 2023).

Aineiston analyysivaiheessa tekoäly toimi osana koodauksen ja teemojen alustavassa luonnissa. AI-järjestelmät auttoivat tunnistamaan aineistosta olennaisia piirteitä ja toistuvia teemoja, mutta lopullinen analyysi, tulkinta ja johtopäätökset tehtiin tutkijan asiantuntemuksella ja harkinnalla. Tekoäly toimi näin työvälineenä, ei päätöksentekijänä. Tekoälyn luomaa jäsentelyä voitiin verrata omiin tuloksiin, joka mahdollisti tarkemman analyysien vertailun ja tarkistamisen yhdessä, joka saattoi johtaa työssä vielä tarkempiin tuloksiin (Adu 2023; ChatGPT 2023; TurboScribe 2024).

### Rajaukset, eettiset näkökulmat ja vastuullisuus

Tekoälyä käytettiin vain osana tutkimus eikä sillä korvattu tutkijan omaa tulkintaa, päätöksentekoa tai vastuuta. Kaikki tekoälyn tuottamat tulokset arvioitiin kriittisesti ja tarkistettiin. Opinnäytetyössä noudatettiin AI-Arene-suosituksia, Turun AMK:n sisäisiä ohjeita sekä kansallista tutkimusetiikkaa. Tekoälyn käyttö dokumentoitiin avoimesti työn menetelmäkuvauksessa (AI-Arene 2023; TENK 2023).

#### Tekoäly osana tutkimuksen kehittämistä

Tässä opinnäytetyössä saadut kokemukset osoittavat, että tekoäly voi tukea tutkimusprosessien tehostamista, tiedonhaun laajentamista ja uudenlaisten analyysimenetelmien käyttöönottoa. Tekoäly osana tutkimusta antaa uudenlaisen tavan käsitellä opiskelijoiden ja tutkijoiden kriittistä ajattelua, tiedon jäsentelyä ja aineiston käsittelyn kehittämistä yhdessä tekoälyn kanssa, kunhan käyttö on vastuullista ja eettisesti perusteltua (Adu 2023; AI-Arene 2023).

## Inframallit opetuksessa insinöörikoulutuksessa

### 4.1 integroivan kirjallisuuskatsauksen menetelmäkuvaus, toteutus ja aineiston haku

Tämän opinnäytetyön kirjallisuuskatsaus toteutettiin integroivana kirjallisuuskatsauksena, mikä mahdollistaa sekä kotimaisten että kansainvälisten tutkimusten, kehittämisraporttien, opetussuunnitelmien ja käytännön kehittämismallien yhdistämisen monipuoliseksi analyysiksi. Integroiva katsaus sopii erityisesti tilanteisiin, joissa tavoitteena on saada kokonaisvaltainen kuva ilmiöstä – tässä tapauksessa inframalliosaamisen opetuksen tilasta.

Kirjallisuuskatsauksen vaiheet olivat:

1. Hakustrategian suunnittelu: Määriteltiin laaja joukko hakusanoja, jotka tuottaisivat vastauksia tutkimuskysymyksiin suomeksi ja englanniksi (esim. “inframalliosaaminen”, “BIM in infrastructure education”, “building information modeling teaching”, “active learning”, “gamification”, “curriculum integration”, “project-based learning”, “pedagogical model”, “infrastructure engineering education”).
2. Tietokannat ja hakuympäristöt: Käytettiin tieteellisiä tietokantoja kuten (arXiv, CORE, DOAJ, Scopus, ScienceDirect), kansainvälisiä julkaisuja sekä kotimaisia lähteitä. Erityisen laajan, systemaattisen haun toteuttamiseen käytettiin SciSpace-työkalua.
3. Hakutulosten esikarsinta ja valinta: SciSpace-haku palautti 1750 viitettä, joista 270 relevanttia artikkelia seulottiin syvemmälle tarkasteluun. Näistä valikoitiin 20 osuvinta sekä opetuksen sisältöihin että pedagogisiin käytäntöihin ja kehittämiseen liittyvää julkaisua tutkimuksen viimeiseen vaiheeseen.

4. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit: Mukaan valittiin vuosina 2020–2024 julkaistuja artikkeleita, joissa käsiteltiin inframallien/BIM opetusta korkeakoulutasolla. Poissuljettiin artikkelit, joissa opetus ei liittynyt rakennettuun ympäristöön ja infra-alaan tai joissa pedagoginen näkökulma jäi marginaaliseksi.
5. Aineiston analyysi ja synteesi: Valitut julkaisut analysoitiin laadullisen sisällönanalyysin ja temaattisen synteessin avulla. Pedagogiset ratkaisut, kuten projektipohjainen oppiminen, aktiivinen oppiminen, pelillistäminen “Gamification”, teollisuusyhteistyö, digitaaliset työkalut sekä ohjelmistojen ja menetelmien käyttöönotto, nousivat pääteemoiksi. Eri maiden käytäntöjä vertailtiin tunnistettujen teemojen kautta.

Aineiston haku ja analyysivaihe:

1. Käytettiin SciSpace-työkalua hakusanalla “What are the best educational practices in building information modeling (BIM) in infrastructure engineering and civil engineering education?”), Hakutulokset tuotti kattavan listan 1750 kappaletta tuoreista kansainvälisistä artikkeleista, systemaattisista katsauksista ja tapaustutkimuksista, haun pääpainona oli vertaisarvioitua julkaisua.
2. Tarkasteltiin hakutulosten joukosta 20 erityisen relevanttia julkaisua, jotka kattavat opetuksen integroinnin, opetusmenetelmät, haasteet, arvioinnin ja alueelliset suositukset.
3. Tämän lisäksi huomioitiin kansallisia ohjeistuksia (esim. buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022) sekä korkeakoulujen opintosuunnitelmia.

Raportoinnissa noudatettiin kansainvälisesti suositeltuja kirjallisuuskatsauksen raportointimalleja (Prisma), jotta haku, valinta, analyysi ja synteesi olisivat mahdollisimman läpinäkyviä, perusteltuja ja toistettavia. Tämä lähestymistapa

mahdollistaa sen, että kirjallisuuskatsauksen löydökset ovat vertailukelpoisia ja niiden perusteella voidaan tehdä kehitysehdotuksia Turun ammattikorkeakoulun inframalliopetuksen kehittämiseksi (Snyder 2019; Prisma 2021; Salminen 2023).

#### 4.2 Kansallisen tason opetus inframallien opetustarjonnasta

Inframalliosaamisen opetus on Suomessa vakiintunut osaksi rakennus- ja yhdyskuntatekniikan korkeakoulutusta. Keskeisimpiä tavoitteita ovat inframalliin liittyvien perusteiden, ohjelmistojen, tiedonsiirtomenetelmien ja inframallien elinkaaren hallinnan ymmärtäminen (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022).

Suurimmassa osassa ammattikorkeakouluista inframalliosaaminen sisältyy rakennetun ympäristön, infra-alan, rakennustekniikan tai geoinformatiikan opintoihin pakollisena tai valinnaisena kokonaisuutena. Yleisimpiä teemoja ovat:

- Lähtötietomallit ja suunnitelmamallit
- Toteutusmallit ja toteumamallit
- Inframallien hyödyntäminen rakentamisen tuotannossa ja suunnittelussa
- Tietomallien hyödyntäminen omaisuudenhallinnassa
- Koneohjausmallien laadinta
- Ohjelmistot
- Avoimet tiedonsiirtomuodot, kuten IFC, Inframodel ja LandXML

Opetussisällöt pohjautuvat kansallisiin suosituksiin ja viranomaisohjeisiin, kuten Väyläviraston Inframallivaatimukset (Väylävirasto 2022), sekä alan järjestöjen ja oppilaitosten yhteiskehitettyihin ohjeistuksiin (buildingSMART Finland 2021).

Opetuksen toteutuksessa korostuvat aktiiviset oppimismenetelmät ja projektityöskentely, joissa opiskelijat ratkovat käytännön inframallinnuksen tehtäviä ja osallistuvat ryhmiin.

Useissa oppilaitoksissa kuten LAB-ammattikorkeakoulu, Turku AMK, Metropolia Ammattikorkeakoulu ja Hämeen ammattikorkeakoulu (HAMK) tehdään tiivistä yhteistyötä infra-alan yritysten ja ohjelmistotoimittajien kanssa, mikä mahdollistaa ajantasaisen osaamisen ja ohjelmistojen hyödyntämisen (LAB-ammattikorkeakoulu 2024; Metropolia Ammattikorkeakoulu 2024; Hämeen ammattikorkeakoulu 2024; Turun Ammattikorkeakoulu 2024).

Opetussuunnitelmien tarkastelun ja suomalaisten koulujen koulutuskuvausten kuten Hämeen ammattikorkeakoulu, LAB-ammattikorkeakoulu ja Turun Ammattikorkeakoulu 2025 perusteella inframalliosaamisen koulutuksessa painottuvat käytännön harjoitukset, ohjelmistojen käyttö ja yhteistyö elinkeinoelämän kanssa (Hämeen ammattikorkeakoulu 2024, LAB-ammattikorkeakoulu 2025, Turun Ammattikorkeakoulu 2025).

Kurssien laajuus on tyypillisesti 3–10 opintopistettä, ja niiden toteutustapa vaihtelee teoriapainotteisista opintojaksoista projektityöskentelyyn ja käytännön työharjoitteluun. Inframallinnus voi olla pakollinen osa koulutusta tai vaihtoehtoisesti tarjolla valinnaisena, riippuen oppilaitoksesta.

Esimerkiksi:

- Turun AMK tarjoaa opintojaksoja, kuten Infran ja talonrakentamisen tietomallit, Tie- ja katuhankkeen mallintaminen, Rakenteiden 3D-mallinnus ja Tuotannonohjaus Infrakit-ohjelmisto painotuksella (Turun ammattikorkeakoulu 2024).

- HAMK sisällyttää mallinnuksen kursseihin kuten Tietomalli suunnittelussa, Tietomalli tuotannossa ja Tietomalli tuotannon suunnittelussa (Hämeen ammattikorkeakoulu 2024).
- LAB-ammattikorkeakoulu tarjoaa kursseja InfraCAD ja BIM, Mittaus- ja automaatiotekniikka sekä Digital Twin perusteet (LAB-ammattikorkeakoulu 2025).
- Metropolia painottaa erityisesti mittausaineistoja ja mallien hyödyntämistä tuotannossa (Metropolia Ammattikorkeakoulu 2024)

Taulukossa 1 on yhteenveto ammattikorkeakoulujen virallisten opetussuunnitelmien perusteella vuoden 2023–2024 kursseista liittyen inframalliopetukseen.

Taulukko 1. Yhteenveto inframalli sisällöistä.

Ammattikorkeakoulu	Kurssi/opintojakso	Lyhyt kuvaus/tavoitteet
Turku AMK	Infran ja talonrakentamisen tietomallit	Inframallit, BIM
Turku AMK	Tie- ja katuhankkeen mallintaminen	Inframallit, suunnittelu
Turku AMK	Rakenteiden 3D -mallinnus	Suunnittelu
Turku AMK	Tuotannonohjaus	Infrakit-ohjelmisto

HAMK	Tietomalli tuotannossa	Tietomallin ylläpito ja toteutumamallin laadinta
HAMK	Tietomallintaminen 2	Opintojakson aikana tehdään/pyritään tekemään työelämälähtöisiä projekteja/harjoitustöitä.
HAMK	Tietomalli suunnittelussa	Ei muuta kuvausta
HAMK	Tietomalli tuotannon suunnittelussa	Ei muuta kuvausta
Metropolia	Tietomallinnus	Mittaus ja tietomallien käyttö infra- ja muu rakentaminen
Metropolia	Mittaus ja kartoitus	Lähtötiedot malliin
Metropolia	Laserkeilaus	Pistepilviaineiston jatkokäsittely 3D mallintajalla
Lapin AMK	Rakennusalan tietomallintaminen ja CAD	Tietomallipohjainen suunnittelu rakennusosalalla
Lapin AMK	Infran tietomallipohjainen suunnittelu	(YIV) suunnittelu
LAB AMK	Digital Twin perusteita eri toimialoille	Digital Twin perusteet
LAB AMK	Infra CAD ja BIM	Tietomallintaminen

LAB AMK	Mittaus ja automaatiotekniikka	Koneohjaus- ja laserkeilaus data
LAB AMK	Paikkatieto ja digitalisaation hyödyntäminen	
TAMK	Infran tietomallit	Inframallien perusteet, ohjelmistot
TAMK	Yhdyskuntamittaukset	Lähtötiedot inframalliin
TAMK	CAD-suunnittelu ja tietomallin perusteet	Perusteet
SAMK	2&3D-suunnittelun perusteet	Ohjelmiston peruskäyttö
SAMK	Tietomallipohjainen suunnittelu	Hyödyntäminen elinkaari
JAMK	CAD-tietomallinnuksen perusteet	Peruskurssi
JAMK	Tietomallinnus	Tietomallin luominen, tarkastus ja hyödyntäminen toimialakohtaisissa tehtävissä (YIV)

Opetuksessa hyödynnetään useita yleisimpiä ohjelmistoja ja osittain niiden kanssa yhteensopivia laitteita. Joissakin oppilaitoksissa opetetaan pistepilviteknologian ja laserkeilausaineiston hyödyntämistä inframallin tuottamisessa. Yhä useammin inframallintaminen linkitetään myös kaupunkimalleihin ja digitaalisiin kaksosiin, mikä mahdollistaa opetuksen laajentamisen kohti älykästä infrastruktuurin hallintaa (buildingSMART Finland

2021; Väylävirasto 2022; Metropolia Ammattikorkeakoulu 2024; LAB Ammattikorkeakoulu).

Ammattikorkeakoulujen tarjoama inframalliopetus rakentuu näin laajalle skaalalle kurssityyppettä, joiden teemoina ovat mallinnuksen perusteet, ohjelmistojen käyttö, mittaustekniikka ja elinkaaren aikainen tietohallinta. Tämä luo opiskelijoille valmiuksia toimia infrarakentamisen suunnittelu-, toteutus- ja ylläpitotehtävissä. Aineistolle ei pidä silti antaa koko tämän tutkimuksen osalta liian suurta painoarvoa, koska koulujen opintosuunnitelmien ja kurssikuvausten sisältöihin liittyy epävarmuuksia ja ne puuttuivatkin osin kokonaan joidenkin koulujen osalta vuosien 2024–2025 aikana ja niihin on myös tullut muutoksia ja päivityksiä sillä aikavälillä.

Pedagogiset ratkaisut ja opetuksen kehitys:

Opetuksessa korostuvat aktiiviset oppimismenetelmät, joissa opiskelijat osallistuvat ryhmiin ja työelämälähtöisiin oppimisprojekteihin. Tämä on linjassa teoriaviitekehyksen käytännölläheisen, oppijälähtöisen pedagogiikan kanssa, joka tukee osaamisen siirtymistä teoriasta käytäntöön, jos mallintamista harjoitellaan mahdollisimman aidosti kuten se työelämässä tapahtuu. Yhteistyö yritysten kanssa mahdollistaa ajantasaisten ohjelmistojen- ja laitteiden sekä työmenetelmien käyttöönoton.

Johtopäätös:

Turun ammattikorkeakoulussa inframalliopetus on rakenteeltaan monipuolista ja perustuu osittain kansallisesti ohjattuun, ajantasaiseen viitekehykseen.

Opetusta on rakennettu moduuleittain kattamaan sekä inframallinnuksen perusosaamisen, tietomallipohjaisen suunnittelun ja tuotannon sekä joitain osia tiedonsiirrosta ja ohjelmistojen perushallintaa. Tämän ansiosta opiskelijoilla on valmiudet toimia monipuolisesti infrarakentamisen suunnittelu ja toteutuksen tehtävissä.

Yhteenveto ja kriittinen arvio

Keskeiset haasteet liittyvät opetuksen resurssien, sisältöjen ja käytäntöjen vaihtelevuuteen, käytettävien ohjelmistojen ja yhteensopivien laitteiden

ajantasaisuuteen, työelämäläheisyyteen sekä kansallisten vaatimusten ja standardien jalkauttamiseen kokonaisuudessaan opetukseen. Myös resurssiltaan rajattujen opetusympäristöjen puutteet voivat osittain vaikuttaa siihen, että osa opiskelijoista jää vaille riittävää osaamista monipuolisessa inframalliosaamisessa.

#### 4.3 Systemaattinen kirjallisuuskatsaus inframalliopetuksesta

Tämän osion kansainväliset esimerkit ja analyysi pohjautuvat laajaan kirjallisuushakuun SciSpace-tietokannassa, jonka perusteella analysoitiin erityisesti ne julkaisut, joissa painopiste oli pedagogiikassa, BIM in infrastructure opetuksessa sekä työelämärelevanteissa ratkaisuisissa

Kansainvälisen tutkimuksen perusteella BIM/inframalli on noussut infrastruktuurialan koulutusohjelmien keskeiseksi osaamisalueeksi, ja useissa yliopistoissa sekä ammattikorkeakouluissa se integroidaan laajasti opetussuunnitelmiin. Erityisen vaikuttaviksi opetusmenetelmiksi on osoittautunut projektipohjainen oppiminen (PBL), jossa opiskelijat ratkaisevat käytännön ongelmia BIM-ohjelmistoja hyödyntäen sekä työskentelevät monialaisissa tiimeissä. Myös aktiiviset ja kokemukselliset opetusmenetelmät, kuten simulaatiot, digitaaliset kaksoismallit, sekä VR/AR-tekniikan hyödyntäminen tukevat oppimista. Alla taulukko 2 esittelee kootusti parhaita tutkittuja käytäntöjä ja suosituksia kansainvälisesti.

Taulukko 2. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen parhaat käytännöt ja suositukset inframalli opetuksesta.

Käytäntö/Suositus	Kuvaus & sisältö	Lähde (kaikki tekijät, vuosi, artikkelin nimi, DOI/linkki)
1. BIM/Inframalli osana	BIM integroidaan laajasti opintoihin – jopa 60 %	Santos, J. R. dos & Escórcio, P. (2022). Full integration of building information modelling education in civil engineering

ydinopetus suunnitelmaa	kurseista voi sisältää BIM/Inframalliteemoja; läpileikkaava, pakollinen sisältö, ei pelkkä erilliskurssi	curricula: a proposal. <i>European Journal of Engineering Education</i> . <a href="https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2160307">https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2160307</a>
2. Projektipohjainen oppiminen (PBL)	Oikeiden, työelämälähtöisten projektien hyödyntäminen mallintamisen, suunnittelun ja tuotannon oppimisessa. Kehittää yhteistyö- ja ongelmanratkaisutaitoja	Elfitri, R. et al. (2024). Breaking Grounds in Civil Engineering Education: The Potential of Building Information Modelling Software as Catalyst for Improved Interior Design Learning. <i>Data &amp; Metadata</i> . <a href="https://doi.org/10.56294/dm2025477">https://doi.org/10.56294/dm2025477</a> Ma, J. & Tao, Y. (2023). Learning Outcomes of Civil Engineering Students in PBL Based on Building Information Modeling. <i>International Journal of Emerging Technologies in Learning (Ijet)</i> . <a href="https://doi.org/10.3991/ijet.v18i07.38701">https://doi.org/10.3991/ijet.v18i07.38701</a>
3. Monitieteellisyys & yhteistyö	BIM opetetaan osana arkkitehtuurin, suunnittelun, tuotannon ja hallinnan opintokokonaisuus - opiskelijat työskentelevät moniammatillisissa tiimeissä	Custódio, S. S. D. et al. (2024). Active learning: the use and application of building information modeling (bim) in civil engineering. <i>Journal of Engineering Research</i> . <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.317442425">https://doi.org/10.22533/at.ed.317442425</a> 019 Herrera, R. F. et al. (2021). Interaction Networks within Student Teams Learning Building Information Modeling (BIM). <i>Journal of Civil Engineering Education</i> .

		<a href="https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000032">https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000032</a>
4. Virtuaaliset työkalut & simulaatiot	Käytetään VR/AR-sovelluksia, laserkeilausta, digitaalisia kaksosia ja simulaatioita osana työmaavierailuja ja Inframallien tuotantoprosessien jäljittelyä	Brioso, X. et al. (2023). Strategies and Virtual Tools for Teaching Building Construction to Civil Engineering Undergraduates: A Case Study. <i>Advances in Building Education</i> . <a href="https://doi.org/10.20868/abe.2023.3.5205">https://doi.org/10.20868/abe.2023.3.5205</a> Wong, J.-Y. et al. (2020). BIM-VR Framework for Building Information Modelling in Engineering Education. <i>International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijim)</i> . <a href="https://doi.org/10.3991/ijim.v14i06.13397">https://doi.org/10.3991/ijim.v14i06.13397</a>
5. Yhteistyö teollisuuden kanssa	Tiivis yhteistyö rakennusalan yritysten, ohjelmistotoimittajien ja järjestöjen kanssa – opetuksen suunnittelu ja projektit toteutetaan yhdessä alan toimijoiden kanssa	Chen, K. et al. (2020). University-Industry Collaboration for BIM Education: Lessons Learned from a Case Study. <i>Industry and higher education</i> . <a href="https://doi.org/10.1177/0950422220908799">https://doi.org/10.1177/0950422220908799</a> Savio, A. A. D. et al. (2022). A Methodology for Embedding Building Information Modelling (BIM) in an Undergraduate Civil Engineering Program. <i>SSRN</i> . <a href="https://doi.org/10.2139/ssrn.4143202">https://doi.org/10.2139/ssrn.4143202</a>
6. Opettajien täydennyskoulutus & resurssit	Jatkuva opettajien kouluttaminen sekä riittävän ohjelmisto- ja laiteympäristön varmistaminen;	Lima, W. E. F. et al. (2020). BIM no ensino de Engenharia Civil: proposta de adaptação de matriz curricular. <a href="https://doi.org/10.20396/PARC.V11i0.8657369">https://doi.org/10.20396/PARC.V11i0.8657369</a> Rachmawati, T. S. N. et al. (2022).

	haasteet korostuvat matalamman resurssitason oppilaitoksissa ja maissa	Exploring the integration of BIM to civil engineering undergraduate curriculum in Indonesian universities. <i>Nucleation and Atmospheric Aerosols</i> . <a href="https://doi.org/10.1063/5.0072998">https://doi.org/10.1063/5.0072998</a>
7. Standardointi & arviointi	Kansainvälisten ohjeiden mukainen oppimistavoitteiden ja arviointikriteerien määrittely sekä yhteisten, mitattavien tulosten asettaminen	Besné, A. et al. (2021). A systematic review of current strategies and methods for BIM implementation in the academic field. <i>Applied Sciences</i> . <a href="https://doi.org/10.3390/APP11125530">https://doi.org/10.3390/APP11125530</a>
8. Kilpailut & sertifiointi “gamification”	Kilpailujen ja kansainvälisten sertifikaattien sisällyttäminen opetukseen kasvattaa opiskelijoiden motivaatiota ja työelämävalmiuksia	Liu, H. & He, Y. (2024). Research on the Teaching Reform of Building Information Modeling Course Based on “Post, Course, Competition, and Certificate” Integration. <i>Journal of Contemporary Educational Research</i> . <a href="https://doi.org/10.26689/jcer.v8i1.5929">https://doi.org/10.26689/jcer.v8i1.5929</a>
9. Oppimistulosten mittaaminen PBL:llä	BIM-osaamisen arviointi perustuu projektityöhön ja tapaustutkimuksiin, joilla mitataan aitoja valmiuksia soveltaa mallintamista käytäntöön	Ma, J. & Tao, Y. (2023). Learning Outcomes of Civil Engineering Students in PBL Based on Building Information Modeling. <a href="https://doi.org/10.3991/ijet.v18i07.38701">https://doi.org/10.3991/ijet.v18i07.38701</a>

10. Jatkuva opetussuunnitelman kehittäminen	Ohjelman päivittäminen uusimpien teknologioiden, kuten VR/AR ja digitaaliset kaksoset, mukaiseksi sekä tiivis vuoropuhelu teollisuuden kanssa	Dang, H. et al. (2024). Teaching Building Information Modeling Courses in Construction Programs. <i>Computing in Civil Engineering</i> . <a href="https://doi.org/10.1061/9780784485231.076">https://doi.org/10.1061/9780784485231.076</a>
---	---	---

Täysin integroitu malli, jossa BIM/inframalli sisällytetään kaikkiin keskeisiin opintojaksoihin kuten (esim. suunnittelu, rakentaminen, työmaanhallinta), nähdään tehokkaana tapana varmistaa opiskelijoiden työelämävalmiudet.

Tärkeänä onnistumisen edellytyksenä pidetään myös opettajien koulutusta ja säännöllistä osaamisen päivittämistä sekä tiivistä yhteistyötä työelämän kanssa

Kansainvälinen kirjallisuus osoittaa, että aktiivinen oppiminen, projektioppiminen ja digitaaliset ratkaisut ovat tehokkaimpia BIM/Inframalli-osaamisen opetuksessa ja kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että BIM- ja inframalliopetuksen kansainväliset huippukäytännöt pohjautuvat opetuksen laaja-alaiseen integraatioon, projektipohjaisuuteen, teknologian hyödyntämiseen ja tiiviiseen työelämäyhteistyöhön.

#### 4.4 Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen vastaukset kysymykseen (PTK)

*Millainen on inframalliopetuksen nykytila Turun ammattikorkeakoulussa?*

Turun ammattikorkeakoulussa inframalliopetus on vakiinnuttanut paikkansa osana rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opetusta. Opetuksen sisältö pohjautuu osittain kansallisiin suosituksiin, kuten Väyläviraston inframallivaatimukseen (2022) ja Yleisiin inframallivaatimukseen (YIV), jotka ohjaavat infran

tietomallintamisen tavoitteita ja periaatteita koko hankkeen elinkaaren ajan aina suunnittelusta rakentamiseen ja kunnossapitoon.

Inframalliosaamisen opetus sisältyy Turun AMK:ssa muun muassa pakollisiin ja valinnaisiin kursseihin, joissa käsitellään lähtötietomallien, suunnitelmamallien, toteutusmallien sekä inframallien hyödyntämistä tuotannossa. Ohjelmistot kuten Trimble Novapoint, Autodesk-ohjelmistot, Infrakit ja 3D-Win ovat opetuksessa keskeisessä roolissa, ja avoimet tiedonsiirtomuodot, kuten Inframode, IFC ja LandXML sisällytetään opetukseen osittain osana tiedonhallinnan ja tiedonsiirron vaatimuksia.

Opetuksen toteutuksessa painottuvat työelämälähtöiset ja projektipohjaiset oppimismenetelmät, joissa opiskelijat ratkovat käytännön ongelmia sekä tekevät ryhmä- ja projektitöitä yhteistyössä alan yritysten kanssa. Tämä vastaa osittain myös kansainvälisiä suosituksia BIM-integraatiosta osaksi ydinkurssikokonaisuuksia sekä projektipohjaisesta ja kokemuksellisesta oppimisesta.

(ATK1) Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä?

Turun AMK:ssa inframallinnusta opetetaan sekä teoria- että käytäntöpainotteisesti, ja koulutuksen sisällöt suunnitellaan vastaamaan kansallisia inframallivaatimuksia sekä infra-alan työelämän tarpeita.

Opetukseen kuuluu:

- Kurssit: Esimerkiksi "Infran ja talonrakentamisen tietomallit", "Tie- ja katuhankkeen mallintaminen", "Rakenteiden 3D-mallinnus" ja "Tuotannonohjaus Infrakit-ohjelmistolla".
- Ohjelmistoharjoitukset: Opiskelijat oppivat ymmärtämään alan yleisimpiä ohjelmistoja ja miten niitä käytetään lähtötietomallien, suunnitelmien tekemiseen ja toteutusmallien laadintaan, sekä perusymmärrystä miten ja millä toteutumamallia voidaan päivittää ja mihin sen laatu- ja luovutusaineistoa kerätään tuotannossa.

- Projektityöt ja työelämäyhteistyö: Opiskelijat toteuttavat jossain määrin projekteja yhteistyössä infra-alan yritysten kanssa, mikä mahdollistaa autenttisen työelämäosaamisen kerryttämisen, jos käytäntöä kehitetään ja ylläpidetään opetuksessa.
- Aktiiviset oppimismenetelmät: Projektipohjainen oppiminen (PBL), on keskeisessä roolissa opetuksessa. Lisäksi opiskelijat voivat osallistua työpajoihin ja työmaavierailuille, joissa esitellään inframallien käyttöä jonkin verran kentällä.

Toteutus vastaa jossain määrin myös kansainvälisiä suosituksia, joiden mukaan BIM/Inframalli-osaamisen opettaminen on tehokkainta, kun se integroidaan useisiin opintojaksoihin, korostetaan moniammatillisuutta ja hyödynnetään sekä digitaalisia että kokemuksellisia oppimisympäristöjä.

(ATK2) Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet?

Keskeisiä haasteita ja puutteita Turun AMK:ssa inframalliopetuksessa ovat:

- Resurssirajoitteet: Opettajien ajan, osaamisen niukkuus rajoittaa opetuksen laajuutta ja ajantasaisuutta, vaikka koulun ulkopuolisia koulutuksia järjestetään yhteistyössä työelämän kanssa ei se korvaa inframalli opetuksen integrointia muihin oppiaineisiin. Väyläviraston ja YIV-ohjeiden laaja-alainen haltuunotto vaatii jatkuvaa opettajien täydennyskoulutusta ja tukea.
- Yhtenäisyyden puute: Inframalliopetuksen sisältö ja toteutustavat vaihtelevat eri ammattikorkeakouluissa. Resurssit voivat myös rajoittaa uusimpien ohjelmistojen- ja yhteensopivien laitteiden käyttöönottoa *ns. negatiiviset tapaukset*.
- Työelämäintegraation haasteet: Vaikka projektityöskentelyä ja yritysyhteistyötä on jonkin verran, se ei integroidu laajasti työelämän tarpeisiin nähden niin, että opiskelijoilla olisi laajat valmiudet

aloittaessaan työskentelyn, ja että he ymmärtäisivät inframallin koko sen elinkaarensa läpi eri työprosessien vaiheiden kattavasti.

- Opetuksen standardointi ja arviointi: Yhtenäisten arviointikriteerien ja oppimistulosten mittaamisen puute vaikeuttaa opiskelijoiden osaamisen vertailua ja kansainvälistä kelpoisuutta.
- Nopeasti muuttuvat ohjelmistot: Alan digitalisaatio etenee nopeasti ja vaatii sekä opiskelijoilta että opettajilta jatkuvaa oppimista, mihin nykyinen opetusrakenne ei aina taivu riittävän joustavasti.

Poikkeavat käytännöt ja negatiiviset tapaukset liittyvät resurssointiin, joissa tapauksissa resurssit eivät kata täysin samantasoista opetusta kuin teoreettinen viitekehys määrittää alalle. Toisaalta osaltaan Turun ammattikorkeakoulu on erikoistunut tiettyihin teemoihin, kuten inframallin hyödyntämiseen suunnittelussa tai tiettyihin ohjelmistoihin tuotannossa, jolloin opiskelijat saavat syvempää osaamista suppeammalla alueella nykyisellä resurssoinnilla.

(ATK3) Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan, jotta se vastaisi paremmin infra-alan tuleviin osaamistarpeisiin?

Kansainvälinen ja kansallinen tutkimus sekä viranomaisvaatimukset korostavat seuraavia kehittämistarpeita:

- BIM-integraation laajentaminen: BIM/inframalli tulee integroida läpileikkaavasti opetussuunnitelmaan, ei vain erilliskursseille, jotta opiskelijat omaksuvat mallintamisen periaatteet kaikissa suunnittelun ja rakentamisen vaiheissa osana infraomaisuutta läpi elinkaaren.
- Opettajien osaamisen vahvistaminen: Opettajien täydennyskoulutus ja verkostoituminen kansainvälisten kehittämisohjelmien kanssa ovat välttämättömiä, jotta opetus pysyy ajan tasalla, koska kehitys alalla on nopeaa ja myös alan uusinta tutkimusta tehdään paljon kansainvälisesti.
- Työelämäintegraation syventäminen: Yritysyhteistyötä ja kurssien sekä niiden sisältöjen kehittämistä yhteistyössä yritysten, ohjelmisto- ja laite

valmistajien kanssa. Moniammatillisia projekteja tulee lisätä, jotta opiskelijat kohtaavat aitoja infra-alan haasteita jo opintojen aikana

- Uusien teknologioiden käyttöönotto: VR/AR, simulaatiot ja digitaaliset kaksoset tulee ottaa laajemmin käyttöön, mikä mahdollistaa syvällisemmän ymmärryksen mallien hyödyntämisestä ja infrarakenteiden elinkaaren hallinnasta.
- Standardointi ja arviointikäytännöt: Yhtenäiset kansalliset arviointikriteerit ja oppimistulosten mittaaminen helpottavat osaamisen vertailua ja tukevat kansainvälistä liikkuvuutta. Oppimistuloksia voidaan mitata PBL:llä.
- Kilpailut ja sertifikaatit sekä pelillistäminen “gamification” osaksi opetusta, sen on todettu nostavan opetuksen mielenkiintoa ja oppilaiden motivaatiota.
- Jatkuva kehittäminen: Opetussuunnitelmaa tulee päivittää säännöllisesti työelämän tarpeiden ja teknologisen kehityksen mukaan, yhteistyössä alan järjestöjen ja viranomaisten kanssa.

Ratkaisuiksi suositellaan tiiviimpää yhteistyötä työelämän kanssa, joustavia opintopolkuja sekä digitaalisten oppimisympäristöjen kehittämistä.

Valtakunnallisten materiaalien ja verkko-opintojen hyödyntäminen ja saavutettavuuden varmistaminen voi tasata resurssieroja.

1. Kriittinen yhteenveto: Poikkeavat käytännöt ja negatiiviset tapaukset inframalliopetuksen kehittämisessä

Poikkeavat käytännöt ja ns. negatiiviset tapaukset osoittavat, että inframalliopetuksen yhdenmukaistaminen vaatii vielä työtä. Turun ammattikorkeakoulun resurssoinnin kohdistaminen sekä erilaiset painotukset johtavat osaamisen hajanaisuuteen kansallisella tasolla ja suhteessa teoreettisen viitekehyksen tavoitteisiin (YIV) ja Väyläviraston inframallivaatimukset. Kriittisenä huomiona voidaan todeta, että ilman riittäviä resursseja ja opettajien täydennyskoulutusta ei voida varmistaa yhtenäistä

osaamisen tasoa, mikä voi heikentää opiskelijoiden työelämävalmiuksia ja kansainvälistä kilpailukykyä *ns. negatiiviset tapaukset*.

Toisaalta erityisosaamiseen keskittyminen, kuten uudet teknologiat (tekoäly, AR & VR, erilaiset simulaatiot ja esimerkiksi dronella kuvauksen hyödyntäminen) ja syvällinen BIM/inframalli-ohjelmisto-osaaminen, voi tuoda alalle uusia innovaatioita ja mahdollistaa erikoistumista. Koko alan kehittymisen kannalta on kuitenkin tärkeää, että kaikkien korkeakoulujen opetuksessa saavutetaan vähintään Väyläviraston ja YIV-ohjeiden minimitaso inframalli elinkaareissa ja että kansainvälisiä huippukäytäntöjä hyödynnetään laajemmin koko Suomessa.

## Haastatteluaineiston kerääminen, analyysi ja tulokset

### 5.1 Haastattelumenetelmä ja aineistonkeräämisen toteutus

#### Puolistrukturoidun teemahaastattelun valinta ja perustelut

Puolistrukturoitu teemahaastattelu valittiin tutkimusmenetelmäksi, koska sen avulla on mahdollista saada syvällistä, kokemukseen perustuvaa tietoa tutkimuksen kohteena olevasta ilmiöstä. Teemahaastattelu sopii erityisesti tilanteisiin, joissa halutaan ymmärtää osallistujien omia näkemyksiä ja kokemuksia, eikä ilmiöstä ole saatavilla valmiiksi kattavaa tutkimustietoa. Puolistrukturoidussa haastattelussa haastattelu kohdennetaan etukäteen määriteltyihin teemoihin, mutta keskustelu etenee joustavasti haastateltavan näkökulmia seuraten ja jättää tilaa myös uusien ja odottamattomien näkökohtien esiintuomiselle. Tämä mahdollistaa sekä ennalta määriteltyjen aihealueiden kattavan käsittelyn että yksilöllisten kokemusten ja uusien näkökulmien esiin tuomisen. Menetelmä soveltuu hyvin sekä opiskelijoiden että työelämän edustajien kokemusten tutkimiseen ja vertailuun ja haastattelukysymysten ja teema-alueiden muodostamiseen.

Haastattelukysymysten ja teema-alueiden muodostus perustui tutkimuksen tavoitteisiin sekä aiempaan kirjallisuuteen inframalliosaamisen opetuksesta ja sen kehitystarpeista. Teemahaastattelun runko laadittiin niin, että se mahdollisti sekä ennalta suunniteltujen ydinkysymysten käsittelyn että uusien, haastateltavien esiin nostamien näkökulmien huomioimisen. Teemat sisälsivät muun muassa inframalliosaamisen nykytilan, opetuksen käytännönläheisyyden, teknologian hyödyntämisen sekä kehitysehdotukset opetuksen kehittämiseksi. Teemojen muodostuksessa pyrittiin kattamaan keskeisimmät osa-alueet, jotka liittyvät sekä opiskelijoiden että työelämän näkökulmiin. Kysymysten muotoilussa kiinnitettiin huomiota avoimuuteen, jotta vastaajat saattoivat tuoda esiin omat kokemuksensa ja näkemyksensä mahdollisimman laajasti.

## Haastateltavien valinta ja taustatiedot

Haastateltaviksi valittiin Turun ammattikorkeakoulun rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opiskelijoita sekä työelämän edustajia, jotka työskentelevät infrarakentamisen suunnittelun, urakoinnin omaisuudenhallinnan ja tilaajatehtävien parissa. Valinnassa kiinnitettiin huomiota siihen, että haastateltavat edustavat sekä koulutuksen että työelämän keskeisiä näkökulmia ja että heidän kokemuksensa liittyvät suoraan inframalliosaamisen opetukseen ja käyttöön työssä.

Kaikilta haastateltavilta kerättiin perustiedot (esim. koulutus- tai työtehtävätausta) haastattelun syventäviä kysymyksiä varten, mutta yksilöiviä henkilötietoja ei kerätty tai tallennettu. Haastatteluihin osallistuneiden anonymiteetti varmistettiin koko tutkimusprosessin ajan, eikä yksittäisiä henkilöitä ole mahdollista tunnistaa aineistosta. Tämä tehtiin osan haastateltavien pyynnöstä ja sen tarkoitus oli myös kannustaa vapaaseen keskusteluilmapiiriin haastatteluissa.

## Haastatteluiden toteutus ja eettiset käytännöt

Haastattelut toteutettiin yksilöhaastatteluina pääosin etäyhteyksin (videopuhelu), mikä mahdollisti joustavan osallistumisen ja antoi haastateltaville mahdollisuuden valita itselleen sopivin tapa osallistua. Ennen haastattelua osallistujille kerrottiin tutkimuksen tavoitteista, aineiston käsittelystä ja anonymiteetin turvaamisesta, ja heiltä pyydettiin suostumus haastatteluun osallistumiseen sekä aineiston tallentamiseen tutkimuksen ajaksi.

Kaikki haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin sanatarkasti analyysia varten. Haastatteluaineiston käsittelyssä noudatettiin Turun ammattikorkeakoulun sekä kansallisia tutkimuseettisiä ohjeita (TENK 2023) ja (AI-ARENE 2023). Tutkimuksen luotettavuuden ja eettisyyden varmistamiseksi huolehdittiin siitä,

että kaikki tunnisteelliset tiedot poistettiin aineistosta, ja haastateltavia kohdellaan luottamuksellisesti koko tutkimusprosessin ajan.

## 5.2 Aineiston analyysimenetelmä

Laadullinen sisällönanalyysi- analyysivaiheet:

- Litterointi ja aineiston valmistelu:  
Kaikki haastattelut litteroitiin sanatarkasti analyysia varten. Litteroinnin tavoitteena oli varmistaa, että aineiston kaikki olennaiset ilmaisut ja vivahteet siirtyivät analyysivaiheeseen mahdollisimman tarkasti. Litteroidut aineistot käytiin useaan kertaan läpi, jotta kokonaiskuva aineistosta muodostui kattavasti.
- Koodaus (teorialähtöinen ja aineistolähtöinen):  
Aineistosta tunnistettiin tutkimuskysymysten kannalta merkitykselliset ilmaukset, lauseet ja ajatukset. Näille annettiin koodit eli lyhyet, sisältöä kuvaavat ilmaisut. Koodauksessa käytettiin sekä ennalta määriteltyjä teemoja (teorialähtöinen koodaus) että aineistosta nousevia uusia aiheita (aineistolähtöinen koodaus), jotta analyysi kattoi sekä tutkimusongelman että haastateltavien esiin nostamat näkökulmat.
- Teemojen muodostaminen:  
Koodatut ilmaukset ryhmiteltiin pääteemoihin, jotka muodostivat analyysin rakenteen. Pääteemat valittiin siten, että ne kattavat sekä opiskelijoiden että työnantajien näkemykset inframalliosaamisesta, opetuksen käytännönläheisyydestä, teknologian hyödyntämisestä ja kehitysehdotuksista. Teemojen avulla pyrittiin tuomaan esiin keskeiset samankaltaisuudet ja eroavaisuudet haastateltavien ryhmien välillä.
- Tulosten raportointi:  
Analyysin tulokset esiteltiin systemaattisesti pääteemojen mukaan eriteltynä opiskelijoiden ja työnantajien haastatteluista. Tavoitteena oli tuoda esiin molempien ryhmien sisäiset näkemykset sekä ryhmien väliset

yhtäläisyydet ja erot. Tulosten havainnollistamiseksi raporttiin sisällytettiin suoria lainauksia haastatteluaineistosta.

### Luotettavuus ja tutkimusetiikka

Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys varmistettiin useilla tavoilla. Aineiston keruussa ja analyysissä pyrittiin noudattamaan mahdollisimman suurta läpinäkyvyyttä, systemaattisuutta ja objektiivisuutta. Haastatteluihin osallistuminen oli vapaaehtoista ja haastattelut litteroitiin sekä varmistettiin anonymiteetti, jotta yksittäisiä vastaajia ei voi tunnistaa. Aineiston käsittelyssä ja säilytyksessä noudatettiin Turun ammattikorkeakoulun ohjeita tietoturvasta ja tutkimuseettisistä käytännöistä. Tutkimuksen toteutuksessa huomioitiin Turun ammattikorkeakoulun tutkimuseettiset ohjeet sekä kansallinen Hyvä tieteellinen käytäntö -ohjeistus (TENK 2023; AI-Arene 2023).

Kaikilta osallistujilta pyydettiin tietoinen suostumus osallistua tutkimukseen ja heidän anonymiteettinsa varmistettiin koko prosessin ajan. Aineiston luotettavuutta pyrittiin parantamaan käyttämällä mahdollisimman tarkkaa litterointia ja käymällä aineisto useaan kertaan läpi ennen analyysia. Tutkimuksen toistettavuutta ja läpinäkyvyyttä tuettiin yksityiskohtaisella analyysimenetelmän kuvauksella. Tutkimuslupa ja tutkimuslupaprosessi hoidettiin oppilaitoksen ohjeiden mukaisesti.

Tämän tutkimuksen luotettavuuden kannalta keskeistä oli riittävän kattavan ja monipuolisen haastatteluaineiston kerääminen sekä aineiston huolellinen analyysi. Tutkimuksen kohderyhmänä olivat Turun ammattikorkeakoulun rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opiskelijat (noin 20 oppilasta), joista viisi valittiin teemahaastatteluun käyttäen harkinnanvaraista otantaa. Haastateltavien joukossa oli urakoinnin, suunnittelun, mittauksen ja työmaavalvonnan osaajia, mikä varmisti, että aineisto kattaa inframalliosaamisen eri näkökulmia opiskelijakokemuksen kannalta.

Työelämän edustajien haastatteluihin osallistui viisi asiantuntijaa, joiden taustat edustivat suunnittelua, urakointia, tilaajakonsultointia sekä infraomaisuuden rakennuttamista ja omaisuudenhallintaa. Näin ollen myös työelämähaastattelujen aineisto kattaa laajasti infra-alan koko elinkaaren eri osapuolet.

Luotettavuuden arvioinnissa huomioitiin myös tutkimuksen siirrettävyys ja uskottavuus. Vaikka haastattelujen määrä on laadullisessa tutkimuksessa suhteellisen pieni, osallistujien monipuolinen tausta ja aineiston syvälinen analyysi vahvistavat tutkimuksen uskottavuutta. Tutkimuksen rajoitteena voidaan kuitenkin pitää aineiston subjektiivisuutta sekä mahdollisia haastattelijan vaikutuksia toiseen ryhmään, jota haastateltiin, koska haastattelija itse oli osana toista haastattelu ryhmää opintojen aikana. Tutkimuksen luotettavuutta vahvistavat suorat lainaukset ja kattava analyysiprosessin kuvaus.

### 5.3 Tulokset- Oppilaiden näkemykset inframalliopetuksesta

Oppilaiden kokemusten mukaan inframalliopetus Turun ammattikorkeakoulussa on tällä hetkellä melko suppeaa ja painottuu teoriaan sekä ohjelmistojen perusteiden esittelyyn. Haastatteluaineiston mukaan *”inframalliopetuksen määrä on vähäinen ja pintapuolinen”*; käytännön mallintamista harjoiteltiin lähinnä yhdellä Novapoint-kurssilla muutaman päivän aikana, eikä tiedonsiirtoformaatteja (IFC, Inframodel, LandXML) tai mallien syvällistä hyödyntämistä tai lukemista käsitelty laajemmin. Myös Haastatteluaineistossa korostetaan, että tuotannon *”inframallien merkitys ja käyttö konkretisoituivat vasta työelämässä koneohjausmallien myötä”*, koneohjausmallien tekeminen ja tarvittavat tiedostomuodot ja tiedon siirto suunnitteluohjelmien ja laitteiden välillä jäi käsittelemättä. Oppilaat pitävät nykyistä opetustarjontaa niukkana, ja inframallit esiintyvät usein vain osana laajempia kursseja, eivät itsenäisinä kokonaisuuksina.

Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä? (ATK1)

Teorian ja käytännön yhdistämisessä on puutteita. Haastattelu aineiston mukaan Oppilaat kokivat, että mallien osaamisen hyödyntäminen työelämässä jäi pitkälti opiskelijan oman aktiivisuuden varaan, “koulutus painotti ohjelmisto harjoituksissa ohjaajan ohjeiden toistamista, eikä valmentanut riittävästi työelämän vaatimukseen”. Työelämässä inframallien lukutaito ja hyödyntäminen esimerkiksi laadunvarmistuksessa sekä toteumamallien laadinnassa korostuvat, mutta näihin ei koulussa annettu riittävästi valmiuksia. Haastatteluaineistossa Oppilaiden mukaan “koulussa opetettiin pääasiassa ohjelmistojen (Novapoint ja 3D-Win) perusteita, mutta käytännön harjoitukset ja työmaan todellisuus puuttuivat”. Yritysyhteistyön ja yritysvierailujen arvo nähtiin suurena ja niitä toivottiin lisää.

Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet? (ATK2)

Haastatteluaineistossa oppilaat nostivat esiin useita keskeisiä puutteita, joita on koottu taulukkoon 3 eriteltynä ja luokiteltuna.

Taulukko 3. Oppilas haastatteluissa tunnistetut keskeiset haasteet ja puutteet.

Yläluokka	Teema	Puute
Ohjelmistot ja tiedostoformaattit:	Työelämärelevantsi	IFC-mallien hyödyntäminen esimerkiksi työmaalla jäi täysin opiskelijoiden oman kiinnostuksen varaan
Ohjelmistot ja tiedostoformaattit:	Työelämärelevantsi	inframallien lukutaito ja tietomallien päivittäminen on arkea, mutta koulutus ei riittävästi valmista tähän

Ohjelmistot ja tiedostoformaattit:	Teorian ja käytännön erillisuus	Työmailla inframallit ja niiden tuottama tieto (esim. massat, toteumat, laatu, luovutusaineisto) ovat keskeisiä, mutta koulussa näitä ei harjoiteltu käytännössä
Ohjelmistot ja tiedostoformaattit:	Itsenäisen opiskelun tarpeen korostuminen	Ohjelmistojen käytön, mallien avaamisen ja tiedonsiirron harjoittelu jäi opiskelijoiden vastuulle; tuki ja materiaali olivat riittämättömiä
Inframalliopetuksen integroiminen laajemmin opetukseen	Kurssien laajuus	Kurssien vähäisyys ja vapaaehtoisuus heikensivät osaamisen tasoa – osa opiskelijoista ei valinnut lainkaan inframallikursseja

Niistä näkyy kootusti teemat oppilaiden esittämistä asioista ja ne on vielä luokiteltu ylä- ja alaluokkaan teemojen mukaan.

Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan, jotta se vastaisi paremmin infra-alan tuleviin osaamistarpeisiin? (ATK3)

Oppilaat esittivät useita konkreettisia kehitysehdotuksia:

- Käytännönläheisyys: Lisää käytännön harjoituksia, aidot inframallit työmaaharjoituksissa, enemmän yritysyhteistyötä ja -vierailuja sekä mahdollisuus oppia inframallien hyödyntämistä laajemmalla ohjelmistovalikoimalla.
- Materiaalien saavutettavuus ja pelillistäminen "gamification": Selkeät, helposti kerrattavat materiaalit (esim. PowerPoint-tiivistelmät, video-ohjeet ohjelmistojen harjoitteluun nähtiin erittäin hyvänä tapana opiskella uutta ohjelmistoa, myös ohjelmisto tai suunnittelu harjoituksen

pelillistäminen “gamification” yksin tai ryhmässä koettiin hyvänä vaihtoehtona opetella uutta ohjelmistoa) sekä opiskelumateriaalin saavutettavuuden parantaminen esimerkiksi videotallenteiden avulla.

- Oppimismennopeuden huomiointi: Etenemismennopeuksien erot tulee ottaa huomioon; Opettajan esimerkin toistamista luokassa ei koettu kovin hyväksi opetusmenetelmäksi varsinkaan suuressa oppilasryhmässä ja jos opiskelumateriaalia oli vain muutaman päivän aikana mahdollista harjoitella. Kaikille tarvitaan mahdollisuus palata materiaaleihin itsenäisesti myös myöhemmin, esimerkkinä vaikka sairauspoissaolo.
- Monialaisuus ja pätevyudet: Inframalliosaamiselle tulisi määritellä selkeät osaamistasot ja pätevyudet, jotka tunnustetaan sekä koulussa että työelämässä (Helpottaa kansallista ja kansainvälistä vertailua), jolloin myös tutkiminen ja opetuksen kehittäminen helpottuu tulevaisuudessa. Monialainen osaaminen nähdään arvokkaana.
- Teknologian kehitys: Uusien teknologioiden (esim. AR/VR, työkonoiden etäohjaus, tekoäly & inframalli, dronet, kaupunkimallit) sisällyttäminen opetukseen, koska nämä ovat arkea työmailla ja niiden käyttö yleistyy nopeasti.
- Työelämäintegraatio: Työelämälähtöisiä harjoituksia suunniteltuna yhdessä työelämänedustajien kanssa, aidot työmaatapakukset, koneohjausmallit ja tuotannonohjauksen työkalut tulisi tuoda opetukseen laajemmin.

Havainnot oppilashaastatteluista liittyen kehittämistoimenpiteisiin suhteessa tutkimuskysymyksiin koottiin seuraavaan alla esitettyyn taulukkoon 4 jossa sisällöt ja havainnot ryhmiteltynä tutkimuskysymysten mukaan.

Taulukko 4. Tutkimuskysymykset ja havainnot kootusti oppilaiden haastatteluaineistosta (N=5).

Tutkimuskysymys	Keskeinen sisältö / Havainto
4.2.1 Nykytila (PTK)	Opetuksen määrä niukka; painottuu teoriaan ja perusteisiin; käytännön mallintamista vain yksittäisillä

	kursseilla; mallinnuksen merkitys konkretisoituu vasta työelämässä.
4.2.2 Opetuksen toteutus (ATK1)	Teorian ja käytännön yhteys puutteellinen; ohjelmisto-osaaminen painottuu peruskäyttöön; työelämässä tarvittavaa osaamista ei opeteta riittävästi; työelämää vastaava oppiminen oman aktiivisuuden varassa ja oikeita sekä ajantasaista materiaalia vaikea tavoittaa.
4.2.3 Haasteet ja puutteet (ATK2)	Ohjelmisto- ja laiteosaaminen suppea; työelämärelevanssi vähäinen; harjoitusten määrä ja taso vaihtelevat; ohjaus ja materiaali niukkaa; kurssien laajuus riittämätön; osa oppilaista ei opiskele inframalleja lainkaan.
4.2.4 Kehittämistarpeet (ATK3)	Lisää käytännön harjoituksia ja aitoja malleja; monipuolisempi ohjelmisto- ja laiteopetus; paremmat, selkeämmät ja saavutettavammät opiskelumateriaalit; yritysysteistyön lisääminen; teknologian ja työelämätaitojen vahvistaminen; pätevyystasot ja monialaisuus esiin.

Oppilaiden haastatteluaineiston vertaavat ja teemoitellut taulukot mahdollistivat hyvän ja tarkan pohjan kehitysehdotusten analyysiin ja tulosten esittämiseen.

Poikkeavat tapaukset, esimerkit ja suorat sitaatit

1. Poikkeava näkökulma opetuksen työelämävastaavuudesta:  
"Opetuksessa olisi voinut olla enemmän oikeita malleja ja yritysysteistyötä. Sain kokemusta inframallinnuksesta vasta työmaalla, opinnot antoivat vain perustietoja ei varsinaista soveltamista."

2. Esimerkki ohjelmistoharjoittelun puutteista: "Käytimme lähinnä muutaman päivän aikana Novapoint ohjelmaa, mutta IFC-mallien ja tiedonsiirron osalta jäin täysin omilleni. Jos halusi oppia uutta, piti opetella itse."
3. Poikkeava kokemus opettajan tuesta: "Olin aika yksin harjoitusten kanssa, eikä ohjeita tai tukea ollut juurikaan saatavilla. Olisi pitänyt olla parempia, selkeitä ja tavoitettavampia opiskelumateriaaleja ja esimerkkejä oppimistavoitteista."
4. Erylistapaus kurssien vapaaehtoisuudesta: "Osa opiskelijoista ei ottanut lainkaan mallinnuskursseja. Uskon, että valmistuu porukkaa ilman yhtään todellista inframalliosaamista."
5. Poikkeava näkökulma monialaisuuteen: "Malliosaaminen jäi irralliseksi ja vähäiseksi eikä sitä liitetty muuhun infrarakentamisen opiskeluun laajemmin tai ylläpitoon. Tarvitaan enemmän kokonaisuuden ymmärrystä."

#### 5.4 Tulokset: Työelämänedustajien näkemykset inframalliopetuksesta

##### Nykytila (PTK)

Työnantajien näkemyksen mukaan inframalliosaaminen on viime vuosina yleistynyt ja saavuttanut laajasti vakiintuneen aseman infra-alalla. Inframallien ja erityisesti koneohjausmallien hyödyntäminen on lisääntynyt, mutta käyttö on edelleen hyvin vaihtelevaa ja usein sidoksissa urakkakohteiden kokoon. Suurissa moottoritie- ja kaupunkihankkeissa inframallit ovat jo arkipäivää, kun taas pienemmissä maarakennusurakoissa niitä käytetään vähän tai ei lainkaan, eikä tilaajilta tule välttämättä vaatimuksia inframallien käytöstä. Toisaalta osassa yrityksistä inframallien ja koneohjausmallien käyttö on ollut mukana jo yli vuosikymmenen ja on nykyisin lähes itsestäänselvyys työmailla.

Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä? (ATK1)

Työelämän näkökulmasta vastavalmistuneiden insinöörien inframalli- ja ohjelmisto-osaaminen vaihtelee, mutta perusvalmiudet ovat yleisesti riittävällä tasolla. Tärkeintä on opiskelijoiden ymmärrys koko tiedonsiirtoketjusta: miten suunnittelupöydältä edetään koneohjausmalliin, ja miten inframallia hyödynnetään työmaalla ja ylläpidossa läpi infraomaisuuden elinkaaren. Erityistä painoarvoa suunnittelussa ja tuotannossa annetaan käytännön osaamiselle: ohjelmistojen- ja laitteiden, kuten Infrakit, 3D-Win, AutoCAD & Civil 3D, Novapoint ja Novatron ja Leica ja yhteensopivien mittauslaitteiden käyttöön ja hallintaan sekä tarvittaviin datan siirtoihin työmaan eri työvaiheissa. Työelämässä korostetaan valmiutta soveltaa malliosaamista työmaalla sekä ymmärtää inframallin elinkaaren kaikki vaiheet.

Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet? (ATK2)

Suurimpana puutteena pidetään käytännön harjoitusten vähäisyyttä koulutuksessa varsinkin tuotannossa. Vaikka teoriaosaamista ja peruskäsitteiden ymmärrystä pidetään hyvänä, työelämässä kaivataan laaja-alaista ja konkreettista harjoittelua, jossa opiskelija siirtää, lukee ja hyödyntää inframallia ohjelmistoilla ja laitteilla sekä ymmärtää koko prosessin mittauksesta toteutukseen. Tuotannossa mallien tuottamisen, muuntamisen ja hyödyntämisen osaamista pidetään ratkaisevana, mutta nämä taidot eivät siirry riittävästi koulusta työelämään. Lisäksi ohjelmistojen ja tiedonsiirron käytännön ymmärrys ja osaaminen on puutteellista monella valmistuneella suunnittelussa ja omaisuudenhallinnassa. Varsinkin suunnittelun, tilaajan edustajien, rakennuttamisen ja omaisuudenhallinnan näkemyksissä korostettiin erityisesti tarvetta harjoitella koko tiedonhallinnan ketjua, laatuvaatimuksia ja projektipankkien käyttöä sekä ymmärrystä inframallista läpi infraomaisuuden elinkaaren.

Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan, jotta se vastaisi paremmin infra-alan tuleviin osaamistarpeisiin? (ATK3)

Työelämän edustajat korostavat koulutuksen kehittämisessä erityisesti seuraavia seikkoja:

- Käytännön harjoitusten lisääminen: Tuotannossa harjoituskokonaisuuksia, joissa opiskelija käy läpi koko prosessin mittauksesta mallintamiseen, mallin siirtoon ja koneohjausmallin käyttöön sekä toteumamallin päivittämisestä. Laatu, luovutusaineiston laatimisen hallintaa ja projektipankituksesta tarvitaan enemmän käytännön harjoituksia.
- Yritysyhteistyön laajentaminen: Yritykset ovat valmiita osallistumaan opetuksen kehittämiseen, ja yhteistyö alan kattojärjestöjen, ohjelmistovalmistajien ja laitevalmistajien kanssa nähdään tärkeänä.
- Teknologian hyödyntäminen: Automaatio, tekoälyratkaisut, AR/VR-tekniikka ja mittausdatan automaattinen keruu ovat kasvavia osa-alueita, joiden ymmärtäminen ja hyödyntäminen tulisi sisällyttää opetukseen.
- Osaamisen jatkuva päivittäminen: Ohjelmistojen ja laitteiden kehityksen seuraaminen ja uuden oppiminen korostuu, joten opiskelijoiden tulee olla valmiita jatkuvaan osaamisen kehittämiseen myös valmistumisen jälkeen.

Haastatteluiden tulosten perusteella koottiin seuraavanlainen alla oleva taulukko 5, jossa on tutkimuskysymyksiin liittyvät tyypilliset havainnot, ns. negatiiviset tapaukset ja sitaatteja työelämäedustajien haastatteluaineistosta.

Taulukko 5. Poikkeavat tapaukset tutkimuskysymysten mukaan esiintyvänä.

Tutkimus kysymys	Tyypilliset havainnot	Poikkeavat tapaukset / erityispiirteet	Sitaatti / Esimerkki
4.3.1 Nykytila (PTK)	<p>Inframalliosaaminen arkipäivää työelämässä; käyttö vaihtelee urakkakoon mukaan.</p> <p>Pienemmissä urakoissa inframalleja käytetään vähän tai ei lainkaan.</p> <p>Työelämäneustajien organisaatioissa inframalliosaamista kehitetty yli 10 vuotta.</p>	<p>Pienissä yrityksissä/urakoissa käyttö vähäistä tai olematonta.</p>	<p>"Inframallinnus on meille jo arkipäivää, mutta pienissä kohteissa sitä ei käytetä juuri lainkaan."</p>
4.3.2 Opetuksen toteutus (ATK1)	<p>Vastavalmistuneilla perusvalmiudet kunnossa, tärkeää ymmärtää koko tiedonsiirtoketju ja elinkaari inframallista.</p> <p>Korostetaan ohjelmistojen- ja laitteiden kuten (Infrakit, 3D-Win, Autodesk-ohjelmistot, Novapoint, Novatron, Leica) ymmärrystä ja käytännön osaamista.</p>	<p>Joissakin yrityksissä koulutetaan jatkuvasti sisäisesti, toisissa panostetaan vähäisemmin kursseilla osaamisen kehittämistä.</p>	<p>"Tärkeintä on, että opiskelija ymmärtää inframallin läpi elinkaaren ja miten suunnittelupöydältä päädytään koneohjausmalliin sekä tuotannon toteutumien päivitykset ja projektipankin hallinnan aina laatu- ja luovutusaineistoihin."</p>

<p>4.3.3 Haasteet ja puutteet (ATK2)</p>	<p>Puutteita käytännön harjoituksissa ja mallin siirron osaamisessa. Teoria on osittain hallussa, mutta käytännön taidot puutteellisia etenkin tiedonsiirrossa, ohjelmistoissa ja työmaan prosessissa.</p>	<p>Jotkut yritykset käyttävät kehittyneitä digitaalisia työkaluja, toisilla vanhentuneet järjestelmät; resurssit vaihtelevat.</p>	<p>"Käytännön mallin siirron työprosessien eri vaiheissa osaamisessa on aukkoja."</p>
<p>4.3.4 Kehittämistarpeet (ATK3)</p>	<p>Lisää käytännön harjoituksia, laajempaa yritysyhteistyötä, teknologian (esim. AR/VR, tekoäly) hyödyntämistä, jatkuvaa osaamisen päivittämistä.</p>	<p>Kaikki yrityksistä valmiita kehittämään oppimisprojekteja yhdessä koulun kanssa ja osa investoi paljon omiin koulutusohjelmiin.</p>	<p>"Yritysyhteistyötä pitäisi olla enemmän, ja opiskelijoiden pitäisi päästä näkemään koko prosessi käytännössä."</p>

Tämän ja haastatteluaineiston analyysin perusteella pystyttiin kokoamaan kattavasti kehittämistoimenpide ehdotuksia, jotta inframalliopetus saadaan paremmin vastaamaan työelämän todellista tarvetta.

#### Poikkeavat tapaukset, esimerkit ja sitaatit

Poikkeava tapaus: Eräässä yrityksessä inframallien käyttö on täysin integroitunut ja osaamisen kehitystä tuetaan jatkuvasti yrityksen sisäisellä

koulutuksella, kun taas toisaalla inframallit ovat käytössä vain suurimmissa urakoissa ja pienemmissä kohteissa niistä ei ole kokemusta.

Sitaatti:

*"Mallintamisosaaaminen ei ole rekrytoinnin kannalta tärkein yksittäinen taito, mutta siitä on suuri etu. Tärkeintä on ymmärtää, mitä inframallinnus on ja miten sitä hyödynnetään käytännössä työmaalla."*

Sitaatti:

*"Koulun ja yritysten yhteistyö on erittäin tärkeää – koulutuksen kehittämiseksi suositeltiin laajempaa yritys yhteistyötä, erityisesti alan kattojärjestöjen kuten (InfraRY):n kautta ja ohjelmisto- sekä yhteensopivien laitevalmistajien ja toimittajien kanssa."*

## Synteesi ja johtopäätökset

### 6.1 Johdanto

Tässä luvussa yhdistetään teoreettinen viitekehys, kirjallisuuskatsauksen tulokset ja puolistrukturoidun haastatteluaineiston analyysi synteeksi, joka vastaa tutkimuskysymyksiin triangulaation periaatteella. Eteneminen on systemaattista: ensin annetaan kokonaisvastaus päätutkimuskysymykseen, sitten tarkastellaan kutakin alatutkimuskysymystä rinnastamalla teoria, kirjallisuus ja haastatteluaineisto, ja lopuksi esitetään poikkeavat havainnot, arvioidaan käytetyn menetelmän vahvuuksia sekä annetaan johtopäätökset ja kehittämissuosituksia.

Synteessin käsite ja merkitys opinnäytetyössä:

Laadullisessa tutkimuksessa synteesi tarkoittaa monipuolisen aineiston – kuten teorian, kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen aineiston – yhdistämistä kokonaisuudeksi, joka mahdollistaa ilmiön syvällisen ja moninäkökulmaisen tarkastelun. Synteessin avulla tutkimuksen havainnot voidaan esittää johdonmukaisesti ja perustellusti, jolloin muodostuu kattava kokonaiskuva tutkimusongelmasta ja sen ratkaisumahdollisuuksista. Synteesi tukee tutkimuksen luotettavuutta ja tekee johtopäätöksistä ymmärrettäviä ja käytäntöön sovellettavia (Patton 1999; Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006; Creswell 2009; Flick 2014).

Synteessin ja triangulaation soveltaminen tässä tutkimuksessa:

Tässä opinnäytetyössä synteesi on muodostettu yhdistämällä kappaleessa 2 esitetty teoreettinen tausta, kappaleen 3 kirjallisuuskatsauksen löydökset sekä kappaleen 4 haastatteluaineiston analyysi. Kukin osa-alue tuo oman näkökulmansa inframalliosaamisen opetuksen nykytilaan ja kehitystarpeisiin. Triangulaation avulla varmistetaan, että tutkimuksessa tehdyt johtopäätökset pohjautuvat niin alan kirjallisuuteen, kansainvälisiin ja kansallisiin käytäntöihin kuin työelämän ja opiskelijoiden kokemuksiin. Näin synteesi ja triangulaatio yhdessä tukevat sekä tutkimuksen tieteellistä luotettavuutta että käytännön sovellettavuutta.

## 6.2 Päättökysymys (PTK): *Millainen on inframalliopetuksen nykytila Turun ammattikorkeakoulussa ja millaisia muutostarpeita siihen liittyy?*

Koko työn aineistot osoittavat, että Turun ammattikorkeakoulun inframalliopetus on vakiintunut ja seuraa osaltaan kansallisia ohjeita (buildingSMART Finland 2021; Väylävirasto 2022). Opetus perustuu suunnittelun ja tuotannon perusteiden ymmärtämiseen liittyen inframalleihin ja yleisimpien ohjelmistojen osaamiseen, mutta kehittämistarpeita esiintyy erityisesti käytännönläheisessä tekemisessä, uusimpien teknologioiden ja opetusmenetelmien hyödyntämisessä ja työelämärelevanssin vahvistamisessa. Oppilaat korostavat käytännön harjoitusten, paremman ohjelmistoharjoittelun ja projektityöskentelyn tärkeyttä, kun taas työnantajien mukaan osaamisen tulisi olla laajempaa – erityisesti inframallien laadunvarmistuksessa, elinkaaren hallinnan ymmärtämisessä ja ohjelmistoihin sekä yhteensopivien laitteiden tiedonsiirtoon liittyvässä osaamisessa. Yhteinen havainto on, että työelämän ja koulutuksen välistä vuoropuhelua sekä työelämäyhteistyötä on lisättävä, jotta inframalliopetus vastaisi tulevaisuuden osaamistarpeita.

## 6.3 Alatutkimuskysymykset

*(ATK1) Miten inframallinnusta opetetaan Turun ammattikorkeakoulussa tällä hetkellä?*

Teoria ja kirjallisuuskatsaus:

Opetus perustuu osittain kansallisiin ohjeisiin ja hyödyntää vakiintuneita ohjelmistoja kuten (Novapoint, Infrakit, Autodesk-ohjelmistot, 3D-Win) ja avoimiin tiedonsiirtoformaatteihin (IFC, Inframodel ja LandXML)

Haastattelut:

Oppilaiden (Oppilas haastatteluaineisto) mukaan opetus painottuu ohjelmistoharjoituksiin ja on suppeaa. Työelämän edustajat kokevat, että ohjelmistojen perusosaaminen on hyvää, mutta mallin laadunvarmistus ja

kokonaisuuden hallinta läpi infraomaisuuden elinkaaren vaatisivat lisää painotusta.

Yhtäläisyydet ja erot:

Sekä kirjallisuus että käytännön kokemukset tukevat elinkaariajattelun hallitsemista ja ohjelmisto-osaamista, mutta painopiste käytännön työelämäyhteistyössä ei ole vielä riittävä.

*(ATK2) Mitkä ovat nykyisessä inframalliopetuksessa tunnistettavat keskeiset haasteet ja puutteet?*

Teoria ja kirjallisuuskatsaus:

Haasteiksi tunnistetaan ohjelmistojen- ja laitteiden nopea kehitys, opettajien osaamisen sekä ajan (Resursointi) ja tasalla pitäminen sekä työelämärelevanttien opetussisältöjen puute.

Haastattelut:

Oppilaat kokevat, että osa harjoituksista on irrallisia ja liian teoreettisia. Työnantajien mukaan opiskelijoilla on vaikeuksia inframallin laadunhallinnassa, elinkaaren hallinnassa ja yhteistoiminnallisessa projektityöskentelyssä.

Yhtenevyudet ja poikkeamat:

Haasteet painottuvat oikeiden käytännön harjoitusten määrään, työelämäkontaktien vähyyteen sekä ohjelmistojen- ja yhteensopivien laitteiden ajantasaisuuteen.

*(ATK3) Mitä muutoksia tai kehittämistoimenpiteitä inframalliopetukseen tarvitaan?*

Kirjallisuus ja teoria:

Kehittämisehdotuksina nostetaan esiin BIM/inframalli-integraation laajentaminen, työelämäintegraation lisääminen opetuksen kehittämisessä, uusien teknologioiden käyttöönotto opetuksessa, ohjelmistojen ja yhteensopivien laitteistojen päivitykset opetuksessa, kilpailut ja sertifikaatit "pelillistäminen" ohjelmisto-opetuksessa, osaamisen standardointi ja yhtenäiset

arviointi kriteerit, joka voidaan kytkeä PBL:n yhteyteen, opettajien ja opetussuunnitelmien jatkuvakehitys ja koulutus sekä monialaisen yhteistyön vahvistaminen.

Haastattelut:

Oppilaat ehdottavat enemmän työelämälähtöistä yhteistyötä osaamisen kehittämisessä ja oikeita käytännön projekteja (Oppilas, haastatteluaineisto 2024.) Työnantajat korostavat laajempaa osaamista mallien laadunvarmistuksessa, oikeita tuotannon tehtävien harjoituksia sekä elinkaariajattelun vahvistamista.

Kattavuuden perustelu:

Kaikki aineistot tukevat tarvetta vahvistaa päivitettyä osaamista, työelämäyhteistyötä, lisätä työelämälähtöisesti suunniteltuja harjoituksia ja osaamista ohjelmistoihin- ja laitteisiin sekä niissä tarvittavaan tiedonsiirtoon perustuvaa opetusta, inframallin ymmärtämistä läpi koko infraomaisuuden elinkaaren sekä päivittää pedagogisia ratkaisuja opetuksessa.

#### 6.4 Poikkeavat havainnot ns. negatiiviset tapaukset

Aineistossa esiintyy yksittäisiä opiskelijoita, jotka pitävät nykyistä opetusta riittävänä ja kokevat, että eivät tarvitse inframalliosaamista, koska eivät käytä ja tarvitse sitä työssään tällä hetkellä. Silti he näkevät osaamisen tulevaisuudessa tärkeäksi. Vastaavasti eräs työnantaja pitää ohjelmistojen hallintaa opiskelijoilla riittävänä, mutta painottaa silti laadunvarmistusta ja inframalliosaamisen kokonaisuuden hallintaa ja sen kehittämistä tärkeänä.

#### 6.5 Synteesin ja triangulaation arviointi (metatasoinen reflektointi)

Triangulaatiomenetelmä osoittautui toimivaksi, koska se mahdollisti teoria-, kirjallisuus- ja empirisen aineiston yhteensovittamisen ja erojen esiin nostamisen. Ilman triangulaatiota moni työelämän ja opiskelijoiden näkemys olisi jäänyt piiloon.

## 6.6 Johtopäätökset ja kehittämissuosituks

Konkreettisinä johtopäätöksinä voidaan todeta:

- Nykyinen opetus kattaa inframalliosaamisen perusteet, mutta opetusmenetelmiä, työelämälähtöistä käytäntöön perustuvaa opetusta ja työelämäyhteistyötä sekä monialaisuuden osaamista opetuksen kehittämisessä tulee lisätä.
- Uudet teknologiat, ohjelmistojen ja yhteensopivien laitteistojen ja tiedonsiirron ajantasaisuus opetuksessa sekä opettajien osaaminen vaativat jatkuvaa kehittämistä.
- Työelämän tarpeisiin vastaaminen edellyttää uuden teknologian hyödyntämismahdollisuuksien, inframallin laadunvarmistuksen ja elinkaaren hallinnan painottamista opetuksessa.

Kehittämissuosituks:

- Lisätään laajemmin työelämäprojekteja, yritysyhteistyötä ja työpajoja osaksi opintokokonaisuutta.
- Päivitetään ohjelmistojen- ja yhteensopivien laitteistojen ja tiedonsiirtojen opetus vastaamaan alan kehitystä.
- Panostetaan uusiin opetusmenetelmiin, integroidaan inframalliopetusta laajemmin ja monialaisesti sekä panostetaan opettajien jatkuvaan koulutukseen ja opetussuunnitelmien kehittämiseen.

## 6.7 Jatkotutkimuksen aiheet ja työn rajoitukset

Avoimeksi jää, kuinka voidaan hyödyntää uutta teknologiaa inframalliopetuksessa kuten (esim. Kaupunkimallit, digitaaliset kaksoset, Dronet Tekoäly (AI), AR/VR ja erilaiset inframalliin liittyvät simulaatiot). Lisäksi olisi hyödyllistä kartoittaa laajemmin työelämän tarpeiden muutosta tulevaisuudessa ja vertailla Turun AMK:n mallia muiden korkeakoulujen käytäntöihin myös.

Tutkimuksen rajoituksina mainitaan aineiston rajaus yhteen ammattikorkeakouluun ja viiteen opiskelija- ja viiteen työnantajahaastatteluun.

## Lähteet

Adu, P. 2023. How to Use ChatGPT for Qualitative Data Analysis. [YouTube-kanava]. Viitattu 6.6.2025. <https://www.youtube.com/@drphilipadu>.

Almulla, M. A. 2020. The Effectiveness of the Project-Based Learning (PBL) Approach as a Way to Engage Students in Learning. SAGE Open, 10. Viitattu 7.6.2025. <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>.

AI-Arene 2023. Suositus tekoälyn vastuullisesta hyödyntämisestä ammattikorkeakouluissa. Viitattu 6.6.2025. <https://arene.fi/julkaisut/raportit/arenen-suositukset-tekoalyn-hyodyntamisesta-ammattikorkeakouluille/>.

buildingSMART Finland 2021. Yleiset inframallivaatimukset (YIV). Viitattu 6.6.2025. <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>.

ChatGPT 2023. Introducing ChatGPT. OpenAI. Viitattu 6.6.2025. <https://openai.com/blog/chatgpt/>.

Chen, K., Lu, W. & Xue, F. 2020. University–Industry Collaboration for BIM Education: Lessons Learned from a Case Study. Industry and Higher Education, 34(3), 183–193. Viitattu 6.6.2025. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0950422220908799>.

Creswell, J. W. 2009. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 3rd edition. SAGE Publications. Viitattu 6.6.2025. [https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog\\_609332/objava\\_105202/fajlovi/Creswell.pdf](https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf).

Flick, U. 2014. An Introduction to Qualitative Research. 5th edition. SAGE Publications. Viitattu 6.6.2025. [https://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/1832172/mod\\_resource/content/1/Uwe%20Flick%20-%20An%20Introduction%20to%20Qualitative%20Research%202014.pdf](https://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/1832172/mod_resource/content/1/Uwe%20Flick%20-%20An%20Introduction%20to%20Qualitative%20Research%202014.pdf).

Forum Virium Helsinki 2023. Digital Twin – The greatest platform for smart mobility. Viitattu 6.6.2025. <https://forumvirium.fi/en/about/data/digital-twin/>.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. & Wenderoth, M. P. 2014. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. Viitattu 6.6.2025.

<https://www.pnas.org/content/111/23/8410>.

Helsingin kaupunki 2023. Helsinki 3D – Digitaaliset kaupunkimallit. Viitattu 6.6.2025. <https://www.hel.fi/fi/paatoksenteko-ja-hallinto/tietoa-helsingista/kartat-ja-paikkatieto/helsinki-3d>.

Huotari, K. & Hamari, J. 2017. A definition for gamification: anchoring gamification in the service marketing literature. *Electronic Markets*, 27(1), 21–31. Viitattu 6.6.2025. <https://doi.org/10.1007/s12525-015-0212-z>.

Hämeen ammattikorkeakoulu 2025a. Insinööri (AMK), Kestävä kaupunkisuunnittelu, monimuotototeutus, Lahti 240 op. Viitattu 6.6.2025. <https://hamk.opinto-opas.fi/curricula/degreeprogrammes/groups/plan?groupId=109202&planId=112399>.

Hämeen ammattikorkeakoulu. 2024b. Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, päivätoteutus. Viitattu 7.6.2025. <https://hamk.opinto-opas.fi/curricula/degreeprogrammes/groups/plan?groupId=109208&planId=115750>.

Hämeen ammattikorkeakoulu. 2025c. Yhteistyö ja palvelut. Viitattu 6.6.2025. <https://www.hamk.fi/yhteistyö-ja-palvelut/hamk.fi>.

Infrakit. 2025. Summary of Infrakit Integrations. Viitattu 7.6.2025. <https://support.infrakit.com/help/summary-of-infrakit-integrations>.

Keski-Luopa, M. 2022. Digital Twin -koulutuksen pilotointi LAB-ammattikorkeakoulussa. LAB Pro. Viitattu 7.6.2025. <https://www.labopen.fi/lab-pro/digital-twin-koulutuksen-pilotointi-lab-ammattikorkeakoulussa/>.

Kolb, D. A. 2014. *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. 2. painos. Viitattu 6.6.2025.

[https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=MBn\\_GG4AAAAJ&citation\\_for\\_view=MBn\\_GG4AAAAJ:r0BpntZqJG4C](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=MBn_GG4AAAAJ&citation_for_view=MBn_GG4AAAAJ:r0BpntZqJG4C).

LAB-ammattikorkeakoulu 2025. Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, päivätoteutus, Lappeenranta 240 op. Viitattu 7.6.2025. <https://lab.fi/fi/koulutus/insinööri-amk-rakennus-ja-yhdyskuntatekniikka-paivatoteutus-lappeenranta-240-op>.

Leica Geosystems 2025. 5 Ways Leica Infinity Connects Measurement Data Across the Construction Lifecycle. Viitattu 7.6.2025. <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/software/leica-infinity/5-ways-leica-infinity-connects-measurement-data-across-the-construction-lifecycle>.

Leite, F. & Brooks, G. 2020. Integrating an Architectural Engineering Undergraduate Program with Building Information Modeling. *Journal of Architectural Engineering*. Viitattu 6.6.2025. [https://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000389](https://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000389).

Lindgren, T. 2023. VR- ja AR-teknologioiden soveltuvuus opetukseen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 6.6.2025. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/10024/153108/2/LindgrenTotti.pdf>.

Metropolia Ammattikorkeakoulu. 2025. Maanmittaustekniikka, insinööri (AMK). Viitattu 7.6.2025. <https://www.metropolia.fi/fi/opiskelu-metropoliassa/amk-tutkinnot/maanmittaustekniikka>.

Metropolia Ammattikorkeakoulu. 2025. Yritysyhteistyö, Työelämäyhteistyösopimuskumppanit. Viitattu 6.6.2025. <https://www.metropolia.fi/fi/metropoliasta/tyoelamayhteistyosopimuskumppanit>.

Novatron. 2025. Connected Cloud. Viitattu 7.6.2025. <https://novatron.fi/en/xsite-mc-products/connected-cloud/>.

Patton, M. Q. 1999. Enhancing the quality and credibility of qualitative analysis. *Health Services Research*, 34(5), 1189–1208. Viitattu 6.6.2025. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1089059/>.

PRISMA 2021. The PRISMA 2020 Statement: Transparent reporting of systematic reviews and meta-analyses. Viitattu 6.6.2025. <https://www.prisma-statement.org/>.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. KvaliMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. Viitattu 6.6.2025. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/>.

Salminen, A. 2023. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja joihinkin hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopisto. Viitattu 6.6.2025. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-395-081-8>.

Santos, J. R. dos & Escórcio, P. 2022. Full integration of building information modelling education in civil engineering curricula: a proposal. *European Journal of Engineering Education*. Viitattu 6.6.2025. <https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2160307>.

SciSpace 2023a. Introducing SciSpace's AI-powered literature review workspace. Viitattu 6.6.2025. <https://scispace.com/resources/scispace-literature-review-workspace/>.

SciSpace 2023b. A Complete Guide on How to Write a Good Literature Review. Viitattu 6.6.2025. <https://scispace.com/resources/the-ultimate-guide-to-writing-a-good-literature-review/>.

SciSpace 2023c. Types of Literature Review — A Guide for Researchers. Viitattu 6.6.2025. <https://scispace.com/resources/types-of-literature-review/>.

Snyder, H. 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. Viitattu 6.6.2025. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>.

Souza, M. T., Silva, M. D. & Carvalho, R. 2010. Integrative review: what is it? How to do it? *einstein* (São Paulo), vol.8(1). S 102-106. Viitattu 6.6.2025. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-542638?lang=en>.

TENK 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). Viitattu 6.6.2025.

<https://tenk.fi/fi/tenkin-ohjeet/hyva-tieteellinen-kaytanto-htk-ja-htk-loukkausepailyjen-kasittely>.

TurboScribe 2023. TurboScribe – AI-powered Transcription. Viitattu 6.6.2025.  
<https://turboscribe.ai/>.

Turun ammattikorkeakoulu. 2025a. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK. Viitattu 7.6.2025. <https://www.turkuamk.fi/koulutukset/rakennus-ja-yhdyskuntatekniikka-insinööri-amk/>.

Turun ammattikorkeakoulu. 2025b. Yrityksille ja organisaatioille. Viitattu 6.6.2025. [https://www.turkuamk.fi/yrityksille-ja-organisaatioille/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.turkuamk.fi/yrityksille-ja-organisaatioille/?utm_source=chatgpt.com).

Turun ammattikorkeakoulu. 2024c. Opinto-opas: AMK-tutkinto, päivätoteutus, Suomenkielinen koulutus, Tekniikan alat, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri. Viitattu 7.6.2025.

<https://www.turkuamk.fi/koulutukset/rakennus-ja-yhdyskuntatekniikka-insinööri-amk/>.

~~Trimble Inc. 2021. Export to Survey Equipment. Trimble Community – Novapoint Tunnel Library. Viitattu 7.6.2025.~~

~~[community.trimble.com](https://community.trimble.com)+1[community.trimble.com](https://community.trimble.com)+1~~

~~<https://community.trimble.com/viewdocument/export-to-survey-equipment>.~~

~~Vermala, J. 2023. Digitaalisen rakennetun ympäristön hyödyntäminen pelastustoimen riskienhallinnassa. LAB Pro. Viitattu 7.6.2025.~~

~~<https://www.labopen.fi/lab-pro/digitaalisen-rakennetun-ympariston-hyodyntaminen-pelastustoimen-riskienhallinnassa/>.~~

Väylävirasto 2022. Väyläviraston inframallivaatimukset. Väyläviraston ohjeita 32/2022. Viitattu 6.6.2025.

[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2022-32\\_inframallivaatimukset.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-32_inframallivaatimukset.pdf).

Zhang, J., Zhu, J., Tu, W., Wang, M., Yang, Y., Qian, F. & Xu, Y. 2024. The Effectiveness of a Digital Twin Learning System in Assisting Engineering

Education Courses: A Case of Landscape Architecture. *Applied Sciences*, 14(15), 6484. Viitattu 6.6.2025. <https://doi.org/10.3390/app14156484>.