

Niko Haapakoski

# METALLIN 3D-TULOOSTUKSEN HYÖDYNTÄ- MINEN HYDRAULILOHKOJEN VALMISTUK- SESSA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteen tiedekunta  
Tarkastaja: Ilari Laine  
Helmikuu 2024

# TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi Niko Haapakoski: Metallin 3D-tulostuksen hyödyntäminen hydraulilohkojen valmistuksessa  
Opinnäytetyön otsikko  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma, Konetekniikka  
Helmikuu 2024

---

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan hydraulilohkojen 3D-tulostusta, miten lohkoja 3D-tulostetaan ja mitä siinä on otettava huomioon sekä mitä lohkojen 3D-tulostus mahdollistaa verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin. Hydraulilohkoja käytetään laajasti erilaisissa teollisuuden ja liikkuvan kaluston sovelluksissa ohjaamaan hydraulisia toimilaitteita. 3D-tulostus on kehittynyt viime vuosina huomattavasti. Se on muuttumassa pienisarjaisesta tuotannosta myös massatuotantoon sopivaksi valmistusmenetelmäksi. Tähän mennessä hydraulilohkojen 3D-tulostuksessa on saavutettu todella hyviä tuloksia. Menetelmä ei ole kuitenkaan vielä käytössä laajasti.

Työssä aiheeseen tutustutaan kirjallisuuskatsauksen avulla. Lähdeaineistoja etsittiin Andorista, Google Scholarista ja Googlen tavallisen hakukoneen avulla. Aineistoista tärkeimmät ovat kuvauksia perinteisin menetelmin valmistettujen hydraulilohkojen uudelleensuunnittelusta 3D-tulostettaviksi.

Hydrauliikan hyötysuhde on yleensä todella alhainen. Perinteisesti hydraulilohkot on valmistettu koneistamalla. Koneistamalla valmistettujen lohkojen sisäiset virtauskanavat on vaikea toteuttaa niin että ne eivät aiheuta suuria painehäviöitä. Tulostamalla ne voidaan valmistaa sellaisiksi, että painehäviöt ovat pienemmät. Painehäviöiden pienentäminen parantaa hyötysuhdetta.

Hydraulilohkot ovat yleensä todella raskaita, koska koneistamalla on haastavaa valmistaa keveitä kappaleita. 3D-tulostus mahdollistaa kevyempien lohkojen valmistamisen. 3D-tulostettavan lohkon suunnittelussa keveys on paljon tärkeämpää ja toisaalta myös helpommin toteutettavissa kuin koneistettavan lohkon suunnittelussa. 3D-tulostettavan lohkon suunnittelussa ei ole samanlaisia rajoitteita kuin koneistettavan.

Lukija saa työn avulla kuvan hydraulilohkojen 3D-tulostuksen nykytilanteesta ja tulevaisuuden näkymistä sekä niiden perinteisestä valmistuksesta. Työssä työn alussa lukijalle kerrotaan hydrauliikan, 3D-tulostuksen ja koneistuksen perusteista.

Avainsanat: hydrauliikka, hydraulilohko, ainetta lisäävä valmistus, 3D-tulostus

# ABSTRACT

Niko Haapakoski: Utilization of metal 3D-printing in the manufacturing of hydraulic manifolds  
Bachelors's thesis  
Tampere University  
Batchelor's degree programme in mechanical engineering  
February 2024

---

This bachelor's thesis examines utilization of metal 3D-printing in the manufacturing of hydraulic manifolds. How hydraulic manifolds are 3D-printed, what has to be considered in their manufacturing and what are the benefits of their 3D-printing?

Hydraulic manifolds are used to control hydraulic actuators in industrial and mobile machinery. 3D-printing has progressed a lot in recent years. It is evolving to the point where it can be used in mass production. So far, great results have been achieved in the production of hydraulic manifolds. 3D-printing is not widely used in their production yet. Hydraulic manifolds are usually very heavy because it is really expensive and hard to machine light manifolds. 3D-printing makes it possible to produce lighter manifolds. The efficiency of hydraulic systems is usually very low. 3D-printing makes it possible to produce more efficient hydraulic manifolds.

The topic is studied using a literature review. Source materials were searched by using Andor, Google Scholar and Google's search engine. The most important sources are descriptions of redesigning of hydraulic manifolds to be produced by metal 3D-printing.

Keywords: hydraulics, hydraulic manifold, additive manufacturing, 3D-printing

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. HYDRAULIIKKA.....	2
3. VALMISTUSMENETELMÄT .....	3
3.1 3D-tulostus.....	3
3.2 Koneistus .....	4
4. HYDRAULILOHKOT .....	6
4.1 3D-tulostettavien hydraulilohkojen suunnittelu ja valmistus .....	6
4.2 3D-tulostettavien hydraulilohkojen ominaisuudet.....	9
5. ESIMERKEJÄ .....	11
5.1 Aidro .....	11
5.2 Parker .....	11
6. YHTEENVETO.....	12
LÄHTEET .....	13

# KUVALUETTELO

*Kuva 1. Hydraulikanavan käännösten painehäviöiden mallinnuksia (Ma et. Al. 2018 s.4)*

# 1. JOHDANTO

3D-tulostus on kehittynyt todella paljon viime vuosina. Sen avulla on ollut mahdollista kehittää keveämpiä ja suorituskykyisempiä tuotteita. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää, mitä etuja ja haasteita metallin 3D-tulostuksella on verrattuna koneistukseen hydraulilohkojen valmistuksessa. Hydraulilohkot on perinteisesti valmistettu koneistamalla metalliaihiosta. 3D-tulostus on vielä suhteellisen uusi menetelmä alalla, eikä sitä käytetä vielä suurissa määrin.

Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Tietoa on etsitty Andorin, Google Scholarin ja Googlen tavallisen hakukoneen avulla. Hakusanoina ovat olleet esimerkiksi: additive manufacturing AND hydraulic manifold, 3D-printing AND hydraulic manifold, hydraulilohko AND 3D-tulostus ja topology optimization.

Kiinnostuin aiheesta työskennellessäni asentajana lohkojen kokoonpanossa. Kokoonpanovaiheessa lohkoihin asennetaan venttiilit, kuristimet, tulpat ja paljon muuta. Asentajan näkökulmasta lohkot ovat suuria ja raskaita metallikuutioita, joita pitää kuitenkin käsitellä varoen. Lohkoista näkyi selkeästi, ettei niiden suunnittelussa ollut panostettu paljoa keveyteen ja materiaalin säästöön. Useat lohkojen alle puristuksiin jääneet sormet ja kipeät lihakset lisäsivät mielenkiintoa aiheeseen huomattavasti.

Toisessa luvussa käsitellään hydraulikkaa yleensä. Kolmannessa luvussa perehdytään valmistusmenetelmiin eli 3D-tulostukseen ja koneistukseen. Neljännessä perehdytään hydraulilohkoihin ja syvennytään hieman niiden suunnitteluun, valmistukseen ja ominaisuuksiin. Viidennessä kappaleessa tutustutaan kahteen 3D-tulostettuun hydraulilohkoon valmistavaan yritykseen.

## 2. HYDRAULIIKKA

Hydrauliikka on yksi tärkeimmistä tehonsiirtotavoista. Se perustuu tehonsiirtoon korkeapaineisen hydraulinesteen virtauksen avulla. Yleisimpiä hydraulinesteitä ovat erilaiset öljyt ja vesi. Hydrauliikan etuja ovat suuri tehotehous, yksinkertaisuus, toimintavarmuus ja se, että suuri kuorma voi pysäyttää toimilaitteen vaurioittamatta sitä. Sähkölaitteissa vastaava tilanne johtaa todella helposti moottorin ylikuumentumiseen ja jopa palamiseen. Haasteita taas ovat hydraulinesteen puhtaudesta huolehtiminen, vuotoihin liittyvät ympäristöriskit ja heikko hyötysuhde.

Hydraulista tehonsiirtoa hyödynnetään laajalti teollisuudessa, ilmailussa ja liikkuvissa työkoneissa. Hydrauliikkaa käytetään teollisuudessa kaikkialla missä vaaditaan suuria voimia, kuten esimerkiksi suurissa puristimissa. Ilmailussa hydrauliikkaa käytetään esimerkiksi lentokoneiden ohjaussiivekkeiden ohjauksessa. Nykyaikaiset lentokoneet ovat niin suuria, raskaita ja nopeita, että niitä ei voi ohjata pelkästään lentäjän lihasvoimalla (Wang et al. 2015, s. 2). Hydrauliikkaa käytetään myös muissa lentokoneiden järjestelmissä, kuten esimerkiksi laskutelineissä. Liikkuvissa työkoneissa hydrauliikka on todella tärkeä tehonsiirtotapa. Sitä käytetään erilaisissa nostolaitteissa ja työkaluissa, sekä joissain tapauksissa myös liikutetaan koko konetta. Esimerkiksi kaivinkoneissa käytännössä kaikki tehonsiirto on hydraulista

## 3. VALMISTUSMENETELMÄT

### 3.1 3D-tulostus

3D-tulostus on huomattavan nopeasti kehittyvä ja kasvava valmistusmenetelmä. 3D-tulostettaessa kappale valmistetaan 3D-mallin pohjalta. Yleisimmissä menetelmissä kappale valmistetaan kaksiulotteisina kerroksina. Menetelmää hyödynnetään jo laajalti monilla aloilla. Tähän asti sitä on hyödynnetty ennen kaikkea tuotekehityksessä, korkean teknologian tuotteissa ja pienisarjaisessa tuotannossa. Vasta viime vuosina teknologia on kehittynyt niin pitkälle, että 3D-tulostusta on voitu käyttää myös massatuotannossa. (Toyserkani et al. 2022, s. 42–43)

Tärkeimmät metallin 3D-tulostuksen menetelmät ovat powder bed fusion (PBF), binder jetting (BJ) ja directed energy deposition (DED). Uusia menetelmiä kehitetään jatkuvasti. (Toyserkani et al. 2022, s. 67) Tässä työssä huomioidaan vain PBF-menetelmä, koska muiden menetelmien käytöstä hydraulilohkojen valmistuksessa ei löytynyt tietoa.

PBF-menetelmässä liikkuva lämmönlähde sintraa tai sulattaa metallijauhetta kerroksittain valmistettavan kappaleen muotoon. Kerroksen valmistuttua kappaletta lasketaan alaspäin ja sen päälle levitetään uusi tasainen kerros metallijauhetta. Tätä toistetaan, kunnes kappale on valmis. Erilaiset PBF-menetelmät jaotellaan käytettävän lämmönlähteen mukaan. LPBF-menetelmässä lämmönlähteenä on laser ja EPBF-menetelmässä elektronisuihku. (Toyserkani et al. 2022, s. 67–73)

Koneistettavaksi tarkoitettuja kappaleita ei kannata tulostaa sellaisenaan. Ne on suunniteltu perinteisten valmistusmenetelmien rajoitteet huomioiden. Valmistettavat kappaleet kannattaa uudelleensuunnitella, jotta uusi valmistusmenetelmä saadaan hyödynnettyä täysin. Koneistettaessa materiaalin poistaminen maksaa. Tämän takia koneistettavien kappaleiden suunnittelussa vältetään monimutkaisia ja hankalasti valmistettavia geometrioita, vaikka ne mahdollistaisivat keveämmän ja suorituskykyisemmän tuotteen. 3D-tulostettaessa tilanne on päinvastainen. Tulostimien aika ja ulostuksessa käytettävät materiaalit ovat kalliita. Keveiden optimoitujen kappaleiden valmistaminen säästää materiaalia, on nopeampaa ja halvempaa.



Suunnittelussa on huomioitava, että 3D-tulostettavassa kappaleessa materiaalia ei voi tulostaa tyhjän päälle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kappale ei voi laajentua tyhjän päälle liian jyrkässä kulmassa. Yleensä ongelmia alkaa aiheutua 45 astetta suuremmilla kulmilla. Tätä jyrkemmissä kulmassa ulospäin levenevät ulokkeet täytyy tukea valmistuksen ajan. Tukirakenteet tulostetaan kappaleen mukana ja poistetaan tulostuksen jälkeen. Turhia tukirakenteita on vältettävä, koska niiden tulostaminen ja poistaminen vievät aikaa ja materiaalia.

3D-tulostettavien kappaleiden suunnittelussa on mahdollista hyödyntää tehokkaasti topologian optimointia. Se on menetelmä jolla optimoidaan kappaleen rakenne tehtävää varten. Optimoidut rakenteet ovat usein hyvin monimutkaisia ja "orgaanisen" näköisiä. Siksi ne ovat haastavia valmistaa perinteisin menetelmin. Optimoinnissa on huomioitava materiaalin ja valmistusmenetelmän rajoitteet, sekä rakenteelta vaadittava suorituskyky. PBF-menetelmällä tulostetun kappaleen sisään ei kannata jättää umpinaisia onteloita, koska käyttämätön metallijauhe jää jumiin niiden sisään.

## 3.2 Koneistus

Koneistus on yksi tärkeimmistä metallin työstömenetelmistä. Koneistuksella tarkoitetaan erilaisia ainetta poistavia työstömenetelmiä, kuten esimerkiksi porausta, jyrsintää, sorvausta ja hiontaa. Usein muilla menetelmillä valmistetut kappaleet viimeistellään koneistamalla. (Campbell 2013 s. 213)

Campbellin (2013 s. 213) mukaan tärkeimpiä koneistusmenetelmiä ovat poraus, sorvaus, jyrsintä ja hionta. Ne perustuvat lastun irrottamiseen työstettävästä kappaleesta. Lastu irrotetaan käyttämällä työstettävää kappaletta kovempaa terää. Porauksen, sorvauksen ja jyrsinnän tapauksessa käytetään metallista tai keraamista terää. Rowen (2009, s. 1, 15) mukaan hiottaessa taas hienoksi jauhetulla hioma-aineella hangataan kappaleen pintaa, josta irtoaa todella pieniä paloja.

Koneistaminen rajoittaa valmistettavan kappaleen rakennetta huomattavasti. Koneistettaessa jokaisen työstettävän kohdan on oltava saavutettavissa ulkoa. Tämän takia voidaan joutua poistamaan huomattavia määriä materiaalia turhaan. Poraamalla on mahdollista valmistaa vain suoria reikiä. Kaarevat reiät ovat käytännössä mahdottomia valmistaa. Monimutkaiset kappaleet voidaan joutua valmistamaan useasta osasta.

Koneistettaessa pyritään minimoimaan siihen käytettävä aika. Valmistettavasta kappaleesta pyritään poistamaan mahdollisimman vähän materiaalia, koska se vie aikaa. (Diegel et Al. 2020, s. 2) Tämän takia koneistettavissa tuotteissa vältetään monimutkaisia geometrioita.

## 4. HYDRAULILOHKOT

Hydraulilohkot yhdistävät niille tulevat öljylinjat öljyn virtausta ohjaaviin venttiileihin. Lohkojen sisäiset virtauskanavaverkostot voivat olla todella monimutkaisia. Perinteisesti hydraulilohkojen toimintaa on analysoitu tutkimalla painehäviöitä, tarkkuutta ja lämpötilan nousua (Ma et al. 2018, s. 1–2).

Perinteisesti lohkot on valmistettu koneistamalla. Se tarkoittaa erilaisten ainetta poistavien menetelmien, kuten poraamisen ja jyrsimisen käyttöä. Man (et al. 2018 s. 1) mukaan poraaminen tuottaa vain suoria virtauskanavia, mikä rajoittaa lohkon sisäistä geometriaa todella paljon. Suorat kulmat ovat todella yleisiä poraamalla valmistettujen lohkojen kanavissa. Ne aiheuttavat huomattavia painehäviöitä ja öljyn lämpötilan nousua, jotka huonontavat järjestelmän hyötysuhdetta. Zardinin (2017 s.1) mukaan hydraulijärjestelmien keskimääräiset hyötysuhteet ovat alhaisia: teollisuudessa 50 % ja liikkuvassa kalustossa 21 %. Öljyn lämpötilan nousu aiheuttaa monia ongelmia hydraulijärjestelmissä. Öljyn ominaisuudet muuttuvat lämpötilan funktiona. Sen käyttöikä lyhenee 90 % jokaista 15 °C:n nousua kohden (Ma et. al. 2018, s. 2).

Löytämäni esimerkit 3D-tulostetuista lohkoista ovat kaikki PBF-menetelmällä tulostettuja. Tämä johtuu todennäköisesti menetelmän yleisyydestä. Se myös mahdollistaa tarkkamittaisten ja kestävien kappaleiden valmistamisen. BJ-menetelmällä on mahdollista valmistaa yhtä tarkkamittaisia kappaleita, jotka eivät kuitenkaan olisi mekaanisilta ominaisuuksiltaan yhtä hyviä.

### 4.1 3D-tulostettavien hydraulilohkojen suunnittelu ja valmistus

3D-tulostuksella ei ole samoja rajoitteita kuin koneistamisella. Se mahdollistaa kaarevien virtauskanavien valmistamisen ja samojen toimintojen mahdollistamisen pienempään tilaan. Lohkoa 3D-tulostaessa ei synny turhia porareikiä. Tulostamalla ei aina saavuteta riittävää pinnan laatua. Näissä tapauksissa valmistettava kappale täytyy jälkikäsitellä koneistamalla (Rolinck 2021, s. 11).

3D-tulostettuja hydraulilohkoja käytetään jo nyt erilaisissa pienessä painoa ja korkeaa suorituskykyä vaativissa kohteissa. Alsharen (2019 s. 1516–1517) mukaan niitä on käytetty

esimerkiksi maailman suurimmassa matkustajalentokoneessa Airbus A-380:ssa. Ilmailualalla energiatehokkuus ja erityisesti keveys ovat todella tärkeitä.

Tähän mennessä lohkojen 3D-tuotuksessa on käytetty PBF-menetelmää. Tietoa muilla menetelmillä tulostetuista lohkoista ei löytynyt. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että menetelmä on todella yleinen ja sillä voidaan valmistaa tarkka mittaisia ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan hyviä kappaleita.

Kuten melkein kaikki muukin moderni suunnittelu työ, myös hydraulilohkot suunnitellaan nykyään tietokoneella. Lohkon 3D-malli luodaan CAD-ohjelmilla. Virtauskanavien suunnittelussa voidaan hyödyntää CFD-mallinnusta eli virtausten tietokoneavusteista simuloitua. Sen avulla voidaan minimoida painehäviöt.

Kun lohko uudelleen suunnitellaan joudutaan pohtimaan, kuinka suuriin muutoksiin ollaan valmiita. Mitä suuremmat muutokset alkuperäiseen suunnitelmaan tehdään, sitä suuremmat edut on mahdollista saavuttaa. Kuitenkin suuret muutokset voivat vaatia muutoksia myös muualla kuin lohkoissa itsessään. Sen kiinnitys pisteet ja sille tulevat hydrauliliinjat voidaan joutua suunnittelemaan uusiksi.

Jos lohko suunnitellaan asennettavaksi jo olemassa olevaan kohteeseen esimerkiksi tutkimusprojektin yhteydessä. Lohkon kiinnityspisteet ja siihen tulevat liitännät voidaan pitää paikoillaan. Näin säästytään muun kuin lohkon itsensä muokkaamiselta, joka aiheuttaisi lisäkuluja. Kuitenkaan näin ei välttämättä päästä niin kevyeen ja suorituskykyiseen rakenteeseen, kuin suuremmilla muutoksilla olisi mahdollista.

Uuteen koneeseen tuleva lohko voidaan suunnitella vapaammin. Vanhojen rakenteiden säästämistä ei enää tarvitse huomioida. Tällöin voidaan hyödyntää 3D-tulostusta paljon vapaammin. Se mahdollistaa menetelmän etujen hyödyntämisen paljon tehokkaammin.

Diegel (et. Al. 2020) kuvaa suunnitteluprosessin, jossa kaivosporan hydraulilohko uudelleen suunnitellaan 3D-tulostettavaksi. Projektin lähtökohtana on poran vanha CNC-koneistettu lohko. Vanha lohko on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja sen hydraulikanavat on valmistettu poraamalla. Uusi lohko tulostettiin PBF-menetelmällä. Sen suunnitteluprosessi oli nelivaiheinen.

1. Turhien rakenteiden ja materiaalin poisto mallista
2. Mallin muokkaaminen sen ominaisuuksien parantamiseksi
3. Tulostussuunnan valinta
4. Mallin muokkaaminen tukirakenteiden tarpeen vähentämiseksi ja tukirakenteiden suunnittelu

Alussa vanhan lohkon 3D-mallista poistetaan kaikki turhat rakenteet ja materiaali. Turhia rakenteita ovat esimerkiksi tulpattavat porareät. Materiaalia jätetään virtauskanavien ympärille vain tarvittavan paksuinen kerros. Tämä pienentää lohkon painoa huomattavasti. Yksinkertaisempi malli myöskin auttaa suunnittelijaa hahmottamaan lohkon toimintaa.

Toisessa vaiheessa lohkon rakennetta muokataan paremmaksi. Lohkon koko ja painehäviöt pyritään minimoimaan. Kannattaa myös pohtia voidaanko jotkin lohkon liitettävät osat, kuten esimerkiksi liittimet tulostaa osana lohkoa. Myöskin lohkon tulostettavuus tulee ottaa huomioon jo tässä vaiheessa. Diegelin (et. Al. 2020) esimerkissä lohkon tulevat liitännät siirrettiin järkevämmille paikoille. Ne sijoitettiin eri puolille lohkoa sen mukaan olivatko ne tulevia vai lähteviä liitäntöjä. Tämä pienensi lohkon vaatimaa asennustilaa ja teki virtauskanavista suurempia.

Kolmannessa vaiheessa pyritään minimoimaan tulostuksessa käytettävän materiaalin määrää. Tulostussuunnan valinnalla voidaan vaikuttaa todella todella paljon tarvittavan materiaalin määrään. Diegel (et al. 2020) onnistui poistamaan suurimman osan tukimateriaalista kääntämällä kappaleen tulostussuunnan ympäri. Tulostusasennon valinnassa on myös huomioitava miten se vaikuttaa kappaleen pinnanlaatuun, mekaanisiin ominaisuuksiin.. Sen valinta on aina tapauskohtaista eikä selkeää oikeaa ratkaisua välttämättä ole.

Tulostussuunnan valinnan jälkeen suunnitellaan lopulliset tukirakenteet ja mahdollisesti myös muokataan kappaleen rakennetta. Diegel (et al. 2020) toteutti tämän lisäämällä ohuita seinämiä tukemaan vaakatasossa kulkevia virtauskanavia ja kallistamalla osan niistä niin että ne eivät tarvitse tukea. Tukirakenteet on suunniteltava helposti poistettaviksi, jotta kappaleen jälkikäsittelystä ei tule liian kallista. Diegel onnistui vähentämään tukimateriaalia huomattavasti ja lyhentämään lohkon jälkikäsittelyajan 8 tunnista 15 minuuttiin.

## 4.2 3D-tulostettavien hydraulilohkojen ominaisuudet

3D-tulostaminen voi vähentää lohkon kiinnitettävien osien määrää. Niissä ei ole turhia porareikiä. Jokainen porareikä on tulpattava jollain, koska muuten öljy vuotaa ulos sen kautta. Myöskin lohkon tulevat liittimet voidaan tulostaa, kuten Diegel (et al. 2020) teki. Pienempi määrä tulpattavia reikiä ja ruuvattavia liittimiä parantaa lohkon luotettavuutta, koska mahdollisesti vuotavat tiivistepinnat vähenevät. Myöskin lohkon kokoonpano nopeutuu ja helpottuu osien vähentyessä.

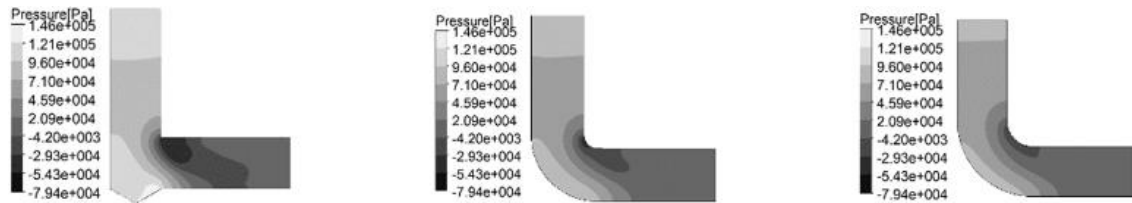
Taulukko 1: Hydraulilohkojen valmistusmenetelmät ja ominaisuudet (mukailtu lähteestä Diegel et. al. 2020 s. 8)

Valmistusmenetelmä	Koneistus (alkuperäinen)	PBF-tulostus	PBF-tulostus
Materiaali	Ruostumaton teräs 316	AlSi10Mg	Ruostumaton teräs 316
Paino	16,2 kg	0,494 kg	1,4 kg
Painon pieneneminen	-	96,9 %	91,2 %
Ulkomitat	200 mm * 112 mm * 98 mm	176,2 mm * 125,5 mm * 120 mm	176,2 mm * 125,5 mm * 120 mm
Valmistusaika	12 h (neljän viikon läpimenoaika)	24 h	24 h
Hinta	1200,40 \$	1300 \$	1579,48 \$

Diegelin tapausessa merkittävää on, että 3D-tulostetut lohkot eivät olleet merkittävästi kalliimpia kuin koneistettu. Alumiinista tulostettu oli 8,3 % kalliimpi, vaikka sen paino ja ulkomitat olivat merkittävästi pienemmät. Tämä osoittaa, että ne voivat olla kilpailukykyisiä suurta suorituskykyä vaativissa kohteissa.

Painehäviötä hydraulilohkossa aiheuttavat esimerkiksi virtauskanavien käännökset, halkaisijan muutokset, virtauskanavien pituus ja pinnan laatu. Näihin voidaan vaikuttaa huomattavasti lohkon suunnittelulla ja valmistusprosessilla. 3D-tulostettava hydraulilohko on mahdollista suunnitella niin, että sen painehäviöt ovat pienemmät kuin koneistettavalla, joka toteuttaa saman funktion. 3D-tulostettavan lohkon virtauskanavat voidaan toteuttaa

niin, että niissä on vähemmän teräviä käännöksiä ja kulmia. Ma (et. Al. 2018 s.4) mallinukset osoittavat eron olevan merkittävä. Kuvassa 1 kolme mallinosta erilaisista 90 asteen käänöksistä.



Kuva 1: Hydraulikanavan käännosten painehäviöiden mallinnuksia (Ma et. Al. 2018 s.4)

Suorankulman painehäviöksi mallinettiin on 0,124 MPa ja kaarevan 0,083 MPa, kun kaarevan halkaisijan ollessa kaksi kertaa virtauskanavan halkaisija. Kaarevan painehäviö on siis 33 % pienempi. Ero on huomattava, koska yhdessä lohkossa tällaisia käännöksiä voi olla huomattava määrä. Myöskin muun tyyppiset käännökset ja muutokset hydraulikanavan geometriassa aiheuttavat painehäviöitä. Toisaalta kun hydraulilohko suunnitellaan tulostettavaksi tarve tällaisille käänöksille voi vähentyä huomattavasti.

3D-tulostamalla on mahdollista valmistaa kevyempiä ja pienikokoisempia lohkoja. Sen mahdollistama virtauskanavien vapaampi muotoilu mahdollistaa samojen toimintojen mahdollistamisen pienempään tilaan. Lohkon ulkomittojen pienentyessä myös sen paino laskee.

Lohkojen energiatehokkuuden parantaminen ja niiden keventäminen auttavat hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä. Erityisesti ilmailussa keventäminen on todella tärkeää. Lohkon keventäminen itsessään säästää huomattavasti energiaa, koska kaikki painonsäästö pienentää lentokoneen polttoaineen kulutusta. Toisaalta lentokoneen keventyessä sen kyytiin voi mahdollisesti ottaa lisää matkustajia tai rahtia. Teollisuudessa taas lohkojen keventäminen ei ole yhtä tärkeää. Kun lohko on kiinni kiinteästi paikoillaan olevassa koneessa sen liikuttamiseen ei kuluteta energiaa. Tällöin tärkeämpää on lohkon energiatehokkuus ja kestävyys.

## 5. ESIMERKEJÄ

### 5.1 Aidro

Aidro on vuonna 1982 perustettu italialainen hydraulikkaan keskittyvä yhtiö. Yhtiö valmistaa perinteisesti tuotettujen venttiilien ja lohkojen lisäksi myös 3D-tulostettuja komponentteja. Niiden tuotanto aloitettiin vuonna 2017. Yhtiö toimittaa 3D-tulostettuja osia ainakin ilmailuteollisuuteen. Lohkoja valmistetaan ainakin ruostumattomasta teräksestä ja alumiinista.

Yhtiön komponenteissa on saavutettu merkittäviä painonpudotuksia. Venttiilirungoissa painonpudotus on 0,8 kg:sta 0,3 kg:aan ja markkinointimateriaalissa kuvatussa hydraulilohkossa 5 kg:sta 1,3 kg:aan. Painonpudotukset ovat suuria: venttiilirungossa 62,5 % ja hydraulilohkossa 74 %.

Ainetta lisäävä valmistus on selvästi mahdollistanut airon komponenttien uudelleen suunnittelun. Niiden paino on merkittävästi pienempi kuin koneistamalla valmistettujen verrokkien. Komponenteissa esiintyvät kaarevat pinnat olisivat haastavia valmistaa koneistamalla ja kaarevat hydraulikanavat jopa mahdottomia (Aidro).

### 5.2 Parker

Vuonna 1917 perustettu Parker Hannifin Corporation on yksi maailman johtavista hydraulialan yhtiöistä. Sillä on toimintaa useissa valtioissa ympäri maailmaa. Myös Suomessa. Se on ollut mukana monissa merkittävässä projekteissa, kuten Apollo-ohjelma ja f-35 hävittäjän kehitys. (Brockman 2018, King 2019)

Yhtiö on panostanut hydraulilohkojen 3D-tulostuksen kehittämiseen huomattavasti perustamalla tutkimuskeskuksen sitä varten. "Advanced Manufacturing Learning and Development Center" kehittää hydraulilohkojen ja -komponenttien 3D-tulostusta ja 3D-tulostuksen hyödyntämistä yhtiön muissa toiminnoissa. (Materialize)



## 6. YHTEENVETO

Tässä kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin metallin 3D-tulostukseen hydraulilohkojen valmistuksessa. Aihetta käydään läpi tutustumalla ensin yleisesti hydraulikkaan ja metallin 3D-tulostus menetelmiin. Sitten tutustutaan 3D-tulostettavien hydraulilohkojen suunnitteluun ja niiden ominaisuuksiin.

3D-tulostaminen mahdollistaa lohkojen suunnittelun keveämmiksi, energiatehokkaammiksi ja luotettavammiksi. Uusi valmistus menetelmä otetaan todennäköisesti ensin käyttöön aloilla joilla laitteiden suorituskyky on todella tärkeää. Esimerkiksi ilmailuteollisuudessa on hyödynnetty 3D-tulostettuja hydraulilohkoja. Muilta aloilla on lähinnä esimerkkejä tuotekehityksestä 3D-tulostettavien lohkojen kehittämiseksi. Esimerkit 3D-tulostukseen panostavista hydraulilohkoja valmistavista yrityksistä osittavat, että ne luottavat uuden valmistusmenetelmän mahdollisuuksiin.

Lohkojen keveneminen ja niiden energiatehokkuuden parantaminen auttavat hiilidioksidipäästöjen pienentämisessä. Molemmat pienentävät laitteiden energian kulutusta. Se kummalla on suurempi vaikutus riippuu käyttökohteesta. Teollisuudessa kiinteästi paikoillaan olevan lohkon painolla ei ole käytännön merkitystä laitteen laitteen energian kulutuksen ja päästöjen kannalta. Toisessa ääripäässä ovat lentokoneet. Niissä painon pienentäminen voi vaikuttaa todella paljon koneen polttoaineen kulutukseen.

## LÄHTEET

Alshare, A.A., Calzone, F. & Muzzupappa, M. (2019). Hydraulic manifold design via additive manufacturing optimized with CFD and fluid-structure interaction simulations. *Rapid prototyping journal*. [Online] 25 (9), 1516–1524.

Aidro s.r.l. Verkkosivu. Saatavissa: <https://aidro.it> (Viitattu 5.10.2023)

Brockman (2018). *F-35 Lightning II Fuel and Inerting system Powered by Parker Aerospace*. Parker Hannifin Corporation. Päivitetty 28.3.2018. Saatavissa(Viitattu 19.2.2024): <https://blog.parker.com/site/usa/en-US/details-home-page/f-35-lightning-ii-fuel-and-inerting-system-powered-by-parker-aerospace-us>

Campbell, F.C. (2013). *Metals fabrication: understanding the basics*. F. C Campbell (ed.). Materials Park, Ohio: ASM International.

Diegel, O., Schutte, J., Ferreira, A., Chan, J.L. (2020) Design for additive manufacturing process for a lightweight hydraulic manifold. *Additive manufacturing*. [Online] 36101446-.

King (2019). *Parker's Support of the Apollo Lunar Missions*. Parker Hannifin Corporation. Päivitetty 12.7.2019. Saatavissa(Viitattu 19.2.2024): <https://blog.parker.com/site/usa/en-US/details-home-page/parkers-support-of-the-apollo-lunar-missions-us>

Ma, M. Zhang, H., Zhang, J., Wang, C. (2018). Automatic Design of Hydraulic Manifold Block Based on 3D Printing. *Journal of physics. Conference series*. [Online] 1087 (4), 42056-.

Materialise. *Meet the Users of Materialise Magics: Parker Hannifin*. Saatavissa: <https://www.materialise.com/en/inspiration/articles/magics-users-parker-hannifin> (Viitattu 19.2.2024)

Rowe, W. B. (2009). *Principles of Modern Grinding Technology*. Oxford: William Andrew. Print.

Toyserkani, E., Saker, D., Obehi Ibadode, O., Liravi, F., Russo, P. & Taherkhani K. (2022). *Metal additive manufacturing*. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.

Wang, S., Tomovic, M. & Liu H. (2015). *Commercial Aircraft Hydraulic Systems: Shanghai Jiao Tong University Press Aerospace Series*. 1st edition. San Diego: Elsevier Science & Technology.

Zardin, B., Cillo, G., Rinaldini, C.A., Mattarelli, E. & Borghi M. (2017). "Pressure Losses in Hydraulic Manifolds." *Energies (Basel)* 10.3 : 310-. Web.

Zhang, J., Liu, G., Ding, R., Zhang, K., Min, P. & Shihao L. (2019). *3D Printing for Energy-Saving: Evidence from Hydraulic Manifolds Design*. *Energies (Basel)*. [Online] 12 (13), 2462-.