



3D-mallinnuksen hyödyt ja vaikutukset autoteollisuudessa

Leevi Oksanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025
Tietojenkäsittely
Pelituotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietojenkäsittely
Pelituotanto

OKSANEN, LEEVI:
3D-mallinnuksen hyödyt ja vaikutukset autoteollisuudessa

Opinnäytetyö 40 sivua
Toukokuu 2025

Opinnäytetyössä tarkasteltiin 3D-mallinnuksen roolia nykyaikaisessa autoteollisuudessa. Työssä tutkittiin, kuinka 3D-teknologiat ovat muuttaneet auton suunnittelua, teknistä kehitystä, testausta sekä tuotannon optimointia. Lisäksi käsiteltiin 3D-mallinnuksen merkitystä kestäväen kehityksen ja ympäristövaikutusten näkökulmasta.

Teoriaosuuden lisäksi työ sisältää käytännön toteutuksen, jossa luotiin 3D-malli ajoneuvosta käyttäen Blender 3D -ohjelmaa. Ajoneuvon mallinnuksessa keskityttiin todenmukaiseen aerodynamiikkaan ja mittasuhteisiin. Teoreettisen tutkimustyön ja käytännön toteutuksen lopputulosten avulla havainnollistettiin, kuinka 3D-mallinnus tukee tarkempaa ja resurssitehokkaampaa autoteollisuutta.

Työ osoittaa, että 3D-mallinnus on keskeinen osa modernia autoteollisuutta, ja sen avulla voidaan vastata sekä taloudellisiin että ekologisiin haasteisiin. Kun teknologia kehittyy, 3D-mallinnuksen soveltamismahdollisuudet laajenevat, ja se tukee alan siirtymistä kohti yhä enemmän digitaalisesti ohjattua, joustavampaa ja kestävämpää tuotantoa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Business Information Systems
Games Academy

OKSANEN, LEEVI:

The benefits and impact of 3D modelling in the automotive industry

Bachelor's thesis 40 pages

May 2025

This thesis examined the role of 3D modeling in the modern automotive industry. The study explored how 3D technologies have transformed vehicle design, technical development, testing, and production optimization. The thesis also considered the significance of 3D modeling from the perspectives of sustainability and environmental impact.

In addition to the theoretical part, the thesis includes a practical implementation where a 3D vehicle model was created using Blender 3D. The modeling focused on realistic aerodynamics and accurate proportions. The results of both the theoretical research and the practical work demonstrate how 3D modeling supports a more precise and resource-efficient automotive industry.

The study shows that 3D modeling is a central element of contemporary car manufacturing and enables the industry to meet both economic and ecological challenges. As technology continues to advance, the applications of 3D modeling are expected to expand, supporting a shift toward more digitally driven, flexible, and sustainable production processes.

Key words: 3D modeling, automotive industry, 3D technologies, sustainability

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	3D-MALLINNUS	7
	2.1 3D-mallinnuksen rooli suunnitteluprosessissa.....	8
	2.1.1 Monipuolinen suunnittelu ja testaaminen.....	9
	2.1.2 Vertailu perinteisiin menetelmiin	13
	2.2 Tarkkojen prototyyppien kehittäminen.....	13
	2.3 Tekoälyn ja uusien teknologioiden vaikutus	14
3	AUTOTEOLLISUUS	16
	3.1 Autoteollisuuden kehitysprosessi	17
	3.2 Taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristölliset näkökulmat.....	17
	3.3 Suunnittelun ja teknologian murros	18
4	3D-MALLINNUS AUTOTEOLLISUUDESSA.....	21
	4.1 3D-mallinnus suunnitteluprosessissa	21
	4.2 3D-mallinnus teknisessä kehityksessä ja osien suunnittelussa....	24
	4.3 Virtuaalinen testaus ja simulointi	25
	4.4 Tuotannon suunnittelu ja valmistuksen optimointi	28
5	KESTÄVÄ KEHITYS JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	30
	5.1 Materiaalitehokkuus ja valmistuksen optimointi.....	30
	5.1.1 Vaikutus energiankulutukseen.....	31
	5.2 Energiatehokkuus suunnittelussa ja testauksessa	32
	5.3 Logistiikan ja varaosatuotannon vaikutus ympäristöön	33
	5.4 Elinkaariajattelu	34
6	POHDINTA.....	36
	LÄHTEET	38

LYHENTEET JA TERMIT

3D	Kolmiulotteinen (Three-dimensional)
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer-Aided Design)
FEM	Elementtimenetelmä (Finite Element Method)
AM	Lisäainevalmistus (Additive Manufacturing)
CT	Tietokonetomografia (Computerized Tomography)
SLA	Stereolitografia (Stereolithography)
SLS	Selektiivinen lasersintraus (Selective Laser Sintering)
AI	Tekoäly (Artificial Intelligence)
VR	Virtuaalitodellisuus (Virtual Reality)
AR	Lisätty todellisuus (Augmented Reality)
CFD	Laskennallinen virtausdynamiikka (Computational Fluid Dynamics)
SCIL	Skenaariopohjainen testausympäristö (Scenario-in-the-Loop)
EJ	Eksajoule (energian yksikkö, 1 EJ = 10 ¹⁸ joulea)
Digitalisaatio	Teknologinen kehitys, jossa analogiset prosessit korvataan digitaalisilla ratkaisuilla
3D-mallinnus	Menetelmä, jossa luodaan kolmiulotteisia digitaalisia malleja
Digitaalinen kaksonen	Reaaliaikainen, digitaalisesti mallinnettu vastine fyysisestä tuotteesta tai järjestelmästä
Iteratiivinen suunnitteluprosessi	Toistuva suunnittelutapa, jossa ratkaisua kehitetään vaiheittain ja jatkuvasti parantaen
Simulaatio	Virtuaalinen mallinnus tai jäljittely todellisesta ilmiöstä tai prosessista, jota käytetään testaamiseen ja analysointiin

1 JOHDANTO

Digitalisaatio on muuttanut radikaalisti eri teollisuudenalojen toimintatapoja. Eri-tyisesti 3D-mallinnus on noussut merkittäväksi osa-alueeksi modernin suunnittelun ja tuotekehityksen saralla. Autoteollisuus on ollut yksi keskeisimmistä aloista, joilla 3D-mallinnuksen hyödyntäminen on mahdollistanut entistä nopeamman ja tarkemman kehitysprosessin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella 3D-mallinnuksen hyötyjä ja vaikutuksia autoteollisuudessa. Työ käsittelee, miten 3D-mallinnusta hyödynnetään suunnittelussa, teknisessä kehityksessä, virtuaalisessa testauksessa sekä tuotannon optimoinnissa. Lisäksi työssä käsitellään kestäväen kehityksen näkökulmia ja tarkastellaan, miten 3D-mallinnus tukee ympäristöystävällisempiä ratkaisuja autoteollisuudessa. Työssä perehdytään 3D-mallinnukseen yleisellä tasolla – mitä se on, miten se toimii ja millaisia hyötyjä ja haasteita siihen liittyy. Tämän jälkeen käsitellään autoteollisuutta omana kokonaisuutenaan, tarkastellen sen historiallista kehitystä, nykytilaa sekä alan muutoksia digitalisaation myötä.

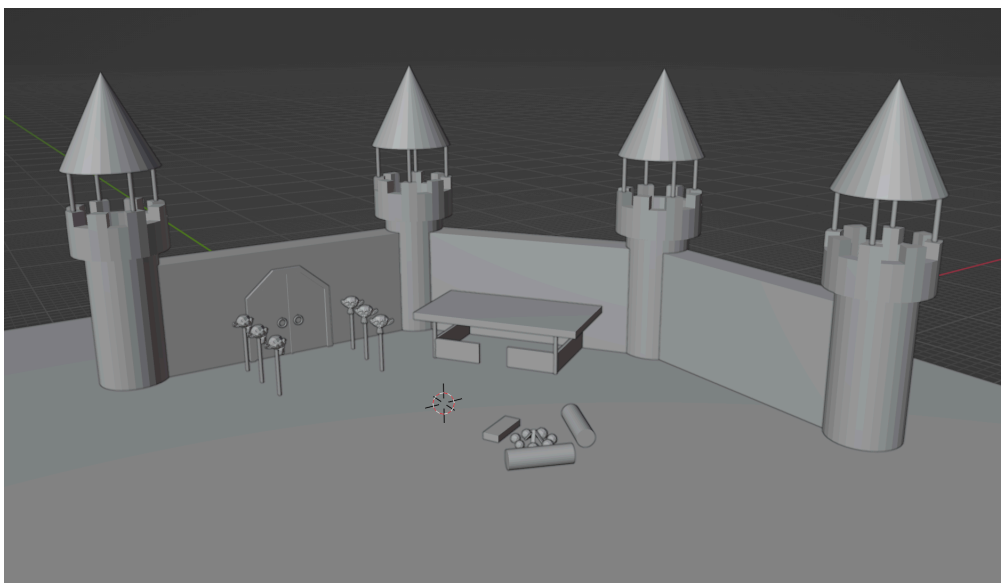
Lopuksi nämä kaksi teemaa tuodaan yhteen ja tarkastellaan, miten 3D-mallinnus vaikuttaa autoteollisuuteen kokonaisvaltaisesti. Erityinen painopiste on suunnitteluprosessien sujuvoittamisessa, teknologian hyödyntämisessä osien kehityksessä, virtuaalisessa testauksessa sekä tuotannon tehostamisessa. Samalla työssä käsitellään myös kestäväen kehityksen ulottuvuuksia ja sitä, millä tavoin 3D-mallinnus edistää ympäristön kannalta kestävämpiä ja resurssiviisaita toimintatapoja.

Työn yhteydessä on toteutettu myös käytännön osa, jossa luotiin 3D-malli ajoneuvosta Blender-ohjelmalla. Mallinnuksessa on keskitytty erityisesti korin muotoon ja ajoneuvon aerodynaamisiin piirteisiin. Mallin avulla tuodaan esille, miten 3D-mallinnusta voidaan hyödyntää visuaalisen ja teknisen laadun tuottamiseen autoteollisuudessa. Käytännön toteutus tukee opinnäytetyön teoreettista osuutta havainnollistamalla konkreettisesti, kuinka 3D-mallinnus näkyy autoteollisuuden kehityksessä.

2 3D-MALLINNUS

3D-mallinnus (kolmiulotteinen mallinnus) on prosessi, jossa luodaan kolmiulotteisia malleja tietokoneavusteisesti. Prosessissa yhdistyvät geometrian perusteet ja digitaalisen suunnittelun osaaminen. Näiden osa-alueiden avulla pystytään muodostamaan virtuaalisia versioita fyysisistä objekteista tai ympäristöistä. Tämän teknologian avulla voidaan simuloida todellisuutta ja testata eri suunnitteluratkaisuja ilman fyysisiä prototyyppijä. (Minnegalieva, Gabdrakhmanov, Khambelov, Khairullina, Bronskaya & Kharitonova, 2020, s. 2). Teknologiaa hyödynnetään suurella mittakaavalla myös aloilla, joilla tarkoitus ei ole luoda fyysisiä prototyyppijä, vaan visuaalisia komponentteja tai kokonaisuuksia esimerkiksi peleihin tai elokuvaan. Peli- ja elokuvateollisuuden lisäksi 3D-mallinnusta hyödynnetään muillakin eri aloilla, kuten arkkitehtuurissa, lääketieteessä, autoteollisuudessa ja insinööriyössä.

3D-mallinnus alkaa tyypillisesti perusmuotojen, kuten kuutioiden, pallojen tai sylinterien käytöstä. Näitä muotoja muokataan erilaisilla työkaluilla, kuten skaalaus, siirto, pyöristys ja deformaatio, kunnes haluttu muoto saavutetaan. Lopullinen malli voidaan viimeistellä lisäämällä siihen yksityiskohtia ja tekstuureja, jotta lopputuloksesta saadaan realistinen tai tavoitteiden mukainen. (Flor, 2011, s. 68).

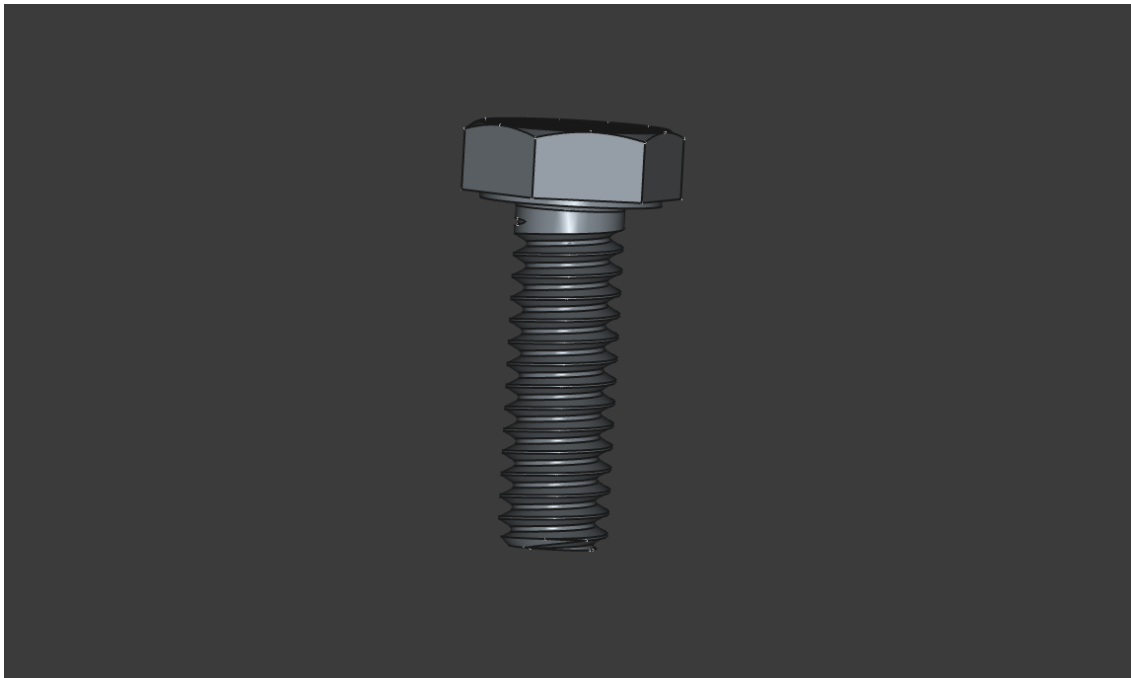


KUVA 1. Yksinkertainen 3D-luonnos Blender-ohjelmiston avulla. Kuvassa näkyy linnake, jonka luomiseen on käytetty 3D-mallinnuksen perusmuotoja ja muokkaustyökaluja.

2.1 3D-mallinnuksen rooli suunnitteluprosessissa

3D-mallinnus on nykypäivänä keskeinen teknologia, joka tukee monien alojen suunnitteluprosesseja. Tämän teknologian avulla voidaan luoda tehokkaasti tarkkoja prototyyppisiä ja valmiita konsepteja työn vaatimusten mukaisesti. 3D-mallinnus mahdollistaa suunnittelijoille ja insinööreille visuaalisen ja tarkan käsityksen lopullisesta tuotteesta jo varhaisessa vaiheessa vähentäen suunnitteluvirheiden riskiä ja nopeuttaen tuotekehitysprosessia. (Eastman, Sacks & Lee, 2003, s. 3-4).

Tietokoneavusteinen suunnittelu (CAD) mahdollistaa kevyiden ja monimutkaisten rakenteiden valmistuksen. Tämän teknologian merkittävimpiä etuja ovat tarkkuus, tehokkuus ja joustavuus. Digitaaliset mallit mahdollistavat tuotteiden visuaalisen ja rakenteellisen testaamisen ennen fyysistä valmistusta nopeuttaen kehitysprosessia ja minimoiden lopputuotteissa ilmeneviä epäkohtia. (Lim, Le, Lu & Wong, 2016, s. 18). Lisäksi niiden avulla voidaan simuloida erilaisia fyysisiä ominaisuuksia, kuten mittasuhteita ja erilaisten materiaalien käyttäytymistä edesauttaen lopputuloksen laatua. Monimutkaisten muotojen toteuttaminen on yksi 3D-mallinnuksen vahvuuksista, erityisesti aloilla, joilla keveys ja tarkkuus ovat keskeisiä tavoitteita. Lisäksi digitaalisten mallien helppo muokattavuus mahdollistaa suunnittelun nopean iteroinnin lopulliseen tuotteeseen säästämällä aikaa ja kustannuksia. (Zhang, Chen, Li, Han & Xu, 2024, s. 3-5).



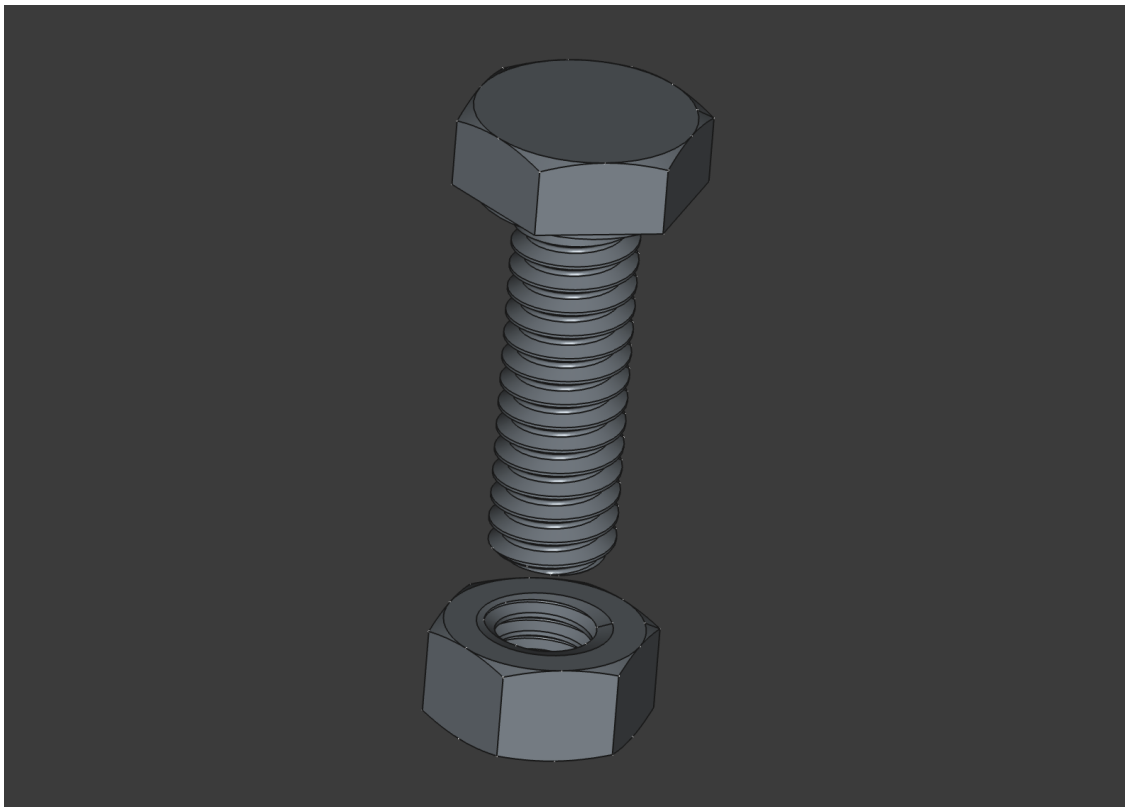
Kuva 2. Virtuaalinen 3D-malli pultista. Tämä pultti toteutettiin käyttäen CADfree-ohjelmaa. CAD-ohjelmilla pystytään luomaan yksityiskohtaisia prototyyppejä.

Vaikka teknologialla on monia etuja, sen käyttöön liittyy myös haasteita. Mallin-
nusohjelmistojen hallinta vaatii laadukasta teknistä osaamista, ja ohjelmien laaja
toiminnallisuus voi olla aloitteleville tekijöille haastavaa. Lisäksi realististen mal-
lien luominen voi olla aikaa vievää, erityisesti yksityiskohtien ja tekstuurien osalta.
Toinen keskeinen haaste liittyy laskentatehoon ja tiedostojen yhteensopivuuteen.
Suurikokoiset ja yksityiskohtaiset mallit voivat kuormittaa laitteistoa ja hidastaa
työnkulkua huomattavasti. Lisäksi mallien siirtäminen eri ohjelmistojen välillä voi
aiheuttaa tietohävikkiä ja vaatia lisätyötä yhteensopivuuden varmistamiseksi.
(Lim ym. 2016, s. 19-20). Haasteista huolimatta 3D-mallinnus on arvokas ja edel-
leen kehittyvä työkalu, joka edistää innovatiivisia ja tehokkaita työskentelymene-
telmiä sen potentiaalin kasvaessa jatkuvasti teknologian kehittyessä.

2.1.1 Monipuolinen suunnittelu ja testaaminen

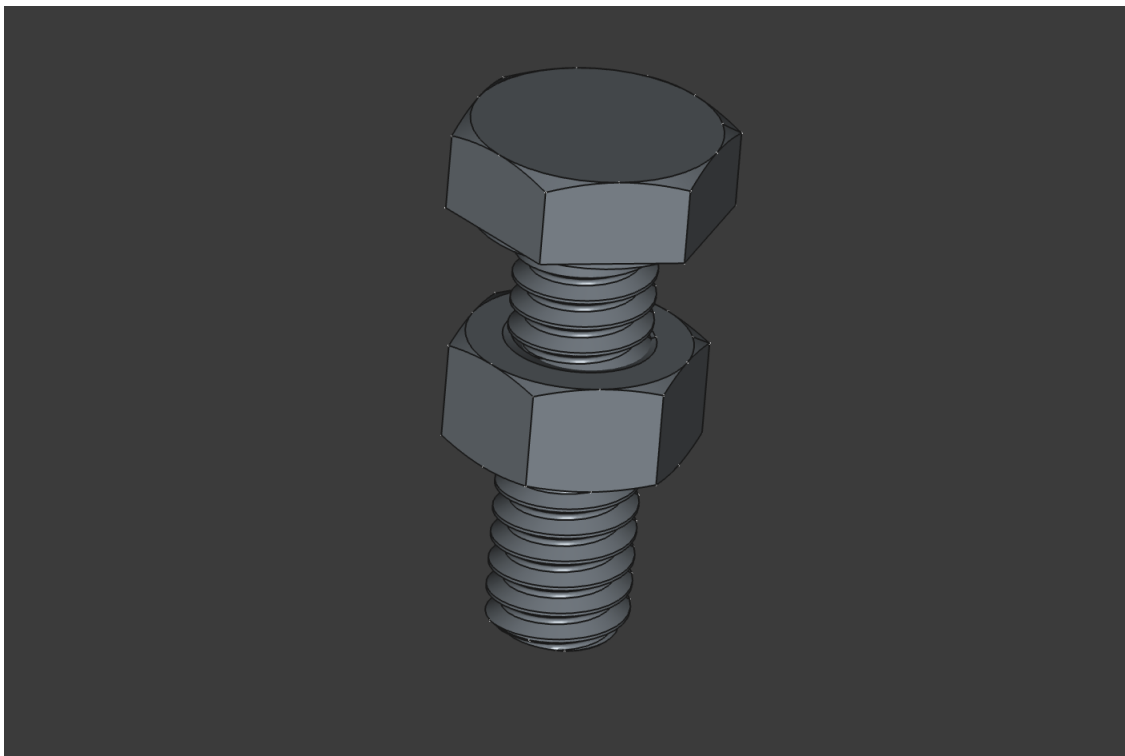
3D-mallinnus tarjoaa erinomaiset mahdollisuudet suunnittelun ja testaamisen yh-
distämiseen. Esimerkiksi virtuaaliset testaus- ja validointimenetelmät mahdollis-
tavat fyysisten ja digitaalisten mallien saumattoman yhdistämisen niin kutsutun
digitaalisen kaksosen avulla. Digitaalinen kaksonen on 3D-malli, joka kuvaa to-

dellista fyysistä kohdetta ja jäljittelee sen käyttäytymistä virtuaalisella työskentelyalustalla. Tämä toimintamalli mahdollistaa kohteen rakenteen ja käyttäytymisen analysoinnin sekä potentiaalisten virheiden ja uhkien havaitsemisen ennen fyysisten kappaleiden valmistusta. (Barosan & van der Heijden, 2022, s. 40).



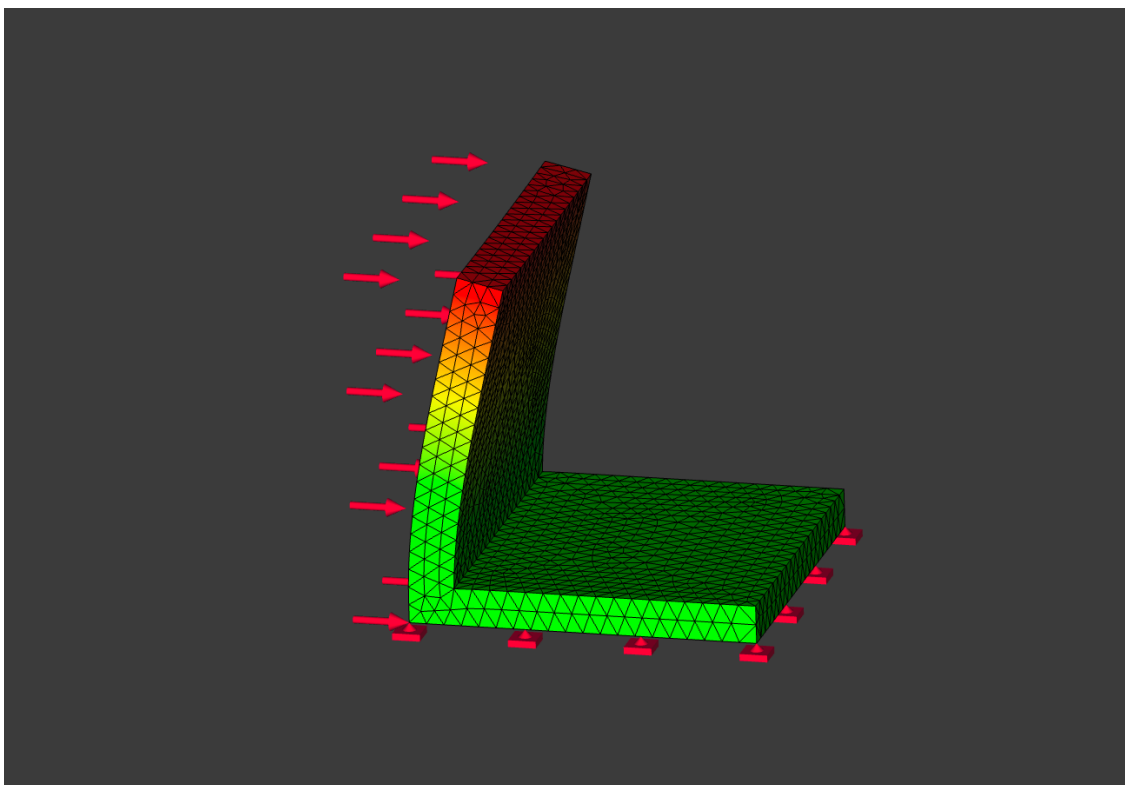
KUVA 3. Pultin ja mutterin digitaaliset kaksoset. Digitaalisten kaksosten avulla pystytään testaamaan osien yhteensopivuutta ja simuloimaan fyysisiä kappaleita virtuaalisesti.

3D-mallinnuksen ja testauksen yhdistäminen mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonvaihdon ja vuorovaikutuksen digitaalisen mallin ja fyysisen tuotteen välillä. Tämä edistää suunnittelutyön iteratiivista kehitystä ja tukee päätöksentekoa suunnitteluvaiheen aikana. (Barosan ym. 2022, s. 43).

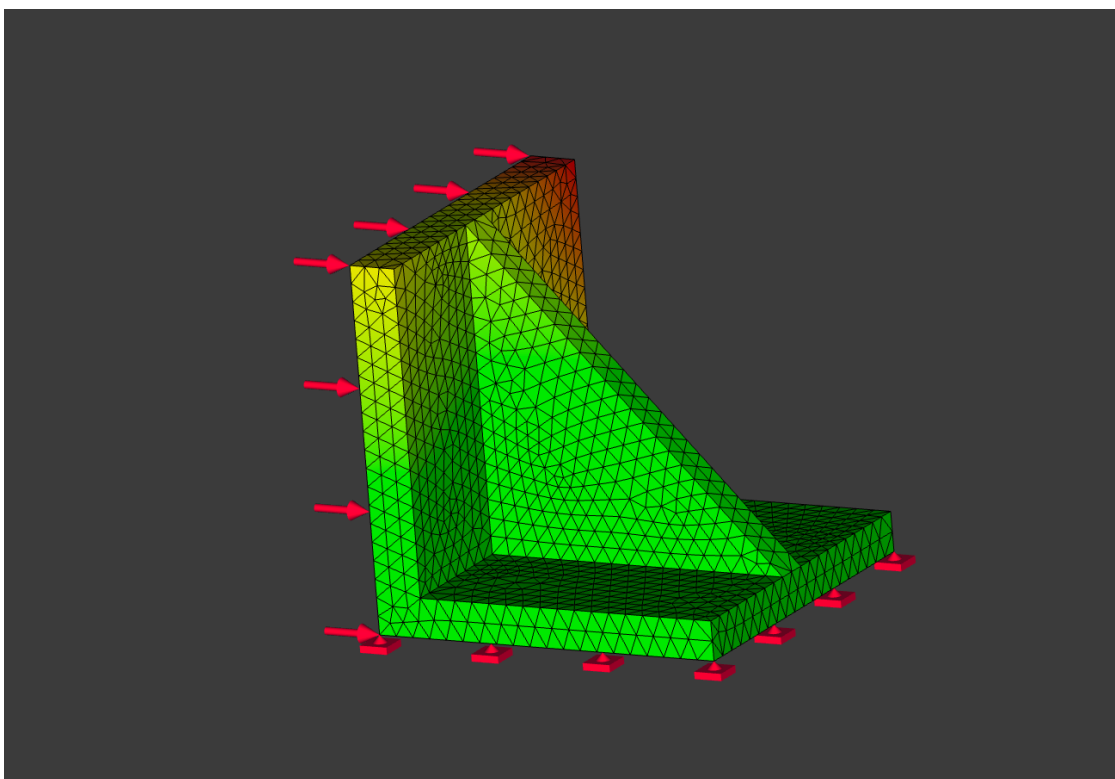


KUVA 4. Yhteensopivuustesti digitaalisten kaksosten avulla. Tulosten perusteella pystytään tarkastelemaan lopputulosta ja analysoimaan mahdollisia kehityskohtia.

Lisäksi 3D-mallinnuksen mahdollistama digitaalinen lähestymistapa tuo mukanaan ennakoivaa tehokkuutta päätöksentekoon ja materiaalien valintaan. Kehittyneiden päätöksentekojärjestelmien, kuten CAD-ohjelmistojen avulla suunnittelijat voivat optimoida tuotannon materiaaleja, kerrospaksuutta ja valmistusnopeutta vastaamaan tuotteen tarpeita. (Lim ym. 2016, s. 19). Tämän ansiosta suunnitteluprosessista tulee joustavampi ja räätälöidympi verrattuna perinteisiin lineaarisiin prosesseihin, joissa työn alla olevasta kohteesta tuotettaisiin fyysinen kappale, ennen testaamista ja tarkempaa analysointia. Yksi yleisesti käytetty testaamisen menetelmä on niin kutsuttu FEM-testi (Fine Element Method). FEM-testi on simulaatiomenetelmä, jonka avulla voidaan analysoida rakenteiden ja komponenttien käyttäytymistä erilaisissa olosuhteissa. Suurempi kokonaisuus 3D-mallista voidaan jakaa pieniin osiin, jonka jälkeen testin avulla lasketaan kuinka erilaiset voimat ja muut fysikaaliset ilmiöt vaikuttavat osien rakenteeseen. (Wang, Mao, Feng, Yang, Yu, Hou & Xie, 2025, s. 2).



KUVA 5. FEM-testi yksinkertaiselle alumiiniosalle. Tällä testaustyyllillä voidaan analysoida osien ja materiaalien kestävyyttä erilaisissa olosuhteissa ja paineen alla.



KUVA 6. Ratkaisuiden löytäminen. Testaamisen avulla osiin voidaan tehdä tarvittavia muutoksia paremman lopputuloksen saavuttamiseksi.

2.1.2 Vertailu perinteisiin menetelmiin

3D-mallinnus eroaa merkittävästi perinteisistä valmistus- ja suunnittelumenetelmistä. Perinteisesti tuotteiden prototyyppien valmistus on vaatinut monimutkaisia valmistusmenetelmiä, kuten koneistusta tai ruiskupuristusta. Verraten digitalisaation tuomiin uuden teollisen aikakauden menetelmiin, perinteiset menetelmät ovat hyvin aikaa vieviä ja kalliita prosesseja. 3D-mallinnuksen avulla on mahdollista tuottaa prototyyppisiä ja lopullisia osia suoraan digitaalisista malleista, jolloin välttyään monilta tuotantovaiheilta ja materiaalihävikiltä. (Park & Tran, 2017, s. 152).

Yksi keskeisimmistä eroista on 3D-mallinnuksen kyky luoda monimutkaisia geometrisia muotoja, joita perinteisillä menetelmillä on lähes mahdoton jäljitellä. Esimerkiksi 3D-tulostuksen avulla voidaan tuottaa sisäisiä rakenteita, kuten jäähdytyskanavia tai kennorakenteita, jotka parantavat tuotteiden toiminnallisuutta ja vähentävät niiden painoa. (Park ym. 2017, s. 151). Perinteisissä menetelmissä tällaiset rakenteet vaatisivat useita erillisiä tuotantovaiheita ja monimutkaisia koamisvaiheita.

2.2 Tarkkojen prototyyppien kehittäminen

Prototyypit ovat tuotteiden varhaisia versioita, joita käytetään suunnittelun, toiminnallisuuden ja toteutettavuuden testaamiseen ennen varsinaisten tuotteiden valmistusta. Ne tarjoavat mahdollisuuden arvioida ja parantaa tuotteen suunnittelua, ja niitä voidaan käyttää myös käyttäjätestauksessa sekä valmistusprosessien simuloinnissa. Tarkkuus ja yksityiskohtaisuus ovat prototyyppien suunnittelussa kriittisessä osassa, sillä niiden on heijastettava lopullisen tuotteen ominaisuuksia mahdollisimman tarkasti. (Real, Snider, Goudswaard & Hicks, 2021, s. 1305).

3D-mallinnus ja -tulostus ovat mullistaneet prototyyppien kehittämisen tarjoamalla nopeita ja tarkkoja ratkaisuja. Esimerkiksi tietokonetomografian (CT) tai 3D-ultraäänikuvantamisen avulla voidaan luoda tarkkoja virtuaalisia malleja, jotka 3D-tulostetaan fyysisiksi prototyypeiksi. Nämä menetelmät mahdollistavat jopa

alle millimetrin tarkkuuden saavuttamisen, mikä on erityisen hyödyllistä monimutkaisten tai yksilöllisesti räätälöityjen tuotteiden, kuten lääketieteellisten mallien suunnittelussa. (Birbara, Otton & Pather, 2019, s. 305).

Eri 3D-tulostusmenetelmät, kuten stereolitografia (SLA) ja valikoiva lasersintraus (SLS), tarjoavat erityyppisiä ratkaisuja eri tarpeisiin. SLA-tulostus on tunnettu äärimmäisestä tarkkuudestaan ja soveltuu hyvin yksityiskohtaisten pintojen luomiseen, kun taas SLS-tulostus on ideaali kestävyyttä vaativiin rakenteisiin. (Birbara ym. 2019, s. 304). Näiden teknologioiden avulla prototyyppejä voidaan luoda nopeasti ja kustannustehokkaasti vaadittujen ominaisuuksien mukaan. Prototyyppien kehittäminen 3D-mallinnuksen avulla mahdollistaa iteratiivisen suunnittelu-prosessin, jossa malleja voidaan testata ja muokata tarpeiden mukaan.

2.3 Tekoälyn ja uusien teknologioiden vaikutus

Tekoäly (AI) ja muut kehittyvät teknologiat ovat tuoneet 3D-mallinnuksen kenttään uusia mahdollisuuksia ja näiden teknologioiden integrointi on lisännyt 3D-mallinnuksen soveltuvuusmahdollisuuksia. Tekoälyä hyödynnetään yhä enemmän esimerkiksi automaattisessa suunnittelussa, jossa algoritmit voivat luoda, analysoida ja optimoida 3D-malleja suunnittelijan antamien parametrien perusteella. (Dunsin, 2025, s. 2-3).

Lisäksi tekoälyä käytetään virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden (VR/AR) yhteydessä, mikä mahdollistaa 3D-mallien interaktiivisen visualisoinnin ja manipuloinnin reaaliaikaisesti. (Chun, 2021, s. 3). Tekoäly näyttäisi olevan kasvavassa roolissa tietokonepainotteisten alojen tulevaisuudessa, ja se on mahdollistanut uudenlaisten lopputulosten luomisen. Tulevaisuudessa myös 3D-tulostusteknologian uskotaan hyödyntävän tekoälyä laajamittaisesti, ja tekoälyn kehittyessä sen odotetaan yleistyvän eri aloilla neljännen teollisen vallankumouksen aikana. (Chun, 2021, s. 3). Tekoäly on kuitenkin vielä vahvasti kehitysvaiheessa, eikä siihen voida vielä kaikilta osin täysin luottaa. Ihmisen päätöksentekotaito ja työn valvominen on edelleen tärkeässä ja pääpainotteisessa roolissa tuotannon aloilla.

Tekoälyn lisäksi 3D-mallinnuksen kehitystä tukevat muut teknologiat, kuten edistyneet kuvantamismenetelmät ja koneoppiminen. Nämä menetelmät mahdollistavat monimutkaisten rakenteiden ja yksilöllisten mallien tarkan luomisen nopeasti ja kustannustehokkaasti. Tulevaisuudessa tekoälyn ja 3D-mallinnuksen yhdistelmä voi laajentaa mahdollisuuksia entisestään, jolloin tuotanto, koulutus ja suunnittelu voivat saavuttaa seuraavan askeleen tehokkuuden ja luovuuden saralla. (Chun, 2021, s. 5).

3 AUTOTEOLLISUUS

Autoteollisuuden historia on tiivis osa maailmanlaajuisista tuotannon kehitystä ja teollisen vallankumouksen vaikutuksia. Ensimmäiset autot kehitettiin 1800-luvun loppupuolella, kun höyry- ja hevosvetoiset kulkuneuvot alkoivat väistyä polttomoottorien tieltä. Karl Benzin vuonna 1885 esittelemää Benz Patent-Motorwagenia pidetään yleisesti ensimmäisenä autonä, ja sen myötä käynnistyi autoteollisuuden kehityksen uusi aikakausi. 1900-luvun alussa Henry Fordin kehittämä liukuhihnatuotanto teki autoista edullisempia ja toi massatuotannon käsitteen autoteollisuuden alalle. Tämä innovaatio mullisti paitsi autoteollisuuden myös laajemmin teollisuustuotannon asettaen perustan nykyaikaisille valmistusmenetelmille. (Dutton, 2006, s. 8).

Teknologian kehitys autoteollisuudessa on aina kulkenut käsi kädessä insinööritaidon ja uusien innovaatioiden kanssa. 1950–1980-luvuilla autoteollisuus koki merkittäviä teknologisia kehitysaskeleita, jotka olivat luonteeltaan asteittaisia ja reagoivat sekä teknisiin mahdollisuuksiin että käyttäjien tarpeisiin. Muutokset perustuivat usein insinöörien tekemiin pieniin parannuksiin, jotka lisäsivät autojen tehokkuutta ja toimivuutta. Esimerkiksi polttoaineen ruiskutuksen ja sytytysjärjestelmien kehittyessä moottoreista alettiin saada enemmän tehoa irti ilman, että niiden koko kasvoi merkittävästi. Tämä tarkoitti parempaa hyötysuhdetta ja taloudellisempaa ajamista. Samalla turvallisuuden merkitys kasvoi kuluttajien mielissä. Tavoitteet turvallisesta ajokokemuksesta ohjasi valmistajia integroimaan uusia käyttäjäpainotteisia ratkaisuja alalle. Turvallisuusinnovaatiot, kuten ABS-jarrut ja turvatyyny tulivat laajempaan käyttöön näinä vuosikymmeninä. (Wal, 2007, s. 7). Tämä kehitys kuvastaa miten teknologinen muutos autoalalla on tapahtunut usein vähittäisin askelin, käyttäjien toiveiden ja tuotantorakenteiden rajoitusten muovaamana. Alan kehitystä voidaan tarkastella osana monitasoista kokonaisuutta, jossa pienet muutokset vaikuttavat auton kokonaisuuteen ja sen rooliin yhteiskunnassa. Teknologian räjähdysmäiset kehitysaskleet voivat kuitenkin muuttaa myös autoteollisuuden kehityksen käyrää huomattavasti nopea-tempoisemmaksi historiaan verraten.

3.1 Autoteollisuuden kehitysprosessi

Nykyään autoteollisuus on keskellä merkittävää muutosta, jota ohjaa digitalisaatio, automaatio ja kestävä kehitys tavoitteet. Digitalisaatio on muovannut perinteisiä liiketoimintamalleja ja ajanut autovalmistajia mukautumaan uuteen toimintaympäristöön. Keskeisiä kehityssuuntia ovat älykkäät ja elektroniikkaa sisältävät ajoneuvot, sähköautojen yleistyminen, tuotantoprosessien automatisointi sekä asiakkaiden ostokäyttäytymisen muutos. Teollisuuden kehityksen myötä autoteollisuuden tuotantoprosessit ovat entistä automatisoidumpia ja datavetoisempia. Robotiikan ja tekoälyn yhdistäminen valmistusprosessiin on lisää tehokkuutta ja mahdollistaa monipuolisemman tuotannon. Digitaaliset suunnittelujärjestelmät ja älykkäät toimintamallit, kuten linjastotuotanto ja automaatiotuotanto ovat vähentäneet tuotantokustannuksia ja lyhentäneet uusien ajoneuvomallien valmistusaikaa. Samalla digitaalisten teknologioiden integrointi ajoneuvoihin on muuttanut autojen yleisilmettä. Nykyään jopa puolet ajoneuvon toiminnasta perustuu ohjelmistoihin ja digiratkaisuihin, kuten autonomiseen ajoon ja kuljettajaa avustaviin järjestelmiin. (Llopis-Albert, Rubio & Valero, 2021, s. 3). Tämä kehitys näkyy ajoneuvojen älykkyyden kehittämisessä, jolloin perinteinen kuljettajan rooli muuttuu asteittain passiivisemmäksi.

Autoteollisuus elää murrosvaihetta, jossa digitalisaatio ei ole enää vain vaihtoehto, vaan elinehto kilpailukyvyn säilyttämiseksi. Teollisuuden on investoitava voimakkaasti uusiin ratkaisuihin, jotta se voi vastata kasvaviin kuluttajaodotuksiin, tiukentuviin sääntelyvaatimuksiin ja muuttuvaan liiketoimintaympäristöön.

3.2 Taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristölliset näkökulmat

Autoteollisuuden kehitysprosessissa painopiste on siirtynyt perinteisestä tuotantolähtöisyydestä kohti kestävämpiä ja innovatiivisempia toimintamalleja. Tämä muutos on ollut vastaus sekä lainsäädännön tiukentuviin vaatimuksiin että kuluttajien, sekä valmistajien kasvavaan kiinnostukseen ympäristöystävällisiä ratkaisuja kohtaan. Kehitysprosessin edistämiseksi autoteollisuuden toimijat pyrkivät yhdistämään kolme keskeistä vastuualuetta: taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristölliset näkökohdat. (Cioca, Ivascu, Turi, Artene & Gaman, 2019, s. 6). Näiden

periaatteiden integroiminen liiketoimintastrategioihin ei ainoastaan pienennä hiilijalanjälkeä, vaan myös kehittää autovalmistajien kilpailukykyä globaalilla tasolla.

Taloudellinen näkökulma liittyy siihen, kuinka autoteollisuus voi säilyttää ja parantaa kannattavuuttaan samalla, kun se siirtyy kestävämpiin ratkaisuihin. Uusien tuotteiden, kuten sähköajoneuvojen ja autonomisten järjestelmien kehittäminen edellyttää merkittäviä investointeja tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Digitalisaatio ja automaatio ovat mahdollistaneet resurssien tehokkaamman hallinnan ja tuotantokustannusten alentamisen, mikä parantaa yritysten taloudellista suorituskykyä. (Llopis-Albert ym. 2021, s. 2).

Sosiaalinen näkökulma korostaa työntekijöiden hyvinvointia, työllisyyden säilyttämistä ja yhteiskunnallista vastuuta. Digitalisaatio ja sähköajoneuvoihin siirtymisen vaikuttavat työpaikkoihin ja työntekijöiden osaamisvaatimukseen, sillä perinteisten polttomoottoritekniologioiden tuotanto vaatii erilaisia taitoja kuin sähköautojen valmistus. Monet yritykset ovatkin panostaneet henkilöstönsä uudelleen- koulutukseen varmistaakseen, että heidän työntekijänsä kykenevät vastaamaan muuttuvan alan vaatimukseen. (Llopis-Albert ym. 2021, s. 6).

Ympäristöllinen näkökulma on ollut yksi suurimmista autoteollisuutta muokkaavista tekijöistä viime vuosikymmeninä. Ilmastonmuutoksen hillitseminen, päästöjen vähentäminen ja kiertotalouden periaatteiden omaksuminen ovat nousseet keskeisiksi tavoitteiksi. Monet autovalmistajat ovat sitoutuneet hiilineutraaliuteen ja kehittävät aktiivisesti uusia ratkaisuja, kuten kierrätettävien materiaalien hyödyntämistä ja energiankulutuksen optimointia tuotantoprosesseissa. (Llopis-Albert ym. 2021, s. 12). Ajoneuvojen sähköistyminen ja materiaalien kierrätys ovat nykypäivän vallitsevia ja ohjaavia trendejä autoteollisuuden alalla.

3.3 Suunnittelun ja teknologian murros

Autoteollisuus elää voimakasta murrosvaihetta, jossa suunnittelumenetelmät ja tuotantoteknologiat ovat siirtyneet perinteisestä käsityövaltaisesta mallista kohti digitaalisesti ohjattua ja dataan pohjautuvaa prosessia. Tietokoneavusteinen

suunnittelu on korvannut perinteiset luonnokset ja fyysiset prototyypit nopeamilla, tarkemmilla ja kustannustehokkaammilla ratkaisuilla. Esimerkiksi 3D-mallien avulla eri osien yhteensopivuus ja kokoonpanon toimivuus voidaan tarkistaa ennen kuin yhtäkään osaa valmistetaan. Tämä muutos on tehnyt suunnittelusta entistä visuaalisempaa ja iteratiivisempaa parantaen lopputuotteen laatua ja kehityssyklin pituutta. (Elakkad, 2019, s. 248).

	Perinteinen suunnittelu	Digitaalinen suunnittelu
Prototyypit	Fyysiset mallit	3D-mallit / virtuaaliset mallit
Suunnittelu-aika	Aikaa vievä, riippuvainen fyysisestä toteutuksesta	Nopea, vaivaton virtuaalinen toteutus
Muokattavuus	Rajallinen	Korkea
Kustannukset	Korkeat, fyysiset materiaalit	Alhaisemmat, virtuaalinen suunnittelu
Simulointimahdollisuudet	Rajoitettu tai olematon	Laajat simulointimahdollisuudet
Yhteistyö ja jakaminen	Hidasta ja manuaalista	Reaaliaikainen ja hajautettu yhteistyö
Ympäristövaikutus	Usein ilmenevää materiaalihukkaa	Vähemmän fyysisiä resursseja

TAULUKKO 1. Perinteisen ja digitaalisten suunnittelumenetelmien vertailu.

Digitalisaatio on lisäksi mahdollistanut monialaisen yhteistyön eri toimijoiden välillä. Pilvipohjaiset suunnittelualustat ja reaaliaikainen datan jakaminen mahdollistavat suunnittelutiimien työskentelyn rinnakkain eri puolilla maailmaa. Tämä tuo joustavuutta tuotekehitykseen ja lyhentää merkittävästi markkinoille pääsyn aikaa. (Llopis-Albert, Rubio & Valero, 2021, s. 5)

Murros ei ole pelkästään tekninen, vaan myös kulttuurinen: kuluttajien odotukset, lainsäädännölliset vaatimukset ja kilpailun paine ovat ohjanneet suunnittelun kehitystä kohti aerodynaamisempia, kompaktimpia ja yhtenäisempiä muotoja. Samalla eri automerkit ovat alkaneet muistuttaa yhä enemmän toisiaan, mikä viittaa

niin sanottuun muotoilulliseen konvergenssiin – ilmiöön, jossa eri valmistajien mallit lähestyvät toisiaan sekä rakenteellisesti että visuaalisesti. Kilpailusta huolimatta yritykset päätyvät suunnittelemaan samankaltaisia ajoneuvoja, joissa esimerkiksi korimuodot ja mittasuhteet noudattavat samoja aerodynaamisia ja markkinalähtöisiä linjoja. Syinä tähän ovat muun muassa polttoainetehokkuuden vaatimukset, kuluttajien suosimat muodot, turvallisuusstandardit sekä tarve optimoida tuotantokustannuksia jakamalla komponentteja eri mallien ja brändien välillä. Lopputuloksena auton ulkonäöstä tulee yhtenäisempi, ja erot valmistajien välillä näkyvät usein enää lähinnä yksityiskohdissa tai brändin tunnusomaisessa muotokielessä. (Costa & Aguzzi, 2015, s. 262-263).

Suunnittelun ja teknologian murroksen ytimessä toimii yhä useammin 3D-mallinnus. Se ei ole pelkästään visuaalinen esitysmuoto, vaan kokonaisvaltainen työkalu, jonka avulla voidaan hallita muotoilua ja tuotannon tehokkuutta yhdestä digitaalisesta ytimeistä käsin.

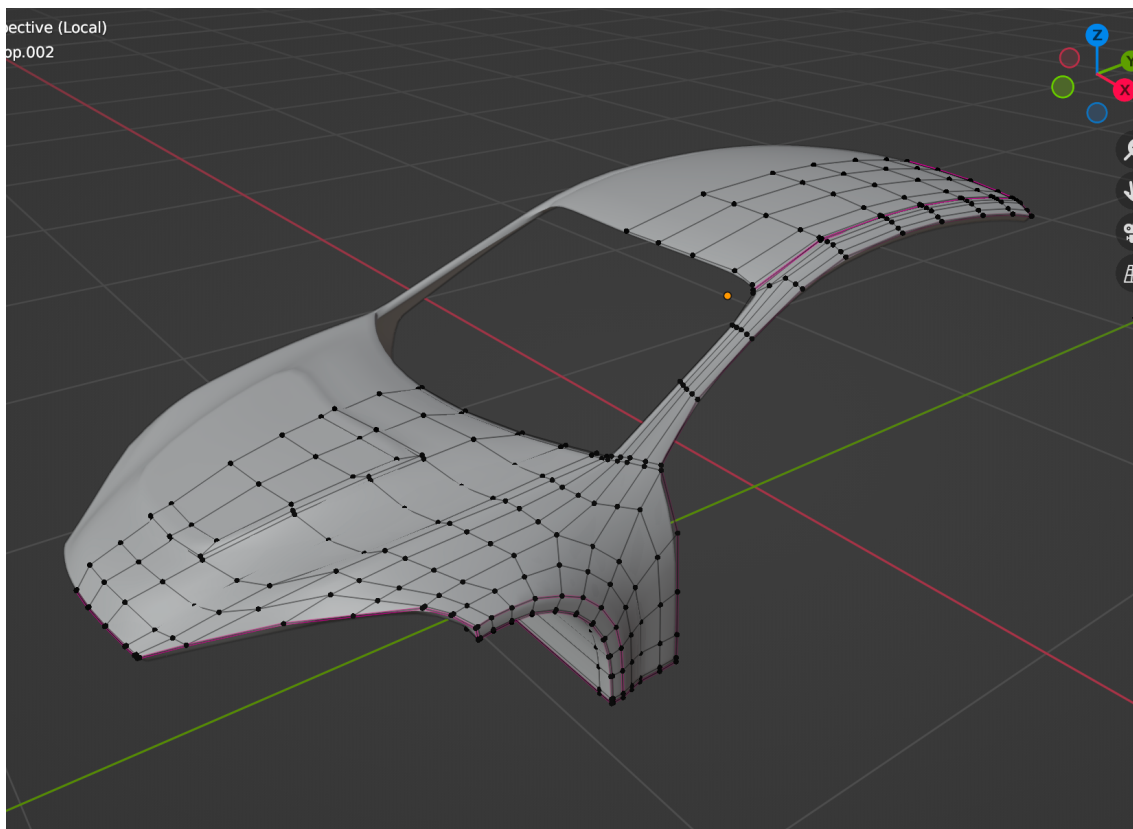
4 3D-MALLINNUS AUTOTEOLLISUUDESSA

3D-mallinnus on noussut yhdeksi autoteollisuuden tärkeimmistä työkaluista ja sen merkitys kasvaa jatkuvasti kyseisen teknologian kehittyessä. Perinteiset suunnittelumenetelmät ovat väistyneet digitaalisesti luotujen tarkkojen ja realististen mallien tieltä. Nykyään lähes kaikki autonvalmistajat hyödyntävät 3D-mallinnusta monipuolisesti eri vaiheissa; auton ulkomuodon ja aerodynamiikan suunnittelussa, sisätilojen ergonomian ja materiaalien optimoinnissa sekä osien virtuaalisessa testauksessa. Virtuaalimallit mahdollistavat myös törmäystestien simuloinnin ja valmistusprosessien optimoinnin, jotka nekin tapahtuvat kolmiulotteisessa ympäristössä. (Elakkad, 2019, s. 248).

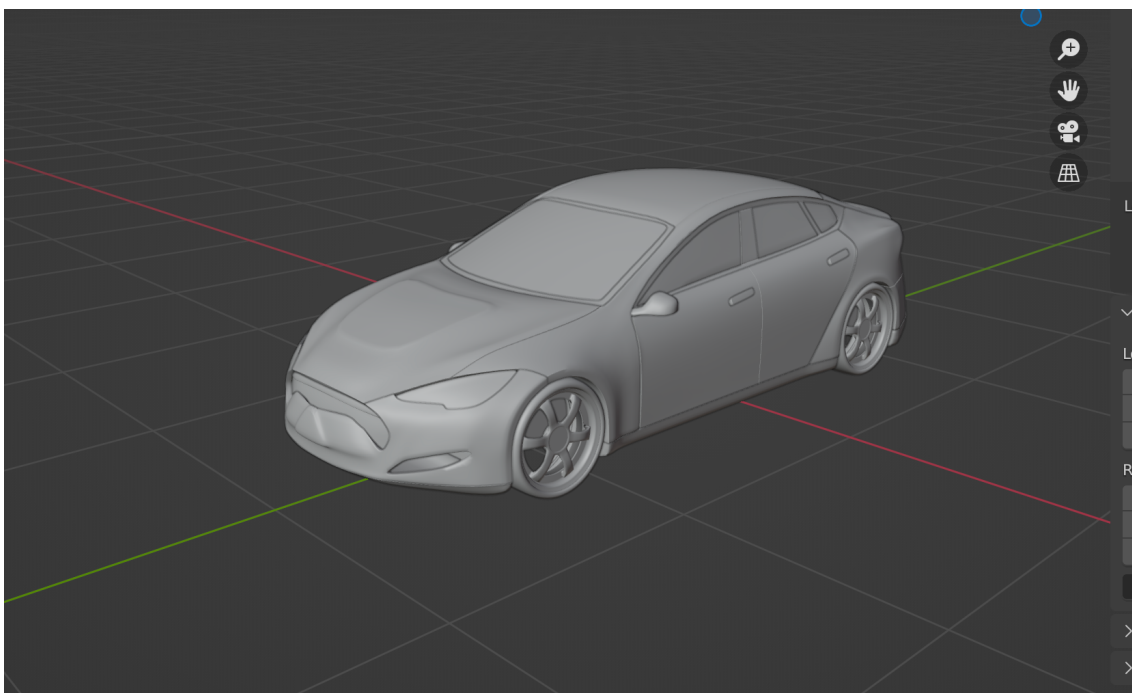
Fyysisten prototyyppien tarpeen vähentyessä resurssien käyttö tehostuu, ja suunnitteluprosessista tulee joustavampi. Lisäksi 3D-mallinnuksen avulla uusien innovaatioiden määrä on noussut huomattavasti tarjoten autonvalmistajille kilpailuetua alati muuttuvilla markkinoilla. (Elakkad, 2019, s. 248).

4.1 3D-mallinnus suunnitteluprosessissa

Ajoneuvon suunnitteluprosessi alkaa ulkomuodon, muotoilun ja aerodynamiikan kehittamisestä, jossa 3D-mallinnus on keskeisessä asemassa. Digitaalisten työkalujen avulla suunnittelijat voivat visualisoida ajoneuvon kokonaisilmeen, linjat ja aerodynaamiset muodot jo varhaisessa vaiheessa ilman tarvetta fyysisille prototyypeille. Samalla muotojen ja materiaalien testaaminen tapahtuu kustannustehokkaasti virtuaalisia työmenetelmiä käyttäen. (Giffi, Gangula & Illinda, 2014, s. 18).

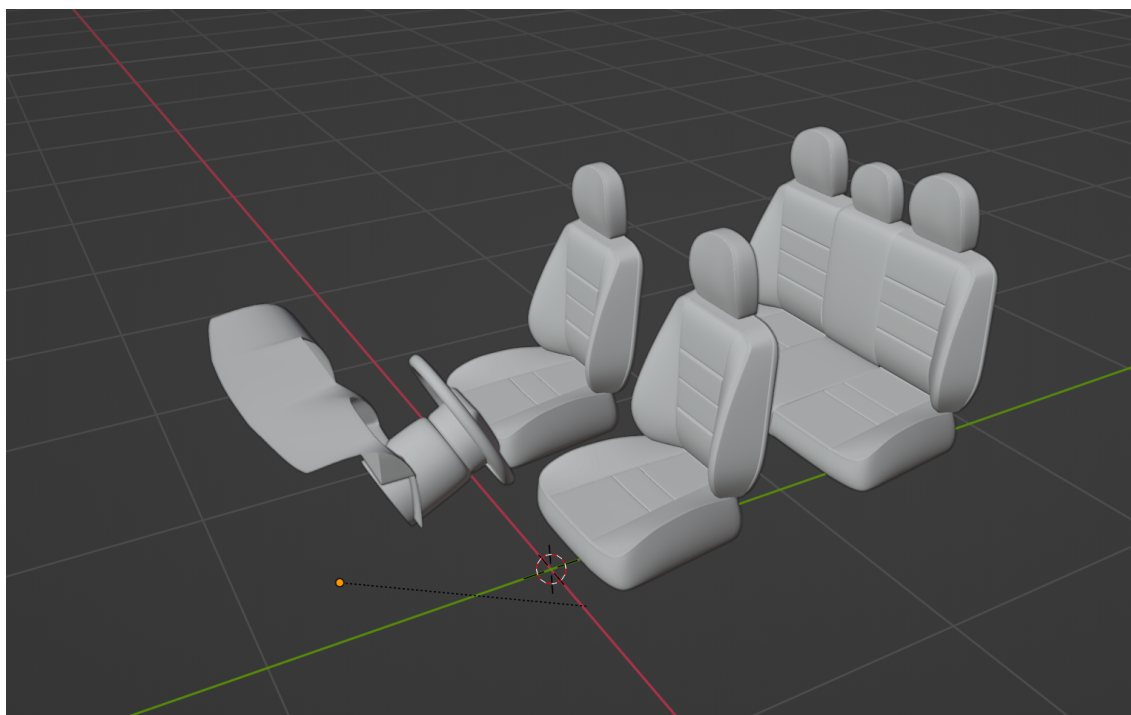


KUVA 7. Auton ulkomuodon suunnittelua Blender-ohjelmiston avulla.



KUVA 8. Lopullinen 3D-konseptimalli autosta. Mallissa on erityisesti kiinnitetty huomiota aerodynaamisiin muotoihin, ilmanottoaukkojen tehokkuuteen ja moottoritilan kokoon.

3D-mallinnus ei rajoitu ainoastaan ajoneuvon ulkoasun visualisointiin, vaan sitä hyödynnetään myös yksityiskohtaisessa teknisessä suunnittelussa. Tietokoneavusteinen suunnittelu (CAD) mahdollistaa ajoneuvon eri osien, kuten rungon, sisätilojen ja teknisten komponenttien tarkan mallintamisen. (Elakkad, 2019, s. 248). Digitaalisen toteutuksen ansiosta luovan työn määrä on kasvanut merkittävästi. Erilaisia ideoita ja konseptiautoja on vaivatonta toteuttaa kustannustehokkaasti kolmiulotteisessa ympäristössä. Tämän ansiosta autoteollisuuden virtaa jatkuvasti uusia ideoita ja luonnoksia.



KUVA 9. Auton sisätilojen suunnittelua. Huomio kiinnittyy istuma-asennon mukavuuteen ja tilan optimointiin.

Erityisen merkittävä rooli 3D-mallinnuksella on asiakaskohtaisten ratkaisujen ja tulevaisuuden konseptimallien kehittämisessä. Digitaalisten työkalujen avulla ajoneuvovalmistajat voivat räätälöidä tuotteita asiakkaiden yksilöllisten tarpeiden mukaan ja kokeilla innovatiivisia muotoiluratkaisuja ilman suuria investointeja fyysisiin prototyyppisiin. Esimerkiksi luksusautojen valmistajat ovat hyödyntäneet 3D-mallinnusta asiakaskohtaisten sisustusratkaisujen suunnittelussa (Giffi ym. 2014, s. 10).

4.2 3D-mallinnus teknisessä kehityksessä ja osien suunnittelussa

3D-mallinnuksen merkitys autoteollisuuden teknisessä kehityksessä ja osien suunnittelussa on kasvanut huomattavasti viime vuosikymmeninä. Teknologian avulla autonvalmistajat voivat suunnitella, testata ja optimoida ajoneuvon komponentteja digitaalisessa ympäristössä ennen fyysisen tuotannon aloittamista. Tämä lähestymistapa vähentää tuotantokustannuksia, lyhentää kehitysaikaa ja mahdollistaa monimutkaisten sekä kevyempien rakenteiden suunnittelun, jotka parantavat esimerkiksi ajoneuvojen suorituskykyä ja polttoainetaloudellisuutta. (Giffi ym. 2014, s. 4).

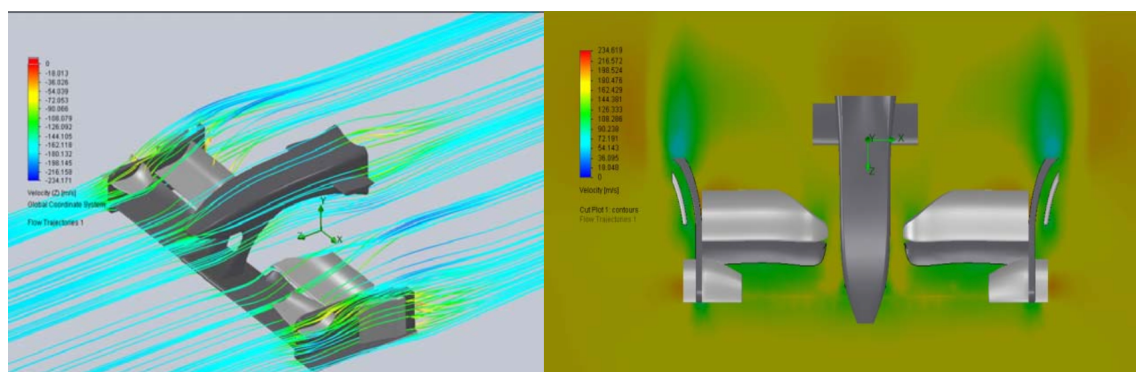
Yksi keskeisimmistä teknologioista tässä kehityksessä on lisääainevalmistus (AM), joka tunnetaan myös 3D-tulostuksena. Lisääainevalmistus mahdollistaa komponenttien valmistamisen kerros kerrokselta suoraan digitaalisesta mallista, mikä poikkeaa perinteisistä valmistusmenetelmistä, joissa materiaalia poistetaan suuremmasta aiheesta lopullisen muodon saavuttamiseksi. (Dalpadulo, Petruccioli, Gherardini & Leali, 2022, s. 2). Autoteollisuudessa lisääainevalmistusta hyödynnetään erityisesti prototyyppien valmistuksessa, varaosien tuotannossa sekä pienten sarjojen ja yksilöllisten komponenttien valmistuksessa. Esimerkiksi monimutkaiset geometriset muodot ja sisäiset kanavarakenteet, kuten jäähdytiskanavat moottorikomponenteissa voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti 3D-tulostamalla (Lim ym. 2016, s. 20). Lisääainevalmistus kehittyy jatkuvasti, ja käytettävien materiaalien määrä sekä laatu ovat kaksivujohdanteisessa nousussa.

Useat autoteollisuuden toimijat hyödyntävät lisääainevalmistusta myös tuotannon tukitoimissa, esimerkiksi työkalujen valmistuksessa. BMW on raportoinut saavuttaneensa merkittäviä kustannussäästöjä ja lyhentäneensä tuotannon läpimenoaikoja hyödyntämällä AM-teknologialla räätälöityjen työkalujen valmistusta (Giffi ym. 2014, s. 7). Lisäksi tekniikka tukee varaosien valmistusta tilanteissa, joissa perinteisiä komponentteja ei ole enää saatavilla. Tämä on erityisen tärkeää klassikkoautojen entisöinnissä, jossa alkuperäisiä osia ei enää valmisteta (Dalpadulo ym. 2022, s. 3).

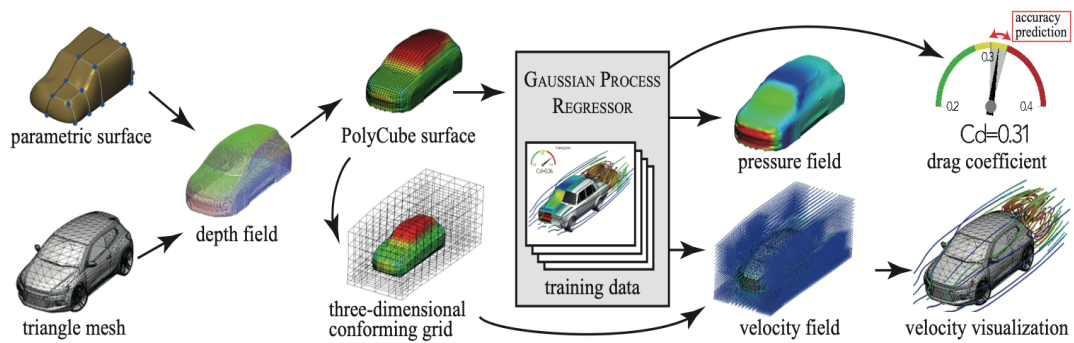
Lisäainevalmistuksen hyödyntäminen suunnitteluprosessissa tukee myös digitaalisten työkaluketjujen kehitystä. Digitaaliset mallit voidaan integroida suoraan valmistusprosessiin, mikä vähentää virheiden riskiä ja parantaa tuotantoprosessin laatua. Lisäksi nykyaikaiset päätöksenteon tukijärjestelmät auttavat valmistajia valitsemaan sopivimmat lisäainevalmistusmenetelmät tuotantotarpeidensa mukaan. (Park ym. 2017, s. 151).

4.3 Virtuaalinen testaus ja simulointi

Virtuaalinen testaus on noussut merkittäväksi osaksi autoteollisuuden tuotekehitysprosessia. 3D-mallinnuksen avulla voidaan simuloida ajoneuvojen käyttäytymistä erilaisissa olosuhteissa (Aparow, Choudary, Kulandaivelu, Webster, Dauwels & de Boer, 2025, s. 115). Yksi keskeinen sovellusalue on aerodynamiikan simulointi. Perinteiset fyysiset tuulitunnelikokeet ovat kalliita ja aikaa vieviä toimenpiteitä. Tämän vuoksi yhä useammat autovalmistajat ovat siirtyneet hyödyntämään laskennallisen virtausdynamiikan (CFD) simulaatioita. (Dragos & Popa, 2018, s. 5). Näiden simulaatioiden avulla voidaan arvioida ilmanvastusta, nostovoimia sekä painetta ajoneuvon pinnalla varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Koneoppimiseen perustuvan menetelmän avulla voidaan arvioida aerodynaamisia ominaisuuksia reaaliajassa suoraan 3D-mallista tehostaen suunnitteluprosessia entisestään. Tällaiset testausmenetelmät tarjoavat runsaasti erilaisia variaatioita auton ominaisuuksien testaamiseen. Mahdollisuuksia on huomattavasti enemmän kuin fyysisessä, mutta yksinkertaisessa tuulitunnelimenetelmässä. (Umetan & Bickel 2018, s. 89:1-89:2).



KUVA 10. Laskennallisen virtausdynamiikan simulaatio formulan etusiiven aerodynamiikkaan (Dragos ym. 2018, s. 4).



KUVA 11. Aerodynamiikan testauksen vaiheet (Umetan & Bickel 2018, s. 89:1).

Virtuaalisen testauksen avulla voidaan myös simuloida ajoneuvon käyttäytymistä liikennetilanteissa. Erityisesti autonomisten ajoneuvojen kehityksessä 3D-ympäristöihin pohjautuvat simulaatioalustat, kuten IPG CarMaker, ovat olennainen osa testausta. Tämänkaltaisten alustojen avulla voidaan testata ajoneuvon sensoreiden reaktioita erilaisiin liikennetilanteisiin ilman riskiä ihmisille tai materiaalille. (Aparow ym. 2019, s. 116). Simulaatiot mahdollistavat esimerkiksi törmäystilanteiden, hätäjarrutusten ja esteiden väistämisen testaamisen kontrolloidussa virtuaaliympäristössä.

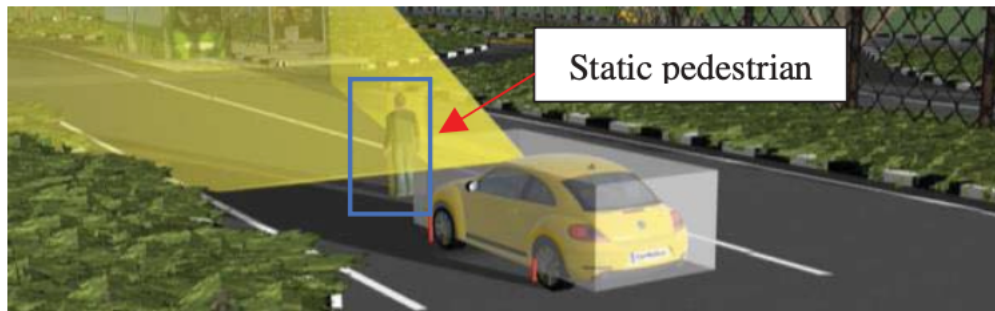


Figure 6. Scenario 1 for AV testing

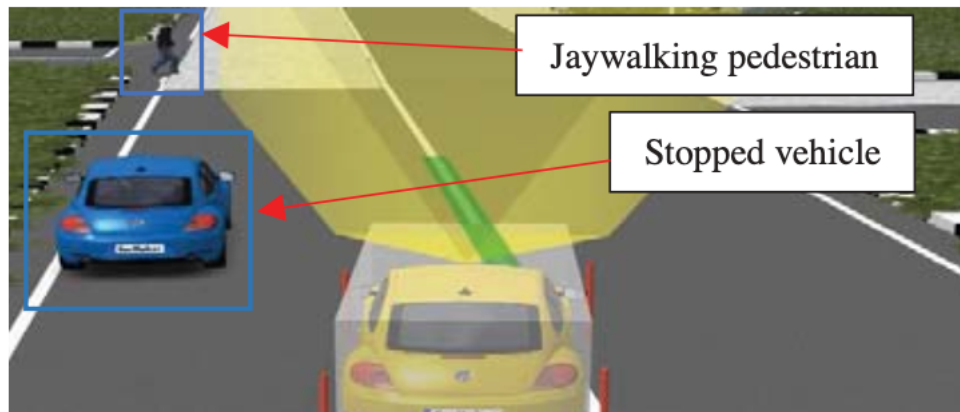


Figure 7. Scenario 2 for AV testing

KUVA 12. IPG CarMaker -ohjelman avulla luotu sensoritesti staattisen ja aktiivisen tilanteen lukemiseen. Testissä sensorit analysoivat ympäristöään vaihtelevan tilanteen mukaan. (Aparow ym. 2019, s. 117).

Niin kutsutut silmukkaskenaario -testausmenetelmät (SCIL) yhdistävät fyysisen ja virtuaalisen ympäristön, jolloin testiympäristössä voi olla yhtä aikaa sekä todellisia että simuloituja elementtejä. Tämä mahdollistaa ajoneuvon käyttäytymisen arvioinnin realistisissa olosuhteissa, mutta ilman todellisia riskejä. (Varga, Szalai, Feher, Aradi & Tettamanti, 2020, s. 359). Virtuaalisen ja todellisen ympäristön sulautuessa keskenään, tulokset ovat tarkempia ja luotettavampia verraten täysin virtuaalisiin testaustapoihin.

Virtuaalinen toteutus on laajentunut myös koulutus- ja huoltotoimintoihin. 3D-skannattuja osia voidaan hyödyntää virtuaalitodellisuusympäristöissä ajoneuvojen mekaanisen toiminnallisuuden koulutukseen. Tällaiset ratkaisut vähentävät fyysisten materiaalien tarvetta ja mahdollistavat joustavamman oppimisympäristön. (Comes, Neamtu, Grajdeanu & Bodi, 2021, s. 56). Kolmiulotteiset ympäristöt ovat myös laajalti käytössä ajokouluissa. Ajosimulaattoreita käyttäen oppilaat

pääsevät tutustumaan ajoneuvon käyttäytymiseen turvallisessa ja riskittömässä virtuaalisessa ympäristössä.



KUVA 12. Koulutusta auton mekaanisesta toiminnallisuudesta VR-ympäristössä (Comes ym. 2021, s. 60).

Virtuaalisen testauksen ja simuloinnin integrointi autoteollisuuden prosesseihin on parantanut suunnittelun laatua ja nopeuttanut ajoneuvojen markkinoille tuloa. Lisäksi se mahdollistaa sellaisten skenaarioiden testaamisen, joita olisi vaikea tai mahdoton toteuttaa todellisessa ympäristössä. Näiden teknologioiden jatkuva kehitys on tehnyt niistä olennaisen osan nykyaikaista autoteollisuutta. (Giffi ym. 2014, s. 9).

4.4 Tuotannon suunnittelu ja valmistuksen optimointi

3D-mallinnus ei rajoitu ainoastaan ajoneuvojen suunnittelu- ja testausvaiheisiin, vaan sillä on keskeinen rooli myös tuotantoprosessien suunnittelussa ja optimoinnissa. Digitaalisten mallien avulla autonvalmistajat voivat simuloida koko tuotantoketjun kulun, tunnistaa mahdollisia pullonkauloja ja varmistaa tuotantolinjojen tehokkuuden ennen fyysisen tuotannon aloittamista. (Elakkad, 2019, s. 250).

Virtuaalinen tuotannonsuunnittelu mahdollistaa esimerkiksi robottien liikeratojen, kokoonpanoprosessien ja työasemien ergonomian analysoinnin etukäteen. Tämä vähentää tuotantoon liittyviä riskejä ja parantaa työturvallisuutta, sillä mahdolliset ongelmat voidaan havaita ja korjata linjastojen rakentamisvaiheessa (Lim ym. 2016, s. 22). Digitaalisten kaksosten hyödyntäminen tarjoaa valmistajille mahdollisuuden seurata ja ohjata tuotantoprosessia reaaliaikaisesti, mikä parantaa tuotannon joustavuutta ja reagointikykyä.

Lisäainevalmistus tukee osaltaan tuotannon optimointia tarjoamalla mahdollisuuden valmistaa komponentteja paikallisesti ja tarpeen mukaan. Tämä hajautettu tuotantomalli vähentää varastointitarvetta, lyhentää toimitusaikoja ja mahdollistaa joustavan reagoinnin kysynnän vaihteluun (Giffi ym. 2014, s. 10). Autoteollisuuden suuret toimijat, kuten BMW ja Ford, ovat raportoineet saavuttaneensa merkittäviä säästöjä ja lyhentäneensä tuotannon läpimenoaikoja hyödyntämällä lisäainevalmistusta tuotantoprosessiensa tukena (Giffi ym. 2014, s. 7).

Tuotannonsuunnittelussa hyödynnetään myös kehittyneitä päätöksenteon tukijärjestelmiä. Näiden järjestelmien avulla voidaan valita optimaalinen valmistusmenetelmä kunkin komponentin tuotantoon. Järjestelmät mahdollistavat eri lisäainevalmistusteknologioiden vertailemisen ja parhaan vaihtoehdon valinnan tuotannon vaatimusten perusteella. (Park ym. 2017, s. 151).

Virtuaalisen tuotannonsuunnittelun ja 3D-mallinnuksen avulla voidaan saavuttaa paitsi taloudellisia hyötyjä myös parantaa tuotannon ekologista kestävyttä. Digitaalisten prosessien ansiosta materiaalihukkaa voidaan vähentää, ja resurssien käyttöä voidaan optimoida koko tuotantoketjun ajan (Dalpadulo ym. 2022, s. 2). Edellä mainittujen mahdollisuuksien ja menetelmien yksi tärkeimmistä vaikutuksista kohdistuu autoteollisuuden ympäristövaikutuksiin ja kestävä kehityksen edesauttamiseen.

5 KESTÄVÄ KEHITYS JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Autoteollisuus on merkittävä ympäristökuormittaja, ja alan kestävyteen liittyvät toimenpiteet ovat olleet yhä kasvavan tarkastelun kohteena. Kestävä kehitys autoteollisuudessa tarkoittaa paitsi energian ja materiaalien tehokkaampaa käyttöä, myös koko tuotteen elinkaaren hallintaa siten, että negatiiviset ympäristövaikutukset minimoidaan. 3D-mallinnuksella ja siihen liittyvillä teknologioilla, kuten lisääainevalmistuksella, on tässä keskeinen rooli. (Mamalis, Spentzas & Mamali, 2013, s. 3).

Autoteollisuus on merkittävä globaali toimiala, joka vaikuttaa sekä ympäristöön että talouteen monin tavoin. Ilmastonmuutoksen ja luonnonvarojen hupenemisen myötä kestävä kehityksen merkitys on korostunut huomattavasti, ja autonvalmistajat etsivät jatkuvasti innovatiivisia ratkaisuja ympäristövaikutusten vähentämiseksi. 3D-mallinnus ja lisääainevalmistus tarjoavat uusia mahdollisuuksia ekologisesti kestäväan autotuotantoon, esimerkiksi optimoimalla materiaalien käyttöä, vähentämällä tuotantohävikkiä ja keventämällä ajoneuvojen rakenteita. Samalla pyritään kehittämään keinoja kierrätettävien materiaalien ja energiatehokkuuden sisäistämiseksi suunnittelu- ja tuotantoprosesseihin. Nämä muutokset eivät ainoastaan edistä ympäristön hyvinvointia, vaan myös tukevat teollisuuden siirtymää kohti kestävämpää tulevaisuutta. (Damert & Baumgartner, 2018, s. 268).

5.1 Materiaalitehokkuus ja valmistuksen optimointi

3D-mallinnus yhdessä lisääainevalmistuksen kanssa mahdollistavat materiaalin käytön tarkan hallinnan. Toisin kuin perinteiset valmistusmenetelmät, joissa materiaaleja yhdistellään, muovataan ja leikellään, AM-teknologiat rakentavat osat kerros kerrokselta ainoastaan tarpeellisen materiaalmäärän mukaisesti. Tämä vähentää merkittävästi valmistuksessa syntyvää jätettä sekä säästää arvokkaita raaka-aineita, kuten erilaisia metalleja. (Jovanovic, Sanguino, Damjanovic & Dukanovic, 2023, s. 2).

Autoteollisuudessa on tärkeää huomioida koko ajoneuvon elinkaari. Digitaalisen suunnittelun ansiosta voidaan kehittää kevyitä mutta kestäviä rakenteita, mikä parantaa tuotteiden energiatehokkuutta myös käyttövaiheessa. Keveämmät osat johtavat suoraan pienempään polttoaineen tai sähkön kulutukseen ajoneuvon käytön aikana ja siten alempaan hiilijalanjälkeen koko elinkaaren ajalta. (Mayyas, Qattawi, Omar & Shan, 2012, s. 1852).

5.1.1 Vaikutus energiankulutukseen

3D-teknologioiden käyttöönotolla on merkittävä vaikutus energiankulutuksen vähentämiseen tuotantoprosessin eri vaiheissa. Koska materiaalia lisätään vain tarvittaviin kohtiin, energiantarve vähenee paitsi materiaalin käsittelyssä myös valmistuslaitteiston toiminnassa. Tämän lisäksi 3D-mallinnuksen ja simuloinnin ansiosta fyysisten prototyyppien tarve vähenee huomattavasti – kehitystyötä voidaan tehdä lähes täysin virtuaalisessa ympäristössä. Tämä paitsi nopeuttaa tuotekehitystä, myös pienentää materiaalien, energian ja logistiikan tarpeita. (Gebler, Uiterkamp & Visser, 2014, s. 159).

Tutkimuksen mukaan 3D-tulostuksen käyttöönotto voi maailmanlaajuisesti vähentää teollisuuden kokonaisenergiantarvetta 2,54–9,30 eksajoulea (EJ) vuoteen 2025 mennessä. Tämä vastaa jopa 5 prosentin vähennystä valmistavan teollisuuden energiankulutuksesta. (Gebler ym. 2014, s. 163). Tämä on erityisen merkittävää, kun otetaan huomioon, että kyseessä on vielä kehittyvä teknologia, jonka vaikutusten odotetaan nousevan positiivisesti lähitulevaisuudessa.

Lisäksi metallijätteen hyödyntäminen uusiokäytössä tuotantokierron mukaisesti lisää tuotannon resurssitehokkuutta. Tämä on mahdollista konseptimallin avulla, jossa metallijäte muunnetaan jauheeksi ja käytetään uudelleen metallisten komponenttien 3D-tulostuksessa. Tällainen malli ei ainoastaan vähennä energiankulutusta verrattuna uuden raaka-aineen tuotantoon, vaan myös pienentää merkittävästi CO₂-päästöjä ja luonnonvarojen kulutusta. (Nascimento, Nepomuceno, Caiado, Maqueira, Moyano-Fuentes & Graza-Reyes, 2022, s. 877-878).

5.2 Energiatehokkuus suunnittelussa ja testauksessa

Ajoneuvojen suunnitteluprosessi on perinteisesti ollut monivaiheinen ja energiaintensiivinen. Prosessit ovat vaatineet useita fyysisiä prototyyppisiä ja testejä eri kehitysvaiheissa. Jokainen prototyyppi kuluttaa paitsi raaka-aineita myös energiaa niin valmistuksessa, kuljetuksessa kuin testausympäristössäänkin. 3D-mallinnus ja siihen liittyvät teknologiat ovat mahdollistaneet merkittävän muutoksen tässä prosessissa. Suunnittelu ja testaus voidaan nykyisin toteuttaa pitkälti digitaalisesti, jolloin tuotteen suorituskykyä voidaan arvioida tarkasti ilman tarvetta fyysisille koeosille jokaisessa tuotannon vaiheessa. (Gebler ym. 2014, s. 164).

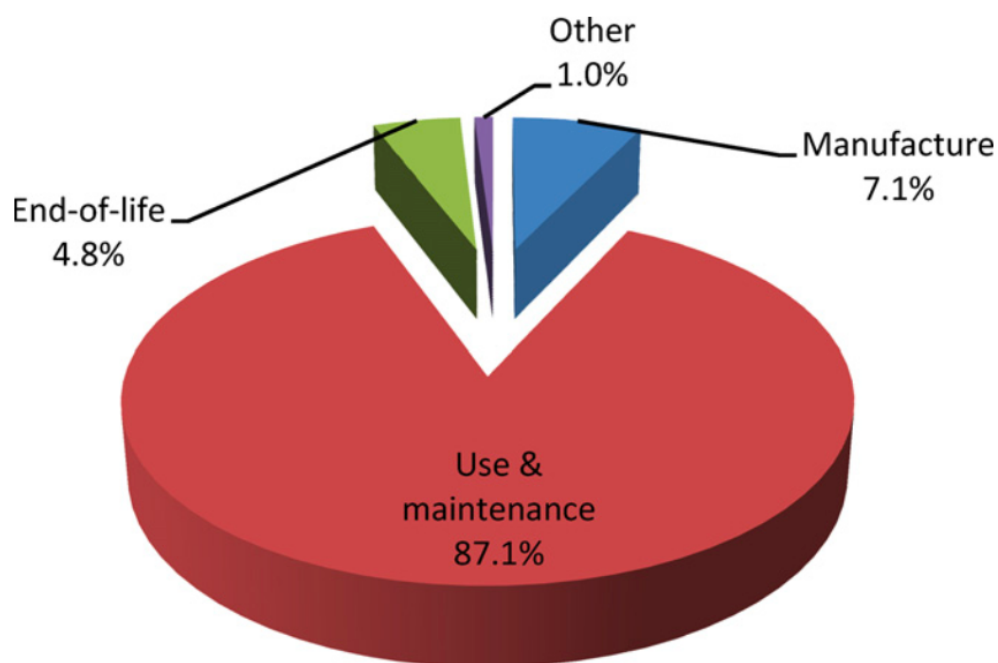
Simulaatiotekniikoiden, kuten aerodynamiikan, törmäysturvallisuuden, lämmönhallinnan ja materiaalikestävyuden analysointi, voidaan suorittaa suunnitteluvaiheessa tarkasti digitaalisessa ympäristössä. Tämä vähentää tarvetta valmistaa ja testata useita fyysisiä versioita, mikä johtaa paitsi nopeampaan kehitykseen myös huomattavaan energiansäästöön. (Mayyas ym. 2012, s. 1849). Mikäli testaaminen tapahtuu fyysisten toimenpiteiden kautta, 3D-tulostuksen hyödyntäminen testikappaleiden valmistuksessa mahdollistaa nopean iteroinnin ilman perinteisiin työstömenetelmiin liittyvää aikaa ja materiaalihukkaa. Prototyyppien määrä vähenee, ja niistä voidaan valmistaa vain tarpeelliset osat, usein suoraan lopulliseen mittakaavaan ja käyttökohteeseen sovitettuna. Tämä parantaa suunnittelun tarkkuutta ja pienentää koko kehitysprosessin energiankulutusta merkittävästi (Jovanovic ym. 2023, s. 3).

3D-tulostuksen yleistymisen voisi parhaimmillaan johtaa jopa 525 miljoonan tonnin CO₂-päästövähennykseen globaalilla tasolla vuoteen 2025 mennessä. Tähän vaikuttaa muun muassa tuotantoprosessien energiatehokkuuden parantuminen, valmistuksen hajautuminen paikallisesti sekä digitaalisuuden mahdollistama suunnittelun optimointi. (Gebler ym. 2014, s. 165).

Yhdistämällä virtuaalisen suunnittelun ja testauksen tehokkuus 3D-teknologioihin, autoteollisuus pystyy merkittävästi vähentämään energiankulutusta ennen varsinaista tuotantoa. Tämä siirtymä tukee vahvasti kestävä kehityksen periaatteita ja auttaa vastaamaan tiukkeneviin ilmasto- ja energiatehokkuustavoitteisiin.

5.3 Logistiikan ja varaosatuotannon vaikutus ympäristöön

Autoteollisuudessa ja ajoneuvon elinkaareissa suuressa osassa esiintyy myös autojen huoltaminen ja korjaaminen. Autoteollisuuden toimitusketjut, sekä huoltotoimenpiteet ovat perinteisesti olleet monimutkaisia, ja niihin liittyy huomattava määrä logistiikkaa ja materiaalivirtoja. Autojen käyttö ja ylläpito muodostavatkin suurimman osan ajoneuvon kokonaisympäristövaikutuksesta. (Mayyas ym. 2012, s. 1850). Erityisesti varaosatuotannossa ja jakelussa tarvitaan usein pitkiä kuljetusmatkoja sekä suuria keskitettyjä varastoja, jotka kuormittavat sekä ilmastoa että resursseja. 3D-mallinnus ja hajautettu valmistus avaavat mahdollisuuden tämän mallin uudelleenajatteluun ympäristöystävällisemmästä näkökulmasta.



KUVA 13. Auton elinkaaren päästöt prosentteina (Mayyas ym. 2012, s. 1852).

Yksi merkittävimmistä eduista 3D-teknologioiden hyödyntämisessä on mahdollisuus siirtyä kohti paikallista ja tarpeen mukaista valmistusta. Suunnittelutiedostot voidaan jakaa digitaalisesti eri tuotantopisteisiin, jolloin komponentit voidaan valmistaa lähellä loppukäyttäjää tai huoltokeskusta. Tämä lyhentää toimitusketjuja, vähentää kuljetusten määrää ja pienentää niiden aiheuttamia ympäristöpäästöjä. (Gebler ym. 2014, s. 160–161).

Perinteinen varaosien tuotantomalli perustuu usein massatuotantoon ja laajoihin varastoihin. Tämä aiheuttaa energian kulutusta ja johtaa usein ylijäämiin ja hävikkiin. 3D-tulostuksen avulla varaosia voidaan valmistaa tarpeen mukaan ja yksilökohtaisesti, mikä vähentää varastointitarvetta ja mahdollistaa komponenttien tuotannon juuri silloin, kun niitä tarvitaan. (Nascimento ym. 2022, s. 879).

Tutkimuksissa on korostettu, että hajautettu valmistus voi merkittävästi vaikuttaa myös toimitusketjujen resilienssiin ja kestävyYTEEN. Esimerkiksi pandemian tai geopoliittisten kriisien aikana kansainvälisiin toimituksiin liittyvät häiriöt voivat halvaannuttaa perinteiset ketjut, kun taas paikallinen 3D-tulostus mahdollistaa kriittisten osien jatkuvan saatavuuden ilman raskaita toimituksia. (Lukin, Krajnović & Bosna, 2022, s. 4). Tämä tekee järjestelmästä paitsi ekologisemman myös vähemmän haavoittuvan ulkoisille tekijöille. 3D-teknologiat tukevat myös kiertotalousajattelua, sillä ne mahdollistavat vanhojen osien uudelleensuunnittelun, korjaamisen ja päivittämisen ilman kokonaan uusien osien tarvetta. (Mayyas ym. 2012, s. 1850–1851). Varaosien elinkaarta voidaan näin pidentää, mikä vähentää materiaalien käyttöä ja vähentää jätteen syntymistä.

3D-mallinnus ja lisäainevalmistus mahdollistavat logistisesti kevyemmän, vähemmän energiaa kuluttavan ja joustavamman varaosatuotannon mallin. Tämä tukee vahvasti autoteollisuuden siirtymää kohti ympäristöystävällisempiä ja kestävämpiä käytäntöjä niin valmistuksessa kuin huollossa.

5.4 Elinkaariajattelu

Kestävän kehityksen tavoitteiden kannalta ei riitä, että ajoneuvojen suunnittelu ja valmistus tehdään resurssitehokkaasti. Myös tuotteiden koko elinkaari on otettava huomioon. Elinkaariajattelu tarkoittaa, että ajoneuvojen ympäristövaikutuksia tarkastellaan niiden koko olemassaolon ajan: raaka-aineiden hankinnasta ja tuotannosta käyttöön, huoltoon ja lopulta purkamiseen ja kierrätykseen. Tässä kokonaisuudessa 3D-mallinnuksella on keskeinen rooli kiertotalouden edistämi-

sessä. (Mayyas ym. 2012, s. 1846). Tämä kokonaisvaltainen näkökulma on tärkeä siksi, että ajoneuvojen ympäristövaikutuksista merkittävä osa syntyy vasta käytön ja elinkaaren loppuvaiheessa ei pelkästään valmistusprosessissa. Mikäli elinkaariajattelu jätetään huomiotta, saattaa lopputuote vaikuttaa aluksi resurssi-
tehokkaalta, mutta sen huoltaminen, päivittäminen tai kierrätys voi olla hankalaa tai jopa mahdotonta, mikä johtaa turhaan materiaalihukkaan ja korkeisiin päästöihin.

3D-mallinnus mahdollistaa osien suunnittelun alusta alkaen siten, että niiden elinkaari on pitkä ja hallittavissa. Osia voidaan suunnitella helposti korjattaviksi, päivitettäviksi tai vaihdettaviksi ilman koko järjestelmän purkamista. (Mayyas ym. 2012, s. 1858). Samalla voidaan vähentää jätteen syntymistä sekä säästää merkittävästi raaka-aineita ja energiaa.

Kiertotalousajattelun ytimessä on materiaalien ja tuotteiden pitäminen kierrossa mahdollisimman pitkään. 3D-tulostus mahdollistaa osien uudelleensuunnittelun ja -valmistuksen esimerkiksi vanhentuneiden tai loppuun kuluneiden komponenttien tilalle. Tällöin voidaan hyödyntää jopa aiemmin kierrätettyjä materiaaleja, kuten metallijauhetta, mikä vahvistaa suljetun tuotantokierron mallia (Nascimento ym. 2022, s. 880). Näin valmistusprosessi tukee luonnonvarojen säilyttämistä ja vähentää ympäristökuormaa.

Myös elinkaaren lopussa 3D-mallinnus on hyödyllinen. Kun komponenttien geometria ja materiaalit on suunniteltu digitaalisesti ja dokumentoitu tarkasti, voidaan osien purkaminen ja kierrättäminen tehdä huomattavasti tehokkaammin ja järjestelmällisemmin. Tämä tukee suunnitteluperiaatetta, jossa tuotteet rakennetaan siten, että niiden purkaminen, lajittelu ja kierrätys on teknisesti ja taloudellisesti järkevää. (Cioca ym. 2019, s. 4).

3D-mallinnus tukee kiertotalouden toteuttamista autoteollisuudessa monella tasolla; se mahdollistaa korjattavien ja päivitettävien osien suunnittelun, helpottaa purkua ja kierrätystä sekä mahdollistaa kierrätysmateriaalien hyödyntämisen uusien osien valmistuksessa. Nämä lähestymistavat vähentävät merkittävästi jätteen määrää ja pienentävät koko ajoneuvon elinkaaren ympäristövaikutuksia – juuri niitä tavoitteita, joihin kestävä kehityksen mukainen teollisuus pyrkii.

6 POHDINTA

On selvää, että 3D-mallinnus on noussut keskeiseksi työkaluksi autoteollisuudessa, ja kyseisen teknologian vaikutukset näkyvät läpi ajoneuvon koko elinkaarren ajan. Teknologian avulla ajoneuvojen suunnittelu on muuttunut entistä tarkemmaksi, nopeammaksi ja joustavammaksi. 3D-mallinnus ei ole enää vain suunnittelijoiden tekninen apuväline, vaan keskeinen osa koko tuotekehitysprosessia ja samalla yksi suurimmista muutoksista, joita alalla on viime vuosikymmeninä nähty.

Erityisesti se, kuinka 3D-mallinnus nopeuttaa autoteollisuuden koko prosessia suunnittelusta tuotantoon, herättää ajatuksia siitä, mitä kaikkea tällä teknologialla voisi vielä tulevaisuudessa saavuttaa. Kun fyysisiä prototyyppejä ei tarvitse enää valmistaa jokaista muutosta varten, säästyy valtavasti aikaa sekä resursseja. Tuntuu lähes ilmeiseltä, että tämä kehityssuunta tulee jatkumaan, mutta voiko edessä olla myös uusia haasteita? Tekoälyn ja jatkuvan teknologian kehityksen myötä suunnittelu- ja tuotantoprosessit saattavat automatisoitua hyvinkin pitkälle syrjäyttäen ihmisen roolin vain hyväksyjän tai tarkastajan tasolle.

Toisaalta juuri nyt ihminen ja teknologia täydentävät toisiaan. 3D-mallinnus ja muut virtuaaliset menetelmät tarjoavat työkalut ihmisen tuodessa mukaan luovuuden ja intuitiivisen näkemyksen. Tässä työssä esiteltyjen prosessien avulla voidaan havaita suunnittelijoiden kykyä hyödyntää nykyaikaista teknologiaa ja sen tarjoamia vapauksia, tuoden esille kuinka monimutkaisia ja optimoituja rakenteita voidaan kehittää teknologian ja ihmisen vuorovaikutuksen ansiosta. Tällä hetkellä teknologinen edistys ei rajoita luovuutta vaan päinvastoin, se näyttää ruokkivan sitä.

Taloudellisesti 3D-mallinnuksen hyödyt ovat kiistattomat. Kun kehityssyklit nopeutuvat ja virheet pystytään havaitsemaan varhaisessa vaiheessa, myös kustannukset alenevat. Tämä on muuttanut myös organisaatioiden sisäistä toimintaa: suunnitteluun voidaan panostaa enemmän jo alkuvaiheissa, kun tiedetään, että lopputulos on laadukas ja tehokkaammin toteutettavissa. Myös virtuaalisen

testaamisen tuomat mahdollisuudet ovat vaikuttava kehitysaskel autoteollisuudessa. Virtuaalinen testaus laajentaa kokeilun ja analyysin mahdollisuuksia merkittävästi, sillä se ei ole sidottu fyysisen maailman rajoitteisiin. Alati kehittyvien testausmenetelmien avulla autoteollisuuteen voidaan integroida useita vaihtoehtoja samanaikaisesti ja kehitellä ratkaisuja nopeasti muuttuvien vaatimusten mukaan.

Siirryttäessä fyysisistä valmistus- ja testausmenetelmistä digitaaliseen toteutukseen, luonnollisesti myös vaikutus ilmastopäästöjen määrään on positiivinen. 3D-mallinnuksen ja digitaalisuuden avulla pystytään vähentämään materiaalihävikkiä ja huomattavasti tehostamaan tuotteen valmistusta, mikä tukee teollisuuden aloille laadittuja ympäristötavoitteita. Nämä 3D-mallinnuksen tarjoamat ominaisuudet voivat tulevaisuudessa muodostua vaatimukseksi ympäristöä kuormittaville tuotannonaloille hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi.

Kaiken kaikkiaan 3D-mallinnus on avannut uuden aikakauden autoteollisuudelle. On selvää, että sen rooli ei jää nykyiseen mittakaavaansa, vaan se kasvaa edelleen teknologian kehittyessä. On kiinnostavaa nähdä, kuinka suuri osa tästä kehityksestä perustuu teknisiin mahdollisuuksiin ja kuinka paljon siihen, miten ihmiset valitsevat 3D-teknologiaa käytettävän autoteollisuuden tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Aparow, V. R., Choudary, A., Kulandaivelu, G., Webster, T., Dauwels, J. & de Boer, N. (2025). A Comprehensive Simulation Platform for Testing Autonomous Vehicles in 3D Virtual Environment. *2019 IEEE 5th International Conference on Mechatronics System and Robots*, 115-119.
- Barosan, I. & van der Heijden, J. (2022). Integration of SysML Models in a 3D Environment for Virtual Testing and Validation. *FAMECSE 22*, 39-45.
- Birbara, N. S., Otton, J. M., & Pather, N. (2019). 3D Modelling and Printing Thecnology to Produce Patient-Specific 3D Models. *Heart, Lung and Circulation*, 303-313.
- Chun, H. (2021). A Study on the Impact of 3D Printing and Artificial Intelligence on Education and Learning Process. *Scientific Programming*, 1-5.
- Cioca, L.-I., Ivascu, L., Turi, A., Artene, A., & Gaman, G. A. (2019). Sustainable Development Model for the Automotive Industry. *Sustainability*, 2-22.
- Comes, R., Neamtu, C., Grajdeanu, A. & Bodi, S. (2021). Virtual Reality Training System Based On 3D Scanned Automotive Parts. *Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering Vol. 64, Issue 1*, 56-62.
- Costa, C. & Aguzzi, J. (2015). Temporal Shape Changes and Future Trends in European Automotive Design. *Machines 3*, 257-267.
- Dalpadulo, E., Petruccioli, A., Gherardini, F. & Leali, F. (2022). A Review of Automotive Spare-Part Reconstruction Based on Additive Manufacturing. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2-25.
- Damert, M. & Baumgartner, R. J. (2018). Intra-Sectoral Differences in Climate Change Strategies: Evidence from the Global Automotive Industry. *Business Strategy and the Environment*, 265-281.
- Dragos, T. & Popa, D. (2018). 3D Model Based Process in Automotive Industry. *Applied Mechanics and Materials*, 1-6.
- Dunsin, D. (2025). The Role of Deep Learning in Enhancing 3D Model Interactions. 1-4.
- Dutton, K. (2006). A Brief History of the Car. *New Ideas*, 3-7.
- Eastman, C., Sacks, R. & Lee, G. (2003). Strategies for Realizing the Benefits of 3D Integrated Modeling of Buildings for the AEC Industry. *Nist Special Publication*, 1-6.

- Elakkad, A. S. (2019). 3D Technology in the Automotive Industry. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 248-251.
- Flor, N. V. (2011). Technology Corner: Virtual Crime Scene Reconstruction: The Basics of 3D Modeling. *Journal of Digital Forensics, Security and Law* , 67-74.
- Gebler, M., Uiterkamp, A. J. & Visser, C. (2014). A Global Sustainability Perspective on 3D Printing Technologies. *Energy Policy*, 158-167.
- Giffi, C. A., Gangula, B. & Illinda, P. (2014). 3D Opportunity in the Automotive Industry. *A Deloitte series on additive manufacturing*, 3-21.
- Jovanovic, M., Sanguino, T. d., Damjanovic, M. & Dukanovic, M. (2023). Driving Sustainability: Carbon Footprint, 3D Printing, and Legislation Concerning Electric and Autonomous Vehicles. *Sensors*, 2-20.
- Lim, C. W., Le, K. Q., Lu, Q. & Wong, C. H. (2016). An Overview of 3-D Printing in the Manufacturing, Aerospace, and Automotive Industries. *IEEE potentials*, 18-22.
- Llopis-Albert, C., Rubio, F. & Valero, F. (2021). Impact of Digital Transformation on The Automotive Industry. *Technological Forecasting & Social Change*, 2-9.
- Lukin, E., Krajnovic & Bosna, J. (2022). Sustainability Strategies and Achieving SDGs: A Comparative Analysis of Leading Companies in the Automotive Industry. *Sustainability*.
- Mamalis, A. G., Spentzas, K. N. & Mamali, A. A. (2013). The Impact of Automotive Industry and Its Supply Chain to Climate Change: Some Techno-economic Aspects. *European Transport Research Review*, 1-10.
- Mayyas, A., Qattawi, A., Omar, M. & Shan, D. (2012). Design for Sustainability in Automotive Industry: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1845-1860.
- Minnegalieva, C. B., Gabdrakhmanov, R. I., Khambelov, A. I., Khairullina, L. E., Bronskaya, V. V. & Kharitonova, O. S. (2020). 3D Modeling in the Study of the Basic of Computer Graphics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-5.
- Nascimento, D. L., Nepomuceno, R. M., Caiado, R. G., Maqueira, J. M., Moyano-Fuentes, J. & Garza-Reyes, J. A. (2022). A Sustainable Circular 3D Printing Model for Recycling Metal Scrap in the Automotive Industry.

Journal of Manufacturing Technology Management Vol. 33 No. 5, 876-892.

- Park, H.S. & Tran, N.H. (2017). A Decision Support System for Selecting Additive Manufacturing Technologies. *ICISDM 17*, 151-155.
- Real, R., Snider, C., Goudswaard, M. & Hicks, B. (2021). Dimensions of Knowledge in Prototyping: A Review and Characterisation of Prototyping Methods and Their Contributions to Design Knowledge. *International Conference on Engineering Design*, 1303-1312.
- Umetani, N. & Bickel, B. (2018). Learning Three-dimensional Flow for Interactive Aerodynamic Design. *ACM Transactions on Graphics*, 89:2-89:10.
- Varga, B., Szalai, M., Feher, A., Aradi, S. & Tettamanti, T. (2020). Mixed-reality Automotive Testing with SENSORIS. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 358-362.
- Wal, S. v. (2007). Evolutionary Change in Automotive Technology: Long Term Developments, Artefacts, Producers and Consumers. *Workshop on Demand, Product characteristics and Innovation, Jena, October 18-19, 2007*, 1-18.
- Wang, S., Mao, P., Feng, W., Yang, Y., Yu, Y., Hou, X. & Xie, Z. (2025). Study of the Mechanical Compression Properties of Rosa Sterilis S.D. Shi Based on FEM. *Scientific Reports*, 1-12.
- Zhang, C., Chen, J., Li, P., Han, S. & Xu, J. (2024). Integrated High-precision Real Scene 3D Modeling of Karst Cave Landscape Based on Laser Scanning and Photogrammetry. *Scientific Reports*, 1-16.