



## **3D-tulostusprosessi terveydenhuollossa:**

### **kuvaileva kirjallisuuskatsaus**

Tytti Natunen

Haaga-Helia ammattikorkeakoulu

Tradenomi (AMK), tietojenkäsittely

Opinnäytetyö

2026

## Tiivistelmä

<b>Tekijä</b> Tytti Natunen
<b>Tutkinto</b> Tradenomi (AMK), tietojenkäsittely
<b>Opinnäytetyön nimi</b> 3D-tulostusprosessi terveydenhuollossa: kuvaileva kirjallisuuskatsaus
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b> 32 + 8
<p>3D-tulostus on nopeasti kehittyvä valmistusteknologia, joka on viime vuosina vakiinnuttanut asemansa myös terveydenhuollon sovelluksissa. Menetelmä mahdollistaa yksilöllisten ja monimutkaisten rakenteiden valmistamisen digitaalisista malleista, ja sitä hyödynnetään muun muassa leikkaussuunnittelussa, anatomisten mallien ja potilaskohtaisten apuvälineiden valmistuksessa sekä hoidon laadun ja potilasturvallisuuden tukemisessa. Teknologian kehitys on lisännyt kiinnostusta 3D-tulostusprosessien suunnitteluun, käyttöönottoon ja hallintaan terveydenhuollon toimintaympäristössä.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella 3D-tulostusprosessin toteutumista terveydenhuollossa sekä selvittää sen nykytilaa, saavutettuja hyötyjä ja tunnistettuja haasteita kansainvälisessä kontekstissa. Työ rajautui lääketieteellisiin ja terveydenhuollon sovelluksiin, ja suunterveyden näkökulma jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Empiiristä tutkimusta ei toteutettu, vaan tutkimusmenetelmänä käytettiin kuvailevaa kirjallisuuskatsausta. Katsauksen aineisto koostui kahdeksasta kansainvälisestä tieteellisistä julkaisuista viimeisten viiden vuoden ajalta. Haut toteutettiin syystalvella 2025–2026 valittuihin tietokantoihin Haaga-Helian verkkokirjaston kautta.</p> <p>Tulosten perusteella 3D-tulostus tarjoaa terveydenhuololle merkittäviä mahdollisuuksia erityisesti hoidon yksilöllistämisen, leikkausten suunnittelun tarkentamisen, toimenpideaikojen lyhentämisen sekä potilasturvallisuuden ja resurssitehokkuuden parantamisen. Teknologialla on myös potentiaalia vahvistaa sairaaloiden toimitusketjujen joustavuutta ja tukea digitaalisten tuotantoprosessien integraatiota osana laajempaa terveydenhuollon digitalisaatiota. Samalla käyttöönottoon liittyy haasteita, kuten kustannukset, sääntelyyn ja vastuunjakoon liittyvät epäselvyydet, osaamisvaatimukset, materiaalirajoitteet sekä prosessien hallinnan ja laadunvarmistuksen kysymykset.</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan todeta, että 3D-tulostus ei ole pelkästään yksittäinen valmistusteknologia, vaan kokonaisvaltainen prosessi, joka vaikuttaa terveydenhuollon alalla niin suunnitteluun, tuotantoon, kuin toimitusketjuihinkin. Sen onnistunut hyödyntäminen edellyttää strategista johtamista, selkeitä toimintamalleja ja sääntelyn huomioimista. Tulevaisuudessa 3D-tulostuksella on potentiaalia muodostua entistä keskeisemmäksi osaksi terveydenhuollon palveluja, mikäli teknologian käyttöönottoon liittyvät organisatoriset ja oikeudelliset haasteet ratkaistaan hallitusti.</p>
<b>Asiasanat</b> 3D-tulostus, terveydenhuolto, lääkinnälliset laitteet, digitalisaatio

# Sisällys

1	Johdanto .....	1
1.1	Tutkimusmenetelmä ja tutkimuksen tavoitteet .....	1
1.2	Tutkimusongelmat ja rajaukset .....	2
2	Opinnäytetyön tietoperusta .....	3
2.1	Terveydenhuolto Suomessa .....	3
2.1.1	Rahoitus ja palveluintegraatio .....	4
2.1.2	Digitalisaatio ja teknologiat .....	4
2.2	3D-tulostusprosessi .....	6
2.2.1	3D-tulostus terveydenhuollossa .....	7
2.2.2	Mahdollisuudet, riskit ja haasteet .....	9
3	Kirjallisuuskatsaus .....	11
3.1	Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä .....	11
3.2	Toteutus .....	12
3.2.1	Aloitukset ja haat .....	12
3.2.2	Tutkimusten valinta .....	13
3.3	Tulokset tutkimuskysymyksittäin .....	14
3.3.1	Millainen on 3D-tulostuksen nykytila terveydenhuollossa? .....	14
3.3.2	Millaista hyötyä 3D-tulostuksella on terveydenhuollossa saatu? .....	17
3.3.3	Mitä haasteita ja rajoitteita 3D-tulostuksen hyödyntämisessä on todettu? .....	20
4	Pohdinta .....	23
4.1	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset .....	23
4.2	Luotettavuus, eettisyys ja saavutettavuus .....	24
4.3	Jatkokehitysideat .....	26
4.4	Oman oppimisen pohdinta .....	27
	Lähteet .....	29
	Liitteet .....	33
	Liite 1. Kirjallisuuskatsauksen haat tietokannoittain .....	33
	Liite 2. Kirjallisuuskatsauksen tulokset .....	34

# 1 Johdanto

Teknologian nopea kehitys on viime vuosikymmeninä vauhdittanut 3D-tulostuksen yleistymistä monilla eri aloilla. Menetelmä mahdollistaa esineiden valmistamisen kerros kerrokselta useista erilaisista materiaaleista. Tulostusprosessi alkaa mallintamisesta, jossa luodaan kolmiulotteinen digitaalinen malli, joka määrittelee kappaleen muodon, rakenteen ja yksityiskohdat sekä sisältää tarvittavat tiedot sen muuntamiseksi tulostuskelpoiseen muotoon. Tulostin saa siis tietokoneella suunnitellun mallin, jonka perusteella se rakentaa fyysisen esineen. 3D-tulostusprosessien kehittyminen on mahdollistanut kevyempien, yksityiskohtaisempien ja yksilöllisesti suunniteltujen tuotteiden valmistamisen, ja tulevaisuudessa 3D-tulostuksen odotetaan tarjoavan huomattavia hyötyjä myös terveydenhuollon laitevalmistuksessa. (Horne 2024, luvut 1 ja 2.)

3D-tulosteeksi määritellään tässä työssä 3D-tulostamisen prosessin tuotteena syntynyt esine, asia, tavara tai muu vastaava. 3D-tulostuksen prosessista käytetään usein muun muassa nimityksiä additiivinen valmistus ja suora digitaalinen valmistus (mm. Horne 2024). Tässä opinnäytetyössä käytetään kuitenkin kaikissa yhteyksissä termejä 3D-tulostuksen prosessi tai synonyymina lyhyemmin 3D-tulostus lähdemateriaalien käyttämästä termistä riippumatta.

## 1.1 Tutkimusmenetelmä ja tutkimuksen tavoitteet

Tieteellinen tutkimus vaatii aina jonkinlaisen aineiston. Luotettavan tutkimustuloksen edellytys on hyvä aineisto, jota tutkija osaa hyödyntää tarkoituksenmukaisesti. Tutkimusmetodin valintaan puolestaan vaikuttavat useat tekijät, kuten tutkimuksen tavoite, tutkimusaihe ja tutkimuksen tieteenala, mutta myös tutkijan omat kokemukset ja kiinnostuneisuus aiheeseen. (Hakala 2018.) Tutkimuskysymysten muotoilu on keskeinen osa kirjallisuuskatsauksen prosessia, ja hyvä lähtökohta kysymysten laatimiselle on tutkijan itseä kiinnostavan ja merkitykselliseksi kokeman aiheen tunnistaminen (Vilka 2023, luku 2.1.1).

Tämän tutkimuksellisen, kirjallisuuskatsaukseen perustuvan opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella 3D-tulostuksen nykytilaa ja tulevaisuuden mahdollisuuksia terveydenhuollossa kansainvälisesti. Keskeisimmäksi näkökulmaksi valikoitui 3D-tulostuksen prosessien suunnittelu, käytännön toteutuminen sekä niiden haasteet. Kirjallisuuskatsauksen kautta saadaan monipuolisesti kokonaiskuvaa tästä vielä moneen muuhun alaan verrattuna nuoresta teknologiasta. Prosessien tarkastelu valittiin työn keskeiseksi näkökulmaksi, koska 3D-tulostuksen hyödyntäminen terveydenhuollossa ei ole vain tekninen toimenpide, vaan kokonaan oma tapahtumakulkunsa. Teknologian käyttöönotto terveydenhuollon ympäristössä riippuukin pitkälti siitä, miten prosessi on suunniteltu ja toteutettu. Lisäksi terveydenhuollon 3D-tulostusprosesseihin liittyy merkittäviä haasteita tiedonhallinnan, järjestelmien yhteensopivuuden, osaamisvaatimusten sekä vastuunjaon näkökulmista. Näiden

haasteiden tutkimisella työn tekijä kasvatti opinnäytetyöprosessin aikana tietojenkäsittelyn ja liiketoiminnan koulutusaloihin liittyvää osaamistaan myös varsinaisen opinnäytetyön aiheen ulkopuolelta.

## 1.2 Tutkimusongelmat ja rajaukset

Tutkimusongelmaksi muodostui tavoitteen ja alustavien kirjallisuushakujen kautta:

### Miten 3D-tulostusprosessi toteutuu terveydenhuollossa?

Lisäksi alaongelmiksi määriteltiin:

1. Millainen on 3D-tulostuksen nykytila terveydenhuollossa?
2. Millaista hyötyä 3D-tulostuksella on terveydenhuollossa saatu?
3. Mitä haasteita ja rajoitteita 3D-tulostuksen hyödyntämisessä on todettu?

Peittomatriisi on taulukko, joka usein sisällytetään tutkimuksellisen opinnäytetyön johdantoon. Siihen on listattu tutkimuskysymykset, ja näitä kuhunkin liittyvän tietoperustan ja tulosten luku opinnäytetyön sisällössä. Sen avulla voidaan varmistaa ja osoittaa raportin looginen kokonaisuus. (Haaga-Helia ammattikorkeakoulu 2024.) Taulukon 1 peittomatriisissa on kuvattu tutkimuskysymysten linkittyminen tietoperustaan ja kirjallisuuskatsaukseen luvuittain.

Taulukko 1. Peittomatriisi

Alaongelma	Tietoperusta (luku)	Tulokset (luku)
1. Nykytila	2.1.2 ja 2.2.1	3.3.1
2. Hyödyt	2.2 alalukuineen	3.3.2
3. Haasteet	2.2.2	3.3.3

Opinnäytetyössä tarkastellaan 3D-tulostusta terveydenhuollon kontekstissa kirjallisuuskatsauksen avulla. Tietoperustassa käsitellään Suomen terveydenhuollon rahoitusta, palveluintegraatiota sekä digitalisaatiota siltä osin kuin ne muodostavat toimintaympäristön 3D-tulostuksen hyödyntämiselle. Työssä ei tarkastella terveydenhuollon rakenteita tai rahoitusjärjestelmää laajasti, vaan niitä käsitellään taustatekijöinä 3D-teknologian käyttöönoton näkökulmasta. Työ rajautuu lääketieteellisiin ja muun terveydenhuollon sovelluksiin, ja yhtenäisempien tutkimustulosten saamiseksi suunterveyden ja hammaslääketieteen näkökulmat on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Opinnäyte ei myöskään käsittele sosiaalihuollon palveluja tai sen toimintaympäristöä, vaan tarkastelu kohdistuu yksinomaan terveydenhuollon kontekstiin. Kirjallisuuskatsaus keskittyy 3D-tulostuksen nykytilaan, hyötyihin, rajoitteisiin ja oikeudellisiin kysymyksiin erityisesti eurooppalaisessa ja kansainvälisessä kontekstissa. Empiiristä tai organisaatiokohtaista tutkimusta ei tässä opinnäytetyössä toteuteta.

## 2 Opinnäytetyön tietoperusta

Tutkittavaa ilmiötä selittävää ajatusta tai lainalaisuutta kutsutaan usein teoreettiseksi viitekehyyksi. Se on käsitteellinen rakennekokonaisuus, jonka tarkoitus on kehystää tutkimukseen valittu teoreettinen näkökulma, sekä selittää tutkittavaa ilmiötä. Käsitteiden määrittäminen antaa niille merkityksen, jolla ne tulisi ymmärtää tutkimuksessa. (Vilkkä 2025, luku 2.) Tässä opinnäytetyön tietoperustaa kuvaavassa luvussa käsitellään tutkimusongelmien, ja niihin vastausta etsivän kirjallisuuskatsauksen kannalta keskeisimpien aiheiden teemoja.

Luvussa esitellään ensin Suomen terveydenhuoltojärjestelmää, koska 3D-tulostuksen prosessien tarkastelu nimenomaan terveydenhuollon näkökulmasta edellyttää ymmärrystä siitä toimintaympäristöstä, jossa näitä prosesseja käytännössä toteutetaan. Terveydenhuoltosysteemin rakenteet, vastuunjako ja rahoitus vaikuttavat merkittävästi siihen, miten uusia teknologioita voidaan ottaa käyttöön. Vaikka opinnäytetyön tutkimuksellisessa osiossa käsitellään 3D-tulostusprosessia terveydenhuollossa kansainvälisesti, keskitytään tässä teoriaosuudessa vain Suomen terveyspalveluiden rakenteen ja ominaisuuksien avaamiseen, jolloin kansainvälisiä havaintoja ja kehityssuuntia voidaan peilata suomalaiseen kontekstiin.

### 2.1 Terveydenhuolto Suomessa

Suomessa sosiaali- ja terveysministeriö vastaa muun muassa sosiaali- ja terveystaloudesta, sen suunnittelusta ja lainsäädännöstä sekä strategisesta kehittämisestä. Terveyspalveluiden perustana ovat toimivat ja koko väestön saatavilla olevat ehkäisevät, korjaavat ja kuntouttavat palvelut. Suomen perustuslain mukaan jokaisella on oikeus riittäviin terveyspalveluihin, joista julkisella sektorilla vastaavat hyvinvointialueet. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2024.) Hyvinvointialueet voivat tuottaa palvelut itse tai yhdessä muiden hyvinvointialueiden kanssa, tai hankkia niitä yksityisiltä yrityksiltä tai järjestöiltä. Lainsäädäntö määrittelee, mitkä terveyspalvelut hyvinvointialueiden on järjestettävä. Alueet voivat kuitenkin itse päättää, miten palvelut käytännössä toteutetaan lain asettamissa rajoissa. Tämän vuoksi palveluiden sisällössä ja järjestämistavoissa voi esiintyä alueellisia eroja. (EU-terveydenhoito.fi 2025.)

Terveyspalvelut julkisella sektorilla jaetaan perusterveydenhuoltoon ja erikoissairaanhoidon. Perusterveydenhuollon keskeinen tehtävä on väestön terveydentilan seuranta, edistäminen ja lukuisat erilaiset perustason terveyspalvelut. Erikoissairaanhoidon järjestetään pääosin sairaaloissa ja niiden poliklinikoilla. Yleensä erikoissairaanhoidon pääsyä edellyttää hoito perusterveydenhuollossa, jossa potilaan terveydentilan on arvioitu vaativan tietyn alan erikoisosaamista tutkimuksissa ja hoidossa. 21 hyvinvointialueen lisäksi Helsingin kaupunki vastaa hyvinvointialueen tehtävistä omalla alueellaan, ja HUS-yhtymä erikoissairaanhoidon järjestämisestä Uudellamaalla. Julkisen sektorin

lisäksi terveystalvaeluja järjestävät työterveys- ja oppilashuolto, järjestöt, sekä yksityiset terveystalvaeluiden tuottajat. (Sosiaali- ja terveystministeriö 2024.)

### **2.1.1 Rahoitus ja palveluintegraatio**

Suomen terveydenhuollon järjestäjät tarvitsevat riittävän rahoituksen kattaakseen palvelujen tuottamisesta aiheutuvat menot. Järjestelmän keskeiset rahoituslähteet ovat verotus, julkinen ja yksityinen sairausvakuutus sekä asiakasmaksut. Hyvinvointialueiden rahoitus koostuu pääosin valtion rahoituksesta, jota täydentävät asiakas- ja käyttömaksut. Tarvittavan rahoituksen suuruuteen vaikuttavat muun muassa muutokset väestön ikärakenteessa ja terveystilanteessa. Julkiset terveystalvaelut voivatkin usein kohdata haasteita, kuten henkilöstöpulaa ja kasvavia kustannuksia. Hyvinvointialueiden omat päätökset ja uudistukset, kuten uuden teknologian käyttöönotto tai palkkaratkaisut, vaikuttavat myös rahoituksen riittävyyteen. Vaikka asiakas- ja käyttömaksut muodostavat vain pienen osan hyvinvointialueiden rahoituksesta, ne voivat aiheuttaa yksittäisille asiakkaille merkittäviä kustannuksia. Asiakasmaksujen lisäksi kansalaiset maksavat itse muita terveydenhuoltoon liittyviä hankintoja, kuten lääkkeitä ja silmälasia. (THL 2024a.)

Palveluintegraatiolla tarkoitetaan terveystalvaelujen yhteensovittamista asiakkaan tarpeisiin, jolloin muodostuu kokonaisuus eri palveluista. Siitä hyötyvät erityisesti paljon ja monialaisesti palveluja käyttävät asiakkaat. Integraatio voi myös säästää resursseja ja kustannuksia. Palvelujen integroiminen voi muodostua perustason ja erikoistason palvelujen yhteistyöstä, tai saman tason palvelujen koordinoimisesta asiakkaan tarpeiden mukaan. Tavoitteena on nopeuttaa asiakkaan ohjautumista oikeaan palveluun, sujuvoittaa prosesseja, parantaa asiakastytytyväisyyttä sekä tehostaa järjestelmän toimintaa. Palvelujen integraatioon liittyviä käsitteitä ovat palvelukokonaisuus, palveluketju ja palvelupolku, jotka kuvaavat eri tavoin asiakkaan tarpeisiin sovitettuja palvelujen yhdistelmiä. (THL 2023.)

### **2.1.2 Digitalisaatio ja teknologiat**

Digitaaliset palvelut ja tietojärjestelmät ovat keskeinen osa terveydenhuollon palvelujärjestelmää, ja niiden avulla pyritään uudistamaan palveluja kestävästi. Digitalisaatio mahdollistaa sujuvan tiedonkulun, tarkoituksenmukaisen palvelujen järjestämisen ja tiedolla johtamisen. Sote-organisaatiot tarjoavat jatkuvasti yhä enemmän digitaalisia palveluja, kuten sähköisen oirearvion ja ajanvarauksen, omien tietojen tarkastelun, chat-palveluja, digihoitopolkuja ja etävastaanottoja. Digitaaliset ratkaisut voivat tukea, täydentää tai jopa korvata perinteisiä palveluja sekä luoda kokonaan uusia tapoja tarjota hoitoa ja neuvontaa. (THL 2024b.)

Digitalisaation onnistunut hyödyntäminen edellyttää strategista johtamista, huolellista suunnittelua ja palvelujen toteuttamista asiakkaiden tarpeita vastaavasti. Digipalvelujen kehittäminen on koko

organisaation yhteinen prosessi, jossa on varmistettava saumaton palvelupolku digitaalisten ja perinteisten palvelujen välillä. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) tukee hyvinvointialueita tarjoamalla kansallisia ohjeita, määrittelyjä ja työkaluja digitaalisten palvelujen suunnitteluun, käyttöönnottoon ja arviointiin. Digitaalisilla ratkaisuilla voidaan parantaa palvelujen saavutettavuutta, tehostaa toimintaa ja tukea sekä asiakkaiden että ammattilaisten hyvinvointia, kun ne toteutetaan suunnitelmallisesti ja tarkoituksenmukaisesti. (THL 2024b.)

Lääkinnälliseksi laitteeksi kutsutaan muun muassa instrumenttia, laitteistoa, välinettä, ohjelmistoa, implanttia, materiaa tai muuta tarviketta, joka vastaa tiettyihin lääketieteellisiin tarkoituksiin (Fimea s.a.). Suomessa terveydenhuollon yksiköillä on mahdollisuus valmistaa lääkinnällisiä laitteita omaan käyttöönsä, kun valmistus tapahtuu voimassa olevan sääntelyn puitteissa ja perustuu kliinisesti perusteltuun tarpeeseen. Esimerkiksi 3D-tulostus sekä ohjelmistopohjaiset ratkaisut ovat liisänneet terveydenhuollon yksiköiden omaa laitevalmistusta, erityisesti diagnostisessa käytössä. (Fimea 22.10.2025.)

Yksilöllisten lääkinällisten laitteiden valmistus on kuitenkin vielä pitkälti kansainvälisten toimijoiden varassa. Joissain eurooppalaisissa sairaaloissa on perustettu 3D-tulostuskeskuksia, jotka integroituvat potilashoittoon ja lyhentävät tuotantosykliä. Sairaalaympäristössä suunnittelu ja valmistus voidaan toteuttaa tiiviissä yhteistyössä klinikoiden ja insinöörien kesken, mikä parantaa laatua, lyhentää toimitusketjuja ja mahdollistaa laitevalikoiman joustavan mukauttamisen. Näin sairaaloiden omat 3D-keskukset voivat parantaa hoidon laatua ja potilasturvallisuutta sekä vahvistaa huoltovarmuutta ja vähentää kustannuksia. (Asikainen & Pöysti 12.6.2024.)

MDR (*Medical Devices Regulation*) on asetus, jossa määritellään lääkinällisten laitteiden vaatimukset. Sen tavoitteena on yhdenmukaistaa EU-tason sääntelyä ja parantaa potilasturvallisuutta. Terveydenhuollon 3D-tulosteiden osalta MDR säätelee yhdessä muiden asetusten ja lakien kanssa muun muassa suunnittelua, valmistusta, valmistajalta vaadittavaa pätevyyttä sekä huoltotoimenpiteitä. (Fimea s.a.; Laki lääkinällisistä laitteista 719/2021.)

Kun sairaala valmistaa laitteita itse, sen on täytettävä lääkinällisten laitteiden valmistajalle asetetut vastuut MDR-asetuksen ja kansallisen lainsäädännön mukaisesti. Yksilöllisten laitteiden osalta lain tulkinta jättää kuitenkin liikuntavaraa, jonka vuoksi käytännöt voivat vaihdella EU:n jäsenvaltioittain. Terveydenhuollon yksiköiden oma valmistus rinnastuu vaatimuksiltaan kaupalliseen tuotantoon. Suomessa yksilöllisten lääkinällisten laitteiden valmistajien on rekisteröidyttävä muun muassa Lääkealan turvallisuus ja kehittämiskeskuksen (Fimea) laiterekisteriin. (Asikainen & Pöysti 12.6.2024.)

## 2.2 3D-tulostusprosessi

Isoimmissa yrityksissä alettiin jo yli 30 vuotta sitten käyttää 3D-tulostusta, mutta vasta viimeaikaisen teknologisen kehityksen myötä 3D-tulostimet ovat tulleet pienyritysten ja yksityishenkilöidenkin saataville. Viime ja tämän vuosikymmenen aikana 3D-tulostus on läpikäynyt teknologisen innostus- ja hiipumisvaiheen. Kaikkia aiemmin visioituja innovaatioita ei ole vielä saavutettu, ja usein perinteiset menetelmän ovat edelleen parempia. Etenkin vähittäismarkkinoilla keskitytäänkin nykyisin enemmän niihin käyttäjiin, jolle 3D-tulostus tuo todellista hyötyä, eikä niinkään massatuotantoihin. (Horne 2024, Johdanto ja luku 1.) Edistynyttä 3D-tulostuksen teknologiaa sovelletaan kuitenkin jo usealla toimialalla, kuten ilmailu- ja avaruusteollisuudessa, lääketieteessä ja terveydenhuollossa, energia-alalla ja autoteollisuudessa (Haghnegahdar, Joshi & Dahotre 2022, 1461).

Vaikka useimmilla aloilla perinteisessä valmistustavassa suositaan edelleen tuotteita, joiden markkinat kattavat mahdollisimman suuren ihmisjoukon, 3D-tulostuksessa tuotteita suunnitellaan yksilöllisemmin, esimerkiksi vain yhden henkilön erityistarpeeseen sopiviksi. 3D-tulostuksen perustana olevat geometriset tietomallit mahdollistavat tuotesuunnitelmien nopean muokkauksen sekä asiakkaiden helpon osallistumisen suunnitteluprosessiin jopa oman kotitietokoneensa kautta. (Horne 2024, luku 1.) Mallien suunnittelun ja luomisen avuksi on olemassa useita verkkosivuja, ohjelmistoja ja yhteisöjä. Esimerkiksi Thingiverse-alustalla niin yksityishenkilöt kuin ammattilaisetkin voivat ladata luomansa 3D-mallin toisten hyödynnettäväksi. Sivustolta käyttäjät voivat jopa ilman kirjautumista ladata, tulostaa ja usein myös muokata malleja. Mallin luoja voi valita lisenssin, kuten Creative Commons -lisenssin, joka määrittelee, saako mallia muokata, käyttää kaupallisesti tai jakaa edelleen. (Thingiverse s.a.) 3D-suunnitteluun, mallintamiseen ja tulostamiseen erikoistuneita yrityksiä on kansainvälisesti lukuisia.

Kun tietokoneelle on tallennettu tulostettavan esineen kolmiulotteinen digitaalinen malli, ohjelmisto käsittelee sen ja muuntaa tulostuskelpoiseen muotoon. Tämän jälkeen 3D-tulostin jakaa mallin ohuiksi kerroksiksi ja rakentaa esineen kerros kerrokselta, kunnes kappale on valmis. Rakentamistapoja on useita, esimerkiksi nestemäisen polymeerin kovettaminen laserilla, pienten partikkelien sitominen nestemäisen sidosaineen avulla tai sulatetun materiaalin pursottaminen. Käytettävissä olevia rakennusmateriaaleja on lukuisia, kuten valolla kovetettavat polymeerit, metallijauheet, betoni ja biologiset solut. (Horne 2024, luku 1.)

Sen sijaan, että esineitä valmistettaessa liitetään erillisiä osia toisiinsa, pystytään 3D-tulostuksella luomaan kokonaisuuksia, joissa osat kiinnittyvät yhteen jo tulostusvaiheessa. Näin on mahdollista valmistaa samaan tuotteeseen yhdellä kertaa muun muassa monimutkaisia sisärakenteita sekä liikkuvia osia. Etenkin moniosaisien esineiden valmistus vaatii näin merkittävästi vähemmän viimeistelyä ja prosessointia, kuin perinteisissä valmistustavoissa. Useiden eri materiaalien

yhdistäminen voi lisäksi parantaa osien toimivuutta ja kestävyyttä. 3D-tulostetuista esineistä saadaan helposti perinteisillä tavoilla valmistettuihin esineisiin verrattuna myös kevyempiä, kun lujuus ja joustavuus voivat vaihdella suunnitellusti esineen sisällä. (Horne 2024, luku 1.)

Uudet tavat valmistaa tuotteita synnyttävät uusia teollisuudenaloja, ja mahdollistavat luonnonvarojen tehokkaamman käytön. Tulevina vuosikymmeninä 3D-tulostuksella uskotaan voitavan valmistaa lähes mitä tahansa; kuten taloja, suihkumoottoreita, ruokaa, ja jopa ihmiskudoksia, joiden valmistusmateriaaleina ovat henkilön omat solut. (Horne 2024, Johdanto, luku 1.) Perinteisen valmistusteknologian siirtäminen ja yhdistäminen uusiin teknologioihin, kuten 3D-tulostukseen, on monimutkaista ja haastavaa. Säilyäkseen joustavana ja skaalautuvana on prosessi toteutettava resurssitehokkaasti ja tarkasti. (Haghnegahdar ym. 2021, 1461.)

Usein, ja paikoin tässäkin opinnäytetyössä termejä 3D-tulostus ja 3D-tulostuksen prosessi käytetään synonyymeinä. Bigrep (s.a.) mukaan 3D-tulostuksen prosessi on kokonainen työnkulku, joka voi vaikuttaa tuotekehitykseen aina suunnittelusta valmistukseen. Se voidaan jakaa useisiin vaiheisiin, kuten suunnittelu ja tulostusta edeltävä valmistelu, varsinainen 3D-tulostaminen, ja jälkikäsittely. Jokainen näistä vaiheista sisältää oman yksityiskohtaisen työnkulkunsa, mutta nämä päävaiheet muodostavat prosessin perusrakenteen. Oikeiden valintojen tekeminen jokaisella näistä osaluista on ratkaisevan tärkeää prosessin onnistumisen kannalta, ja valinnat vaihtelevat usein käyttötarkoituksen mukaan.

### **2.2.1 3D-tulostus terveydenhuollossa**

Viimeaikaiset edistysaskeleet 3D-tulostuksessa ovat muuttaneet merkittävästi terveydenhuollon tuotteiden suunnittelua, valmistusta ja käyttöä mahdollistamalla kevyemmät, kestävämmät ja yksilöllisesti räätälöidyt ratkaisut sekä lyhyemmät toimitusajat ja pienemmät kustannukset. Teknologiaa hyödynnetään jo laajasti esimerkiksi anatomisissa malleissa, potilaskohtaisissa laitteissa ja kriittisten osien valmistuksessa, ja sen merkitys korostui erityisesti COVID-19-pandemian aikana. Vaikka 3D-tulostus tarjoaa huomattavia hyötyjä, sen laajempaa käyttöönottoa rajoittaa vielä osaamisen puute. (Carvalho, Rocha, Oliveira, Paredes, Martins 2024, 296.)

Myös Nikitichev ja muut (2018, 115–118) mukaan kiinnostus 3D-tulostukseen terveydenhuollossa kasvaa jatkuvasti. Yksi merkittävimmistä syistä tälle on pyrkimys hoitojen suunnitteluun ja toteutukseen potilaskohtaisesti parhaiden tulosten saavuttamiseksi, ja toisaalta myös tulostimien parempi saatavuus. 3D-tulostusta hyödynnetään jo esimerkiksi potilasohjauksessa, koulutuksessa, toimenpiteiden suunnittelussa, sekä proteesien ja implanttien valmistuksessa. Sillä on lupaavia mahdollisuuksia muun muassa kudosteknologiassa. Taulukossa 2 on esitelty esimerkkejä keskeisimmistä 3D-tulostuksella valmistettavista tuotteista terveydenhuollossa.

Taulukko 2. Esimerkkejä 3D-tulostuksen käyttökohteista (Nikitchev ym. 2018, 125–128)

Käyttökohte	Esimerkki 3D-tulosteesta	Merkitys
Potilasohjaus	Mallinnettu kopio esim. elimestä (ja/tai siihen liittyvästä ongelmasta).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potilaan ymmärrys sairaudestaan ja mm. anatomiasta.</li> <li>• Potilaan täysimääräinen osallistuminen omaan hoitoon.</li> <li>• Potilaan tietoisuus hoidon hyödyistä ja riskeistä.</li> </ul>
Terveystieteiden ammattilaisten koulutus	Mallinnettu kopio esim. elimestä (ja/tai siihen liittyvästä ongelmasta).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monimutkaisen anatomian ymmärtäminen.</li> <li>• Simulaatiokoulutus; harjoittelu keinotekoisella mallilla (esim. kirurgia).</li> <li>• Ammattilaisten keskinäinen viestiminen mm. toimenpidettä suunniteltaessa</li> </ul>
Toimenpiteiden suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mallinnettu kopio esim. kasvaimesta elimessä.</li> <li>• Potilaskohtaiset ohjaimet/sapluunat, jotka ohjaavat kirurgia leikkauksen aikana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toimenpiteen suunnittelu mallin avulla helpottaa kirurgin työtä ja lyhentää toimenpideaika.</li> <li>• Anestesian lyhentäminen, kajoavuuden ja virheiden mahdollisuuden väheneminen.</li> </ul>
Implantit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Titaaniverkot esim. luuvaurioiden korjaamisessa.</li> <li>• Potilaskohtaiset kalloimplantit.</li> <li>• Biohajoavat rakenteet, kuten väliaikaiset lastat ja stentit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarkkojen ja yksilöllisten mallien luonti.</li> <li>• Monimutkaisten luu- ja pehmytkudosrekonstruktioiden luonti.</li> <li>• Leikkaukseen käytettävän ajan lyheneminen; sopiva implantti voidaan tulostaa heti kun sen tarvittavat ominaisuudet on määritetty leikkaussalissa.</li> </ul>
Kudosteknologia (pääosin vielä kehitysvaiheessa)	Mm. kantasolujen yhdistäminen biomateriaaleihin.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mahdollisuus tulevaisuudessa tuottaa kudoksia ja elimiä ihmiskehoon.</li> <li>• Kudokset jäljittelevät elimistön omaa rakennetta ja biologiaa paremmin kuin keinotekoiset materiaalit.</li> </ul>

3D-tulostuksen potentiaali poikkeusoloissa voi myös olla merkittävä. COVID-19-pandemia aiheutti maailmanlaajuisesti merkittäviä haasteita terveydenhuollon toimitusketjuille, erityisesti henkilönsuojainten, testausvälineiden ja hoitolaitteiden ja muiden lääkintätarvikkeiden saatavuudessa. 3D-tulostus nousi nopeasti tärkeäksi ratkaisuksi, kun tutkijat, yritykset ja harrastajayhteisöt alkoivat valmistaa esimerkiksi visiirejä, maskeja, venttiilinosia ja testitikkuja. Se mahdollisti monimutkaisten ja nopeasti muokattavien tuotteiden valmistuksen, mikä on erityisen hyödyllistä tilanteessa, jossa suunnitelmat muuttuvat uuden tiedon myötä. Teknologian laaja saatavuus mahdollistaa myös hajautetun ja etäperusteisen tuotannon. Menetelmän keskeisiä vahvuuksia pandemian torjunnassa olivatkin nopea käyttöönotto ja joustavuus tilanteissa, joissa perinteinen teollinen valmistus ei kyennyt vastaamaan sen hetkiseen tarpeeseen. (Singh, Venkatesh & Deoghare 2021, 407–409.)

### 2.2.2 Mahdollisuudet, riskit ja haasteet

Esimerkiksi anatomiset mallit operoitavasta elimestä tai kudoksesta voivat vähentää kallista leikkaussali-aikaa, ja näin kompensoida 3D-tulostimien hankintaa ja materiaalikustannuksia. Joidenkin yhdysvaltalais tutkimusten mukaan 3D-tulostettujen mallien käyttö kirurgiassa voi lyhentää toimenpideaikaa noin 30 minuuttia, mikä vähentäisi kustannuksia jopa 2900 dollaria yhtä tapausta kohden. 3D-tulostimia markkinoivat yritykset painottavat myös työpaikan haluttavuutta esim. kirurgien silmissä, jos työpaikalla on mahdollisuus 3D-tulostusteknologian käyttöön. (Dubinsky 2025, 22.)

3D-mallien avulla suunnitellut leikkaukset voivat lisäksi säästää paremmin potilaan kudoksia ja vähentää nukutukseen liittyviä riskejä lyhentämällä leikkaukseen kuluvaan aikaa. Etenkin kasvojen alueen leikkaussuunnittelussa on jo useita vuosia hyödynnetty 3D-mallintamista ja -tulostusta. Näiden avulla saadaan mallinnettua kasvojen pienimmätkin rakenteet tarkkaan jo ennen operaation aloittamista. Näin voidaan etukäteen valmistella työvaiheita, jotka aiemmin pystyttiin toteuttamaan vasta leikkaussalissa. Leikkaus voidaan siis suunnitella jo ennalta yksityiskohtaisesti työvaihe kerrallaan, eikä vasta sen aikana potilaan ollessa nukutettuna. (Teppo 1.3.2024.)

Turun yliopiston ja Åbo Akademin tutkijat ovat kehittäneet biotulostusmesteen, jolla voidaan 3D-tulostaa luonnollisen kaltaisia luukudoksen malleja. Muun muassa gelatiinista ja nanoselluloosasta valmistettu, kantasoluja sisältävä biomuste (*bioink*) mahdollistaa huokoisten ja mekaanisesti sopivien rakenteiden tulostamisen siten, että ne ohjaavat kantasolujen erilaistumista rusto- ja luumuiksi. Kehitettyä teknologiaa voidaan hyödyntää erityisesti lääkekehityksessä, tulehdus- ja perinnöllisten luustosairauksien tutkimuksessa sekä diagnostisten menetelmien kehittämisessä, ja se voi vähentää eläinkokeiden tarvetta tarjoamalla realistisia ihmiskudosta vastaavia malleja. Tulevaisuudessa biomusteen soveltuvuutta voidaan tutkia myös kudoksia korvaavan ja uudistavan lääketieteen tarpeisiin. (Wang ym. 2024, luvut 1 ja 3.)

Vaikka 3D-tulostus yleistyy terveydenhuollossa, on sen lupaavan kehityksen lisäksi arvioitava myös mahdollisia riskejä, eikä pitkän aikavälin hyödyistä tulosteilla ole vielä vahvaa näyttöä. Päätöksenteossa tai toimenpiteissä huonosti toteutettujen mallien virheellisen toiminnan vuoksi mahdolliset riskit ovat vielä tuntemattomia. Yksityiskohtaiset kustannustehokkuustutkimukset, joissa huomioidaan sekä tuotantokyky ja esivalmistelu, että leikkausajan väheneminen ja potilaiden paremmat hoitotulokset, ovat välttämättömiä 3D-tulostusprosessin todellisten vaikutuksien arvioimiseksi. Segmentointi- ja mallinnusvaiheiden kehittäminen prosessissa vahvistaisi 3D-tulostuksen asemaa kustannustehokkaana terveydenhuollon teknologiana, ja nämä vaiheet ovat siksi keskeisiä tutkimuskohteita. Merkittävä huomioon otettava seikka on tällä hetkellä materiaalien valikoima; nykyisin käytössä olevilta materiaaleilta puuttuu usein kyky jäljitellä sekä biologisten rakenteiden mekaanisia ominaisuuksia että kuvantamisominaisuuksia. Mikäli materiaali ei esim. röntgen- tai

ultraäänikuvaudu muiden kehon rakenteiden tapaan, on sen myöhempi tutkiminen haastavaa. (Nikitchev ym. 2018, 128–129.)

Barnes, Dye, O'Connor & Hammond (2025) kertovat tutkimusartikkelissaan etenkin tiettyjen 3D-tulostuksen tekniikoiden tuottavan merkittäviä määriä ilmassa leijuvia ultrahienoja hiukkasia, jotka voivat kulkeutua syvälle ihmisen hengitysteihin ja verenkiertoon. Elimistössä ne voivat lisätä hengityselinten ongelmia, sekä sydän- ja verisuonitautien riskiä. 3D-tulostuksen aikana nämä hiukkaspitoisuudet voivat ylittää moninkertaisesti tavanomaiset sisäilman taustapitoisuudet, varsinkin huonosti tuuletetuissa tiloissa. Hiukkaspäästöjen määrä ja koko riippuvat muun muassa käytetystä materiaalista, tulostuslämpötilasta ja tulostimen rakenteesta. Erilaiset koteloinnit ja suodatukseen perustuvat tekniset ratkaisut voivat vähentää hiukkaspäästöjä jopa yli 95 prosenttia. Etenkin pienissä työtiloissa, kouluissa ja kotikäytössä 3D-tulostimien päästöihin tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota ja hyödyntää teknisiä torjuntakeinoja. Ilman tehokkaita hallintatoimia 3D-tulostuksen hiukkaspäästöt muodostavat merkittävän sisäilman laadun ja työterveyden haasteen, joka tulee huomioida teknologian laajenevassa käytössä.

Edellisessä alaluvussa käsiteltyihin 3D-tulostuksen ratkaisuihin poikkeusoloissa liittyy myös haasteita ja riskejä. Singh ym. (2021, 408, 413–417) mukaan 3D-tulostuksessa, etenkin kriisitilanteissa, on huomioitava, että sen tehokas ja turvallinen hyödyntäminen edellyttää selkeitä ohjeistuksia, yhteistyötä viranomaisten kanssa sekä ennalta suunniteltuja toimintamalleja. Olisi tärkeää kiinnittää aiempaa enemmän huomiota tulostettujen tuotteiden lisäksi myös laitteiden huoltoon, materiaalien laatuun, käyttäjien osaamiseen, kuljetusturvallisuuteen ja koko tuotantoketjun hallintaan. Esimerkiksi pandemiatilanteessa 3D-tulostuksen parissa työskentelevien henkilöiden osaamisen merkitys korostuu, koska valmistettavat tuotteet (kuten visiirit tai venttiilinosat) voivat liittyä suoraan potilasturvallisuuteen. Puutteellinen osaaminen voi heikentää tuotteen laatua ja vaarantaa koko prosessin turvallisuuden. Turvallinen lopputuote edellyttää koko tuotantoprosessin hallintaa, mukaan lukien operaattorien osaaminen, materiaalien laatu, logistiikka sekä teollisuus 4.0-ratkaisujen hyödyntäminen.

Teollisuus 4.0 (*Industry 4.0*) tarkoittaa teollisen kehityksen uusinta vaihetta, jossa automaatio, koneoppiminen ja reaaliaikaisen datan hyödyntäminen yhdistyvät fyysiseen tuotantoon. Se integroi valmistuksen digitaalisiin teknologioihin, kuten teolliseen esineiden internetiin, tekoälyyn, robotiikkaan ja 3D-tulostukseen, luoden verkottuneen ja älykkään toimintaympäristön erityisesti tuotantoon ja toimitusketjuihin. Teollisuus 4.0 on osa laajempaa tuotannon digitalisaatiota, jossa korostuvat reaaliaikainen tiedonvaihto, älykkäät järjestelmät sekä joustava ja nopeasti muokattava valmistus. (Epicor 3.12.2018.)

### 3 Kirjallisuuskatsaus

Tässä luvussa tarkastellaan kirjallisuuskatsausta tutkimusmenetelmänä ja esitellään sen keskeiset periaatteet. Lisäksi kuvataan kuvaileva kirjallisuuskatsaus, joka on valittu tämän opinnäytetyön menetelmäksi sen soveltuvuuden vuoksi laaja-alaiseen tutkimusaiheen tarkasteluun. Luvussa kuvataan myös katsauksen toteutus, mukaan lukien aineistonhaku ja tutkimusten valintaprosessi. Lopuksi esitellään katsauksen tulokset suhteessa tutkimusongelmiin.

#### 3.1 Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä

Tieteellinen tutkimus on tiedonhankintakeinona järjestelmällistä ja näin ollen sen tulee käyttää tieteellistä menetelmää. Ne työmenetelmät, jotka tuottavat havaintoja, sekä ne säännöt, joiden avulla tulkitaan havaintoja, muodostavat tutkimusmetodin. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on olemassa olevan teorian kehittäminen ja arvioiminen, sekä uuden teorian luominen. Sen avulla voidaan käsitellä ja tiivistää laajoja aineistoja, joten se myös luo kokonaiskuvaa tietystä asiakokonaisuudesta ja tarjoaa mahdollisuuden tietyn teorian kehittymisestä ajan kuluessa. (Salminen 2023, luvut 1.2 ja 1.3.) Vilka (2023, luku 1) kiteyttää, että kirjallisuuskatsauksessa tutkimus toteutetaan, jotta jo olemassa olevaa tietoa voidaan tunnistaa, arvioida, tulkita ja yhdistää. Metodilla tiivistetään alkuperäistutkimusten olennainen tieto, ja muodostetaan aiheesta johtopäätöksiä. Kaikkiaan kirjallisuuskatsaus on Vilkan mukaan ensisijaisesti tutkimista.

Tutkimusmetodina kirjallisuuskatsauksia on useita erilaisia, ja niille on muotoutunut myös uusia alalajeja etenkin viimeisen kahden vuosikymmenen aikana. Erilaisia tapoja ryhmitellä kirjallisuuskatsauksia on useita, ja eri tieteenaloilla voi olla erilaisia vakiintuneita tapoja tähän. Usein kirjallisuuskatsauksen neljäksi päätyypiksi määritellään kuvaileva, integratiivinen tai integroiva, sekä systemaattinen kirjallisuuskatsaus. (Vilka 2023, luku 1.1.3.) Kirjallisuuskatsausten määritellään myös yleensä olevan yhdistelmä kvalitatiivista ja kvantitatiivista metodia. Katsauksen avulla kootaan aiemmista tutkimuksista, niiden tutkimusmetodeista riippumatta, tuloksia, jotka voivat luoda perustaa uusille tutkimustuloksille. (Salminen 2023, luku 1.3.) Kirjallisuuskatsaus tulee tehdä sen tyyppistä riippumatta tutkimuksellisia periaatteita noudattaen, eli kriittisesti, järjestelmällisesti ja läpinäkyvästi (Vilka 2025, luku 1.5).

Salminen (2023, luku 2.1) mukaan kuvaileva katsaus on yksi yleisimmistä kirjallisuuskatsauksen perustyypeistä. Siinä ei ole tiukkoja ja tarkkoja sääntöjä, vaan se on ennemminkin yleiskatsaus, jonka aineiston valinta on muita katsaustyypppejä vapaampaa. Myös tutkimuskysymysten muodostaminen on muita katsaustyypppejä väljempää. Tässä opinnäytetyössä tutkimusmetodina käytetään kuvailevaa kirjallisuuskatsausta, koska etenkin aiheen laajuuden vuoksi se nähtiin parhaaksi kirjallisuuskatsauksen muodoksi, ja sen avulla tutkimusongelmiin voidaan löytää kattavia vastauksia.

Myös työn tekijän kannalta kuvaileva katsaus koettiin parhaaksi vaihtoehdoksi, kun keskeisimpänä oppimistavoitteena on saada yleiskuva aiemmin melko tuntemattomasta aiheesta.

Vilka (2023, luku 1.2) käyttää kuvailevasta kirjallisuuskatsauksesta termiä narratiivinen kirjallisuuskatsaus, mutta tässä opinnäytetyössä käytetään selkeyden vuoksi kaikissa yhteyksissä termiä kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Katsauksen tarkoituksena on selvittää mitä tutkitusta aiheesta tiedetään, mitkä ovat sen keskeiset käsitteet, sekä mitkä käsitteiden keskinäiset suhteet. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tavoite on ymmärtää aihetta ja kuvailla sitä johdonmukaisesti ja vakuuttavasti. Se on muita kirjallisuuskatsausmetodeita intuitiivisempi, ja siinä tutkimuksen perusta muodostuu pitkälti tutkijan oivalluksiin sekä tapaan yhdistää lähdeaineiston asioita. Siinä myös tiedonhaun ja aineistojen valintakriteerien määrittely on muihin katsaustyypeihin nähden vapaampaa. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus onkin saanut kritiikkiä siitä, että sen tiedonhaku on sattumanvaraisempaa ja subjektiivisempaa kuin useissa muissa katsaustyypeissä.

## 3.2 Toteutus

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus voidaan vielä jakaa esimerkiksi kahteen alalajiin. *Kartoittava katsaus* pyrkii muodostamaan muun muassa luomaan kokonaiskäsitteiden tutkimuksen käsitteitä ja teoreettisista kehyksistä, sekä löytämään puutteita jo olemassa olevasta tiedosta. *Scoping-katsauksella* puolestaan muodostetaan ymmärrystä laajahkoihin tutkimuskysymyksiin ja kuvaillaan temaattisesti muun muassa olemassa olevan tutkimuksen määrää, laatua ja tutkimusasetelmia. Se sopii etenkin tutkijalle entuudestaan vieraan aiheen tarkasteluun, ja sen laajuuksien ja rajapintojen tutkimiseen. Scoping-katsaukseen valikoitujen lähdeaineistojen ei tarvitse olla menetelmällisesti yhteneviä, eikä sen tutkimusaineistolle ole tarpeen tehdä tarkkaa laadunarviointia. (Vilka 2023, luku 1.2.1.) Tämän opinnäytetyön kuvaileva katsaus on luonteeltaan pääosin scoping-katsauksen tyyppinen. Tutkijalle entuudestaan vieraan aiheen, 3D-tulostuksen, ymmärrys karttui tutkimuksen edetessä ja kirjallisuuteen laajasti tutustuesssa.

### 3.2.1 Aloitus ja haut

Jo aiheen rajaamisvaiheessa ja tutkimuskysymyksiä suunniteltaessa tehtiin useita alustavia kirjallisuushakuja Haaga-Helian Finna-verkkokirjaston haulla. Näin saatiin yleiskuvaa aiheesta, sen tutkimusten määrästä, sekä muun muassa tieteenaloista, joilla tutkimusaiheesta on kirjoitettu. Osa tutkimuksista saattoi käsitellä 3D-tulostusprosessia terveydenhuollon, mutta samalla myös muiden alojen kontekstissa. Alustavat haut antoivat myös käsitystä eri tietokantojen hakulogiikoista, mikä helpotti varsinaisten tutkimushakujen tekemistä. Hakutoiminnot ja -operaattorit vaihtelivat osin merkittävästikin tietokannoittain, mikä toi lisähaastetta relevanttien hakujen tekemiselle.

Alustavien hakujen perusteella valittiin tietokannat, joihin varsinainen haku tehtiin. Tutkimushaut tehtiin syystalvella 2025–2026 Haaga-Helian verkkokirjastosta valittuihin tietokantoihin. Kaikkiaan 49 tietokannasta varsinaisia tutkimushakuja tehtiin neljään. Hakeminen tietokannoittain tarjosi tarkempia hakutulosten suodatusmahdollisuuksia, sekä toi tulokseksi artikkeleita, jotka eivät nousseet yleisessä verkkokirjastohaussa esiin. Hakusanoja ei tarkoituksellisesti tehty liian tarkoiksi, jotta otsikkotason selaamisella saatiin vielä lisää kokonaiskuvaa aiheesta ja tutkimusten määrästä. Tästä syystä tietokannoista saattoi tulla satojenkin viitteiden hakutulos, josta tiivistelmiä kuitenkin luettiin vain kymmeniä. Jokainen hakutulos kuitenkin arvioitiin samalla menettelyllä otsikon, ja sitten tarvittaessa tiivistelmän ja kokotekstin perusteella. Liitteessä 1 on taulukoitu tietokannat, joihin haut tehtiin, hakusanat ja rajaukset, sekä tulosten määrä.

### 3.2.2 Tutkimusten valinta

Kaikki saadut tulokset käytiin otsikkotasolla läpi. Mikäli otsikon perusteella tutkimus vastaisi yhteenkään tutkimusongelmista ja täyttäisi sisäänottokriteerit, luettiin myös tiivistelmä, jonka perusteella arvioitiin varsinaisen tutkimusartikkelin mahdollinen soveltuvuus katsaukseen. Näin ollen tiivistelmän perusteella relevantit tutkimukset luettiin joko kokonaan tai siihen asti, kunnes osoittautui, etteivät ne syystä tai toisesta sovellu katsaukseen. Taulukossa 3 on esitelty sisäänotto- ja pois-sulkukriteerit. Kaikki hakutulokset olivat englanniksi, joten tarvittaessa väärinymmärrysten välttämiseksi tiivistelmien ja kokotekstien läpikäynnissä käytettiin käännösapuna ChatGPT 5.2 -kielimalia.

Katsaukseen pyrittiin valitsemaan tutkimuksia, joilla saatiin mahdollisimman laaja näkökulma 3D-tulostusprosessiin tutkimusongelmien puitteissa. Tutkimuksia terveydenhuollon kontekstissa oli erittäin laajalta alueelta, ja osa erittäin spesifejä. Esimerkiksi yksittäisiä elimiä käsitteleviä, tai vain valmistustekniikoihin keskittyviä artikkeleita ei huomioitu valinnassa. Myös muutamat tutkimusasetelmaltaan epäselvät tutkimukset jätettiin huomioimatta. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen luonteen takia tutkimusten luotettavuus arvioitiin lähinnä niiden asetelmaa, tuloksia ja julkaisukanavaa arvioimalla, mutta esimerkiksi se, oliko tutkimus vertaisarvioitu, ei kuulunut määritelyihin sisäänottokriteereihin. Tiivistelmiä lukiessa huomattiin kuitenkin, että suuri osa niistä oli vertaisarvioitujen artikkelien yhteenvetoja.

Kaikkien hakutulosten arvioinnin jälkeen katsaukseen valikoitui kahdeksan artikkelia, joista seitsemän oli tieteellisiä, vertaisarvioituja tutkimusjulkaisuja, ja yksi konferenssijulkaisu. Artikkeleissa käsiteltiin 3D-tulostusprosessia hyvin eri näkökulmista, joten osa tutkimuksista vastaa vain osaan tutkimuskysymyksistä. Valitut tutkimukset löytyvät Liitteestä 2. Liitteen taulukoissa on huomioitu tutkimusten sisällöt kokonaisuutena, eikä taulukon tiivistelmiä rajattu tutkimusongelmiin vastaamisen perusteella.

Taulukko 3. Tutkimusten sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Sisäänottokriteerit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suomalainen tai kansainvälinen tutkimus, joka vastaa yhteen tai useampaan tutkimuskysymyksistä.</li> <li>• Korkeintaan viisi vuotta vanha, tai päivitetty viiden vuoden sisään.</li> <li>• Suomen- tai englanninkielinen.</li> <li>• Kokoteksti saatavilla avoimesta tai Haaga-Helian Finna-verkosta ilman kustannuksia.</li> </ul>
Poissulkukriteerit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei käsittele 3D-tulostusta terveydenhuollon kontekstissa.</li> <li>• Rajautuu suppeasti johonkin terveydenhuollon osa-alueeseen tai pieneen sairaus- tai potilasryhmään.</li> <li>• Käsittelee 3D-tulostusta vain suunterveyden tai hammaslääketieteen kontekstissa.</li> <li>• Rajautuu vain johonkin tiettyyn 3D-tulostusprosessin teknologiaan.</li> </ul>

### 3.3 Tulokset tutkimuskysymyksittäin

Kirjallisuuskatsauksen aineiston analyysitapa määräytyy pitkälti katsauksen tyyppin mukaan, mutta sen tulee olla järjestelmällinen, looginen ja puolueeton uuden tiedon tuottamiseksi (Vilkkä 2023, luku 1.5). Tässä alaluvussa esitellään lyhyesti katsauksen tutkimukset ja vastataan niiden pohjalta opinnäytetyön tutkimuskysymyksen alaongelmiin. Luvussa 4 (Pohdinta) tarkastellaan näitä tuloksia kokonaisuutena ja muodostetaan synteesi, joka vastaa tutkimuksen päätutkimusongelmaan; Miten 3D-tulostusprosessi toteutuu terveydenhuollossa?

#### 3.3.1 Millainen on 3D-tulostuksen nykytila terveydenhuollossa?

**Sag, Li, Aman, Thor ja Brantnell (2024)** tarkastelivat artikkelissaan 3D-tulostuksen hyödyntämistä Ruotsin terveydenhuollossa. Tutkijoiden mukaan tutkimuksia, joissa olisi analysoitu 3D-tulostuksen todellista käyttöönottoa laajasta näkökulmasta, on toistaiseksi vähän. Aiemmat tutkimukset eivät ole kattaneet useita klinisiä erikoisaloja eivätkä tarkastelleet ilmiötä kansallisella tai alueellisella tasolla. Tutkimuksen mukaan yleisimpiä käyttökohteita olivat kirurginen suunnittelu sekä tulostetut anatomiset mallit, kuten hampaiston, luuston tai muiden yksittäisten kehonosien mallit. Näitä hyödynnettiin toimenpidesuunnittelun lisäksi koulutuksessa ja potilaskohtaamisissa. Muita käyttökohteita olivat muun muassa potilaskohtaiset implantit ja proteesit, hermovauriomallit, solute-rapia, kasvoproteesit ja purentasuojat. Yksi vastaajista kertoi organisaatiossaan kehitettävän 3D-tulostettuja yksilöllisiä lääkkeitä vaikeista syöpäsairauksista kärsiville lapsille, mutta toiminta oli vielä laboratoriovaiheessa. (Sag ym. 2024, 4, 6–7.)

**Slegersin ja muiden (2023)** tutkimuksessa tarkasteltiin yksilöllisesti valmistettujen 3D-tulostettujen apuvälineiden suunnittelua, valmistusta ja toimitusprosesseja Belgiassa, Italiassa ja Alankomaissa. Monet vammaiset henkilöt tarvitsevat apuvälineitä päivittäisissä toiminnoissaan. Usein käytössä ovat valmiit kaupalliset tuotteet, joiden yksilöllinen soveltuvuus ei aina ole optimaalinen. Mikäli

apuväline ei sovi käyttäjälleen, se voi jäädä kokonaan hyödyntämättä. 3D-tulostus mahdollistaa räätälöityjen ratkaisujen kehittämisen sekä asiakkaiden ja omaisten osallistamisen suunnitteluprosessiin. Tulostetut osat ovat usein kustannustehokkaita verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin ja materiaaleihin. Viime vuosina on valmistettu esimerkiksi personoituja implantteja, kuulokojeita, ortooseja ja proteeseja. Toimintaterapeuttisia mittatilausratkaisuja ovat muun muassa ateriimet, kahvat, pidikkeet, lastat ja sähköpyörätuolien ohjaimet. Massatuotantona voidaan puolestaan valmistaa apuvälineitä, jotka eivät ole riippuvaisia yksilöllisistä mitoista. (Slegers ym. 2023, luku 1.)

**Url ja kumppanit (2022)** esittelivät mallinnuksen ja simulaation käyttöä strategisen päätöksenteon tukena uusien teknologioiden soveltamisessa osana laajaa, kansainvälistä ja monitieteistä tutkimushanketta. He kehittivät simulaatiomallin, jonka tarkoituksena oli tukea lääketieteellisen 3D-tulostuskeskuksen toimintaan liittyvää strategista päätöksentekoa jo tutkimus- ja kehitysvaiheen alussa. Malli oli osa tutkimushanketta, jossa 3D-tulostusteknologiaa suunnitellaan ja arvioidaan potilaskohtaisten lääkinnällisten laitteiden valmistamiseksi hoitopisteessä.

**Reindersin (2021)** tutkimus käsitteli sokeille ja heikkonäköisille (*blind and low-vision people*, BLV) suunnattuja tuotteita ja ratkaisuja. BLV-henkilöillä on usein haasteita graafisen tiedon saavutettavuudessa, erityisesti liikkumiseen ja koulutukseen liittyvissä tilanteissa. Tuntoaistiin perustuvat kuvat ja mallit voivat parantaa tällaisen tiedon saavutettavuutta, ja erilaisia interaktiivisia 3D-tulostettuja ratkaisuja on jo olemassa, kuten pistekirjoituksella varustetut mallit. Pelkästään passiivisiin ääniselitteisiin tai staattisiin ratkaisuihin perustuvat mallit eivät kuitenkaan riittävästi tue BLV-henkilöiden itsenäistä tiedon rakentamista ja tulkintaa. Reindersin tutkimuksessa keskityttiinkin sellaisten 3D-tulostettujen mallien kehittämiseen, jotka tarjoavat osallistavamman käyttökokemuksen ja mahdollistavat aidon vuorovaikutuksen fyysisten tulosteiden kanssa. (Reinders 2021, 1–3.)

Tutkimuksessa keskustelupohjaiset käyttöliittymät oli integroitu käsin kosketeltaviin 3D-tulostettuihin objekteihin. Osallistajat korostivat itsenäistä hallintaa ja tulkintaa mallien kanssa toimiessaan ja suosivat ratkaisuja, joissa käyttäjä itse päättää, milloin ja miten tietoa haetaan. Tietoa haluttiin löytää ensisijaisesti tunnustelemalla mallia ja aktivoimalla sisältö tarkoituksellisesti. Aiemmat kokemukset, erityisesti kosketukseen perustuva tiedonhankinta sekä älypuhelimien ja digitaalisten palvelujen käyttö, vaikuttivat vuorovaikutustapojen valintaan. Monimutkaisempaa tietoa hankittiin usein esittämällä kysymyksiä mallille keskusteluagentin tavoin, kuten Siriä, Alexaa tai Google Assistantia käytettäessä. (Reinders 2021, 3–5.)

**Malikin, UI Haqin, Rainan ja Guptan (2022)** tutkimus ei käsitellyt 3D-tulostusta pelkästään terveydenhuollon kontekstissa, mutta sisälsi myös sen näkökulman. Artikkelitarkasteli teollisuus 4.0:n käyttöönottoa mahdollistavia tekijöitä, 3D-tulostuksen sovellusalueita, käyttöönoton esteitä sekä globaalia markkinatilannetta. 3D-tulostus on yksi teollisuus 4.0:n keskeisistä teknologioista, koska

se mahdollistaa digitaalisen suunnittelun muuntamisen suoraan fyysisiksi tuotteiksi ilman perinteisiä työkaluja tai muotteja. Yhdistettynä muihin teknologioihin se edistää reaaliaikaista tiedonhallintaa, automaatiota ja tuotantoketjujen integraatiota. Teknologisesti 3D-tulostus yhdistää informaatio-tekniikan, uudet materiaalit ja digitaalisen valmistuksen. Se toimii tiiviissä yhteydessä muun muassa robotiikkaan, lisättyyn todellisuuteen, pilvipohjaiseen valmistukseen ja esineiden internetiin. Tekniikan kehitys on vaikuttanut sekä taloudellisiin että yhteiskunnallisiin rakenteisiin ja muuttanut perinteisiä tuotannon ohjausmalleja. Terveystieteet ovat yksi merkittävimmistä sovellusalueista, ja alan markkinat kasvavat nopeasti. (Malik ym. 2022, 494–496.)

**Naghshinehin & Røstbakkenin (2026)** tutkimuksen tarkoituksena on selvittää resurssipohjaisen näkökulman avulla, mitä vaikutuksia 3D-tulostusprosessin käyttöönotolla on Norjan sairaaloiden toimitusketjuihin. Tuloksia voidaan hyödyntää etenkin arvioitaessa 3D-tulostuksen mahdollisuuksia ja haasteita sairaaloiden toimitusketjuissa, joskin yleistettävyyden varmistamiseksi tarvitaan lisätutkimusta muissa toimintaympäristöissä. Artikkelissa korostaan sitä, ettei 3D-tulostusprosessi ole pelkästään tuotantotekniikka, vaan myös strateginen muutos sairaalan toimitusketjun johtamisessa, yhdistäen kliinisen laadun, kustannustehokkuuden ja resilienssin. Tutkimuksessa käsiteltiin myös COVID-19-pandemian aikana ilmenneitä haasteita tarvikkeiden toimituksissa poikkeustilanteissa. Pandemian aikaiset häiriöt vaikuttivat laajasti myös arjen kulutustarvikkeisiin ja heikensivät potilasturvallisuutta, mikä korosti tarvetta kehittää joustavampia ja kestävämpiä toimitusketjuja sairaaloissa.

**Petterssonin ja muiden (2023)** kartoittavassa kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin lääketieteellisen 3D-tulostuksen oikeudellisia kysymyksiä. Tavoitteena oli jäsentää olemassa olevaa tutkimuskirjallisuutta ja tunnistaa tiedollisia aukkoja. Katsaukseen valikoitui 49 artikkelia, joista suurin osa käsiteli Yhdysvaltojen ja EU:n sääntely-ympäristöä. Tulokset osoittivat useita ratkaisemattomia oikeudellisia haasteita, kuten epäselvyyksiä yksilöllisten ja potilaskohtaisten laitteiden määrittelyssä, potilaskohtaisille tuotteille suunnatun erityissääntelyn puutetta sekä digitaalisten suunnittelu- ja mallinnustiedostojen oikeudellisen aseman epäselvyyttä.

Katsauksen perusteella suurin osa julkaisuista käsiteli ennakoivaa markkinasääntelyä, kun taas markkinoille saattamisen jälkeinen vastuu ja immateriaalioikeudet korostuivat erityisesti oikeustieteellisissä artikkeleissa. Keskeisiksi ratkaisemattomiksi kysymyksiksi nousivat suunnittelutiedostojen oikeudellinen asema tuotevastuun ja immateriaalioikeuksien näkökulmasta, sekä epäselvyydet siitä, kuka määrittää laitteen valmistajaksi hajautetussa tuotantoketjussa. Lisäksi kirjallisuudessa korostui terminologinen epäselvyys erityisesti räätälöityjen ja potilaskohtaisten laitteiden välillä. (Pettersson ym. 2023, 3.)

**Bernatoniene, Stabrauskiene, Jurga, Bernatonyte & Kopustinskiene (2025)** tarkastelivat tutkimuksessaan 3D-lääkätulostuksen mahdollisuuksia, haasteita ja hyötyjä osana tulevaisuuden yksilöllistä lääketiedettä. 3D-tulostus voi muuttaa lääkevalmistusprosesseja siirtämällä tuotantoa perinteisestä massavalmistuksesta kohti yksilöllistä tuotantoa. Biomusteet ovat erityisesti 3D-lääkätulostukseen kehitettyjä biomateriaalikoostumuksia, joiden tulee olla bioyhteensopivia ja tulostuskelpoisia, sekä pystyä kapseloimaan vaikuttavia lääkeaineita siten, että valmiste säilyttää stabiilisuutensa ja mahdollistaa hallitun lääkeaineen vapautumisen. Biomusteen ja tekoälypohjaisen optimoinnin yhdistäminen mahdollistaa lääkkeiden tarkan annostelun, säädeltävät vapautumisprofiilit sekä potilaskohtaiset monilääkeyhdistelmät.

### **3.3.2 Millaista hyötyä 3D-tulostuksella on terveydenhuollossa saatu?**

3D-tulostusteknologiaa hyödynnetään jo terveydenhuollossa laajasti eri erikoisaloilla, kuten sydän- ja verisuonikirurgiassa, neurokirurgiassa, ortopediassa, plastiikkakirurgiassa ja elinsiirroissa. Lisäksi sitä käytetään ihon, luun ja ruston kaltaisten kudosten valmistuksessa, lääke- ja syöpätutkimuksessa sekä testausmalleissa, mikä voi vähentää eläinkokeiden tarvetta ja parantaa tutkimustulosten tarkkuutta. Pandemiatilanteissa, kuten COVID-19-kriisin aikana, 3D-tulostus osoitti hyötynsä mahdollistamalla nopeasti tarvittavien lääkinnällisten laitteiden ja suojarahusteiden valmistuksen vähäisellä ihmistyövoimalla. (Malik ym. 2022, 501–502.) Myös Naghshineh & Røstbakken (2026, luvut 1 ja 2) kertoivat, kuinka COVID-19-pandemia osoitti sairaaloiden toimitusketjujen haavoittuvuuden, kun kysynnän kasvu ja logistiset pullonkaulat aiheuttivat vakavia tarvikkeiden puutteita. Tämä korosti tarvetta lisätä toimitusketjujen muutosjoustavuutta ja hyödyntää innovatiivisia teknologioita. 3D-tulostus tarjoaa mahdollisuuden vastata näihin haasteisiin tuottamalla osia ja välineitä paikallisesti tarpeen mukaan. Teknologia mahdollistaa tuotteiden nopean valmistuksen, usein alle vuorokaudessa, mikä vähentää riippuvuutta kansainvälisistä toimittajista, pitkistä toimitusajoista ja suurista varastoista. Pandemian aikana 3D-tulostus tarjosi osittain ratkaisun tarvikkeiden saatavuusongelmiin, mutta tuotantokapasiteetin ja materiaalien riittävyys rajoitti laajamittaista käyttöä.

Normaalioloissa 3D-tulostusta hyödynnetään sairaaloissa erityisesti räätälöityjen lääkinnällisten välineiden, kirurgisten työkalujen ja vaikeasti saatavien varaosien valmistukseen. Teknologia soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa osien saatavuus on heikko, toimitusajat pitkiä tai kustannukset korkeita. 3D-tulostus on laajentunut tietoisuuden ja kliinisen sekä teknisen henkilöstön yhteistyön lisääntyessä. Sitä käytetään muun muassa anatomisten mallien, potilaskohtaisten implanttien ja kirurgisten ohjainten valmistuksessa, mikä parantaa erikoiskirurgian toteutusta ja nopeuttaa reagointia hätätilanteissa. (Naghshineh & Røstbakken 2026, luku 4.)

Yhtenä merkittävimpänä tutkimustuloksena Sag ja kumppaneiden (2024, 4–7) katsauksessa 3D-tulostuksen koettiin lisänneen kirurgista tarkkuutta ja innovaatiota ja lisänneen resurssitehokkuutta

useimmissa käyttökohteissaan. Kirurgisen tarkkuuden paraneminen näkyi tutkimukseen vastanneiden mielestä erityisesti leikkausohjainten ja yksilöllisten työkalujen käytön kautta. Leikkausohjaimia hyödynnettiin useilla kliinisillä erikoisaloilla, kuten ortopediassa, suu- ja leukakirurgiassa, käsikirurgiassa ja hammaslääketieteessä. Lisäksi leikkausta edeltävän 3D-suunnittelun todettiin vähentävän leikkauskomplikaatioita. Eräällä kliinisellä alueella komplikaatioiden vähenemisen raportoitiin olevan jopa noin 50 prosenttia. Myös opetukselliset hyödyt korostuivat tutkimuksessa. 3D-suunnittelu ja -tulosteet tukivat kirurgien koulutusta, helpottivat toimenpiteiden hahmottamista ja mahdollistivat virtuaalisen harjoittelun. Lisäksi potilaiden kanssa käytävä kommunikaatio helpottui ja heidän ymmärryksensä tulevasta toimenpiteestä parani.

Resurssien parempi hyödyntäminen näkyi Ruotsin terveydenhuollossa etenkin ajankäytön tehostumisessa ja kustannusten alenemisessa. Resurssien tehostumisen myötä saman päivän aikana pystyttiin esimerkiksi toteuttamaan useampia leikkauksia kuin ilman 3D-tulosteiden apua. Pitkän aikavälin kustannussäästöjä koettiin tulevan esimerkiksi siitä, että hoito on tehokkaampaa ja onnistuneempaa, eikä toimenpiteitä näin tarvitse uusia yhtä usein kuin aiemmin. (Sag ym. 2024, 5.) Toisaalta Naghshinehin & Røstbakkenin (2026, luku 4) tutkimuksen mukaan, erityisesti sairaalaympäristössä 3D-tulostuksella kustannussäästöjä saavutetaan erityisesti yksilöllisissä ja pienivolyymisissä tuotteissa, kuten potilaskohtaisissa kirurgisissa malleissa. Paikallinen valmistus mahdollistaa hankintaprosessien yksinkertaistamisen ja vähentää toimituskatkosten riskiä, kun kriittisiä osia voidaan tuottaa omassa organisaatiossa tarpeen mukaan. Sen sijaan massatuotannossa ja standardeissa se ei ole aina kustannustehokas korkean laite- ja materiaalihinnan, jälkikäsitteilyn sekä laadunvarmistusvaatimusten vuoksi. Tutkijoiden mukaan 3D-tulostusprosessi täydentääkin perinteistä tuotantoa eikä korvaa sitä, ja sen taloudellinen hyöty riippuu vahvasti käyttökohteesta ja tuotantovolyymeista.

Yksilöllisten ratkaisujen merkitys korostuu erityisesti apuvälineiden valmistuksessa. 3D-tulostus mahdollistaa asiakkaan osallistumisen suunnitteluprosessiin, mikä parantaa apuvälineiden istuvuutta ja lisää käyttömotivaatiota. Paikallinen tuotanto on taloudellisesti kannattavaa ja tukee kestävästä kehitystä muun muassa vähentämällä kuljetustarvetta ja mahdollistamalla ympäristöystävällisten tai kierrätettyjen materiaalien käytön. Lisäksi apuvälineiden valmistajien keskuudessa on yleistynyt suunnittelutiedostojen jakaminen verkkopohjaisissa tietovarastoissa, kuten Thingiverse.com-sivustolla. Tämä mahdollistaa yhteistyön ilman fyysistä kontaktia sekä olemassa olevien suunnitelmien muokkaamisen uusiin käyttötarkoituksiin. (Slegers ym. 2023, luvut 1 ja 4.)

Lääketeollisuuden ja lääkkeitä potilaalle annostelevan yksikön näkökulmasta 3D-tulostus mahdollistaa uudella tavalla lääkkeiden valmistamisen tarpeen mukaan, mikä vähentää riippuvuutta suurimittaisesta tuotannosta ja varastoinnista. Teknologia mahdollistaa yksilöllisten lääkeannosten,

räätälöityjen lääkemuotojen ja lääkeyhdistelmien tuottamisen. Myös uusia lääkehoidon tehostamiskeinoja, kuten lääkkeiden monimutkaiset rakenteet ja kehittyneet lääkeaineen vapautumisprofiilit, kuten porrastettu lääkeaineen vapautuminen, tuovat perinteiseen valmistukseen verrattuna merkittävästi vaikuttavampaa lääkehoitoa. 3D-tulostus mahdollistaa kaksois- ja moniläaketablettien valmistamisen siten, että useat vaikuttavat aineet voidaan sijoittaa erillisiin lokeroihin samassa tablettissa. Tämä estää lääkeaineiden välisiä yhteisvaikutuksia ja yksinkertaistaa hoitoa vähentämällä tarvittavien tablettien määrää. Tekoäly tukee lääkevalmisteiden muotoilua, tulostettavuutta ja vapautumismekanismien optimointia, lisäten tarkkuutta ja tehokkuutta. Teknologialla on potentiaalia alentaa terveydenhuollon kokonaiskustannuksia, parantaa potilaiden hoitoon sitoutumista sekä edistää ympäristön kannalta kestävämpiä tuotantoratkaisuja. (Bernatoniene ym. 2025, luvut 1 ja 3.)

3D-tulostuksen hyödyt kytkeytyvät myös kestäväen kehityksen periaatteisiin. Se perustuu ympäristölliseen, taloudelliseen ja sosiaaliseen ulottuvuuteen, ja kestävä valmistus edellyttää huolellista suunnittelua koko tuotteen elinkaaren ajan. Prosessiin sisältyvät muun muassa uudelleensuunnittelu, uudelleenkäyttö, uudelleenvalmistus, talteenotto, kierrätys ja vähentäminen. 3D-tulostus tukee kestäväen kehityksen tavoitteita ja periaatteita vähentämällä materiaalihukkaa, lyhentämällä valmistusketjuja ja parantamalla energiatehokkuutta osana teollisuus 4.0-ajattelua. (Malik ym. 2022, 491.)

Teknologian kehittymisen myötä 3D-tulostuksen sovellusalueet ovat laajentuneet merkittävästi. Alun perin sitä hyödynnettiin erityisesti autoteollisuudessa, mutta nykyisin se on käytössä laajasti myös rakennus-, elintarvike-, lääketiede- ja elektroniikkateollisuudessa. Kehittyneet materiaalit mahdollistavat entistä tehokkaamman materiaalinkäytön ja pienemmän hukan valmistusprosessin aikana. Sosiaalisen kestävyuden näkökulmasta 3D-tulostus tukee toimitusketjujen uudelleenorganisointia ja paikallista tuotantoa, edistää kiertotalouden periaatteita ja vähentää ympäristökuormitusta. (Malik ym. 2022, 493–494, 497.)

Taloudellisen kestävyuden näkökulmasta 3D-tulostus lisää resurssitehokkuutta ja vähentää jätettä, mikä tukee kiertotalouden (*circular economy*) periaatteita. Tutkimusten mukaan teknologialla on merkittävä potentiaali edistää kiertotaloutta erityisesti materiaalien tehokkaamman käytön ja hajautetun, tarpeen mukaan tapahtuvan valmistuksen kautta. Ympäristön kannalta 3D-tulostus voi vähentää hiilidioksidipäästöjä, materiaalinkulutusta ja tuotannon aiheuttamaa saastumista verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin. Materiaalihukka voi tietyissä tulosteissa vähentyä jopa 90 %, mutta samalla on huomioitava, että energiankulutus voi olla korkeampi alhaisen tuottavuuden ja laitteistojen energiavaatimusten vuoksi. (Malik ym. 2022, 497–498.)

### 3.3.3 Mitä haasteita ja rajoitteita 3D-tulostuksen hyödyntämisessä on todettu?

Terveysthuollossa 3D-tulostukseen liittyy useita erityishaasteita verrattuna muihin teknologian aloihin. Näitä aiheuttavat muun muassa monimutkaiset diagnostiikka- ja hoitopolut, potilaskeskeytyksen vaatimus sekä yksilöllisesti räätälöityihin tuotteisiin liittyvät henkilökohtaiset ominaisuudet. Lisäksi kysynnän vaihtelu ja teknologian tuotantokapasiteetti vaikuttavat prosessin ennustettavuuteen. Tiukat hygieniavaatimukset, sertifioitujen bioyhteensopivien materiaalien rajallinen saatavuus sekä implanttien tarkkaan mittaamiseen ja suunnitteluun liittyvät haasteet voivat heikentää tuottavuutta ja laatua. Esimerkiksi vääränlainen materiaali tai puutteelliset ominaisuudet voivat pahimmillaan aiheuttaa hengenvaarallisia immuunireaktioita. (Url ym. 2022, luku 1.) 3D-tulostuksen käyttöönottoa sairaaloissa rajoittaa monitasoinen ja tiukka lääkinnällisten laitteiden sääntely. Erityisesti EU:n sääntelykehys, immateriaalioikeudet sekä dokumentointivaatimukset aiheuttavat merkittäviä hallinnollisia ja taloudellisia haasteita. (Naghshineh & Røstbakken 2026, luku 4.4.)

Laajamittaista käyttöönottoa 3D-tulostuksen käyttöönottoa niin terveydenhuollossa, kuin muillakin aloilla, rajoittavat myös materiaalien rajallinen valikoima, laitteistojen kokorajoitteet sekä osaamisvajae. Kaikkia perinteisessä valmistuksessa käytettäviä materiaaleja ei voida hyödyntää 3D-tulostuksessa, mikä voi johtaa kompromisseihin, lisäkustannuksiin ja uusien materiaalien kehitystarpeeseen. Syvälinen asiantuntemus on keskittynyt harvoille, eikä yhtenäistä tietopohjaa ole vielä muodostunut. Lisäksi tulostettavien osien on täytettävä tiukat laatu- ja käyttövaatimukset ennen laajamittaista tuotantoa, ja tuotteiden mekaanisten ominaisuuksien tutkiminen on keskeistä niiden soveltuvuuden arvioinnissa. (Malik ym. 2022, 496–500.) 3D-tulostusprosessin käyttöönotto voi tuoda myös uusia riskejä, kuten tulostusvirheet, laatuongelmat sekä riippuvuuden raaka-aineiden ja sähkön saatavuudesta. Teknologiaan ei voida tukeutua ilman varasuunnitelmia, ja sen hyödyntäminen edellyttää riittävää materiaalivarastoa, kapasiteettia ja luotettavaa energiainfrastruktuuria. 3D-tulostuksella voidaan merkittävästi lisätä muutosjoustavuutta ja toimitushäiriöiden ennakointia, mutta sen käyttöönotto on yhdistettävä huolelliseen riskienhallintaan ja varautumiseen. Lisäksi teknologian täysimääräinen hyödyntäminen edellyttää organisaatiossa osaamisen kehittämistä, tietoisuuden lisäämistä sekä tiivistä yhteistyötä klinisen ja teknisen henkilöstön välillä. (Naghshineh & Røstbakken 2026, luvut 4.5 ja 5.1.)

Haasteita liittyy myös laadunhallintaan ja ohjelmistoihin. Standardisointia ja yhtenäisiä laadunvalvontakäytäntöjä on vielä rajallisesti, mikä hidastaa teknologian integroitumista teollisuus 4.0-ympäristöihin. 3D-mallinnusohjelmistojen rajoitteet vaikeuttavat monimutkaisten rakenteiden ja monimateriaaliratkaisujen täysimääräistä hyödyntämistä. Lisäksi 3D-tulostetun tuotteen laatu riippuu useista eri tekijöistä, minkä vuoksi prosessi edellyttää monitieteistä osaamista. Laadunhallinnan

merkitys onkin korostunut, jotta toiminnalliseen käyttöön valmistetut tuotteet täyttävät luotettavuusvaatimukset. (Malik ym. 2022, 492, 500.)

Ympäristöhaasteet liittyvät erityisesti resurssien käyttöön, energiankulutukseen, jätteeseen ja päästöihin. Tietyissä menetelmissä vapautuu haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, nanopartikkeleita ja pienhiukkasia, joilla voi olla haitallisia vaikutuksia terveyteen ja ilmanlaatuun. Näiden vaikutusten hallinta edellyttää teknologian kehittämistä, päästöjen vähentämistä ja riittävää ilmanvaihtoa tulos-  
tustiloissa ennen kestäväää integraatiota teollisuus 4.0-ympäristöön. (Malik ym. 2022, 500.) Myös Sag ja muut (2024, 6) totesivat, ettei riittävän suuria ja asianmukaisesti varusteltuja tiloja, esimerkiksi tulostuskaasujen käsittelyyn, ollut aina mahdollista saada.

Myös organisaatiotason esteet voivat olla merkittäviä. Ruotsin perusterveydenhuollossa käyttöön-  
ottoa rajoittivat korkeat kustannukset, keskitettyjen päätösten puute sekä virallisen strategian puut-  
tuminen. Usein 3D-tulostusta edistivät yksittäiset asiasta kiinnostuneet lääkärit, mutta päätöksen-  
teko tapahtui eri organisaatiotasoilla, mikä hidasti etenemistä. Yhteisten sääntöjen ja selkeiden  
määräysten puute koettiin esteeksi, kun taas varsinaiset teknologiset haasteet olivat harvinaisem-  
pia. Tulostimet, niihin liittyvät komponentit sekä kalliit materiaalit, kuten metallit, mainittiin konkreet-  
tisina kustannusesteinä. (Sag ym. 2024, 6–8.)

Sairaaloiden tulisi kohdentaa 3D-tulostus erityisesti ongelmallisiin osiin, kuten harvinaisiin, poistu-  
neisiin, kalliisiin tai pienivolyymisiin tuotteisiin, jotta teknologian investointihyöty maksimoituu.  
Kaikki tuotteet tai niiden osat eivät sovellu taloudellisesti 3D-tulostuksella tuotettaviksi, joten sovel-  
tuvuutta on arvioitava muun muassa säilyvyyden, valmistusmäärien ja kustannusten perusteella  
(Naghshineh & Røstbakken 2026, luku 5.1.) Lääketulostuksessa laajamittainen käyttöönotto edel-  
lyttää selkeitä sääntelylinjauksia, laadunvarmistusta ja terveydenhuollon ammattilaisten sitoutu-  
mista. Sääntelyä on edelleen kehitettävä potilasturvallisuuden varmistamiseksi. Lisäksi yksilölliset  
lääkevalmisteet voivat edellyttää erillisiä hyväksyntäprosesseja, mikä lisää kustannuksia ja vie ai-  
kaa. (Bernatoniene ym. 2025, luvut 1 ja 2.)

Tulostettavien osien on täytettävä tiukat laatu- ja käyttövaatimukset ennen laajamittaista tuotantoa.  
3D-tulostus kehittyy jatkuvasti ja uusia materiaaleja otetaan käyttöön markkinoiden tarpeisiin vas-  
taamiseksi, mutta materiaalivalikoima on edelleen rajallinen verrattuna perinteiseen valmistukseen.  
Tulostettujen tuotteiden mekaanisten ominaisuuksien tutkiminen on keskeistä niiden käyttökohtei-  
den ja suorituskyvyn arvioimiseksi. (Malik ym. 2022, 496–497.) Myös lääkevalmistuksessa 3D-tu-  
lostukseen soveltuvien apuaineiden ja materiaalien valikoima on toistaiseksi rajallinen, ja tuottei-  
den laatuun vaikuttavat monet tekniset tekijät, kuten tulostusparametrit, ominaisuudet ja jälkikäsit-  
tely (Bernatoniene ym. 2025, luku 3).

Apuvälineiden valmistuksessa haasteet liittyivät erityisesti prosessin monivaiheisuuteen ja osaamisvaatimuksiin. Prosessi sisältää tarpeen arvioinnin, soveltuvuuden tarkastelun, mittaamisen perinteisin tai 3D-skannausmenetelmin sekä varsinaisen mallinnuksen, jonka tekee usein insinööri tai muu asiantuntija. Mallia arvioidaan yhdessä asiakkaan ja ammattilaisten kanssa ennen tulostusta. Toimintaterapeutit pitivät suunnitteluvaihetta suurimpana haasteena ja korostivat tiiviin moniammatillisen yhteistyön merkitystä. Riittävän spesifin osaamisen puute tai resurssien liiallinen käyttö suunnitteluun voivat muodostua esteiksi. Toisaalta, jos potilaan tunteva ammattilainen ei osallistu riittävästi, riskinä on heikkolaatuinen tai sopimaton tuote. (Slegers ym. 2023, luvut 1–3.)

Sääntely-ympäristö muodostaa keskeisen esteen 3D-tulostuksen laajalle käyttöönotolle. EU:n lääkinnällisiä laitteita koskevan asetuksen (MDR) koettiin monimutkaistavan prosesseja ja lisäävän hallinnollista kuormaa. (Sag ym. 2024, 7–8.) Toisaalta myös tulosteen käyttötarkoitus vaikuttaa suoraan sääntelyvaatimuksiin ja oikeudellisiin velvoitteisiin (Naghshineh & Røstbakken 2026, luku 5.1). Slegersin ja muiden (2023, luku 3) mukaan MDR:n edellyttämä yksityiskohtainen dokumentointi on aikaa vievää ja vaikeasti toteutettavaa. Eurooppalainen sääntely sallii yksilöllisesti valmistettujen apuvälineiden toimittamisen toimintaterapeuttien toimesta vain, jos sopivia kaupallisia vaihtoehtoja ei ole saatavilla. Huomioitavaa tosin on, että mikäli asiakas itse tulostaa itselleen apuvälineen ilman terveydenhuollon ammattilaisen suoraa osallistumista, ei häneen sovelleta lääkintälaitteasetusta.

Immateriaalioikeudelliset kysymykset muodostavat merkittävän oikeudellisen haasteen lääketieteellisessä 3D-tulostuksessa, erityisesti suunnittelu- ja mallintamistiedostojen aseman osalta. Nämä tiedostot ovat keskeinen osa tulostusprosessia ja usein arvokkain resurssi, mutta niiden oikeudellinen suoja tekijänoikeuden, patentin, mallisuojan tai tavaramerkin perusteella on edelleen epäselvä. Tuotevastuulainsäädäntö muodostaa keskeisen oikeudellisen kehyksen lääketieteelliselle 3D-tulostukselle ennakkomarkkinasääntelyn lisäksi. EU:ssa vastuu perustuu tuotevastuudirektiiviin, jossa vahingosta kärsivän on näytettävä toteen tuotteen virhe, vahinko ja niiden välinen syy-yhteys. Hajautetut ja monimutkaiset 3D-tulostuksen tuotantoketjut vaikeuttavat kuitenkin vastuullisen toimijan määrittelyä. (Pettersson ym. 2023, 5.)

Tietosuojan nousi Petterssonin ja muiden (2023, 6) katsauksen mukaan kirjallisuudessa yllättävän vähäisesti käsitellyksi teemaksi, vaikka yksilöllistetut 3D-tulostetut lääkinnälliset tuotteet perustuvat arkaluonteiseen potilasdataan kuten terveystietoihin. Aineiston perusteella henkilötietojen suojaaminen, suunnittelu- ja mallinnustiedostojen jakamiskäytännöt sekä biometrisen datan mahdollinen väärinkäyttö muodostavat merkittäviä, mutta toistaiseksi vähän tutkittuja oikeudellisia riskejä. Tulokset korostivatkin tarvetta noudattaa tarkemmin tietosuojasääntelyä, kuten GDPR:ää, sekä kehittää turvallisia sairaalaympäristöön soveltuvia 3D-tulostuksen työnkuluja.

## 4 Pohdinta

Tässä opinnäytetyön viimeisessä luvussa tarkastellaan tutkimuksen keskeisiä tuloksia ja niiden merkitystä suhteessa tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin. Erityisesti pohditaan päätutkimusongelmaa, eli sitä, miten 3D-tulostus toteutuu nykypäivänä terveydenhuollossa ja millaisia johtopäätöksiä kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan tehdä. Lisäksi luvussa arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta, eettisyyttä ja saavutettavuutta kirjallisuuskatsauksen luonteen ja toteutustavan näkökulmasta. Lopuksi pohditaan opinnäytetyöprosessia ja omaa oppimista, erityisesti tiedonhankinnan, tutkimusmenetelmien ja 3D-tulostukseen liittyvän kokonaisymmärryksen kehittymisen osalta.

### 4.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Kirjallisuuskatsauksen tulokset osoittavat, että 3D-tulostusprosessi terveydenhuollossa on siirtynyt kokeiluvaiheesta kohti vakiintuvampaa, mutta edelleen kehittyvää toimintamallia. 3D-tulostusta hyödynnetään jo monipuolisesti eri kliinisillä erikoisaloilla, mutta käyttöönoton laajuus ja valmiudet siihen vaihtelevat merkittävästi organisaatioittain ja maittain. Teknologiaa hyödynnetään erityisesti kirurgisessa suunnittelussa, anatomisissa malleissa, potilaskohtaisissa implanteissa ja ohjaimissa sekä erilaisissa apuvälineissä. Tulokset vahvistavat, että 3D-tulostuksen keskeinen lisäarvo syntyy yksilöidyistä ratkaisuista, prosessin nopeudesta ja mahdollisuudesta siirtää osa tuotannosta lähemmäs hoitopistettä. 3D-tulostusprosessiin sisältyy monivaiheinen työnkulku, joka muodostuu suunnittelusta, mallinnuksesta, valmistelusta, varsinaisesta tulostuksesta, jälkikäsitteystä, laadunvarmistuksesta sekä sääntelyn huomioimisesta. 3D-tulostusprosessi on moniammatillinen ja toteutusympäristöönsä vahvasti kytkeytyvä kokonaisuus.

Nykytilaa tarkasteltaessa voidaan todeta, että 3D-tulostusta käytetään laajasti eri kliinisillä erikoisaloilla, mutta käyttöönotto on usein hajanaista ja riippuvaista yksittäisten yksiköiden ja ammattihenkilöiden osaamisesta ja resursseista. Teknologian hyödyntäminen vaihtelee maittain ja organisaatioittain, eikä yhtenäisiä toimintamalleja ole vielä useinkaan vakiintunut. Tulosten perusteella 3D-tulostuksen käyttöönotto ei ole ainoastaan tekninen investointi, vaan strateginen päätös, joka vaikuttaa muun muassa organisaation osaamisrakenteeseen, toimitusketjuihin ja riskienhallintaan. Teknologian hyödyntäminen edellyttää johdon ja päättävän tahon sitoutumista, selkeitä vastuunjakoa sekä prosessien standardointia. Ilman strategista ohjausta 3D-tulostus voi jäädä yksittäisten toimijoiden varaan, jolloin sen potentiaali organisaatiotasolla jää vajaaksi.

Esimerkiksi Ruotsin terveydenhuollossa käyttöönottoa edistivät usein yksittäiset klinikot, kun taas organisaatiotason strategiat puuttuivat (Sag ym. 2024). Erityisesti potilaskohtaiset ratkaisut, kuten implantit ja kirurgiset ohjaimet, näyttäytyvät alueina, joissa 3D-tulostus tarjoaa selkeää kliinistä hyötyä. Samalla oikeudelliset ja sääntelyyn liittyvät kysymykset, kuten MDR-asetuksen

soveltaminen, valmistajavastuun määrittely ja digitaalisten suunnittelutiedostojen asema, muodostavat merkittäviä epäselvyyksiä, jotka hidastavat laajempaa käyttöönottoa.

Hyötyjen näkökulmasta keskeisiä teemoja ovat kirurgisen tarkkuuden parantuminen, leikkausaikojen lyhentäminen, potilasturvallisuuden vahvistuminen sekä toimitusketjujen joustavuuden lisääntyminen. Anatomiset mallit ja leikkausohjaimet tukevat toimenpiteiden ennakkosuunnittelua ja vähentävät intraoperatiivista epävarmuutta. Lisäksi 3D-tulostus mahdollistaa harvinaisten, kalliiden tai vaikeasti saatavien osien valmistamisen paikallisesti, mikä voi pienentää riippuvuutta kansainvälisistä toimitusketjuista. COVID-19-pandemia toimi konkreettisena esimerkkinä tilanteesta, jossa hajautettu ja nopea valmistuskyky osoittautui arvokkaaksi. Samalla kuitenkin havaittiin, että valmistuskapasiteetti, materiaalien saatavuus ja osaaminen rajoittivat mahdollisuutta vastata laajamittaiseen kysyntään.

Haasteiden osalta kirjallisuuskatsaus osoittaa, että 3D-tulostusprosessin kriittisiä tekijöitä ovat osaaminen, laadunvarmistus, kustannustehokkuus ja sääntelyn noudattaminen. Suunnittelu ja mallinnus voivat olla aikaa vieviä, ja materiaalien ominaisuudet eivät aina vastaa esimerkiksi biologisten kudosten mekaanisia tai kuvantamiseen liittyviä vaatimuksia. Lisäksi tulostusprosessiin liittyvät hiukkaspäästöt ja työterveydelliset näkökulmat on huomioitava. Oikeudellinen epäselvyys erityisesti potilaskohtaisten laitteiden ja digitaalisten mallien osalta korostaa tarvetta selkeille ohjeistuksille ja yhtenäisille toimintamalleille, niin kansainvälisesti, kansallisesti kuin organisaatiokohtaisestikin.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että 3D-tulostusprosessi toteutuu terveydenhuollossa vaiheittaisena, moniammatillisena ja säädeltynä kokonaisuutena, jossa teknologia integroidaan osaksi kliinistä päätöksentekoa ja hoitoketjuja. Sen suurin potentiaali liittyy yksilöllistettyyn hoitoon, toimitusketjujen systematisointiin sekä digitaalisen suunnittelun ja fyysisen valmistuksen yhdistämiseen. 3D-tulostus ei korvaa perinteisiä valmistusmenetelmiä, vaan täydentää niitä erityisesti tilanteissa, joissa yksilöllisyys, nopeus ja joustavuus ovat kriittisiä. 3D-tulostuksen prosessi terveydenhuollossa ei näyttäytyä yksittäisenä teknologisenä innovaationa, vaan myös organisatorisena muutoksena, joka edellyttää teknisen, juridisen ja kliinisen osaamisen yhdistämistä.

## **4.2 Luotettavuus, eettisyys ja saavutettavuus**

Kirjallisuuskatsauksen luotettavuus perustuu pitkälti siihen, että aineisto on validia. Vaikka kuvailevan kirjallisuuskatsauksen aineistonvalinnan säännöt ovat melko väljiä, pyrittiin lähdemateriaaliksi tuki valitsemaan luotettavia ja tarkoituksenmukaisia tutkimuksia. Katsaukseen valikoitui seitsemän vertaisarvioitua tutkimusartikkelia sekä yksi konferenssijulkaisu. Tämä otanta muodostaa määrällisesti rajatun mutta sisällöltään monipuolisen kokonaisuuden. Lähteet edustivat useita eri maita ja

terveydenhuollon erikoisaloja, mikä vahvisti tulosten yleistettävyyttä kansainvälisestä näkökulmasta. Aineiston rajallisuus vaikuttaa kuitenkin tutkimusongelmaan vastaamiseen, etenkin kun 3D-tulostus terveydenhuollossa on nopeasti kehittyvä ja vielä osittain vakiintumaton tutkimusalue.

Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa katsaukseen voi sisältyä tekijän julkilausumattomia havain- toja ja ennakkoluuloja. Lisäksi katsausaineisto rajoittuu usein kirjallisuuteen, joka on helposti löy- dettävässä ja hyvin viitattu. (Vilkkä 2023, luku 1.1.3.) Kirjallisuuskatsauksen hakuprosessi, valinta- kriteerit ja poissulkusyyt kuvattiin läpinäkyvästi, mikä mahdollistaa katsauksen toistettavuuden. Toi- saalta kuitenkin käytettyjen hakusanojen ja tietokantojen rajaukset vaikuttavat siihen, millaisia tutki- muksia oli mahdollista löytää. Samoin tutkijan omat mielenkiinnon kohteet ovat voineet vaikuttaa tutkimusten valintaan, ilman että tutkija on tätä edes tiedostanut. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen metodin sallimana tutkimuksen tekijä pyrki valitsemaan tutkimusartikkelit mahdollisimman moni- puolisesti aiheen ja siitä saatavan tiedon selvittämiseksi. Näin ollen yksittäisen tutkimuksen tulok- sille ei saatu aina vahvistusta toisista tutkimuksista, mikä heikentää kirjallisuuskatsauksen reliabili- teettia.

Myös yksittäisissä tutkimusartikkeleissa tutkijat arvioivat oman tutkimuksensa luotettavuutta ja vali- diteettia, ja olivat huomanneet siinä heikkouksia. Esimerkiksi Sagin ja muiden (2024) tutkimuk- sessa haastateltiin osallistujia eri koulutustaustoilla, työkokemuksilla ja rooleilla. Lisäksi osa haas- tatteluista toteutettiin ryhmähaastatteluna, kun taas osaa vastaajista haastateltiin yksilöhaastatte- luna kahdesti. Naghshinehin & Røstbakkenin (2026) tutkimuksen reliabiliteetin heikentäjäksi he ko- kivat muun muassa kontekstisidonnaisuuden vain kahteen norjalaiseen sairaalaan ja rajallisen otoskoon haastatteluissa.

Eettisyyden näkökulmasta kuvaileva kirjallisuuskatsausmenetelmä on vähäriskinen, eikä se sisällä esimerkiksi henkilötietoja tai yksittäisen organisaation toimintaan liittyvää toimintaa. Eettinen tar- kastelu keskittyykin tässä työssä etenkin lähteiden asianmukaiseen käyttöön, tutkimusten oikeaan tulkintaan ja siihen, ettei liian laajoja johtopäätöksiä tehdä suht suppeasta aineistosta. Kaikkia läh- teitä käsiteltiin niiden alkuperäisessä kontekstissa, ja tulosten raportoinnissa pyrittiin neutraaliin esitystapaan. Läpi kehittämistyön on lähdeviitteiden merkintä tehty tarkasti alkuperäislähteitä kun- nioittaen, ja opinnäytetyön tekijän omat näkemykset esitetty selkeästi erillään viitatusa aineistosta.

Saavutettavuudella tarkoitetaan digitaalisessa maailmassa muun muassa verkkosivujen, sovellus- ten ja dokumenttien esteettömyyttä. Saavutettavuuden keskeisin periaate on, että kaikkien ihmis- ten on helppo käyttää digitaalisia palveluja. Keskeisimpiä keinoja periaatteen toteutumiselle ovat tekninen toteutus, helppokäyttöisyys ja sisällön selkeys ja ymmärrettävyys. (Saavutettavuusvaati- mukset 2025.) Saavutettavuuden osalta työssä pyrittiin selkeään rakenteeseen, loogiseen etene- miseen ja ymmärrettävään kieleen. 3D-tulostusprosessin tekniset käsitteet pyrittiin avaamaan

lukijalle ilman tarpeetonta erikoissanastoa, jotta työ olisi hyödynnettävissä myös niille, joilla ei ole teknistä taustaa. Visuaaliset kaaviot ja prosessikuvaukset olisivat voineet selkeyttää työtä, mutta niitä ei nyt kirjallisuuskatsausmetodia käyttäessä nähty keskeisiksi.

Kananen & Puolitaival (2019, 37–38) mukaan tekoälyn käsite voi olla harhaanjohtava, sillä se ei itsessään ole älykäs, ei pysty ymmärtämään eikä ajattelemaan tekemäänsä, eikä ymmärrä syy-seuraussuhteita. Rajatun, tarkasti määritellyn aihealueen tehtävistä se kuitenkin suoriutuu usein moninkertaisesti nopeammin ja tarkemmin kuin ihminen. Tekoäly onkin vahvimmillaan esimerkiksi asioiden järjestämiseen ja suurien datamassojen käsittelyyn liittyvissä tehtävissä. Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin ChatGPT ja Copilot-tekoälysovelluksia ideoinnissa, tekstin ulkoasun muokkaamisessa ja jäsentämisessä, sekä vieraskielisten tekstien suomentamisessa. Tekoälyä ei käytetty tiedonhankintaan, eikä ideointia lukuun ottamatta tekstin luomiseen. Mitään tekoälyn tuottamaa tekstiä ei sellaisenaan siirretty opinnäytetyöhön. Niin tutkimuksessa kuin koko opinnäytetyössä tekoälyn käyttö oli eettistä ja vastuullista, eikä sen käyttötapa työssä mahdollistanut sen synnyttämiä asiavirheitä, mahdollisia käännösvirheitä lukuun ottamatta.

Vieraskielisten lähteiden käyttöön sisältyy niin opinnäytetyön tekijän oman kielitaidon, sanakirjojen käytön, kuin tekoälynkin avustuksen kanssa virheiden ja väärinymmärrysten mahdollisuus. Lisäksi 3D-tulostusta käsittelevät lähdeaineistot sisälsivät usein muun muassa teknologiaan painottuvaa alakohtaista terminologiaa, jota kirjoittajan oli paikoin haastavaa tulkita. Mikäli jokin aihepiiriin liittyvä asia jäi kieli- tai muista syistä epäselväksi vielä eri käännöstyökalujen tai muun selvitystyön jälkeen, jätettiin se misinformaation välttämiseksi pois työstä. Koska tutkimuksen tarkoituksen oli saada yleiskuvaa tutkittavasta aiheesta, ei tätä rajaamista kuitenkaan nähty merkittävästi tutkimuksen luotettavuutta heikentävänä tekijänä.

Kokonaisuutena katsauksen luotettavuus, eettisyys ja saavutettavuus toteutuivat opinnäytetyön tekijän mielestä kiitettävästi. Kirjallisuuskatsaukseen valitun aineiston rajallisuus, tutkimuskysymysten laajuus ja tutkimuskentän kehittyvä luonne muodostavat luonnollisia rajoitteita, mutta ne on huomioitu tulosten tulkinnassa ja johtopäätöksissä. Opinnäytetyö muodostaa moniaiheisen ja perustellun kokonaiskuvan 3D-tulostusprosessin hyödyntämisestä terveydenhuollossa tämänhetkisen tutkimustiedon valossa.

### **4.3 Jatkokehitysideat**

Tulevaisuuden tutkimustarpeet kohdistuvat erityisesti 3D-tulostuksen energiatehokkuuteen, kestävyteen sekä sen käyttöönottoon laajemmassa mittakaavassa. Energiankulutuksen optimointi, uusiutuvan energian hyödyntäminen sekä terveys- ja ympäristövaikutukset, kuten metallijauhe- ja nanopartikkelipäästöt, edellyttävät lisätutkimusta. Organisatorisella tasolla keskeisiä kehityskohteita

ovat johtaminen, osaamisen vahvistaminen, ohjelmistotuki ja prosessien hybridimallit, kun taas teknologisesti painopisteitä ovat vähäpäästöiset materiaalit, kierrätettävyys ja uudelleentulo. (Malik ym. 2022, 503–504.)

Lisäksi tarvitaan tutkimusta 3D-tulostuksen käyttöönotosta eri kliinisillä erikoisaloilla sekä myös eibiotieteellisillä terveydenhuollon toiminnan alueilla, kuten sairaaloiden logistiikassa, taloushallinnossa ja tietojärjestelmäkehityksessä. Päättäjille tulisi kehittää selkeää ohjeistusta ja strategioita teknologian hallittuun käyttöönottoon, sillä investointikustannukset ovat merkittäviä. (Sag ym. 2024, 9.) Selvityksiä vaatii myös avoimen suunnittelun hyödyntäminen siten, että samalla noudatetaan kansallisia ja kansainvälisiä sääntelyvaatimuksia ja turvataan suunnittelijoiden immateriaalioikeudet. Sääntely-ympäristöjen erot, etenkin Euroopan ulkopuolella, sekä mahdollisuudet hyödyntää paikallista ja kierrätettyä materiaalia erityisesti kehittyvissä talouksissa vaativat lisäselvitystä. Myös avoimen suunnittelun, tietokantojen hyödyntämisen ja immateriaalioikeuksien yhteensovittaminen sääntelyvaatimusten kanssa on keskeinen tulevaisuuden tutkimushaaste. (Slegers, luku 4.)

Tutkimuksia ja muuta kirjallisuutta 3D-tulostusprosessista löytyi jopa yllättävän laajasti. Osa selatuista viitteistä käsitteli sitä muiden alojen kannalta, osa vain terveydenhuollon kontekstissa, ja osa sisällytti terveydenhuollon näkökulman tutkimukseen. Lähdeviitteiden ja tiivistelmien perusteella terveydenhuoltoa käsittelevä kirjallisuus, ja itse 3D-tulostusprosessien käyttö keskittyy kuitenkin etenkin erikoissairaanhoidon, hammaslääketieteeseen ja apuvälinevalmistukseen, sekä kehittyvässä määrin lääkevalmistukseen. Perusterveydenhuollon, kuten terveysasemien ja lääkärikeskusten, osin tutkimuksia ei juuri löytynyt. Tutkijan näkökulmasta olisikin mielenkiintoista tutkia 3D-tulostuksen potentiaalia näissä. Suomessa terveysasema on useimmiten potilaan ensimmäinen kontakti terveydenhuoltoon, joten tutkimustieto sen hoidon tehostamisesta ja mahdollisista taloudellisista vaikutuksista 3D-tulostuksen avulla olisi hyödyllistä niin yksilön kun yhteiskunnan näkökulmista.

#### **4.4 Oman oppimisen pohdinta**

Opinnäytetyön lopullinen aihe ja tutkimusmenetelmä valikoituivat sujuvasti ensimmäisellä ohjaustunnilla, vaikka aiemmin opiskelija oli jo pohtinut laajalti erilaisia terveydenhuollon digitaalisiin järjestelmiin liittyviä aiheita. Kirjallisuuskatsaus näyttäytyi tarkoituksenmukaisena tapana yhdistää tietojenkäsittelyn ja terveydenhuollon näkökulmat ilman juridisia tai sidosryhmäkohtaisia rajoitteita. Menetelmä mahdollisti 3D-tulostusprosessin nykytilan tarkastelun laaja-alaisesti, mikä on hyödyllistä niin kirjoittajan kuin lukijan näkökulmasta.

Keskeisenä tavoitteena opinnäytetyössä oli yhdistää tekijän aiempi sosiaali- ja terveysalan työkokemus tietojenkäsittelyn tradenomiopintoihin. Vaikka 3D-tulostusprosessi ei ollut tullut työelämässä

mitenkään tutuksi, terveysalan käytännön tuntemus auttoi hahmottamaan teknologian sovelluskoh- teita ja merkitystä. Vastaavasti teknologian ja digitaalisten ratkaisujen ymmärtäminen syveni, kun niitä pystyi peilaamaan tuttuun soite-ympäristöön. Työ vahvisti ammatillista identiteettiä kahden alan rajapinnassa ja lisäsi valmiuksia tarkastella terveydenhuollon kehittämistä teknologia- lähtöisesti.

Suurimpana haasteena työssä oli se, että 3D-tulostusteknologia oli opinnäytetyön tekijälle kaik- kinsa entuudestaan varsin vieras aihe. Tämä edellytti laajaa teoreettisen taustatiedon omak- susta ja monipuolista lähdekriittistä kirjallisuuden tutkimista. Erityisesti tulosten synteesi osoittautui vaativaksi, koska tutkimukset käsittelivät 3D-tulostusta eri näkökulmista ja osassa aineistoa vas- taukset tutkimuskysymyksiin olivat niukkoja. Prosessi kuitenkin kehitti analyyttistä ajattelua, tiedon- hakutaitoja ja kykyä jäsentää hajanaista tutkimustietoa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Kokonaisu- tena opinnäytetyö voidaan nähdä onnistuneena oppimisprosessina, joka syvensi sekä teknologista että terveydenhuollollista osaamista ja vahvisti valmiuksia toimia tulevaisuudessa digitaalisten rat- kaisujen kehittämisen parissa.

## Lähteet

Asikainen, A. & Pöysti, T. 12.6.2024. HUS-blogi: 3D-tulostaminen yksilöllisten lääkinällisten laitteiden valmistusmenetelmänä. Terveysteknologia ry. Luettavissa: <https://teknologiateollisuus.fi/healthtech/hus-blogi-3d-tulostaminen-yksilollisen-laakinnallisten-laitteiden-valmistusmenetelmana/>. Luettu: 18.10.2025.

Barnes, C., Dye, N., O'Connor, C. & Hammond, D. 2025. Reducing particulate emissions from 3D printers using low-cost enclosures and engineering controls. Tutkimusartikkeli 26.11.2025. Rapid Prototyping Journal (EarlyCite).

Bernatoniene, J., Stabrauskiene, J., Jurga, A. K., Bernatonyte, U., & Kopustinskiene, D. M. 2025. The future of medicine: How 3D printing is transforming pharmaceuticals. *Pharmaceutics*, 17(3), 390.

Bigrep s.a. What is additive manufacturing? Luettavissa: <https://bigrep.com/additive-manufacturing/>. Luettu: 1.2.2026.

Carvalho, D., Rocha, T., Oliveira, J., Paredes, H. & Martins, P. 2024. 3D printing to address pandemic challenges: A project-based learning methodology. Konferenssijulkaisu. 11th International conference on software development and technologies for enhancing accessibility and fighting info-exclusion (DSAI 2024), Abu Dhabi, Arabiemiraatit, s. 296–300.

Dubinsky, L. 2025. Hospitals turn to 3D printing to cut OR time and attract talent. *Modern Healthcare*, 55, 7, s. 22.

Epicor 3.12.2018. What is Industry 4.0- the Industrial Internet of Things (IIoT)? Verkkosivujen blogi. Luettavissa: <https://www.epicor.com/en/blog/technology-and-data/what-is-industry-4-0/>. Luettu: 1.2.2026.

EU-terveydenhoito.fi 2025. Terveystuoltojärjestelmä Suomessa. Luettavissa: <https://www.eu-terveydenhoito.fi/hoitoon-ulkomailta-suomeen/terveydenhuoltojarjestelma-suomessa/>. Luettu: 1.11.2025.

Fimea s.a. Lääkinälliset laitteet. Luettavissa: [https://fimea.fi/laakinnalliset\\_laitteet](https://fimea.fi/laakinnalliset_laitteet). Luettu: 15.12.2025.

Fimea 22.10.2025. Terveystuollon yksikön oma laitevalmistus on mahdollista sääntelyn mukaisilla ehdoilla. Verkkosivujen uutinen. Luettavissa: <https://fimea.fi/-/terveydenhuollon-yksikon-oma-laittevalmistus-on-mahdollista-saantelyn-mukaisilla-ehdoilla>. Luettu: 15.1.2026.

Haaga-Helia ammattikorkeakoulu 2024. Raportointiohje pitkille raporteille ja opinnäytetyölle. Luettavissa: [https://mediapankki.haaga-helia.fi/sharing/file/72881ab8bb7254f3/Raportointiohje\\_pitkille\\_raporteille\\_ja\\_opinnaytetoille.pdf](https://mediapankki.haaga-helia.fi/sharing/file/72881ab8bb7254f3/Raportointiohje_pitkille_raporteille_ja_opinnaytetoille.pdf). Luettu: 1.9.2025.

Haghnegahdar, L., Joshi, S.S. & Dahotre, N.B. 2022. From IoT-based cloud manufacturing approach to intelligent additive manufacturing: industrial Internet of Things - an overview. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 3/4, s. 1461–1478.

Hakala, J. 2018. Toimivan tutkimusmenetelmän löytäminen. Teoksessa Valli, R. (toim.). Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. Metodien valinta ja aineistonkeruu: vinkkejä aloittelevalle tutkijalle. 5. uudistettu painos. PS-kustannus. Jyväskylä. E-kirja. Luettu: 13.8.2025.

Horne, R. 2024. 3D printing for dummies. 3. painos. John Wiley & Sons. New Jersey. E-kirja. Luettu: 21.8.2025.

Kananen, H. & Puolitaival, H. 2019. Tekoäly: bisneksen uudet työkalut. Alma Talent Oy. Helsinki. E-kirja. Luettu: 20.8.2025.

Laki lääkinnällisistä laitteista 719/2021.

Malik, A., Ul-Haq, M.I., Raina, A. & Gupta, K. 2022. 3D printing towards implementing Industry 4.0: sustainability aspects, barriers and challenges. *Industrial Robot*, 49, 3, s. 491–511.

Naghshineh, B. & Røstbakken, A.W. 2026. The implications of additive manufacturing for hospital supply chain operations: an exploratory study. *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. ahead-of-print, No. ahead-of-print. Luettu: 13.2.2026.

Nikitichev, D.I., Patel, P., Avery, J., Robertson, L.J., Bucking, T.M., Aristovich, K.Y., Maneas, E., Desjardins, A.E. & Vercauteren, T. 2018. Patient-Specific 3D printed models for education, research and surgical simulation. Teoksessa Cvetković, D. (toim.). 3D Printing, s. 115–135. IntechOpen. Lontoo. Luettavissa: [https://mts.intechopen.com/storage/books/7249/authors\\_book/authors\\_book.pdf](https://mts.intechopen.com/storage/books/7249/authors_book/authors_book.pdf). Luettu: 23.8.2025.

Pettersson, A. B. V., Ballardini, R. M., Mimler, M., Li, P., Salmi, M., Minssen, T. & Mäkitie, A. 2023. Legal issues and underexplored data protection in medical 3D printing: A scoping review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1102780.

Reinders, S. 2021. Accessible interactive 3D models for blind and low-vision people. *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*, 129, 6, s. 1–7.

Saavutettavuusvaatimukset 2025. Tietoa saavutettavuudesta. Luettavissa: <https://www.saavutettavuusvaatimukset.fi/fi/yleista-saavutettavuudesta/tietoa-saavutettavuudesta#75996-0>. Luettu: 15.10.2025.

Sag, O.M., Li, X., Åman, B., Thor, A. & Brantnell, A. 2024. Qualitative exploration of 3D printing in Swedish healthcare: perceived effects and barriers. BMC Health Services Research, 24, 1, s. 1–11.

Salminen, A. 2023. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja joihinkin hallintotieteellisiin sovelluksiin. 2. tarkistettu painos. Vaasan yliopiston raportteja 40, verkkoaineisto. Luettavissa: <https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/15470/978-952-395-081-8%20%28PDF%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Luettu: 19.8.2025.

Singh, S.N., Venkatesh, V.S.S. & Deoghare. A.B. 2021. A review on the role of 3D printing in the fight against COVID-19: safety and challenges. Rapid Prototyping Journal, 27, 2, s. 407–420.

Slegers, K., Delien, T., Bettelli, V., Lexis, M., Saey, T., Banes, D. & Daniëls, R. 2023. Designing and manufacturing custom-made 3D printed assistive devices: A comparison of three workflows. Technology and disability, 35, 3, s. 171–182.

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2024. Terveyspalvelut. Luettavissa: <https://stm.fi/terveyspalvelut>. Luettu: 5.9.2025

Teppo, A. 1.3.2024. Leikkauksiin kuluva aika lyheni Taysissa 3D-tulostamisen avulla. Mediuutiset. Luettu: 28.9.2025.

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL) 2023. Palveluintegraatio. Luettavissa: <https://thl.fi/aiheet/sote-palvelujen-johtaminen/kehittyva-palvelujarjestelma/palveluintegraatio>. Luettu: 5.10.2025.

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL) 2024a. Rahoitus ja kustannukset. Luettavissa: <https://thl.fi/aiheet/sote-palvelujen-johtaminen/rahoitus-ja-kustannukset>. Luettu: 5.10.2025.

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos (THL) 2024b. Digitaaliset palvelut. Luettavissa: <https://thl.fi/aiheet/sote-palvelujen-johtaminen/kehittyva-palvelujarjestelma/digitaaliset-palvelut>. Luettu: 8.10.2025.

Thingiverse s.a. Luettavissa: <https://www.thingiverse.com/> Luettu: 12.09.2025.

Url, P., Paal, S., Rosenzopf, T., Furian, N., Vorraber, W., Voessner, S., Toedtling, M., Zefferer, U. & Schaefer, U. 2022. Using simulation models as early strategic decision support in health care:

designing a medical 3D printing center at point of care in hospitals. Konferenssijulkaisu. Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC '21). IEEE Press, artikkeli 88, s. 1–12.

Vilkka, H. 2023. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. Art House. Helsinki. E-kirja. Luettu: 17.8.2025.

Vilkka, H. 2025. Tutki ja kehitä. 6. uudistettu painos. Santalahti-kustannus. Jyväskylä. E-kirja. Luettu: 18.8.2025.

Wang, Q., Karadas, Ö., Rosenholm, J.M., Xu, C., Näreoja, T. & Wang, X. 2024. Bioprinting macroporous hydrogel with aqueous two-phase emulsion-based bioink: In vitro mineralization and differentiation empowered by phosphorylated cellulose nanofibrils. *Advanced Functional Materials*, 34, 29, s. 1–17.

## Liitteet

### Liite 1. Kirjallisuuskatsauksen haut tietokannoittain

Tietokanta	Hakusanat	Hakurajaukset	Tuloksia (n)	Tiivistelmä luettu (n)	Valittu katsaukseen (ks. liite 2)
Academic Search Elite	healthcare AND (3d-modeling OR 3d-printing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Viimeisen 5 vuoden aikana julkaistu</li> <li>•Kokoteksti saatavilla</li> </ul>	75	21	1. ja 2.
ACM Digital library	("3D printing" OR "3D modeling") AND "health care"	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Viimeisen 5 vuoden aikana julkaistu</li> <li>•Kokoteksti saatavilla</li> </ul>	407	35	3. ja 4.
Emerald insight	"health care" and "3D printing"	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Journal Articles</li> </ul>	250	22	5. ja 6.
ProQuest One Business	"3d-printing in health care"	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Viimeisen 5 vuoden aikana julkaistu</li> <li>•Kokoteksti saatavilla</li> </ul>	28	20	7. ja 8.

## Liite 2. Kirjallisuuskatsauksen tulokset

Tutkimus	Tavoitteet	Asetelma tai aineistonkeruumenetelmä	Tulokset ja yhteenveto
<p>1. Qualitative exploration of 3D printing in Swedish healthcare: perceived effects and barriers.</p> <p>(Sag ym. 2024)</p>	<p>Tarkastella 3D-tulostuksen hyödyntämistä Ruotsin terveydenhuollossa, erityisesti hoidon tukena, hoitoprosessin kehittämisessä ja potilaslähtöisissä sovelluksissa.</p> <p>Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten 3D-tulostetut ratkaisut voivat parantaa hoidon laatua, terveydenhuollon ammattilaisten työskentelyä, sekä potilaiden ymmärrystä omasta sairaudestaan ja hoidostaan. Lisäksi tavoitteena oli tunnistaa 3D-tulostukseen liittyviä hyötyjä, haasteita ja tulevaisuuden mahdollisuuksia.</p>	<p>Tutkimus perustui kirjallisuuskatsaukseen ja aiempien tutkimusten analyysiin. Aineistona hyödynnettiin tieteellisiä artikkeleita ja tapaustutkimuksia. Aineistoa tarkasteltiin sekä potilaiden että terveydenhuollon ammattilaisten näkökulmasta.</p> <p>Lisäksi tutkimuksessa haastateltiin 19 vastaajaa, jotka kuuluivat eri ammattiryhmiin, ja työskentelivät organisaatioissaan keskeisinä tai vastuullisina 3D-tulostuksen ammattilaisina.</p>	<p>Tulokset osoittivat, että 3D-tulostusta hyödynnetään jo Ruotsin terveydenhuollossa monipuolisesti esim. leikkaussuunnittelussa, potilasohjauksessa, opetuksessa sekä yksilöllisten apuvälineiden ja mallien valmistuksessa. 3D-tulostettujen mallien todettiin parantavan potilaiden ymmärrystä omasta hoidostaan ja lisäävän osallisuuden ja hallinnan tunnetta. Terveydenhuollon ammattilaisten näkökulmasta 3D-tulostus tuki hoidon suunnittelua, ammattilaisten välistä sekä potilaan kanssa kommunikointia, ja helpotti koulutusta. Merkittävimmät käyttökohteet olivat kirurgisten toimenpiteiden suunnittelu ja koulutus.</p> <p>Kaikkiaan 3D-tulostuksella todettiin olevan merkittävä potentiaali terveydenhuollon kehittämisessä, mutta sen laajempaa käyttöönottoa rajoittavat edelleen mm. kustannukset, osaamisvaatimukset ja sääntelyyn liittyvät haasteet. Tulevaisuudessa 3D-tulostuksen odotetaan kehittyvän entistä yksilöllisempien, kustannustehokkaampien ja potilaslähtöisempien ratkaisujen suuntaan.</p>

Tutkimus	Tavoitteet	Asetelma tai aineistonkeruumenetelmä	Tulokset ja yhteenveto
<p>2. Designing and manufacturing custom-made 3D printed assistive devices: A comparison of three workflows.</p> <p>(Slegers ym. 2023)</p>	<p>Tarkastella yksilöllisesti räätälöityjen 3D-tulostettujen tuotteiden suunnittelu- ja valmistusprosesseja. Tutkimuksessa selvitettiin miten digitaaliset suunnitteluprosessit ja 3D-tulostuksen prosessi mahdollistavat potilaskohtaisten ratkaisujen kuten apuvälineiden, tukien tai implanttien kehittämisen.</p> <p>Lisäksi tavoitteena oli tunnistaa suunnitteluun, valmistukseen ja käyttöönottoon liittyviä haasteita sekä mahdollisuuksia huomioiden terveydenhuollon eri toimijat.</p>	<p>Kolme erillistä toimintatutkimushanketta, jotka toteutettiin Belgiassa, Italiassa ja Alankomaissa. Tutkimus perustui tapaustutkimuksiin ja käytännön esimerkkeihin, joissa hyödynnettiin 3D-skannausta, digitaalista mallinusta ja 3D-tulostusta. Aineisto koostui suunnittelu- ja valmistusprosesseja koskevasta dokumentaatiosta sekä aiemmasta kirjallisuudesta.</p> <p>Tutkimuksen kohteena olleet organisaatiot valmistivat itse potilailleen apuvälineitä 3D-suunnittelun ja tulostuksen avulla.</p>	<p>Tutkimuksessa todettiin, että 3D-tulostus mahdollistaa yksilöllisesti räätälöityjen terveydenhuollon ratkaisujen nopean ja joustavan valmistuksen. Potilaskohtaiset tuotteet voivat parantaa sopivuutta tietylle potilaalle, käyttömukavuutta ja hoidon vaikutusta verrattuna massatuotettuihin ratkaisuihin. Terveydenhuollon ammattilaisten näkökulmasta digitaaliset suunnitteluprosessit tukevat yhteistyötä eri toimijoiden välillä ja mahdollistivat paremman potilaskohtaisen suunnittelun.</p> <p>Yhteenvetona artikkeli tuo esiin, että yksilöllinen 3D-tulostus tarjoaa merkittävää potentiaalia terveydenhuollon kehittämisessä, mutta sen laajempaa käyttöönottoa rajoittivat edelleen kustannukset, osaamisvaatimukset, tuotantoprosessien monimutkaisuus sekä sääntely- ja laatuvaatimukset. Tulevaisuudessa 3D-tulostuksen nähtiin tukevan yhä enemmän personoitua hoitoa ja potilaslähtöisiä ratkaisuja terveydenhuollossa.</p> <p>Tärkeimmiksi teemoiksi nousi yhteissuunnittelu asiakkaan, ja monesta eri alan ammattilaisesta koostuvan tiimin kesken.</p>

Tutkimus	Tavoitteet	Asetelma tai aineistonkeruumenetelmä	Tulokset ja yhteenveto
<p>3. Using simulation models as early strategic decision support in health care: designing a medical 3D printing center at point of care in hospitals.</p> <p>(Url ym. 2022)</p>	<p>Kehittää ja hyödyntää tapahtumasimulaatioon perustuvaa mallia sairaalan yhteyteen sijoitettavan lääketieteellisen 3D-tulostuskeskuksen suunnittelussa.</p> <p>Keskeisimmät osatavoitteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategisen päätöksenteon tukeminen (resurssit, kapasiteetti yms.).</li> <li>• Kysynnän vaikutusten arvio suhteessa toiminnan suorituskykyyn.</li> <li>• Arvioida oppimiskäyrien ja kysynnän kasvun vaikutuksia.</li> </ul>	<p>Tutkimus oli osa laajempaa 3D-tulostusteknologioiden tutkimushanketta, jossa kehitetään potilaskohtaisia laitteita valmistettavaksi suoraan hoitopaikassa. Tutkimuksessa rakennettiin tapahtumasimulaatiomalli 3D-tulostuslaboratorion pohjalta. Malli kuvaa koko prosessiketjun tilauksesta toimitukseen. Se sisältää mm. kolme tuotetyyppiä (potilaskohtaiset implantit, anatomiset mallit ja työkalut), keskeiset resurssit (3D-tulostimet, henkilökunta, IT-ratkaisut, materiaalit), epävarmuustekijöiden (mm. kysyntä, laatu) arvion sekä kuvauksen tukiprosesseista (huolto, materiaalilogistiikka).</p>	<p>Kehitetyn simulaatiomallin avulla osoitettiin, millaista operatiivista suorituskykyä ja resurssitarvetta voitaisiin tulostuskeskuksessa odottaa eri kysyntä-tasoilla. Lisäksi saatiin viitteitä, millaisia teknologisia parannuksia tavoitteiden saavuttamiseksi voitaisiin tarvita. Tutkimuksesta saatua operatiivista dataa oli tarkoitus myöhemmin hyödyntää mm. liiketoiminta-analyyseissa.</p> <p>Lopputuloksissa todettiin, että varhaisessa vaiheessa olevan toiminnan data on vielä niukkaa, mutta simulaatiomalli voisi toimia 3D tulostuskeskuksen alustavaa mitoitusta suunnitellessa. Koska kyseessä on vasta simulaatio, ei tuloksia voitu validoida todellista, vasta kehitteillä olevaa toimintaa vasten.</p> <p>Kokonaisuutena tulokset osoittivat, että kehitetty simulaatiomalli soveltuisi hyvin 3D-tulostuskeskuksen karkean mitoituksen ja kehityspolkujen arviointiin jo ennen toiminnan vakiintumista.</p>

Tutkimus	Tavoitteet	Asetelma tai aineistonkeruumenetelmä	Tulokset ja yhteenveto
<p>4. Accessible interactive 3D models for blind and low-vision people.</p> <p>(Reinders 2021)</p>	<p>Kehittää ja ymmärtää, miten saavutettavat interaktiiviset 3D-tulostetut mallit voivat parantaa sokeiden ja heikkonäköisten (<i>blind and low-vision</i>, BLV) henkilöiden mahdollisuuksia saada, tulkita ja rakentaa graafista tietoa itsenäisesti.</p>	<p>Tutkimuksessa noudatettiin design science (suom. esim. suunnittelututkimus) lähestymistapaa. Tutkimuksessa testattiin erilaisia malleja aina passiivisista malleista (reagoivat vain käyttäjän aloitteesta) aktiivisempiin malleihin, jotka tarjosivat apua ja aloitteellista vuorovaikutusta. Kartoitusten jälkeen luotiin prototyyppi, johon lisättiin kosketuseleisiin perustuvia äänipalautteita ja keskustelukäyttöliittymä. Seurantatutkimuksessa testattiin prototyypin toimivuutta.</p>	<p>Tutkimuksen tulokset osoittivat, että BLV- henkilöt suosivat ensisijaisesti tuntoaistiin perustuvaa vuorovaikutusta interaktiivisten 3D-mallien kanssa ja haluavat aktivoida tiedon itse tarkoituksellisilla eleillä.</p> <p>Yksinkertainen tieto haettiin kosketuseleiden avulla, kun taas monimutkaisempaa ja kontekstuaalista tietoa hankittiin esittämällä kysymyksiä suoraan mallille, jota kohdeltiin keskusteluagentin tavoin. Osallistujat korostivat itsenäisyyden ja hallinnan tunteen tärkeyttä vuorovaikutuksessa mallien kanssa.</p>

Tutkimus	Tavoitteet	Asetelma tai aineistonkeruumenetelmä	Tulokset ja yhteenveto
<p>5. 3D printing towards implementing Industry 4.0: sustainability aspects, barriers and challenges.</p> <p>(Malik ym. 2022)</p>	<p>Tarkastella 3D- tulostuksen kestävyteen liittyviä näkökulmia ja sen roolia teollisuus 4.0:n toteuttamisessa. Ympäristön heikkeneminen on yksi teollisen vallankumouksen keskeisistä haasteista, minkä vuoksi kestävien strategioiden ja teknologioiden kehittäminen on noussut tärkeäksi.</p> <p>Tavoitteena on lisäksi kuvata 3D-tulostuksen, teollisuus 4.0:n ja kestävyysvälisten välisiä suhteita.</p>	<p>Tutkimusmenetelmänä käytettiin laajaa kirjallisuuskatsausta. Artikkelissa käsiteltiin teollisuus 4.0:n käyttöönottoa mahdollistavia tekijöitä, 3D-tulostuksen sovellusalueita, sen käyttöönoton esteitä sekä globaalia markkinatilannetta.</p>	<p>Tulosten mukaan 3D-tulostuksella saadaan useita teknologisia hyötyjä, kuten esineiden painon keventämien, materiaalihävikin vähentämien ja energiansäästö. Uusien, kehittyneempien 3D-tulostusmateriaalien kehittäminen vähentää edelleen materiaalin hukkaa. Laajamittaisessa käytössä 3D-tulostus voi merkittävästi tukea teollisuus 4.0:n periaatteiden toteuttamista.</p>
<p>6. The implications of additive manufacturing for hospital supply chain operations: an exploratory study.</p> <p>(Naghshineh &amp; Røstbakken 2026)</p>	<p>Selvittää, millaisia vaikutuksia 3D-tulostusprosessin käyttöönotolla on Norjan sairaaloiden toimitusketjuihin. Tarkastelu perustui resurssipohjaiseen näkökulmaan, jonka avulla arvioitiin, voiko 3D-tulostus toimia strategisena resurssina ja parantaa sairaaloiden toimitusvarmuutta, tehokkuutta ja joustavuutta.</p>	<p>Tutkimus toteutettiin laadullisena vertailevana tapaustutkimuksena kahdessa Norjan suurimmassa sairaalassa. Aineisto kerättiin puolistrukturoiduilla asiantuntijahaastatteluilla ja sitä täydennettiin sairaaloiden julkisilla dokumenteilla. Aineiston avulla tunnistettiin 3D-tulostuksen keskeiset vaikutukset sairaaloiden toimitusketjuihin.</p>	<p>Tulosten mukaan 3D-tulostus lyhentää toimitusajankoja, parantaa toimitusketjun hallittavuutta ja lisää muutosjoustavuutta erityisesti kriisitilanteissa. Se mahdollistaa potilaskohtaisten ja vaikeasti saatavien osien valmistamisen paikallisesti, mutta edellyttää merkittäviä panostuksia laadunvarmistukseen, sääntelyn noudattamiseen, osaamiseen ja investointeihin. 3D-tulostus ei sovellu kustannustehokkaasti massatuotantoon, mutta tarjoaa strategista arvoa yksilöllisten ja kriittisten osien valmistuksessa. Teknologian hyödyntäminen edellyttää organisaation kyvykkyyksien ja tukirakenteiden kehittämistä.</p>

Tutkimus	Tavoitteet	Asetelma tai aineistonkeruumenetelmä	Tulokset ja yhteenveto
<p>7. Legal issues and underexplored data protection in medical 3D printing: A scoping review.</p> <p>(Pettersson ym. 2023)</p>	<p>Tunnistaa ja kartoittaa lääketieteelliseen 3D-tulostukseen liittyviä keskeisiä oikeudellisia kysymyksiä ja ratkaisemattomia ongelmia.</p> <p>Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti sääntelyn, vastuun ja tietosuojan näkökulmiin. Lisäksi tavoitteena oli löytää aukkoja tutkimustiedossa jatkotarkastelua varten.</p>	<p>Tutkimus toteutettiin kartoittavana kirjallisuuskatsauksena. Aineisto kerättiin lääketieteellisistä ja oikeudellisista tietokannoista.</p> <p>Analyysiin sisällytettiin yhteensä 49 artikkelia, jotka käsitelivät lääketieteellisen 3D-tulostuksen oikeudellisia kysymyksiä eri oikeusjärjestelmissä, painottuen EU:hun ja Yhdysvaltoihin.</p>	<p>Tulokset osoittivat, että lääketieteelliseen 3D-tulostukseen liittyy useita ratkaisemattomia oikeudellisia haasteita. Lisäksi tietosuojaa käsiteltiin tutkimuskirjallisuudessa yllättävän vähän, vaikka potilastietojen käsittely on keskeinen osa lääketieteellistä 3D-tulostusta.</p> <p>Tutkimus korostaa tarvetta selkeämmälle lainsäädännölle ja jatkotutkimukselle näiden oikeudellisten kysymysten ratkaisemiseksi.</p>

Tutkimus	Tavoitteet	Asetelma tai aineistonkeruumenetelmä	Tulokset ja yhteenveto
<p>8. The Future of Medicine: How 3D Printing Is Transforming Pharmaceuticals.</p> <p>(Bernatoniene ym. 2025)</p>	<p>Tarkastella 3D-tulostusprosessin roolia lääkevalmistuksen näkökulmasta erityisesti yksilöllistetyn lääketieteen näkökulmasta.</p> <p>Katsaus analysoi 3D-tulostettujen lääkevalmisteiden mahdollisuuksia, etuja ja rajoitteita. Lisäksi tavoitteena on arvioida teknologian soveltuvuutta erityisesti pediatrialle ja geriatrisille potilasryhmille sekä kroonisten sairauksien hoitoon.</p>	<p>Tutkimus on narratiivinen kirjallisuuskatsaus. Aineisto koostuu aiemmasta tieteellisestä tutkimuksesta, kliinisistä kokeista ja teknisistä raporteista, joissa käsitellään 3D-tulostuksen soveltamista lääkevalmistukseen.</p> <p>Katsauksessa analysoidaan eri 3D-tulostustekniikoita, biomustemateriaaleja ja lääkemuotojen rakenteita sekä klinisiä sovelluksia.</p>	<p>Yhteenvedossa tuloksista todettiin, että 3D-tulostus mahdollistaa lääkkeiden yksilöllisen annostelun, säädelyt vapautumisprofiilit, monilääkevalmisteet, kerrokselliset tabletit sekä potilasryhmäkohtaiset ratkaisut. Teknologia tukee erityisesti lasten, iäkkäiden ja monisairaiden potilaiden lääkehoitoa parantamalla annostarkkuutta, nielemisystävällisyyttä ja hoitoon sitoutumista. Lisäksi 3D-tulostus voi vähentää varastointia, ylituotantoa ja lääkityspoikkeamia sekä mahdollistaa lääkkeiden valmistuksen tarpeen mukaan sairaaloissa ja apteekeissa.</p> <p>Haasteita ovat kuitenkin sääntelyvaatimukset, laadunvarmistus, materiaalirajoitteet, korkeat alkuinvestoinnit sekä tuotannon skaalautuvuus. Erityisesti yksilöllisten valmisteiden hyväksyntäprosessit voivat olla hitaita ja monimutkaisia.</p>