



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

# Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallenne (kustantajan versio).

**Viite:**

Frimodig, A., Hellman, T., & Pollari, S. (2024). Uudet 3D-visualisointimenetelmät. Teoksessa S. Päällysaho, P. Junell, M. Salminen-Tuomaala, S. Uusimäki, & M. Karvonen (toim.), *Seinäjoen ammattikorkeakoulu – meidän ammattikorkeakoulu* (s. 41–51). (Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 42).  
Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20241210100893>



# UUDET 3D-VISUALISOINTI-MENETELMÄT

Aleksi Frimodig, insinööri (AMK), asiantuntija, SeAMK

Tapio Hellman, insinööri, laboratorioinsinööri, SeAMK

Sakari Pollari, insinööri (AMK), asiantuntija, SeAMK

## 1 JOHDANTO

Nykyaikaisen kolmiulotteisen (3D) tietokonegrafiikan voidaan katsoa saaneen alkunsa 1970-luvulla Yhdysvalloissa. Vaikka ala on kehittynyt hurjasti vuosikymmenien aikana, 3D-tietokonegrafiikka on näihin päiviin saakka perustunut polygoneista muodostuviin 3D-malleihin ja niiden visualisointi (renderöinti) on tapahtunut tietokoneen grafiikkaytimissä valon käyttäytymistä simuloiden. Objektit ovat kuitenkin perustuneet valoa eri tavoilla heijastaviin kolmiopintoihin, joiden kiillot ja heijastukset on määritetty kunkin objektin materiaalitietoon.

Manuaalisesti mallintaen tai erilaisilla teknisillä apuvälineillä, kuten laserkeilaamalla tai fotogrammetrista eli valokuvaperustaista 3D-mallinnusta hyödyntäen, lopputuloksena on aina ollut periaatteessa kolmioverkko (mesh), joka muodostuu suorista, yleensä kolmiopinoista, ja jonka laskennalliset mitat ovat tiedossa, ja siihen liittyviä mitta-arvoja, kuten osien etäisyydet, kulmat, pinta-alat ja tilavuudet, on aina voinut hyödyntää esimerkiksi suunnittelussa ja valmistuksessa. Tätä polygonipohjaista lopputulosta on kutsuttu yleensä 3D-malliksi ja niistä koostuvaa näkymää paremman suomenkielisen termin puuttuessa ”sceneksi”.

Neuroverkkopohjaiset säteilykentät (neural radiation field) ovat tuoneet 2000-luvulla 3D-visualisointiin kokonaan uuden näkökulman. Niissä keskiössä ei enää olekaan ”3D-malli” vaan ”säteilykenttä”, josta renderöity

kaksiulotteinen kuva on ”näkyvä”. Puhutaan näkymäsynteesistä, joka ei enää rajoitu 3D-objektien erilaisiin pintoihin ja niiden käyttäytymiseen valaistuksessa. SäteilKenttä on eräänlainen tietokanta siitä, millainen kaksiulotteinen näkyvä saadaan objektista tai ympäristöstä eri positioista ja eri suunnista katsottaessa. Se mahdollistaa esimerkiksi heijastusten ja kiiltojen tallentamisen itse näkymän tietokantaan, jolloin niitä ei tarvitse renderöintivaiheessa erikseen laskea valaistusmallin mukaisesti. Tämä säteilKenttä perustuu aina kuva- tai videoaineistoon, eikä sitä siis luoda – ainakaan vielä tänä päivänä – ”3D-mallintamalla”, kuten ennen. Siitä ei myöskään saada mittaustietoja – ainakaan niin helposti ja tarkasti – kuin perinteisistä 3D-malleista. Samoin keinot animoida näitä scenejä ja muokata niiden geometriaa sekä fysiikkamallinnus ovat vielä kehityksen alla (Mildenhall ym., 2020).

Neuroverkkopohjaiset säteilKentät ovat vielä nopean kehityksen alaisuudessa, ja ala elää vahvasti. Useita työkulkuja tai teknologioita, jotka on kehitetty perinteiselle 3D-mallinnukselle, kehitetään parhaillaan. Neuraaliverkkoihin perustuvien säteilKenttien parissa tehdään ura-uurtavaa tieteellistä työtä ja löydetään jatkuvasti uusia menetelmiä ja läpilyöntejä. Tämä artikkeli on siis eräänlainen tilannekuva nykyhetkestä, ja jonkinlainen arvaus tai ennustus tulevaisuudesta.

Tässä artikkelissa käsitellään alan kahta uusinta neuraalisäteilKenttämenetelmää, 3D Gaussian Splattingia ja NeRF:iä (Neural Radiance Fields), ja niitä vertaillaan perinteiseen fotogrammetriaan. Näiden menetelmien kehitys avaa uusia mahdollisuuksia realistisen ja tehokkaan 3D-mallinnuksen sekä renderöinnin saralla, ja niiden vaikutus kolmiulotteiseen visualisointiin tulee olemaan merkittävä. Yhteistä näille molemmille menetelmille on se, että ne perustuvat neuroverkkopohjaisiin säteilKenttiin, ne lasketaan kuva- tai videomateriaalista tietokoneellisesti mahdollisimman hyvin 3D-grafiikkaohjaimen sisältämiä laskentaytimiä hyödyntäen ja ensimmäisen laskentaliukuhinnan osan tulos on harva pistepilvi. Yhteistä on myös se, että niiden avulla näkymän sisältämien osien kiillot ja heijastukset, jotka ovat fotogrammetrialle ongelma, ovat mukana näkymässä, eikä niitä tarvitse erikseen korjata ja laskea valaistusmalliin. Kummassakin menetelmässä usein käytettävä avoin PyTorch-koneoppimiskirjasto tarjoaa keskeiset työkalut

mallin oppimiseen ja optimointiin. Vaikka Colmap ei ole pakollinen kummallekaan menetelmälle, se on yleisesti käytetty työkalu syöttötietojen esikäsittelyssä, koska se tarjoaa luotettavat kameran poseerausten ja pistepilvien arviot. 3D Gaussian Splatting -menetelmälle on tarjolla pilvilaskentapalveluita, kuten Polycam ja LUMA.ai, mutta NeRF:lle niitä on vähemmän. Molemmat voidaan asentaa Windows-ympäristöön, mutta ne ovat erittäin vaativia tarvitsemiensa komponenttiensa versioista. Näitä komponentteja ovat PyTorchin ja Colmapin lisäksi CUDA Toolkit, ja video- ja kuvamateriaalin käsittelyyn ImageMagick sekä FFMPEG (Kerbl ym., 2023).

## 2 FOTOGRAMMETRINEN 3D-MALLINTAMINEN

Fotogrammetria on menetelmä, jossa suuresta joukosta kaksiulotteisia kuvia lasketaan kolmiulotteinen malli. Tämä perustuu peräkkäisten kuvien välisten vastaavuuksien tunnistamiseen ja geometrian laskemiseen niiden avulla. Fotogrammetriaohjelmistoja on markkinoilla useita, ja kaikilla on yhteistä niiden liukuhihna, joka on seuraava: valokuvien luku sisään, peräkkäisten valokuvien vertailu keskenään niiden sisältämien erityiskohteiden (key point / feature) avulla, kuvien välisten vastaavuspisteiden (tie point) löytäminen, harvan pistepilven laskeminen, kameran sijaintien ja kuvakulmien laskeminen, tiheän pistepilven laskeminen, pintarakenteen eli kolmioverkon rakentaminen, pintojen teksturointi valokuvamateriaalin avulla ja valmiin 3D-mallin vienti (Lachambre ym., 2017). Vaikka liukuhihna onkin sama, eri ohjelmistoilla saattaa saada eritasoisia tuloksia täsmälleen samasta lähtöaineistosta, joten kokeileminen useammalla eri ohjelmistolla kannattaa tapauksissa, joissa periaatteessa hyvästä materiaalista ei saa yhdellä ohjelmistolla kunnollista tulosta. Luonnollisesti eri ohjelmistoissa on myös erilaisia työkaluja mallin jälkikäsittelyyn ja esimerkiksi mallinnettavan ympäristön erityisominaisuuksien huomioimiseen. Tällä hetkellä käytetyimpiin ja yleisimpiin ohjelmistoihin kuuluvat Epic Softwaren Reality Capture ja Agisoftin Metashape. Koska sekä NeRF että Gaussian Splatting -näkymien laskennan yksi vaihe on juuri kamerapaikkojen ja

-suuntien laskeminen, niissä molemmissa käytetään avointa Colmap-ohjelmistoa, jonka automaattista käyttöä helpottaa se, että sitä voidaan käyttää komentosarjamootoisesti, määrittelemällä kansio, joka sisältää projektin kuvat sisältävän kansion.

Fotogrammetria on suhteellisen kypsä teknologia, eli sitä hyödyntävät ohjelmistot ovat edenneet jo useita versiopolvia ja ne ovat varsin toimivia ja luotettavia. Selkeimpiä eroja neurokenttäpohjaisiin menetelmiin ovat se, että mallinnettavan alueen tilavuus on huomattavasti pienempi, eli kattavaa niin sanottua ”ympäristömallia” on vaikeampi toteuttaa, mutta malli on mittatarkkuuden osalta parempi. Sen tarjoamiin etäisyyksiin voi siis luottaa paremmin. Ohjelmistojen välillä on myös merkittäviä eroja. Osalle voidaan syöttää lähdemateriaalina videota tai jopa 360-videota, mutta videomateriaalin osalta tulokset ovat paljon huonompia, mikä saattaa yleensä johtua liike-epäterävyydestä ja valotuseroista. 360-videomateriaali kannattaa muuttaa tai käsitellä uudelleen leikkaamalla videosta haluttuja osia siten, että ne näyttävät normaalilinsillä kuvatuilta. Osa ohjelmistoista lukee sisäänsä myös laserkeilattua pistepilvitietoa, mikä parantaa lasketun 3D-mallin tarkkuutta huomattavasti. Ohjelmissa on myös mahdollisuuksia poistaa 3D-pinnoista vikoja, kuten reikiä, ja päällekkäisiä pintoja, ja niillä voi esimerkiksi leikata mallista halutun kokoisen tilavuuden. Fotogrammetria on erittäin herkkä valon heijastuksille kiiltävistä pinnoista, ja läpinäkyvät pinnat ovat myös lähes mahdottomia rakentaa oikein fotogrammetrialla. Koska kiiltävyys ja peilaus ovat materiaalin sellaisia ominaisuuksia, jotka eivät rakennu oikein fotogrammetrialla, valokuvaus kannattaa esimerkiksi ulkotiloissa suorittaa pilvisenä aikana, jolloin valaistus on mattavaloa. Mikäli sellaisia pintoja kuitenkin jää valokuvuihin, tuloksena on usein reikä kyseisessä kohdassa, koska alueen säteilevät värit joutuvat liaksi katselukulmasta, ja pintaa ei tällöin kyseiselle kohdalle kannata rakentaa. Eräs mahdollisuus vähentää tai ehkäistä heijastusten ja peilausten vaikutusta on valon polarisaation hyödyntäminen, ja pienikokoinen heijastava pinta on mahdollista myös päällystää itsestään häipyvällä mattasuihkeella. Fotogrammetriaa käytetään yleisesti esimerkiksi kartoituksessa, arkeologisissa kohteissa sekä historiallisten rakenteiden dokumentoinnissa, mutta esteitä sen käyttämiseen mihin tahansa 3D-pintojen tallentamiseen ei ole.

## 3 NERF (NEURAL RADIANCE FIELDS)

### 3.1 Määritelmä ja toimintaperiaate

NeRF on syväoppimismenetelmä, joka hyödyntää neuroverkkoja 3D-scenen väri- ja tiheysjakauman oppimiseen suoraan 3D-avaruudessa. Se käyttää tilavuusmalliin perustuvaa, volumetrista renderöintiä, jossa jokaisen kuvan pikseli lasketaan seuraamalla säteitä kohteen läpi.

Tieteellinen artikkeli ”NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis” on julkaistu 2020. Kaupallisia tuotteita ei ole vielä tarjolla, sillä teknologia on vielä kehitysvaiheessa. NVIDIA on mukana kehityksessä, ja sen kehittämä CUDA-grafiikkalaskentaydin, joita kehittyneimmissä NVIDIA:n näytönohjainkortteissa on nykyään tuhansia, nopeuttaa koneoppimista huomattavasti. Käytännössä CUDA on näiden teknologioiden edellytys, ja toinen yleinen vaatimus suuremmilla malleilla ja korkeammalla tarkkuudella on 24 Gt videomuistia, joka on tällä hetkellä tarjolla vain huipputason näytönohjaimissa (Mildenhall ym., 2020).

### 3.2 Instant NeRF

Vuonna 2022 NVIDIA:n tutkijat julkistivat Instant NeRF -teknologian. Se on NeRF:n optimointi, joka nopeuttaa laskentaa tekemällä sen käytännöllisemmäksi reaaliaikaisissa sovelluksissa, kuten interaktiivisissa 3D-malleissa ja peliteollisuudessa. NeRF-menetelmiä voidaan käyttää erityisesti sovelluksissa, joissa vaaditaan erittäin korkeaa realismia ja tarkkuutta, kuten elokuvateollisuudessa ja tieteellisissä visualisoinneissa (Müller ym., 2022).

## 4 3D GAUSSIAN SPLATTING

3D Gaussian Splatting on kehitetty ranskalaisessa INRIA-nimisessä (National Institute for Research in Digital Science and Technology) tutkimuslaitoksessa ja julkistettu vuonna 2023. Se on edelleen kehitetty

malli Kalifornian yliopistossa Berkeleyssä kehitettyyn Neural Radiance Fieldiin (NeRF) ja NVIDIA:n InstantNGP:n (Instant Neural Graphics Primitives) hallitsemaan huipputekniikkaan innovatiivisella menetelmällä, joka on näitä nopeampi ja tarkempi. Se on visualisointimenetelmä, jossa 3D-objekti kuvataan joukkona Gaussin jakaumia, jotka ovat eräänlaisia "roiskeita", "täpliä" tai "läiskeitä" (splat), jotka ympäröivät pisteitä 3D-avaruudessa (pistepilvi). Näiden jakaumien perusteella voidaan luoda realistinen visualisointi projisoimalla pisteet kuvioiksi. Lähdekirjallisuudessa läiskeitä kuvataan ellipseiksi, mutta niiden muoto muistuttaa enemmän pitkiä sirpaleita, ja ne ovat osin päällekkäin tai sisäkkäin, ja laajentavat yksittäiset pistepilven 3D-pisteet Gaussin matematiikan mukaisesti hieman laajemmiksi alueiksi, jotka peittävät taakseen jäävän osan näkymää, joka voi olla osa näkymää tai esimerkiksi pelkkää tyhjyyttä. Joissakin paikoissa sceneä saattaa olla vain muutama täplä, kun taas toisissa kohdissa niitä voi olla satoja tai tuhansia. 3D Gaussian Splatting -näkyvässä on lähdeaineistosta ja sen laskenta- ja esitystavasta johtuen pilvimäisiä artefakteja, joiden poistamiseksi on kehitetty työkaluja (Kerbl ym., 2023).

Näkyvässä voidaan liikkua (navigoida) vuorovaikutteisesti. Kun sceneen zoomataan lähemmäs, sen rakenneosat, eli täplät tai yksittäiset pisteet tulevat esiin. Kun taas kohteesta siirrytään kauemmas, läiskeet alkavat hajautua ja näkymä alkaa rakoilla ja esiin tulee joko siihen mahdollisesti määriteltä taustaa tai vain mustaa tyhjyyttä. Eräs merkittävä ero fotogrammetriseen mallinnukseen on se, että mikäli alkuperäinen kuva- tai videoaineisto sisältää ympäristöä, se piirtyy mukaan näkymään, mutta vain siltä osin, kun kamera on sitä tallentanut. Tekoälyllä luotua "arvattua" tai "oletettua", mutta oikeasti olemassa olematonta sisältöä ei ainakaan käytössä olleilla menetelmillä ole nähty, mutta sen käyttöä ei voida sulkea pois.

3D Gaussian Splatting -liukuhinnan ensimmäinen vaihe on valokuvien syöttö. Valokuvat voidaan valmistaa myös videoleikkeestä, mikäli liikeepäterävyys on osattu kuvattaessa eliminoida. Tätä artikkelia kirjoitettaessa ei ainakaan vielä ollut mahdollisuutta syöttää 360 asteen pallopanoraamavalokuvia tai 360-videoita lähtötiedoksi prosessiin. Sen sijaan 360-materiaalin käyttö on mahdollista, kun kuva- tai videomateriaali

käsitellään siten, että sen linssivääristymä häivytetään ja muutetaan sisältö sellaiseksi, kuin se olisi kuvattu pääsuuntiin suunnatuilla kameeroilla. Tätä prosessia, jossa 360 asteen video- tai kuvamateriaalia käsitellään siten, että siitä voidaan luoda tavallisen linssin näkökentän mukaisia kuvia tai videoita, kutsutaan termillä "reframing" eli "uudelleenkehystäminen". Myös useamman kameran samanaikaista käyttöä voidaan soveltaa esimerkiksi siten, että eri kamerat on kiinnitetty tankoon, ja kukin niistä kuvaa kappaletta tai näkymää eri suunnista, esimerkiksi alapuolelta, keskeltä ja yläpuolelta. Toisin kuin fotogrammetriakäyttöä varten tallennetussa materiaalissa, näkymässä esiintyvät paikalliset kiillot tai heijastukset eivät aiheuta ongelmia, sillä ne tallentuvat neuroverkkotietokantaan eli näkymän synteesiin. Sen ansiosta sama näkymän kohta näyttäytyy erilaiselta, riippuen siitä, mistä sitä katsotaan. Toinen vaihe on peräkkäisten valokuvien vertailu ja kohdistaminen sekä kamerasijaintien ja -suuntien määrittäminen. Tällä hetkellä kehitysvaiheessa olevilla työkaluilla toinen vaihe toteutetaan Colmap-ohjelmiston avulla. Kolmas vaihe on tietokannan opettaminen eli "treenaus". Se on prosessin koneoppimisosuus. Viimeisenä vaiheena on näkymän visualisointi, joka nykyisillä työkaluilla tehdään SIBR (System for Image-Based Rendering) Viewerin avulla.

Gaussian Splatting on nopeampi ja kevyempi renderöintimenetelmä kuin NeRF, mikä tekee siitä houkuttelevan valinnan sovelluksissa, joissa reaaliaikainen suorituskyky on kriittistä. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi virtuaalitodellisuudessa (VR) ja lisätyssä todellisuudessa (AR), joissa on tärkeää tuottaa nopeita ja riittävän tarkkoja visualisointeja. Esimerkiksi toimintaympäristön visualisointiin tämä teknologia soveltuu hyvin, koska sillä on helppo ja nopea toteuttaa luonnollisen näköinen rakennettu tai luonnollinen, rakentamaton ympäristö, johon ei osoiteta oleellisia todenperäisiä mittauksia, kuten etäisyydet tai muuta vastaavaa. Sen sijaan virtuaalitodellisuudessa aktiivisena toiminnan kohteena olemiseen se ei ainakaan vielä sovellu. Virtuaalitodellisuudessa 3D Gaussian Splat -malleja voidaan tarkastella esimerkiksi Unreal Engine -pelimoottorin sitä tukevien pluginien eli asennettavien liitännäisten avulla. Tästä yksi esimerkki on Luma AI:n Luma Unreal Engine Plugin, jolla voidaan katsella .ply -tiedostomuodossa olevia 3D Gaussian Splat -malleja VR-laseilla.

Luma AI ja Polycam ovat esimerkkejä pilvipalveluista, joiden mobiililaitteillekin tehtyjen sovellusten avulla voi fotogrammetriamalleja, NeRF:iä tai Gaussian Splat -näkyymiä.

## 5 VERTAILU: FOTOGRAMMETRIA, NERF JA 3D GAUSSIAN SPLATTING

### 5.1 Teknologiset erot

NeRF pystyy tuottamaan erittäin tarkkoja ja fotorealistisia visualisointeja, kun taas Gaussian Splatting tarjoaa nopeampia mutta karkeampia malleja. Fotogrammetria tarjoaa puolestaan hyvin tarkkoja geometrisia malleja, mutta sen laatu riippuu kuvamateriaalin laadusta ja määrästä.

NeRF vaatii merkittävästi laskentatehoa, mikä tekee siitä hitaamman vaihtoehdon verrattuna Gaussian Splattingiin, joka on huomattavasti kevyempi ja nopeampi. Fotogrammetria sijoittuu näiden väliin riippuen mallinnettavan kohteen monimutkaisuudesta.

NeRF soveltuu parhaiten monimutkaisiin ja fotorealistisiin malleihin, kuten elokuvatuotantoihin, kun taas Gaussian Splatting on ihanteellinen VR/AR-ympäristöihin ja reaaliaikaisiin sovelluksiin. Fotogrammetria puolestaan on vahvoilla historiallisten ja maantieteellisten kohteiden dokumentoinnissa (Balloni ym., 2024).

### 5.2 Käytettävyys ja skaalautuvuus

NeRF:n käyttöönotto vaatii syvää osaamista syväoppimisesta ja neuroverkoista, kun taas Gaussian Splatting on yksinkertaisempi toteuttaa. Fotogrammetria on helppokäyttöisempi, mutta vaatii silti tietoa 3D-mallinnuksesta ja geometriasta.

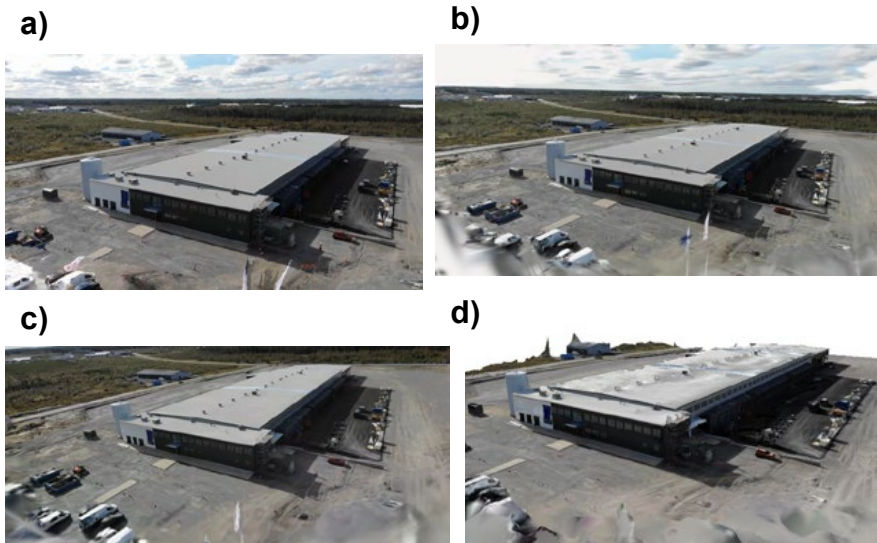
Gaussian Splatting skaalautuu hyvin reaaliaikaisissa ympäristöissä, kun taas NeRF soveltuu parhaiten pienempiin, erittäin tarkkoihin projekteihin. Fotogrammetria toimii parhaiten suurissa kartoitusprojekteissa, joissa geometrinen tarkkuus on keskiössä.

## 6 KÄYTÄNNÖN ESIMERKKI

DB Schenker rakentaa uuden terminaalin Seinäjoen Roveksen yritysalueelle. Kiinteistön rakennustyöt käynnistyivät maaliskuussa 2024 ja uusi terminaali otetaan käyttöön tammikuussa 2025. SeAMK on ilmakuvaannut rakennustyömaata kuvauskopterilla useita kertoja rakennustekniikan insinöörikoulutuksen tarkoituksiin. Samalla on tehty videokuvausta, jota on käytetty myös 3D Gaussian Splatting -näkyvien rakentamiseen. Vertailun vuoksi videoista on laskettu RealityCapture-ohjelmistolla fotogrammetriamalli Sketchfab-alustalle katseltavaksi. 3D Gaussian Splatting -näkyvä on tarkasteltavissa Polycam-ohjelmiston valmistajan sivustolla. Rakennettujen mallien tuloksia pääsee vertailemaan 3-ulotteisena taulukossa 1 olevien verkko-osoitteiden kautta. Kuvaan 1 on koostettu vertailua varten myös valmiin terminaalin malleista kuva-kaappauksella otetut kuvat.

**Taulukko 1. 3D-visualisointimenetelmien tuottamien mallien vertailu DB Schenkerin uuden terminaalin rakennustyömaan eri vaiheissa. Näkymiä voi verrata 3D:nä taulukossa olevien verkko-osoitteiden kautta.**

	Fotogrammetria	3D Gaussian Splatting		Video
	RealityCapture	Polycam	Luma.AI	YouTube
8.4.2024	<a href="https://skfb.ly/pqZSo">skfb.ly/pqZSo</a>	<a href="https://bit.ly/3XKqBVV">bit.ly/3XKqBVV</a>	<a href="https://bit.ly/3XMwCRW">bit.ly/3XMwCRW</a>	<a href="https://youtu.be/u1PQbKmZkpA">youtu.be/u1PQbKmZkpA</a>
8.5.2024	<a href="https://skfb.ly/pqZPN">skfb.ly/pqZPN</a>	<a href="https://bit.ly/3B8Z7k3">bit.ly/3B8Z7k3</a>	<a href="https://bit.ly/3zm5u2W">bit.ly/3zm5u2W</a>	<a href="https://youtu.be/RQicjM1VyhY">youtu.be/RQicjM1VyhY</a>
23.5.2024	<a href="https://skfb.ly/pqZSL">skfb.ly/pqZSL</a>	<a href="https://bit.ly/3zpy97d">bit.ly/3zpy97d</a>	<a href="https://bit.ly/3BcpzcE">bit.ly/3BcpzcE</a>	<a href="https://youtu.be/jlg8Kj1VFXg">youtu.be/jlg8Kj1VFXg</a>
13.6.2024	<a href="https://skfb.ly/pqZTv">skfb.ly/pqZTv</a>	<a href="https://bit.ly/3XLYCdC">bit.ly/3XLYCdC</a>	<a href="https://bit.ly/47BAkRN">bit.ly/47BAkRN</a>	<a href="https://youtu.be/EUZSbJIG7Gk">youtu.be/EUZSbJIG7Gk</a>
27.6.2024	<a href="https://skfb.ly/pqSPw">skfb.ly/pqSPw</a>	<a href="https://bit.ly/3zw1Hjp">bit.ly/3zw1Hjp</a>	<a href="https://bit.ly/4elCo2g">bit.ly/4elCo2g</a>	<a href="https://youtu.be/7XLYpj1UcbY">youtu.be/7XLYpj1UcbY</a>
23.7.2024	<a href="https://skfb.ly/pqSpv">skfb.ly/pqSpv</a>	<a href="https://bit.ly/3XtsvZL">bit.ly/3XtsvZL</a>	<a href="https://bit.ly/3MPftAL">bit.ly/3MPftAL</a>	<a href="https://youtu.be/EM3vvAb7_c0">youtu.be/EM3vvAb7_c0</a>
13.8.2024	<a href="https://skfb.ly/pqZTN">skfb.ly/pqZTN</a>	<a href="https://bit.ly/3ZxHBQJ">bit.ly/3ZxHBQJ</a>	<a href="https://bit.ly/4dgm6qu">bit.ly/4dgm6qu</a>	<a href="https://youtu.be/w4V0b_0S7vY">youtu.be/w4V0b_0S7vY</a>
12.9.2024	<a href="https://skfb.ly/pqUWM">skfb.ly/pqUWM</a>	<a href="https://bit.ly/3ztgZ8K">bit.ly/3ztgZ8K</a>	<a href="https://bit.ly/4gzDtpa">bit.ly/4gzDtpa</a>	<a href="https://youtu.be/RMYrx0NZxUw">youtu.be/RMYrx0NZxUw</a>



**Kuva 1. 3D-visualisointimenetelmien tuottamien mallien vertailu valmiin terminaalin osalta. a) Ote videomuotoisesta syötemateriaalista, b) Polycamin 3D Gaussian Splatting -näkökuva, c) LUMA.ai:n 3D Gaussian Splatting -näkökuva, d) Fotogrammetriamalli Reality Capture-ohjelmistossa.**

Kuten kuvasta 1 on selvästi havaittavissa, visuaalisesti parhaat mallinnukset saadaan Gaussian Splatting -näkökuvan myötä. Fotogrammetriamallissa on kuitenkin enemmän mitattavissa olevaa tietoa visuaalisten puutteistaan huolimatta. Taulukon 1 verkko-osoitteiden kautta kuitenkin on hyvin havaittavissa myös Gaussian Splatting -näkökuvan puutteet, jos näkökuvaa lähentää.

## **7 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT JA YHTEENVETO**

Teknologian kehittyessä menetelmät, kuten NeRF ja 3D Gaussian Splatting, tulevat entistä nopeammiksi ja tehokkaammiksi. Mahdollisuudet yhdistää näitä menetelmiä perinteisiin työkaluihin, kuten fotogrammetriaan, avaa uusia ovia monimutkaisten ja laajojen projektien toteuttamiseen entistä nopeammin ja tarkemmin. Tekoälyn integrointi tulee myös parantamaan mallinnuksen laatua ja tehokkuutta, erityisesti reaaliaikaisissa sovelluksissa.

Kolmiulotteiset visualisointimenetelmät ovat kehittymässä hurjaa vauhtia, ja uudet menetelmät, kuten NeRF ja 3D Gaussian Splatting, tarjoavat uusia työkaluja 3D-visualisoinnin saralle. NeRF tuo mukanaan äärimmäistä tarkkuutta ja realismia, kun taas 3D Gaussian Splatting tekee 3D-mallinnuksesta ja renderöinnistä nopeampaa ja helpompaa reaaliaikaisiin sovelluksiin. Fotogrammetria puolestaan säilyttää asemansa tarkkuuteen perustuvissa kartoitus- ja dokumentointiprojekteissa, joissa 3D-mallin muokkaus ja mitattavuus ovat keskiössä. Näiden menetelmien kehittyessä voidaan odottaa tulevaisuudessa entistä monipuolisempia ja tehokkaampia 3D-visualisointityökaluja.

## LÄHTEET

Balloni, E., Ceka, D., Pierdicca, R., Paolanti, M., Mancini, A., & Zingaretti, P. (2024). Comparative assessment of neural rendering methods for the 3D reconstruction of complex heritage sites in the inner areas of the Marche region – Italy. *Digital applications in archaeology and cultural heritage*, 35, artikkeli e00371. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00371>

Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkühler, T., & Drettakis, G. (2023). 3D Gaussian splatting for real-time radiance field rendering. *ACM transactions on graphics*, 42(4), artikkeli 139. <https://doi.org/10.1145/3592433>

Lachambre, S., Lagarde, S., & Jover, C. (2017). *Unity photogrammetry workflow*. [https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow\\_2017-07\\_v2.pdf](https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf)

Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorthi, R., & Ng, R. (2020). NeRF: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. *Communications of the ACM*, 65(1), 99–106. <https://doi.org/10.1145/3503250>

Müller, T., Evans, A., Schied, C., & Keller, A. (2022). Instant neural graphics primitives with a multiresolution hash encoding. *ACM transactions on graphics*, 41(4), artikkeli 102. <https://doi.org/10.1145/3528223.3530127>