Tukirakenteet metallien laserjauhepetisulatuksessa

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan kandidaatintyö

2023

Mikko Laiho

Tarkastaja: D.Sc Ilkka Poutiainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Konetekniikka

Mikko Laiho

Tukirakenteet metallien laserjauhepetisulatuksessa

Konetekniikan kandidaatintyö

2023

26 sivua ja 13 kuvaa

Tarkastaja: D.Sc Ilkka Poutiainen

Avainsanat: LPBF, DMLS, Tukirakenteet, Lisäävä valmistus

Tässä kandidaatintyössä kerrotaan yleisimmistä tukirakennetyypeistä, joita käytetään laserjauhepetisulatuksessa. Tietoa on kerätty erilaisista tieteellisistä lähteistä ja niistä on luotu yhtenäinen kokonaisuus, josta on helppo saada tietoa tukirakennetyypeistä.

Tutkimuksen tavoitteena on luoda selkeä tieto ja ohjeistus tukirakenteista, jonka avulla kokematonkin tulostaja saa käsityksen siitä miten eri tukirakenteet vaikuttavat tulostusprosessiin. Työssä käsitellään eri tukirakenteiden hyötyjä, sekä haittoja ja sitä miten ne vaikuttavat koko prosessiin tulostettavan kappaleen suunnitellusta jälkikäsittelyyn saakka.

Tukirakenteille on vaikea antaa tiettyjä ohjeita, joiden avulla prosessissa onnistutaan aina. Suosituin tukirakenne tyyppi on blokkityyppiset tukirakenteet, jotka kiinnittyvät hampailla tulostettavaan kappaleeseen. Säätämällä tukirakenteiden tiheyttä ja kokoa, voidaan säästää materiaalikustannuksissa vähentämällä hukattua materiaalia, säästää aikaa tulostuksessa, helpottaa jälkikäsittelyä ja varmistaa tulostuksen onnistuminen. Liian isot tukirakenteet ovat hankala irrottaa kappaleesta jälkikäsittelyssä ja liian pienet tukirakenteet voivat hajota tulostuksen aikana, jolloin tulostus epäonnistuu.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Mikko Laiho

Support structures in metal laser powder bed fusion

Bachelor's thesis

2023

26 pages and 13 figures

Examiner: D.Sc Ilkka Poutiainen

Keywords: LPBF, DMLS, Additive manufacturing, Support structures

In this bachelor's thesis there is presented the most common types of support structures used in laser powder bed fusion. The information in this thesis is gathered from different scientific sources and is combined into a clear and uniform document.

The goal of this study is to create a clear information and guidance about support structures that even inexperienced user could use to understand how support structures affect the whole process. In this thesis there is compared the features of different types of support structures.

It's hard to give specific instructions for support structures in LPBF because the process is different for every part. The most common type of supports used is block supports that attach to the printed object with teeth. By changing the size and density of the supports you can save wasted material, save time during printing, ease the removal of the supports, and ensure the success of the print. However too big and strong supports make the post-processing difficult because you must remove the supports from the bed and printed object.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

AM	Lisäävä valmistus (Additive manufacturing)
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer-aided design)
DMLS	Suora metallilasersintraus (Direct metal laser sintering)
EDM	Kipinätyöstö (Electrical discharge machining)
LPBF	laserjauhepetisulatus (Laser Powder Bed Fusion)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1 Johdanto 7
1.1 Laserjauhepetisulatus 7
1.2 Työn tavoite 7
2 Menetelmät 8
2.1 Aineiston etsiminen 8
2.2 Aineiston valinta 9
2.3 Työn rajaus 10
3 Kirjallisuuskatsaus 11
3.1 Tukirakenteiden merkitys 11
3.2 Blokki tukirakenteet 14
3.3 Puutukirakenteet 15
3.4 Hilatukirakenteet 17
3.5 Materialise e-Stage 18
3.6 Alustan ja kappaleen välissä olevat tukirakenteet 20
3.7 Tukirakenteiden irrottaminen jälkikäsittelyssä 22
3.8 Tukirakenteiden hinta 23
4 Pohdinta 24
Lähteet 25

Kuvaluettelo

Kuva 1: Julkaisujen määrä haulle ”LPBF”.

Kuva 2: Kuvaaja haulle ”LPBF support*”.

Kuva 3: Eri kulmassa tulostettuja kappaleita.

Kuva 4: Esimerkki riittämättömästä lämmönjohtavuudesta.

Kuva 5: Blokkitukirakenteet.

Kuva 6: Blokkitukirakenteiden kiinnittymispisteet.

Kuva 7: Puutukirakenteet.

Kuva 8: Puutyyppisten tukirakenteiden parametrien vaikutus. Vihreä nuoli parantaa efektiä, keltainen ei vaikutusta ja punainen huonontaa efektiä.

Kuva 9: Kahdet erilaiset ristikkotukirakenteet.

Kuva 10: Materialise e-Stagen avulla luodut tukirakenteet.

Kuva 11: Valmis pienoiskopterin runko.

Kuva 12: Kappaleen irrottaminen vannesahaamalla.

Kuva 13: Kappaleiden vasaroimista irti tulostusalustasta.

1 Johdanto

Tässä kandidaatinyössä tutkitaan tukirakenteiden käyttöä ja vaikutusta laserjauhepetisulatukseen.

1.1 Laserjauhepetisulatus

Laserjauhepetisulatus (LPBF) on yksi suosituimmista metallien lisäävistä valmistusmenetelmistä (AM), eli metallien 3D- tulostusta. Siinä sulatetaan metallia kerroksittain laserilla, joka mahdollistaa monimutkaistenkin kappaleiden valmistuksen, joiden valmistaminen ei perinteisillä materiaalia poistavilla keinoilla onnisuisi. Tukirakenteiden hyvä suunnittelu vaikuttaa todella paljon tulostuksen lopputulokseen. Tukirakenteiden kolme tärkeintä ominaisuutta ovat kappaleen kiinnitys alustaan, lämmön johtaminen pois tulostetusta kappaleesta ja kappaleen tukeminen tulostuksen aikana. Oikein suunnitellut tukirakenteet myös vähentävät käytetyn materiaalin määrää, pienentävät tulostukseen käytettyä aikaa ja vähentävät jälkikäsittelyn tarvetta. (Subedi et al. 2022)

1.2 Työn tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on luoda tieto ja ohjeistus siihen millaiset tukirakenteet tulisi valita laserjauhepetisulatuksessa. Se käsittelee erilaisten tukirakennetyyppien hyötyjä ja haittoja, sekä sitä miten ne vaikuttavat koko tulostusprosessiin sekä jälkikäsittelyyn. Tavoitteena on luoda selkeä kokonaisuus, jonka avulla kokematonkin tulostaja saa kuvan siitä, miten, milloin ja miksi tukirakenteita tulisi käyttää, jolloin hän voi soveltaa tästä saatua tietoa omaan käyttöönsä. Tutkimuksessa yritetään myös avata sitä, mistä tietynlaiset tulostuksen aikana tapahtuneet virheet johtuvat ja kuinka niitä voi välttää.

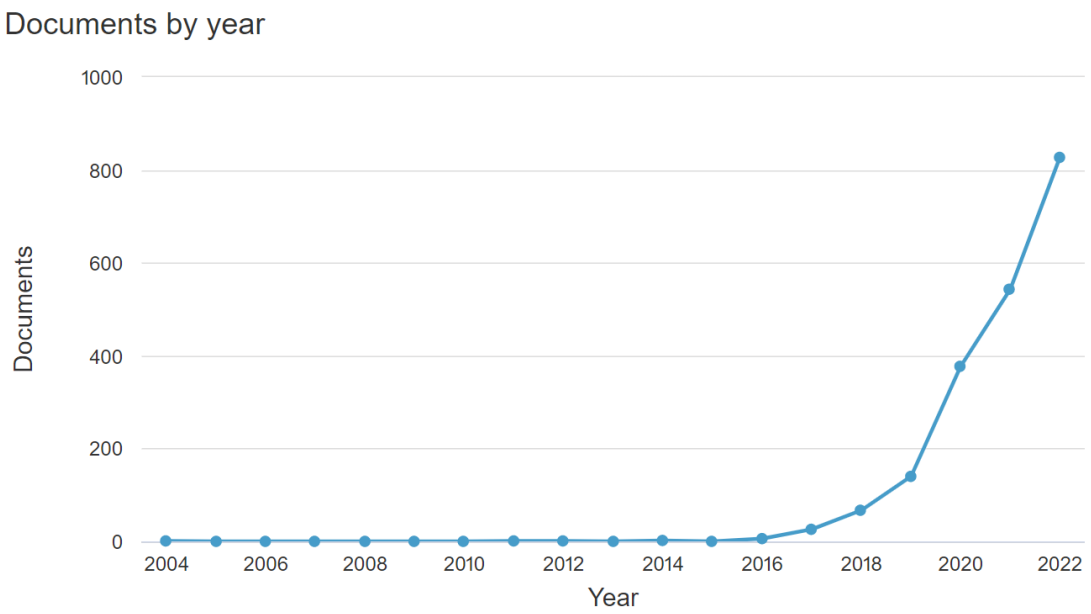
Tutkimus on tehty keräämällä ja vertailemalla tutkimustietoa mahdollisimman uusista ja luotettavista lähteistä ja luomalla niistä yhtenäinen kokonaisuus.

2 Menetelmät

Tässä luvussa käsitellään sitä, miten työ on toteutettu ja millaisia lähteitä siinä on käytetty.

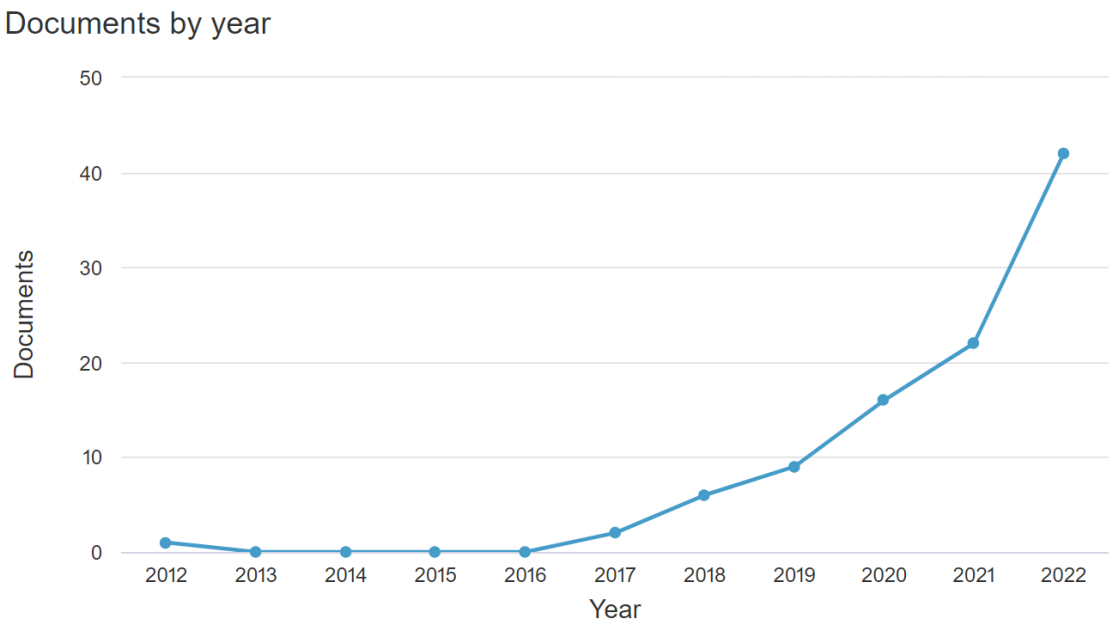
2.1 Aineiston etsiminen

Aineistoa on etsitty tieteellisistä lähteistä englannin kielellä käyttämällä erilaisia hakutermejä ja kokoamalla näistä saaduista tuloksista hyvä pohja työlle. Suurin osa julkaisuista on todella uusia, koska aihe on vielä uusi ja siitä ei ole aikaisemmin kirjoitettua paljoa tietoa.



Kuva 1. Julkaisujen määrä haulle ”LPBF” (Scopus 2023).

Scopuksessa saatavien työkalujen avulla luotu kuvaaja, josta nähdään, että suurin osa tieteellisistä julkaisuista ovat todella tuoreita ja melkein kaikki ovat vuodelta 2016 tai sen jälkeen tuotettuja.



Kuva 2. Kuvaaja haulle ”LPBF support*” (Scopus 2023).

Yllä olevasta kuvaajasta näkee, että artikkelit, jotka tulevat haussa vastaan, kun hakua rajataan sanalla ”support”. Tästä kuvaajasta näkee, että niitä artikkeleja on paljon vähemmän, jolloin juuri aiheeseen liittyviä hyviä tieteellisiä julkaisuja on vaikea löytää. Tämän takia joitakin lähteitä on jouduttu käyttämään paljon ja työssä käytettyjen lähteiden vaihtelevuus on vähäistä.

2.2 Aineiston valinta

Aineistosta saatujen tulosten laadun varmistamiseksi on lähteinä yritetty käyttää mahdollisimman uutta tietoa, jonka on kirjoittanut mahdollisimman luotettava lähde. Vaikka melkein kaikki julkaisut ovat alle seitsemän vuotta vanhoja, niin silti on pyritty käyttämään mahdollisimman uusia lähteitä, joita vertailen keskenään, jotta tieto olisi mahdollisimman relevanttia.

2.3 Työn rajaus

Tämä työ on rajattu käsittelemään tukirakenteita perustasolla metallien laserjauhepetisulatuksessa, ottamatta huomioon eri valmistuslaitteita. Tässä työssä ei myös oteta huomioon eri metallien vaikutusta prosessiin, vaan käsitellään vain yleisellä tasolla tukirakenteiden toimintaa metallien laserjauhepetisulatuksessa.

3 Kirjallisuuskatsaus

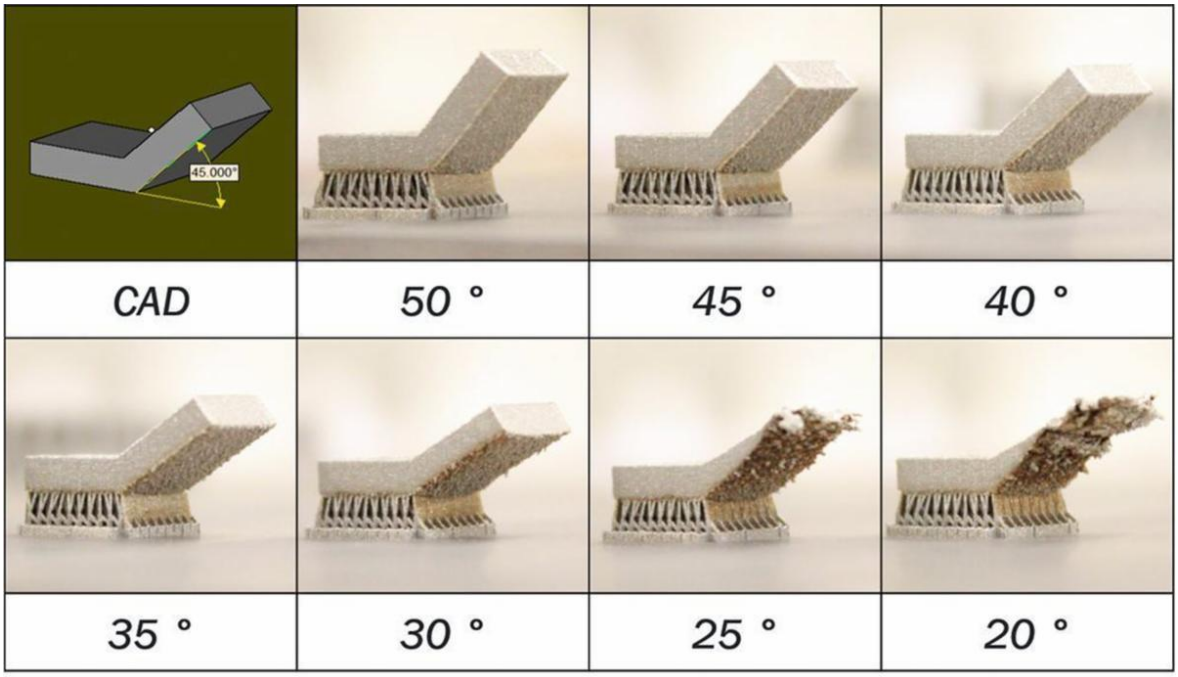
Tukirakenteet ovat merkittävä osa laserjauhepetisulatusta. Ne tukevat kappaletta tulostuksen aikana, vievät laserin tuottamaa lämpöä pois kappaleesta ja auttavat tulostetun kappaleen irrottamista tulostusalustasta. Niiden tarpeellisuus vaihtelee tulostettavan kappaleen pinnan, koon ja kulman mukaan. Kaikki vinot pinnat eivät tarvitse aina tukia ja ei ole olemassa vain yhtä hyvää tukirakennetta, joten yleensä kokemus laserjauhepetisulatuksesta on paras keino oppia luomaan hyvät tukirakenteet, mutta on olemassa tiettyjä sääntöjä, joiden avulla voi arvioida tukirakenteiden tarvetta ja soveltaa niitä omaan käyttöön. (Ceccanti, Giorgetti & Citti 2019)

Tukirakenteita suunnitellessa kannattaa myös ottaa huomioon tuotannon koko. Jos valmistetaan yksittäisiä prototyyppejä, niin tukirakenteiden suunnitteluun ja optimoimiseen ei kannata laittaa paljoa aikaa, koska hukattu aika, sekä materiaali on pientä. Jos taas tukirakenteita suunnitellaan laserjauhepetisulatuksessa massatuotantoon, niin tukirakenteet ovat silloin tärkeää suunnitella yhtä hyvin kuin tulostettava kappale. Tällöin vältytään materiaalihukalta ja säästetään aikaa, kun tukirakenteet ovat hyvin optimoituja. (Ceccanti et al. 2019)

Tukirakenteita on olemassa monia erilaisia, kuten esim. blokki, puu ja ristikko tyylisiä. Kaikilla näillä tukirakenteilla on omat hyvät ja huonot puolensa ja niiden soveltuvuus riippuu tulostettavan kappaleen geometriasta ja niiden luomiseen käytetystä slicing ohjelmistosta. (Dimopoulos, Zournatzis, Gan & Chatzakos. 2023)

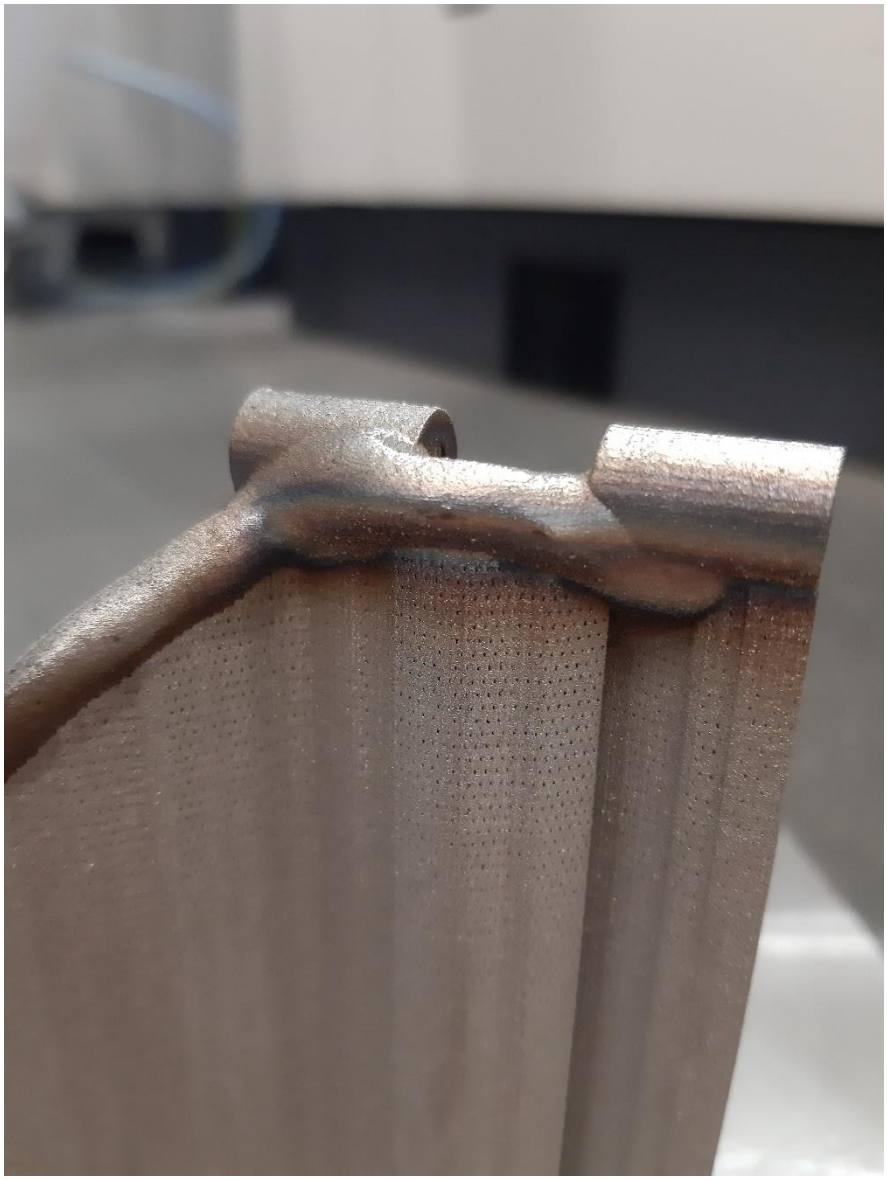
3.1 Tukirakenteiden merkitys

Kun valmistettavaa kappaletta aletaan tulostaa alustan päälle, vaaditaan tukirakenteet erottamaan se alustasta. Myös kun kappaleen pinta on horisonttiin nähden materiaalin mukaan noin alle 45 asteen kulmassa, sitä ei tue enää aikaisemmin tulostetut kerrokset vaan se lepää jauheen päällä ilman tukea, kuten alapuolella olevassa kuvassa nähdään (Kuva 3).



Kuva 3. Eri kulmissa olevia kappaleita (Bentley D. 2020).

Kuvasta 3 nähdään miten kulma vaikuttaa tulostuksen laatuun, kun tukirakenteita ei ole käytetty. Tällaiset piirteet vaativat usein tukirakenteita, koska muuten valmistettu kappale voi epämuodostua, joka voi johtaa koko tulostuksen epäonnistumiseen (Kuva 3). Näihin tyhjän päälle rakentuviin kappaleisiin valmistuksen aikana muodostunut lämpö ei pääse poistumaan kappaleesta, koska pelkän jauheen lämmönjohtavuus on alle 10 % kiinteään materiaaliin verrattuna (Subedi et al. 2022). Tämä ylimääräinen lämpö aiheuttaa kappaleessa lämpömuovautumista, joka ei ole haluttu ilmiö tulostaessa.

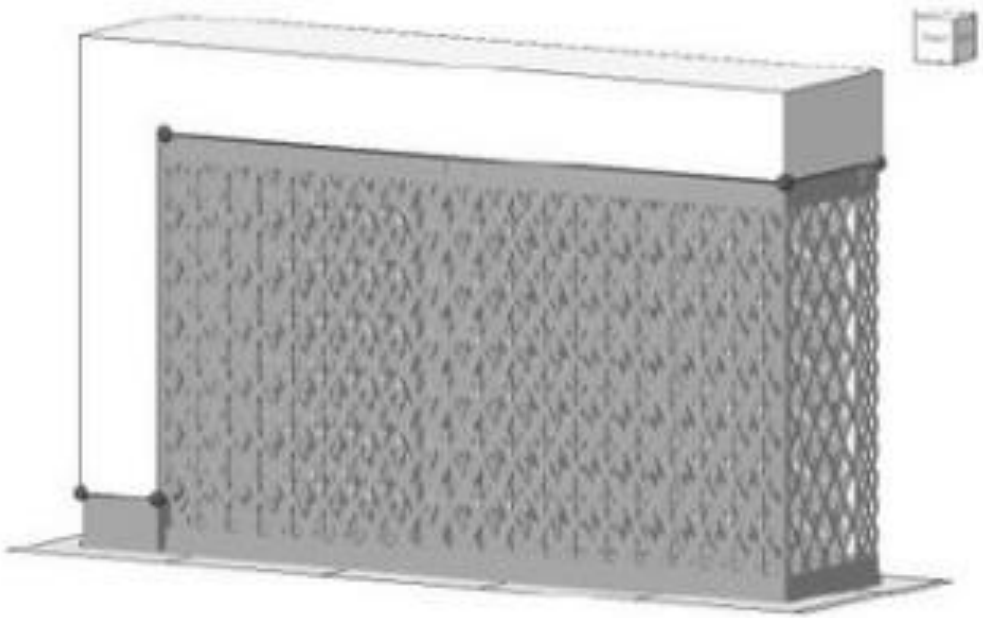


Kuva 4. Esimerkki riittämättömästä lämmönjohtavuudesta.

Kuvassa 4 on kappale, jossa näkyy lämpöjälkiä, joista voidaan päätellä, että kyseinen alue on ollut normaalia kuumempi tulostuksen aikana. Tukirakenteiden avulla kappaleelle voidaan antaa mekaanista tukea ja reitti, jonka avulla lämpö voi siirtyä kappaleesta tulostusalustaan. (Khobzi et al. 2022)

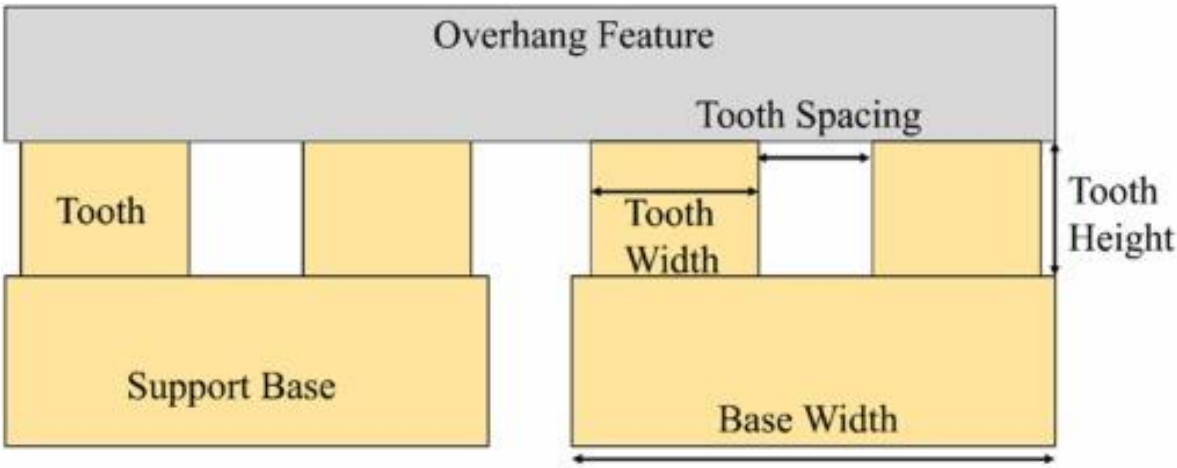
3.2 Blokki tukirakenteet

Tyhjän päälle tai alustalle rakentuville kappaleen osille voi käyttää erilaisia tukirakenteita, mutta suosituin niistä on blokki tyyppiset tukirakenteet, jotka antavat hyvän tuen kappaleelle ja samalla siirtävät tehokkaasti lämpöä pois kappaleesta (Kuva 4).



Kuva 5. Blokkitukirakenteet (Weber S, Montero J, Bleckmann M & Paetzold K 2020).

Näiden blokkityyppisten tukirakenteiden lämmönjohtavuus vähentää lämmöstä johtuvaa stressiä kappaleessa ja ehkäisee säröjen syntymistä, joka parantaa tulostuksen onnistumisen mahdollisuuksia. Suunnitellessa blokkityyppisiä tukirakenteita niiden hampaiden välejä ja kokoa voidaan kasvattaa tai pienentää, jolloin niistä voi tehdä juuri omaan tilanteeseen sopivat, niin että ne johtavat tarpeeksi lämpöä pois kappaleesta ja ovat tarpeeksi tukevat (Kuva 6). Liian vahvat tukirakenteet kuitenkin vaikeuttavat niiden poistoa jälkikäsittelyssä. (Khobzi et al. 2022)

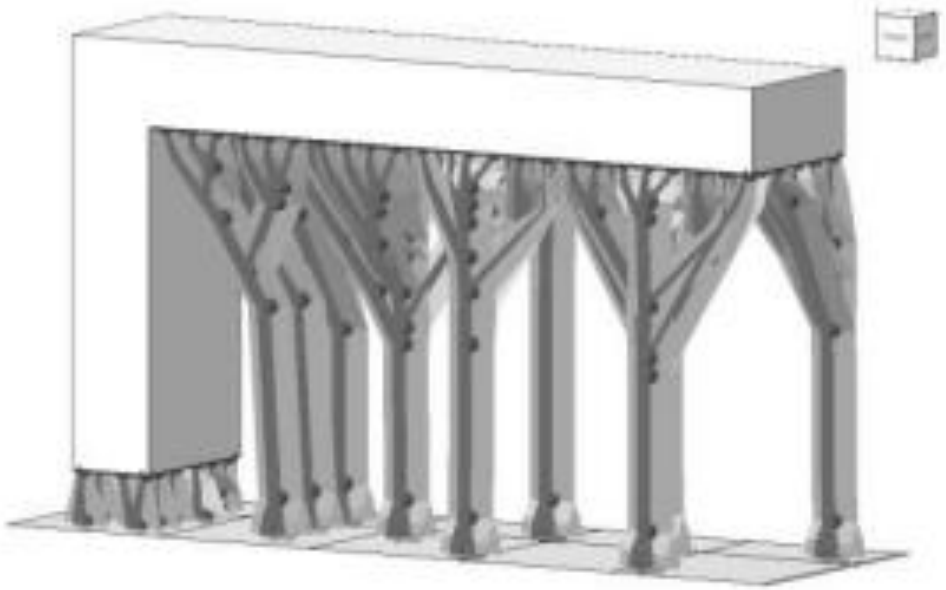


Kuva 6. Blokkitukirakenteiden kiinnittymispisteet (Khobzi et al. 2022).

Kuvassa 6 nähdään esimerkki blokkityyppisistä tukirakenteista, jotka tukevat tulostettavaa kappaletta.

3.3 Puutukirakenteet

Puutyyppiset tukirakenteet ovat hyvin soveltuva vaihtoehto moneen erilaiseen tilanteeseen, koska niiden käyttö mahdollistaa vapaamman suunnittelun. Nämä tukirakenteet vähentävät myös paljon materiaalihukkaa muihin tukirakenteisiin verrattuna, koska ne muodostuvat ohuista rungoista, jotka haarautuvat ja tukevat kappaletta monesta eri pisteestä (Kuva 7). Puutyyppiset tukirakenteet haarautuvat yläosasta, jolloin yhdestä varresta saadaan laajalle alueelle tukea ja samalla minimoidaan alustasta lähtevien tukien määrä. (Weber et al. 2020)



Kuva 7. Puutukirakenteet (Weber et al. 2020).

Hyvän tulostuslaadun mahdollistamiseksi puutyyppisten tukirakenteiden eri parametrejä voi säätää itselleen sopiviksi, kuten varren paksuutta ja oksien määrää. (Kuva 8). Näiden tukirakenteiden hyviin puoliin kuuluu myös se, että niiden väliin ei jää jumiin laserjauhepetisulatuksessa käytettävää jauhetta, joka helpottaa tulostetun kappaleen jälkikäsittelyä ja jauheesta syntyvää sotkua, koska jauhe on helpompi poistaa tukirakenteiden välistä. (Weber et al. 2020)

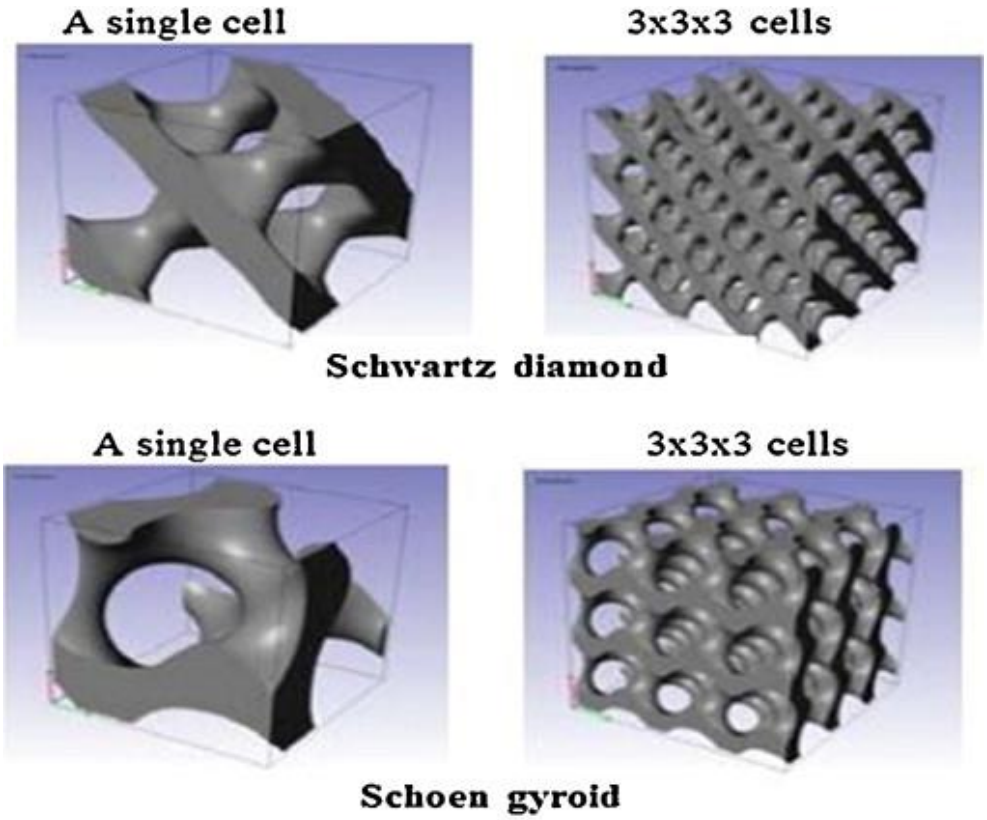
design parameter	support strength	part strength	surface roughness	support removal time	printability	material consumption	printing time
diameter stem	↑	→	→	↑	↗	↑	↑
diameter branch	↑	→	→	↑	↗	↑	↑
number of branches	↑	→	↘	↗	↗	↑	↑
number of ramifications	→	→	→	↗	↗	↑	↑
ramification height	↗	→	→	→	↗	↘	↘
distance of points on part	→	→	↑	↘	↓	→	→
distance of points on base	→	→	↗	↘	↘	→	→

Kuva 8. Puutyyppisten tukirakenteiden parametrien vaikutus. Vihreä nuoli parantaa efektiä, keltainen ei vaikutusta ja punainen huonontaa efektiä. (Weber et al. 2020).

Kuvassa 8 olevasta taukukosta nähdään, miten puutyyppisten tukirakenteiden parametrien säätö vaikuttaa koko prosessiin. Kyseinen taulukko on suuntaa antava ja perustuu S. Weberin omaan kokemukseen, sekä testeihin. (Weber et al. 2020)

3.4 Hilatukirakenteet

Hilatukirakenteet ovat tukirakennetyyppi, joka muodostuu yleensä noin 3–5 mm soluista (Kuva 9). Näistä muodostuva ristikko tuo todistetusti vahvan tuen kappaleelle ja mahdollistaa helpon ylimääräisen jauheen poiston tulostuksen jälkeen. Näiden tukirakenteet ovat hyviä, myös sen takia, koska niistä syntyy vähän materiaalihukkaa ja niiden valmistaminen on nopeaa. (Hussein et al. 2013)



Kuva 9. Kahdet erilaiset Hilatukirakenteet (Hussein et al. 2013).

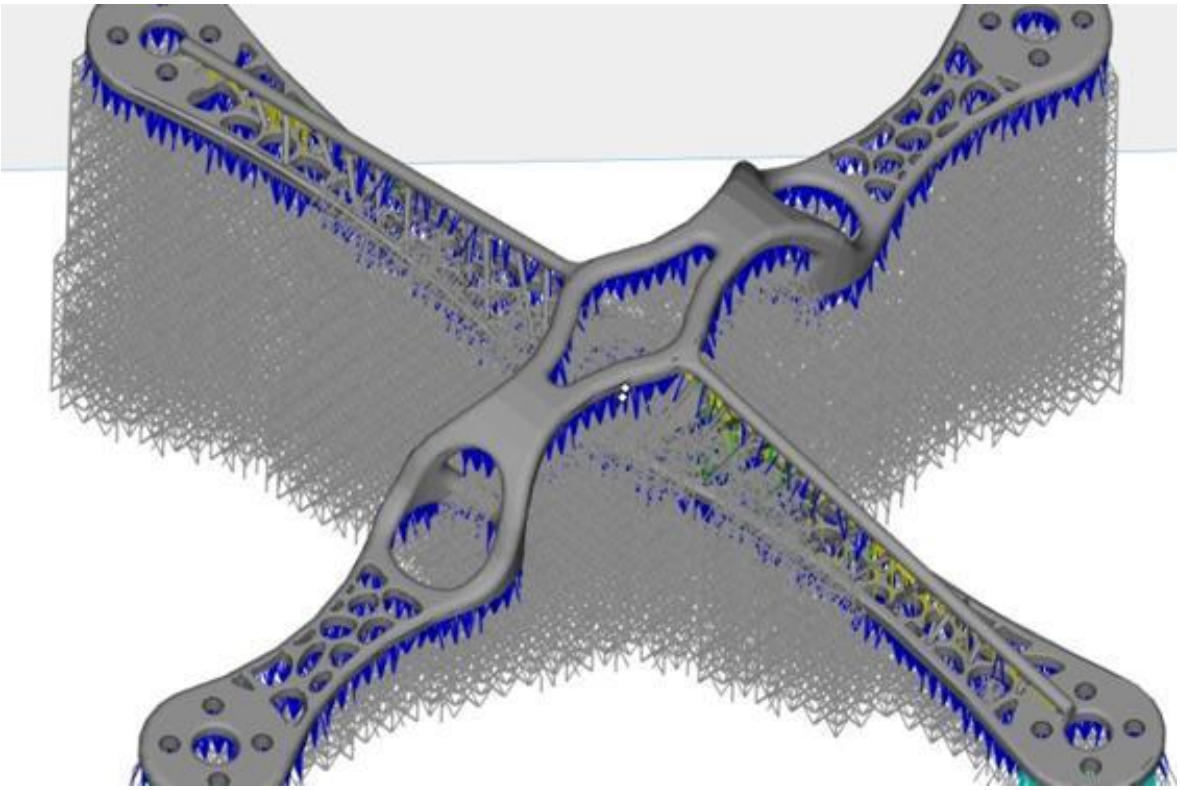
Gyroidi Hilatukirakenteet ovat helpommin valmistettavat ja vahvemmat kuin timantti Hilatukirakenteet. Myös niiden valmistaminen on nopeampaa, jos molempien tukirakennetyyppien solun koko on sama. (Hussein et al. 2013)

Ihanteelliset Hilatukirakenteet olisivat isoja harvoja soluja, mutta solujen suurentaminen vähentää kappaleeseen kiinnittyvien pisteiden määrää, joka kasvattaa tulostuksen epäonnistumisen mahdollisuutta. Suunnittelijan pitää osata valita omaan käyttöön ideaaliset Hilatukirakenteet ja yrittää minimoida niiden viemä materiaali, sekä solujen koko. (Hussein et al. 2013)

3.5 Materialise e-Stage

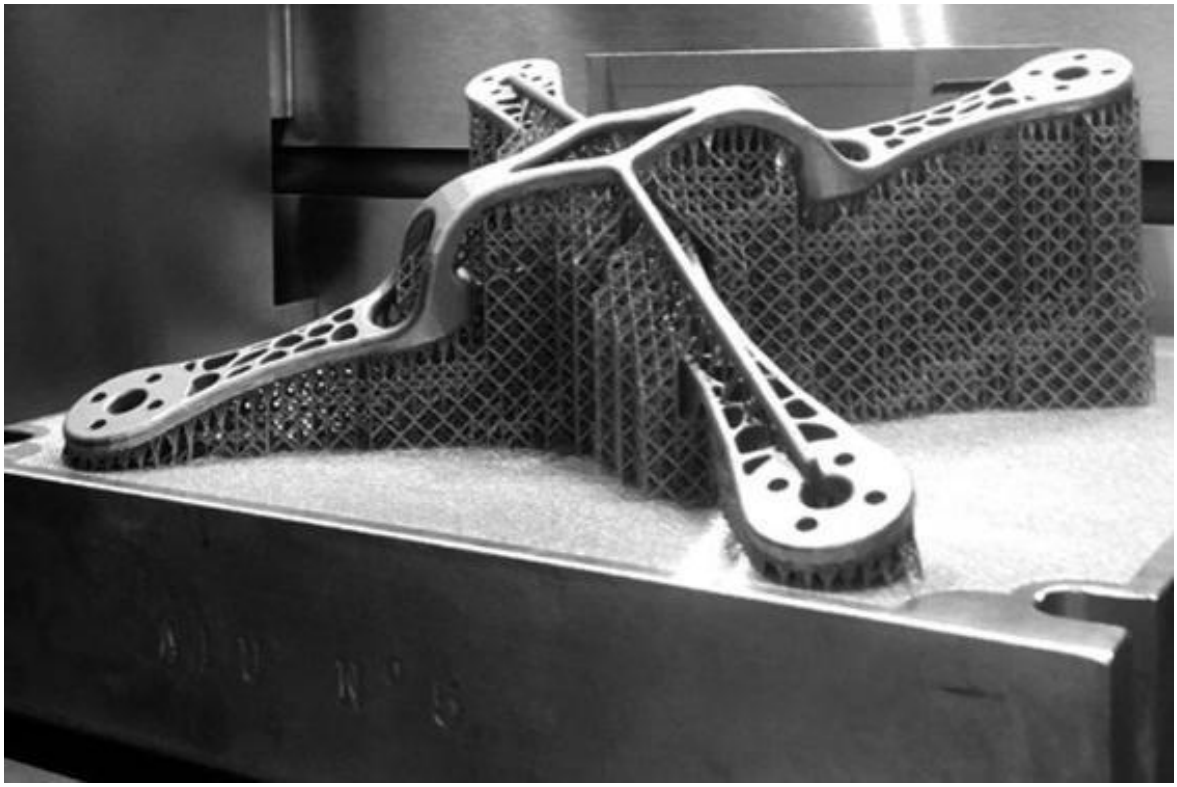
Tukirakenteiden suunnittelu vie paljon aikaa ja taitoa, joten oikea ohjelmisto helpottaa niiden valmistamista merkittävästi. Materialise e-Stage ohjelmistoa käytetään automaattisesti laskemaan optimaaliset tukirakenteet tulostettavalle kappaleelle. Titaanille ja alumiinille

tukia luodessa tällä ohjelmistolla voi merkittävästi säästää aikaa niiden generoimisessa ja vähentää jälkikäsittelyyn menevää aikaa jopa 50 %.



Kuva 10. Materialise e-Stagen avulla luodut tukirakenteet (Materialise 2023a).

Kuvassa 10 on nähtävissä pienoiskopterin runko, jonka tulostamiseen vaaditut tukirakenteet ovat tehty Materialise e-Stagen avulla. Tällöin säästettiin 1.5 tuntia aikaa tukirakenteiden generoimisessa. (Materialise 2023a)



Kuva 11. Valmis pienoiskopterin runko (Materialise 2023a)

Kuvassa 11 on valmis pienoiskopteri, jossa on vielä tukirakenteet kiinni. Materialise e-Stage käyttää avointa timantti rakennetta tukirakenteille, joka helpottaa laserjauhepetisulatuksessa käytettävän jauheen poistamista kappaleesta. Tukirakenteet ovat myös todella ohuet, joka helpottaa niiden poistamista jälkikäsittelyssä. (Materialise 2023a)

3.6 Alustan ja kappaleen välissä olevat tukirakenteet

Kappale tulisi sijoittaa alustalle siten, että tarve tukirakenteille olisi minimaalinen ja tukirakenteiden tilavuus olisi mahdollisimman pieni, jolloin niiden valmistamiseen menee mahdollisimman vähän aikaa ja materiaalia. Tulostuksen jälkeen tulostettu kappale tulee irrottaa tulostusalustasta ja yksi yleisimmistä tavoista on sahata tukirakenteet irti alustasta. Tukirakenteet kappaleen ja levyn välissä tulisi olla ainakin 5 mm korkeita, jotta kappaleen irrottaminen olisi helposti tehtävissä. (Subedi et al. 2022)

Kuva 12. Kappaleen irrottaminen vannesahaamalla.

Sahatessa irti kappaleita alustasta kappaleeseen siirtyy vähiten voimia, kun lineaariset tukirakenteet ovat yhdensuuntaisesti sahan liikkeen kanssa. Tällöin siirtyy mahdollisimman vähän voimia itse kappaleeseen. (Moehering, Becker, Mauher, Eisseler & Ringger. 2022)

Toinen yleinen keino irrottaa kappaleita tulostusalustasta on niiden leikkaaminen irti kipinätyöstöllä (EDM). EDM laitteistolla tulostettujen kappaleiden irrottaminen on hitaampaa kuin niiden irrottaminen vannesahaamalla, mutta EDM laitteistolla ne saadaan leikattua tarkemmin irti tulostusalustasta. Tämä tarkempi leikkaaminen mahdollistaa sen, että leikattava kohta voi olla pienempi, jolloin säästetään aikaa ja rahaa tulostusprosessissa, kun alimpien tukirakenteiden ei tarvitse olla niin isoja. Varsinkin silloin, kun leikataan isompia kappaleita irti, niin kipinätyöstö on tarkempi tapa irrottaa kappale, koska EDM laitteistossa käytetty lanka ei lähde helposti taipumaan kesken leikkauksen. (Hider 2020)

Jos tukirakenteet ovat tarpeeksi heikot, niiden irrottaminen tulostusalustasta voi onnistua, myös vasaroimalla (Kuva 13).

Kuva 13. Kappaleiden vasaroimista irti tulostusalustasta.

3.7 Tukirakenteiden irrottaminen jälkikäsittelyssä

Kun tulostettu kappale on irrotettua tulostusalustasta, niin tukirakenteet tulee irrottaa kappaleesta, jos ne ovat vielä kappaleessa kiinni. Mitä vahvemmat tukirakenteet tulostuksessa on ollut käytössä, sitä työläämpi ja pidempikestoinen tämä vaihe tulee olemaan. Yleisimmät keinot irrottaa tukirakenteet kappaleesta ovat manuaalisia ja vaativat paljon aikaa. Yleisimmät käytetyt työkalut tässä prosessissa ovat vasara ja taltta, sekä erilaiset pihdit ja leikkuutyökalut. Irrottamisen jälkeen pitää myös siistiä pinnat, joihin tukirakenteet ovat kiinnittyneet. Yleensä tukirakenteiden jättämät karheat pinnat voidaan hioa sileiksi. (Makerverse 2023)

Tukirakenteiden poistoa voidaan helpottaa niitä suunnitellessa, muutamalla eri keinolla. Jos kappaleessa on paljon tukirakenteita, jotka alkavat kappaleen pinnalta ja tukevat ylempänä olevaa pintaa esim. reikä kappaleessa, niin tällaisten tukirakenteiden poistamisen helpottamiseksi voidaan tukirakenteet tuoda alustalta kulmassa kappaleeseen siten, että ne pystyvät silti kannattelemaan tukea tarvitsevan osan yläreunaa ilman, että alapuolella oleva osa häiriintyy. Tukirakenteiden poistamista voidaan myös helpottaa niin, että varsinkin blokkityyppisten tukirakenteiden hampaista tehdään mahdollisimman pienet, mutta tiheät, jolloin ne saadaan helposti hajotettua jälkikäsittelyssä. (Materialise 2023b)

3.8 Tukirakenteiden hinta

Tukirakenteet ovat käytännössä roskaa, joten niiden valmistamiseen menevä materiaali menee hukkaan, kun kappale on valmis. Sen takia on hyvä yrittää optimoida tukirakenteen niin, että niiden tarve ja tilavuus on mahdollisimman pieni, jolloin hukattua materiaalia syntyisi mahdollisimman vähän. Työn kirjoitushetkellä MSE Supplies myy kiloa Ti-6AI-4V titaani pulveria, joka on tarkoitettu 3D-tulostukseen, maksaa 429.00 $/kg – 287.43 $/kg tilauksen koosta riippuen (MSE Supplies 2023).

4 Pohdinta

Tukirakenteet ovat erittäin iso osa laserjauhepetisulatusta. Ne tulisi ottaa jo huomioon suunnitellessa tulostettavaa kappaletta, ja ne ovat osa koko prosessia alusta loppuun saakka, kunnes ne irrotetaan. Liian ohuet tukirakenteet eivät anna kappaleelle tarpeeksi mekaanista tukea ja eivät johda tarpeeksi lämpöä pois tulostettavasta kappaleesta, jolloin siihen saattaa syntyä vääristymiä ja virheitä. Liian vahvat ja paksut tukirakenteet toimivat taas hyvin tulostaessa, mutta niiden poistaminen jälkikäsittelyssä on todella työlästä ja vaikeaa. Isot tukirakenteet myös aiheuttavat enemmän materiaalihukkaa, koska lopuksi tukirakenteet heitetään pois tai kierrätetään.

Tukirakenteita on monia erilaisia ja niiden valitseminen, sekä suunnitteleminen tuo paljon haasteita. Laserjauhepetisulatus on suhteellisen uusi teknologia, joka kehittyy jatkuvasti ja uusia tukirakennetyyppejä keksitään jatkuvasta. Ei ole olemassa vain yhtä hyvää tukirakennetyyppiä, joka sopii aina käytettäväksi joka tilanteessa, koska kaikilla tukirakennetyypeillä on omat hyvät, sekä huonot puolensa. Oikeanlaisten tukirakenteiden valinta ja suunnittelu, vaatii kokemusta suunnittelijalta ja syvää tietämystä aiheesta.

Oikeanlaisen ohjelmiston käyttäminen tekee kuitenkin tukirakenteiden suunnittelemisesta helpompaa, ja niiden käyttämät algoritmit nopeuttavat niiden generoimista. Nämä ohjelmistot kehittyvät jatkuvasti ja tekevät samalla prosessia toimivammaksi.

Tulevaisuudessa tukirakenteille voi luoda mahdollisesti tarkemmat ohjeet, mutta valitettavasti tällä hetkellä tieteellisiä lähteitä, joissa kerrotaan erilaisista tukirakenteista laserjauhepetisulatuksessa ja niiden vaikutuksesta on vielä niukasti.

Lähteet

Bentley D. (2020) AM Support Structures: The Need, Impact, and Elimination Strategies. Saatavilla: https://www.cadalyst.com/design-related-technologies/3d-printers/am-support-structures-need-impact-and-elimination-strategies

Ceccanti F, Giorgetti A & Citti P (2019) A Support Structure Design Strategy for Laser Powder Bed Fused Parts. Saatavilla: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321620302845

Dimopoulos A, Zournatzis I, Gan T-H & Chatzakos P. (2023) Multi-Response Optimization of Ti6Al4V Support Structures for Laser Powder Bed Fusion Systems Journal of Manufacturing and Materials Processing Saatavilla: http://dx.doi.org/10.3390/jmmp7010022

Hider J. (2020) Cutting AM Parts from Build Plate Truns Wire EDM Upside Down. Saatavilla: https://www.mmsonline.com/articles/cutting-am-parts-from-build-plate-turns-wire-edm-upside-down

Hussein A, Hao L, Yan C, Everson R ja Young P (2013) Advanced lattice support structures for metal additive manufacturing. Journal of Materials Processing Technology 213(7): 1019-1026.

Khobzi A, Farhang Mehr F, Cockcroft S, Maijer D, Sing SL ja Yeong WY (2022) The role of block-type support structure design on the thermal field and deformation in components fabricated by Laser Powder Bed Fusion. Saatavilla: https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S2214860422000501?via%3Dihub

Makerverse 2023. The Guide to Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) Post Processing [Verkkosivu] [Viitattu 23.5.2023]. Saatavilla: https://www.makerverse.ai/metal-3d-printing/the-guide-to-laser-powder-bed-fusion-%28l-pbf%29-post-processing

Materialise 2023a. Volum-e reduces metal support removal by 50% using materialize e-Stage [Verkkosivu] [Viitattu 28.4.2023]. Saatavilla: https://www.materialise.com/en/inspiration/cases/volum-e-reduces-metal-support-removal-e-stage

Materialise 2023b. 5 easy ways to remove metal support structures [Verkkosivu] [Viitattu 30.4.2023]. Saatavilla: https://www.materialise.com/en/inspiration/articles/5-ways-to-remove-metal-support-structures

Moehring H, Becker D, Maucher C, Eisseler R, and Ringger J. (2022). Influence of the Support Structure on the Bandsawing Process when Separating LPBF Components from the Building Platform. Journal of Machine Engineering, 22(3), pp.19-30. Saatavilla: https://doi.org/10.36897/jme/151498

MSE Supplies. 2023 [Verkkosivu] [Viitattu 26.4.2023]. Saatavilla: https://www.msesupplies.com/products/ti-6al-4v-tc4-titanium-based-metal-powder-for-additive-manufacturing-3d-printing?variant=31729219174458

Scopus. 2023 [Verkkosivu] [Viitattu 26.4.2023]. Saatavilla: https://www.scopus.com

Subedi, S.C, Shahba A, Thevamaran M, Thoma DJ, Suresh K. (2022) Towards the Optimal Design of Support Structures for Laser Powder Bed Fusion-Based Metal Additive Manufacturing Via Thermal Equivalent Static Loads. Amsterdam : Elsevier B.V. Saatavilla: https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S2214860422003499

Weber S, Montero J, Bleckmann M & Paetzold K (2020) Parameters on support structure design for metal additive manufacturing. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/342119984_PARAMETERS_ON_SUPPORT_STRUCTURE_DESIGN_FOR_METAL_ADDITIVE_MANUFACTURING