



AMable

VIHKONEN

HARJOITUSMATERIAALIT



WWW.AMABLE.EU

Sisältö

01

Additive Manufacturing Processes Overview

KUVAUS	4
STANDARDIEN MÄÄRITTELEMÄT PRO- SESSIT	5
MÄÄRITELMÄT	7
PROSESSIT METALLEILLE	7
SUORAKERROSTUS	8
ELEKTRONISUIHKU	9
LASERSÄDE	10
VALOKAARI	12
JAUHEPETISULATUS	14
METALLIEN AM - PROSESSIEN VERTAILU	17
VALOKOVETUS ALTAASSA	18
KERROSLAMINOINTI	22
MATERIAALIN SUIHKUTUS	24
SIDEAINEEN SUIHKUTUS	25
MATERIAALIN PURSOTUS	27

02

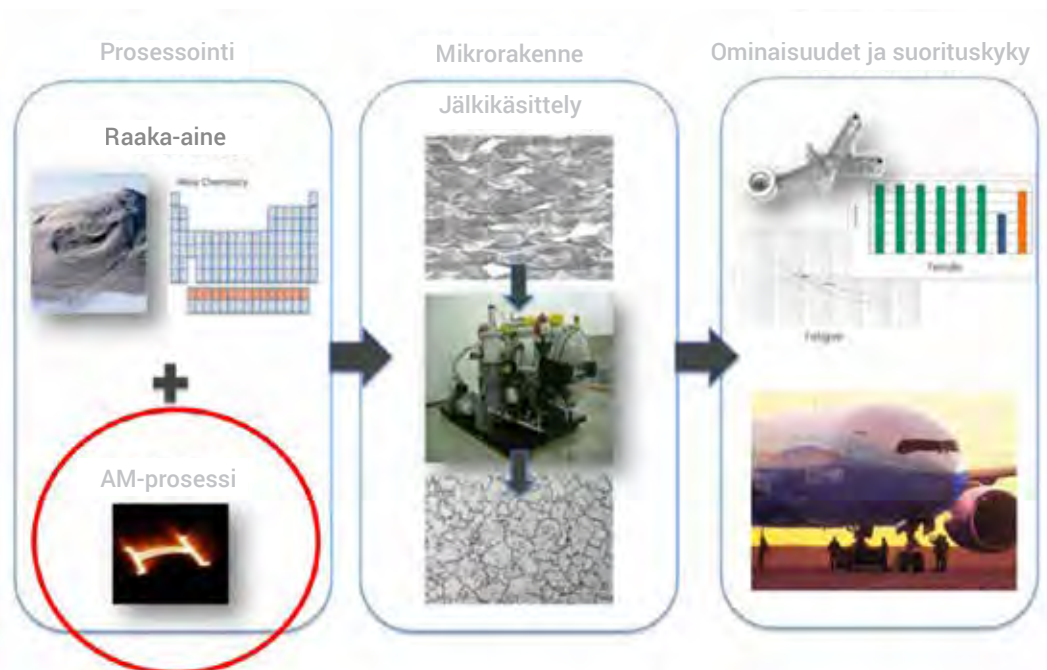
Value Chain in Additive Manufacturing

AM:N TUOTTAMA LISÄARVO	28
MIKÄ ON PARAS AM-PROSESSI MINUN TUOTTEELLENI?	29

01 Materiaalia lisäävän valmistuksen prosessien yleiskatsaus

Kuvaus

Materiaalia lisäävä valmistus (engl. Additive Manufacturing, AM) on valmistusprosessi, joka mahdollistaa 3D-kappaleiden rakentamisen prosessoimalla useassa eri muodossa (esim. jauhe, lanka) olevaa raaka-ainetta.



Monessa tapauksessa, tarvittavan mikrorakenteen ja sen kautta halutun suorituskyyvyn ja ominaisuuksien aikaansaamiseksi, on tarpeen suorittaa jälkikäsittelyjä.

Tieto:

Todellinen ja laaja tieto teoriasta, periaatteista ja käyttökelpoisuudesta:

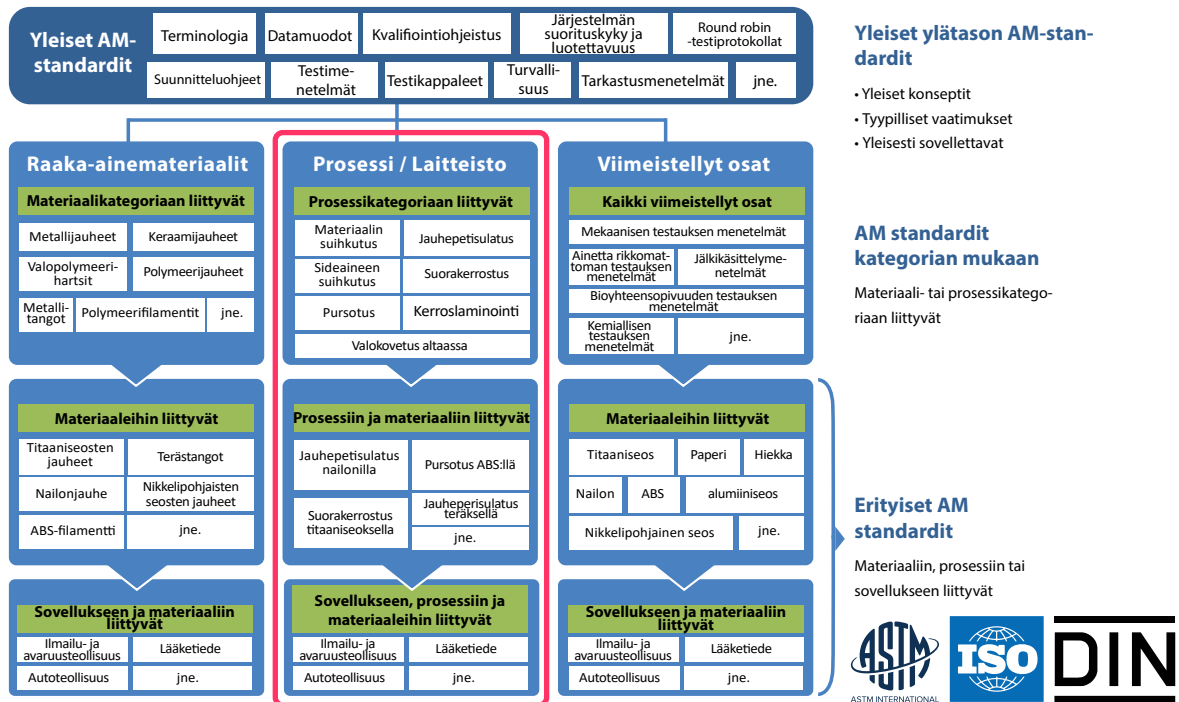
- Suorakerrostus (DED)
- Jauhhepetisulatus (PBF)
- Valokovetus altaassa (VPP)
- Materiaalin suihkutusp (MJT)
- Sideaineen suihkutusp (BJT)
- Materiaalin pursotusp (MEX)
- Kerroslaminointi (SHL)

Tavoitteet:

- Eri AM-prosesseilla tuotettujen osien erottaminen toisistaan
- AM-prosessien hyötyjen ja rajoitteiden tunnistaminen
- Eri AM-prosessien käytettävyyden tunnistaminen
- Jälkikäsittelyn hyödyntäminen vaaditun pinnanlaadun saavuttamiseksi

Standardien Määrittelemät Prosessit

Materiaalia Lisäävän Valmistuksen Standardien Rakenne



Materiaalia Lisäävän Valmistuksen Teknologiat

	TEKNOLOGIA	MATERIAALIT	TYYPILLISET MARKKINAT	RELEVANSSI METALLIEN VALMISTUKSEEN	
Sulatus	 Jauhepetisulatus - Lämpöenergia sulattaa jauhepedin valitulta alueelta	Metallit, polymeerit	Prototyyppit, valmiit kappaleet	●	AM teknologien voor metalen objecten.
	 Suorakerrostus - Fokusoitua lämpöenergiaa käytetään sulattamaan materiaalia samalla, kun materiaalia kerrostetaan	Metallit	Valmiit kappaleet, korjaus	●	
	 Kerros laminointi - Materiaalilevyjä tai -arkkeja kiinnitetään toisiinsa kappaleen luomiseksi	Metallit, paperi	Prototyyppit, valmiit kappaleet, valumuotit	●	
Sintraus	 Sideaineen suihkut - Nestemäinen sideaine kohdistetaan jauheeseen valittuun kohtaan jauheen kiinnittämiseksi	Metallit, polymeerit, muottihiekka	Prototyyppit, valmiit kappaleet	●	
	 Materiaalin suihkut - Rakennusmateriaali suihkutetaan pisaroina valittuun kohtaan	Polymeerit, vahat	Prototyyppit, valumallit	○	
	 Materiaalin pursotus - Materiaalia pursotetaan suuttimen läpi valittuun kohtaan	Polymeerit	Prototyyppit	○	
	 Valokovetus altaassa - Altaassa oleva nestemäinen muovi kovetetaan valitusta kohdasta valoaktiivisen polymeroinnin avulla	Fotopolymeerit	Prototyyppit	○	



Photo: GE Aviation

Määritelmät

Standardi ISO/ASTM 52900-18: Materiaalia lisäävä valmistus. Yleiset periaatteet. Terminologia määrittelee perusterminologian, jota tulisi käyttää materiaalia lisäävän valmistuksen yhteydessä. Tämä standardi toteaa:

Materiaalia lisäävä valmistus (AM, lisäaineiden valmistus)

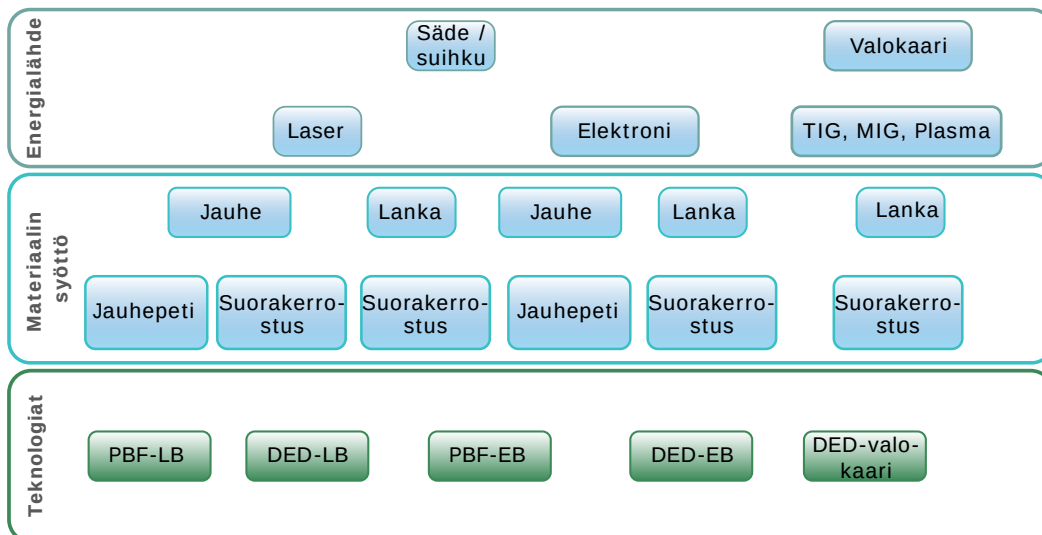
“menetelmä tuottaa kappaleita 3D-mallitiedon pohjalta materiaaleja yhteen liittämällä, tyypillisesti kerros kerrokselta -periaatteella, vastakohtana materiaaleja poistaviin ja materiaaleja muovaaviin menetelmiin”. Aiempia englanninkielisiä termejä: additive fabrication, additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, layer manufacturing, solid freeform fabrication and freeform fabrication.

3D-tulostus (3D Printing)

“kappaleen valmistus kovettamalla materiaalia käyttäen kirjoituspäätä, suutinta tai muuta tulostusteknologiaa”. Termiä käytetään usein ei-teknisissä yhteyksissä synonyymina materiaalia lisäävälle valmistukselle; tähän asti termi on erityisesti yhdistetty alimman hinta- tai suoritustason laitteisiin.

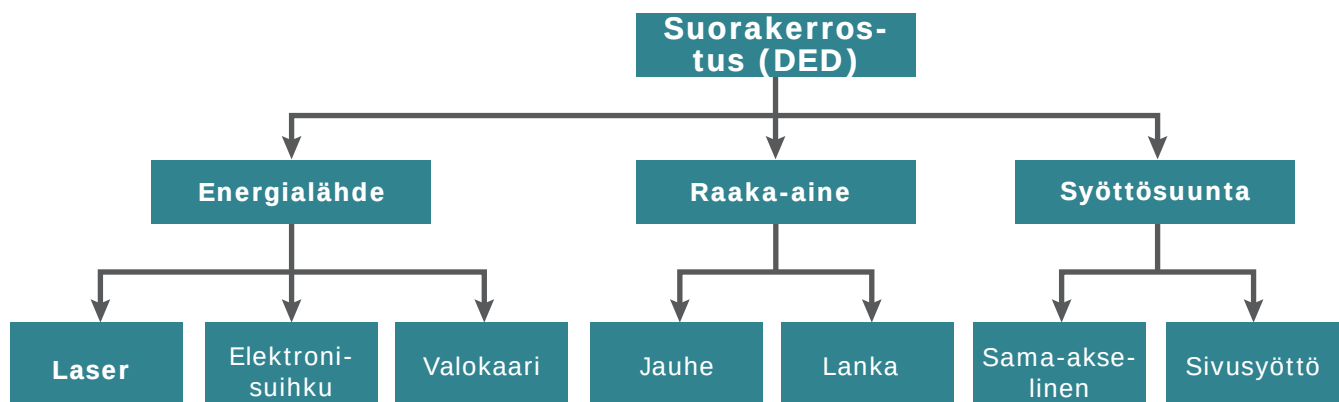
Prosessit Metalleille

Suorakerrostus- (DED) ja Jauhepetiteknologioiden luokittelu



Suorakerrostus (*Directed Energy Deposition, DED*)

“Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa kohdennettua lämpöenergiaa käytetään sulattamaan ja liittämään materiaali kohdennetusti” ISO/ASTM 52900-18 mukaan. ”Kohdennettu lämpöenergia” tarkoittaa, että energialähde (esim. laser, elektronisuihku tai plasma) kohdennetaan sulattamaan liitettävä materiaali.



Raaka - Aine

LANKA

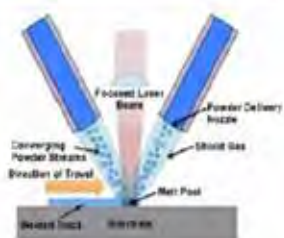
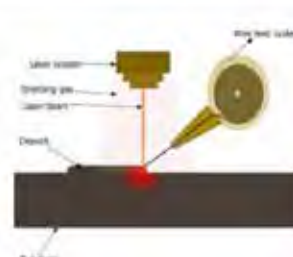
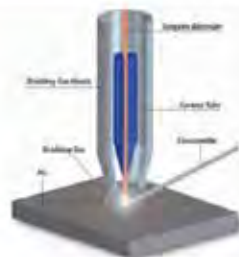
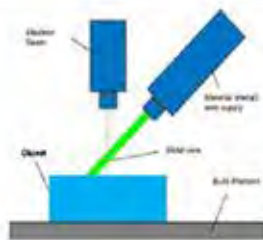
JAUHE

Energialähde

ELEKTRONISUIHKU (EB)

VALOKAARI / PLASMA

LASER



Technology Nomenclature

DED-EB

DED-ARC / DED-PB

DED-LB

DED-LB

Elektronisuihku

Edut

- Suurempi kerrostusnopeus
- Suuret kappaleet (suurempi valmistustilavuus)
- Vaikeasti hitsattavat materiaalit
- Reaktiiviset metallit (Ti, Al, TiAl)
- Lankamateriaali (+ halpa, - helposti syttyvä)
- Suuri energiatehokkuus (> 95%, x5- 10 SLM)
- Vähäiset jäännösjännitykset
- Vähäisempi tukirakenteiden tarve

Photo: Arevo Labs



Huonot puolet

- Suuri ja monimutkainen laitteisto
- Korkeat investointikustannukset
- Korkeat laitteiston ylläpitokustannukset
- Tarve vakuumikammioille (+aika -luoksepääsy)
- Suurempi pinnankarheus ($R_a > 40\mu\text{m}$) (x3 SLM)



Photo: Lockheed Martin

Sovellukset & Sektorit

- Turbiiniinsievet energiantuotantoon
- Ydinvoimakomponentit
- Tulenkestävät metallikomponentit
- Ballistiset materiaalit
- Teollisten pumppujen komponentit
- Puolijohteiden valmistuslaitteistot
- Työkalujen kunnostus ja korjaus
- Ilmailuteollisuuden komponentit

Photo: Forgemasters



Materiaalit

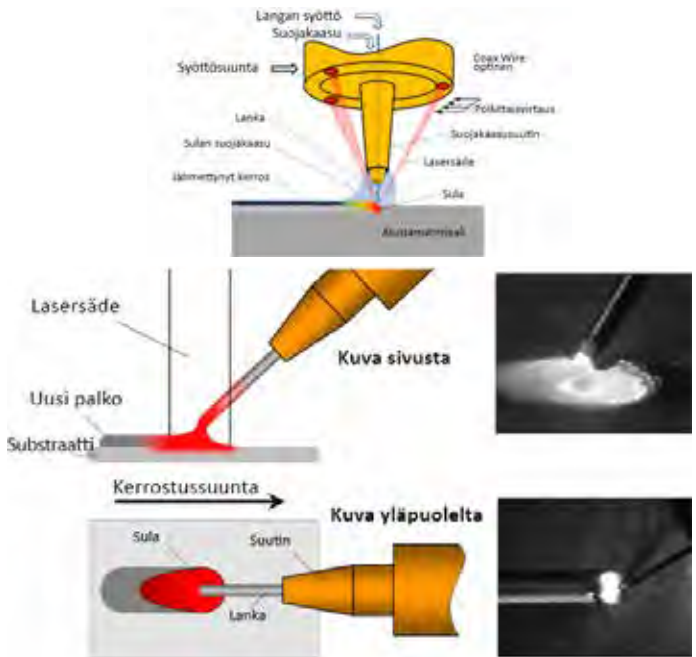
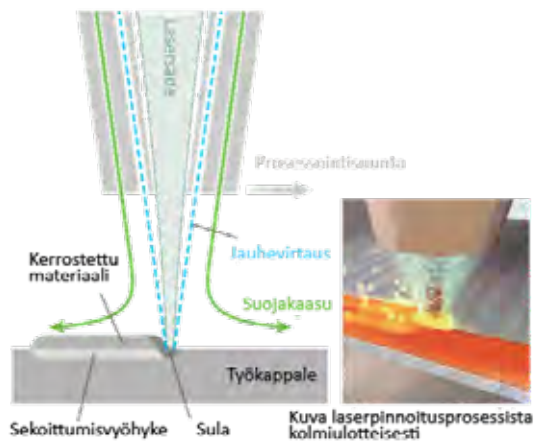
- Teräs, 4340
- Ruostumaton teräs
- Titaani ja titaaniseokset, Ti64
- Alumiini, 2319, 4043
- Tantaali
- Volframi
- Niobi
- Inconel 718, 625
- Koboltti-kromi ASTM F75
- TiAl
- Puhdas kupari



Photo: GE Additive

Suorakerrostus (DED)

Lasersäde



Edut

- Kerrostusnopeus keskimääräisestä korkeaan
- Keskikokoisia kappaleita
- Komponentit lähellä tavoitemuotoa
- Laaja valikoima materiaaleja
- Moni- ja funktionaaliset gradienttimateriaalit (FGM)
- Korjaus ja uudelleenvalmistus

Huonot puolet

- Laitteiston hinta
- Alhainen resoluutio
- Jälkikäsittelyn tarve



Photo: Arcam



Sovellukset & sektorit

- Turboahdinlaitteistot
- Ilmailuteollisuuden komponentit
- Muotit ja työkalut
- Autoteollisuus
- Vedenalaiset, meri- ja rannikkokomponentit

Materiaalit

- Teräkset
- Ni-pohjaiset seokset
- Co-pohjaiset seokset
- Titaani
- Karbidit

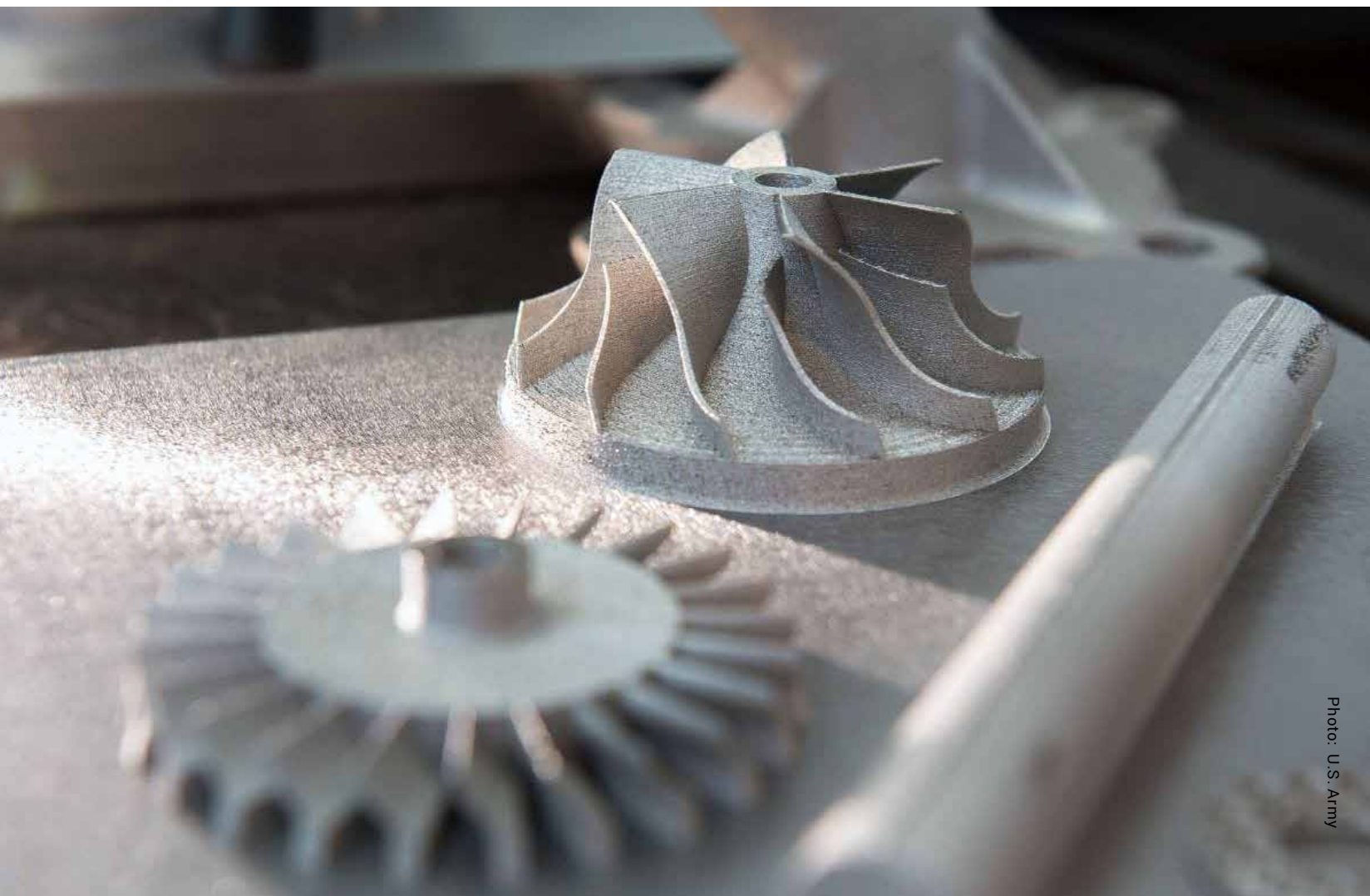


Photo: U.S. Army

Suorakerrostus (DED)

Valokaari



DED - Valokaari

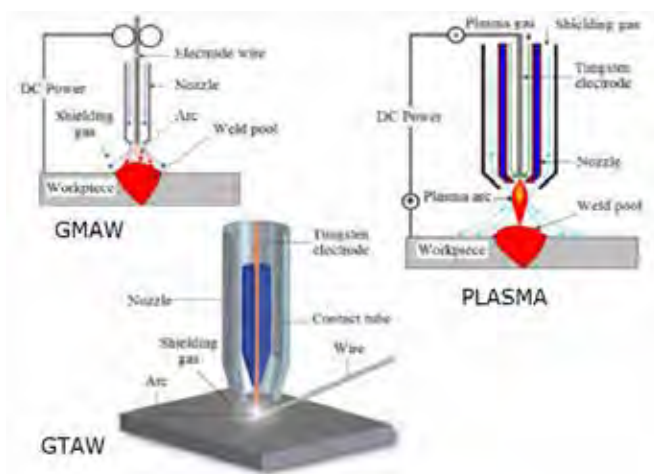
- MIG/MAG- ja TIG-prosessit
- langan syöttö
- edullinen tekninen laitteisto
- Kerrostusnopeus 5 kg/h asti ja yli
- Vähäinen materiaalihäviö jauheeseen perustuviin teknologioihin verrattuna



DED - Plasma

- Plasma- ja μ -plasmaproessit
- jauheen tai langan syöttö
- Kerrostusnopeus 10 kg/h asti
- Jauheen saatavuus ja ylituotus

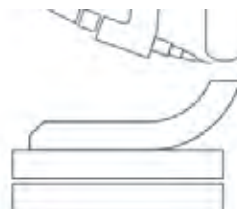
DED - Variantit



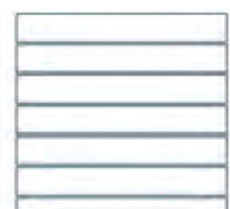
Vaiheet:



1. Sulatus



2. Kerrostus



3. Kiinteä kappale

Edut

- Korkea kerrostusnopeus
- Suuret kappaleet
- Hyvä buy-to-fly-suhde
- Alhaisempi laitteistohinta
- Laaja valikoima materiaaleja
- Lankojen alhaisempi hinta



Photo: RamLab

Huonot puolet

- Alhaisempi resoluutio
- Geometriset vääristymät
- Jälkikäsittelyn tarve



Zdjęcie: Norsk Titanium

Sovellukset & sektorit

- Laivastokomponentit
- Ilmailuteollisuuden komponentit
- Energia
- Muotit ja työkalut

Materiaalit

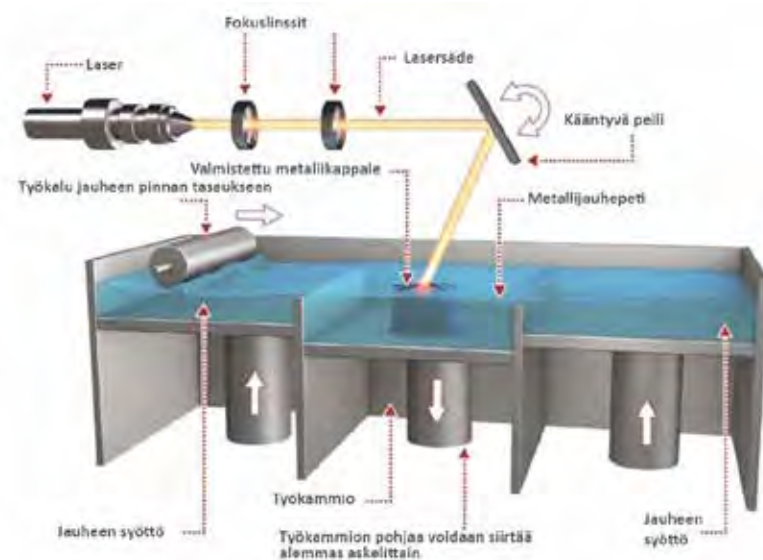
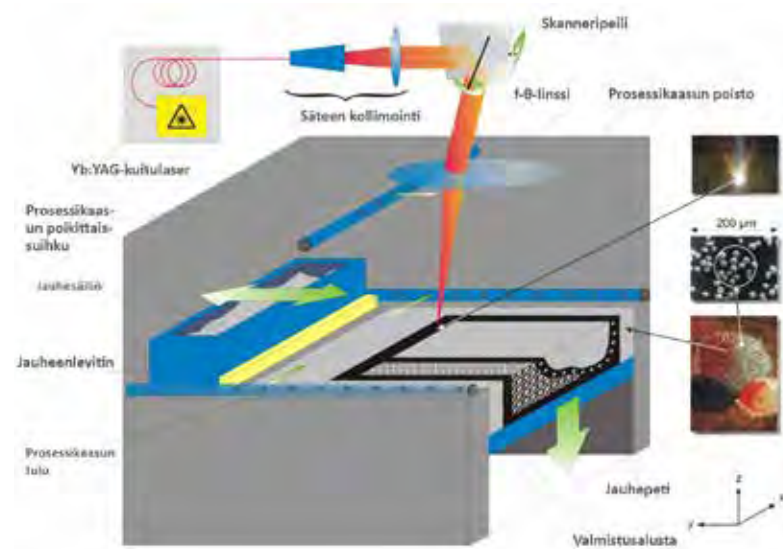
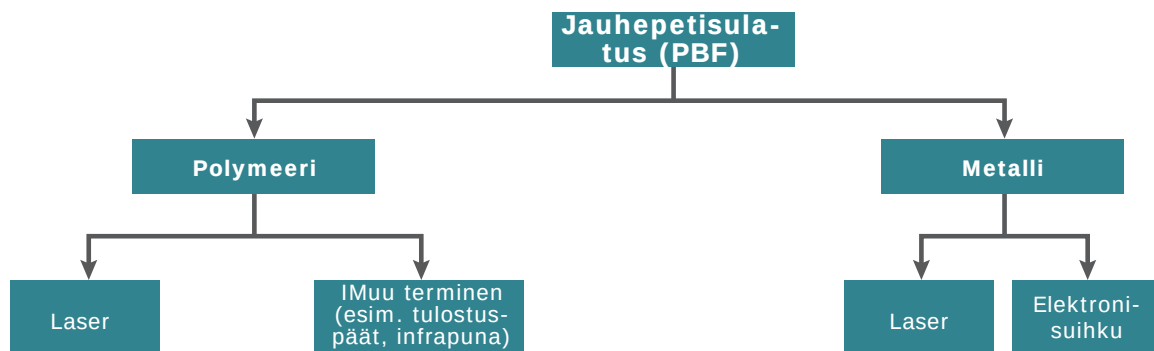
- Teräkset
- Ni-pohjaiset seokset
- Titaani
- Alumiini



Zdjęcie: RamLab

Jauhepetisulatus (*Powder Bed Fusion, PBF*)

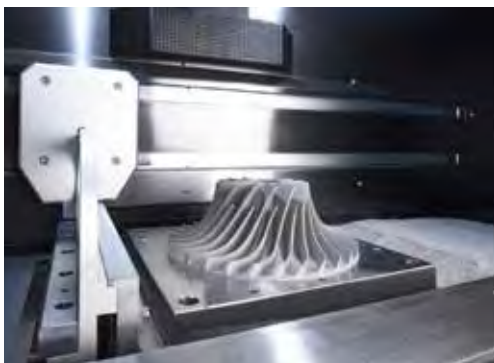
“Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa lämpöenergia sulattaa jauhepedin kohdennettuja alueita” ISO/ASTM 52900-18 mukaan.



Edut

- Innovaatiot suunnittelussa ja parantuneet toiminnallisuudet
- Useiden kappaleiden integrointi
- Painon kevennys, raaka-aineen vähäisempi käyttö, vähemmän materiaalihukkaa (vihreä teknologia)
- Yksilöllisyys ja monimutkaisuus ilman kustannuslisäystä
- Laaja materiaalivalikoima (hitsattavat materiaalit)

Photo: Monni Pierandrea



Huonot puolet

- Keskimääräinen pinnankarheus ($R_a > 10\mu\text{m}$)
- Rajattu kappalekoko ($< 400 \times 400 \times 500 \text{ mm}$)
- Laitteiston hinta
- Jäännösjännitykset ja kappaleen vääristymät joissain tapauksissa
- Tuottavuus alhaisesta keskimääräiseen: tällä hetkellä piensarjoja (25000 kpl/vuosi asti)



Sovellukset & sektorit

- Ilmailuteollisuuden komponentit
- Ortopediset implantit
- Autoteollisuus
- Työkalut (muotit ja meistit)
- Hammaslääketiede
- Hyödykkeet

Materiaalit

- Al-seokset (AlSi7Mg, AlSi10, AlSi9Cu3)
- Ni-pohjaiset seokset (IN718, IN725, IN939, HX)
- Titaani (grade 2, grade 23, lähes- alfa)
- Koboltti-kromi (F75, CoCr28Mo6)
- Teräkset (316L, 17-4PH, 1.2709, H13, Invar36)
- Cu-seos (CuSn10)



Photo: ExOne

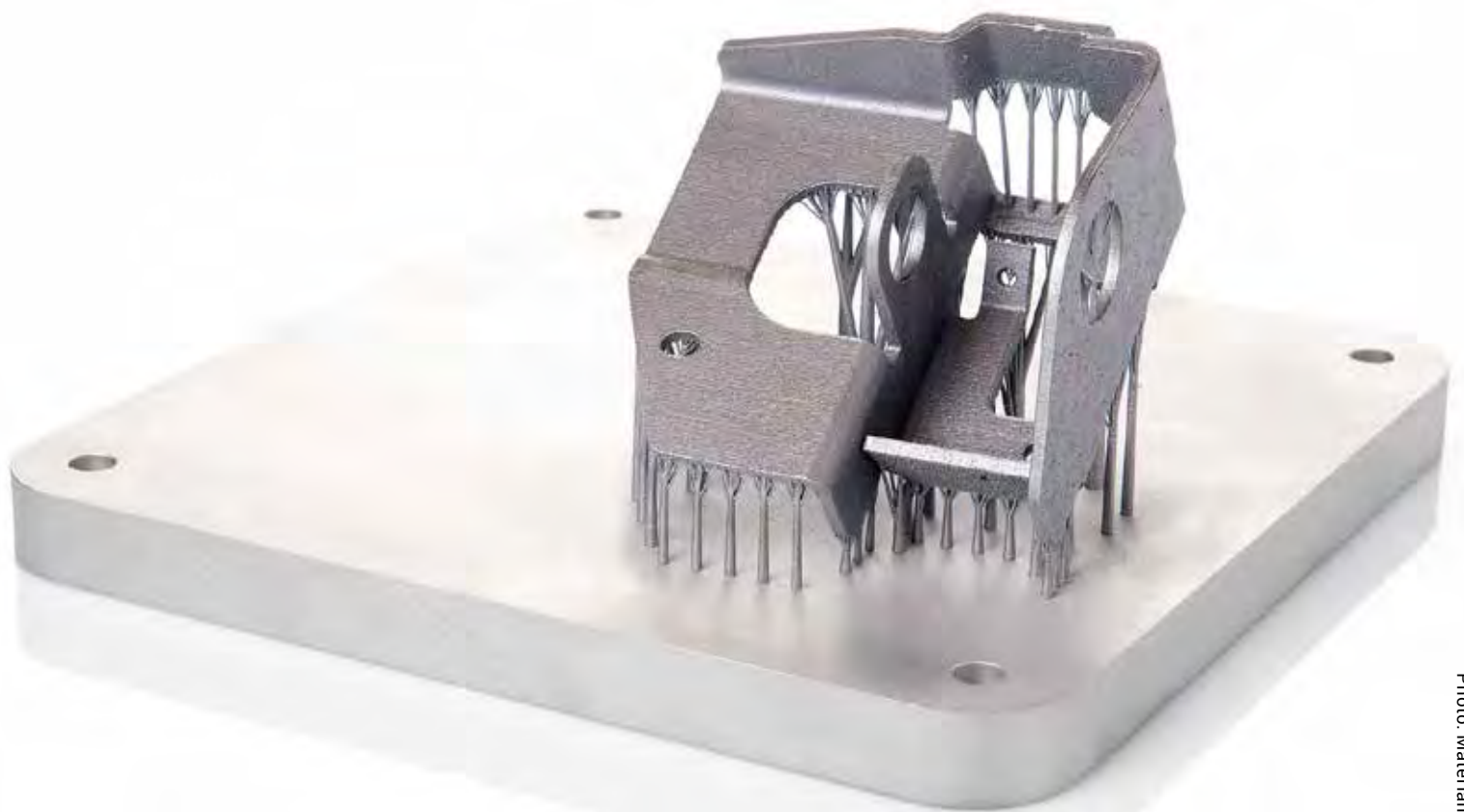
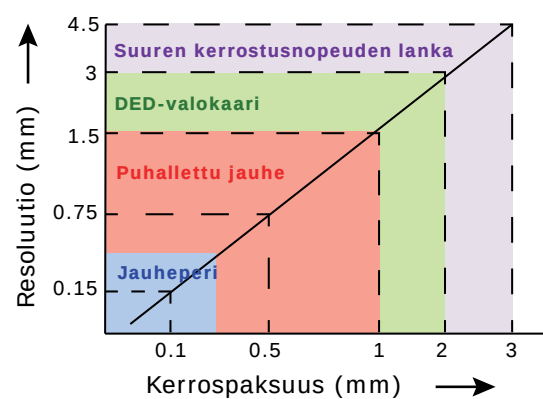
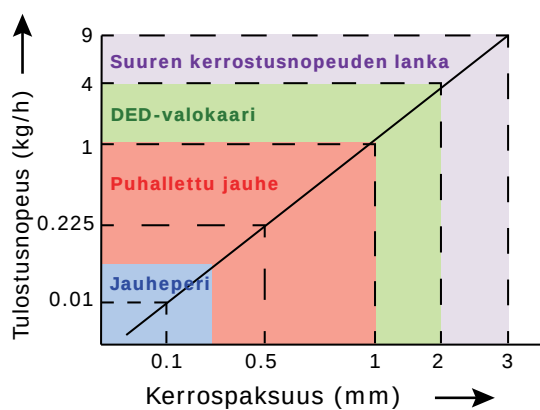
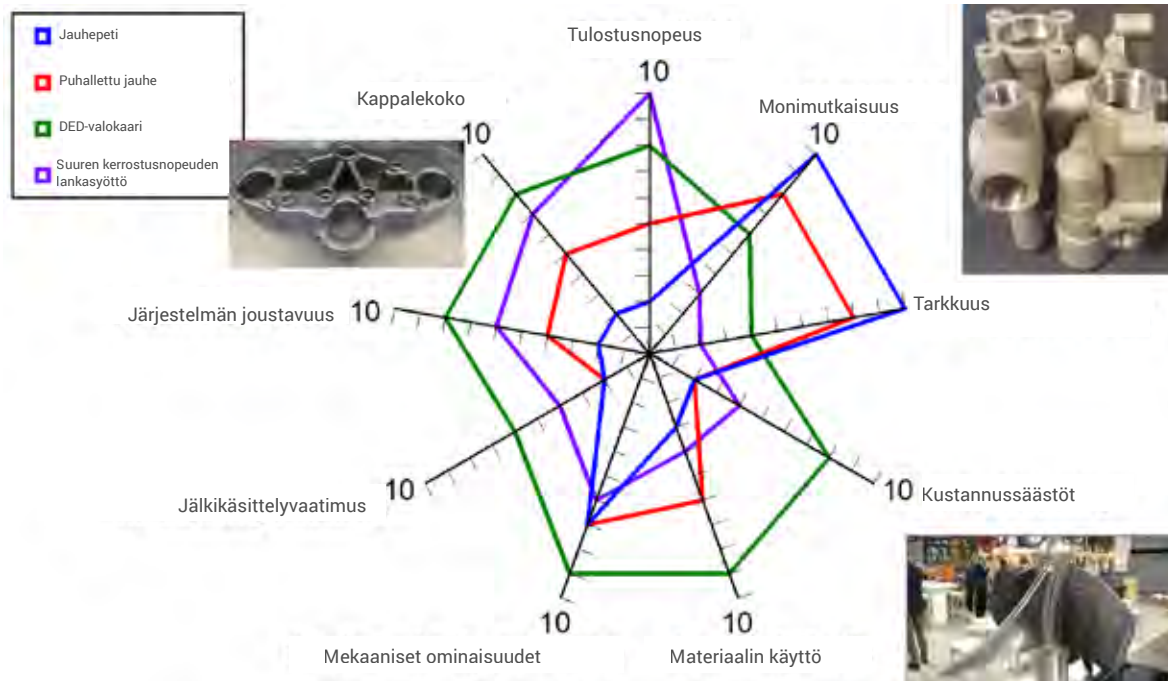


Photo: Materialise

Metallien AM

Prosessien Vertailu

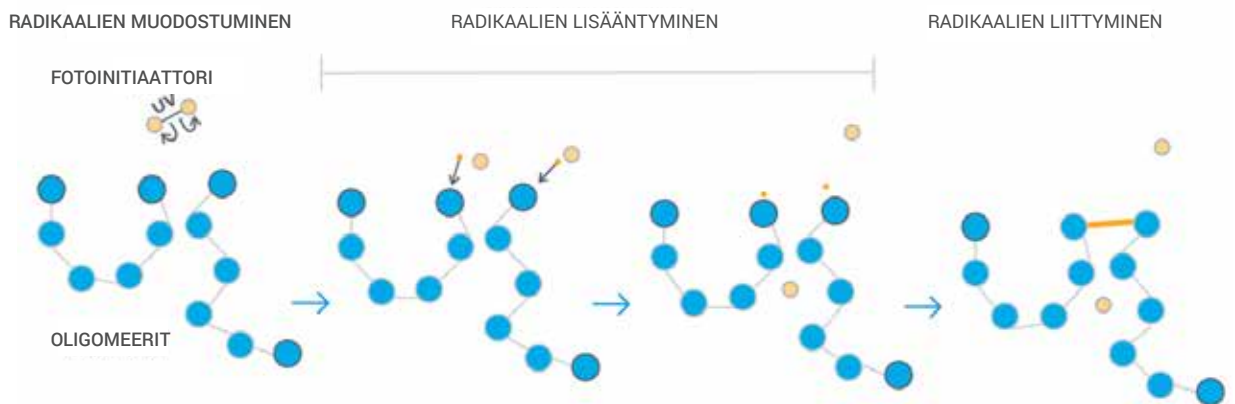


Valokovetus altaassa (*Vat photopolymerization*)

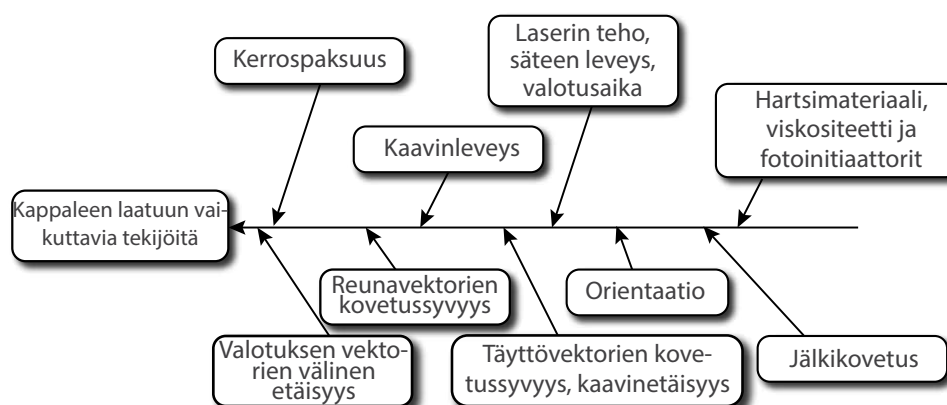
“Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa nestemäinen muovi kovetetaan kohdennetusti käyttäen valoaktiivista polymerointia”, kuten mainittu ISO/ASTM 52900-18.

Prosessi

- Monomeeri- ja oligomeeriketjuilla on aktiivisia ryhmiä ketjujen päissä
- Kun muovihartsit altistetaan UV-valolle, fotoinitiaattorimolekyylit rikkoutuvat kahteen osaan
- Kaksi hyvin reaktiivista radikaalia
- Reaktiiviset radikaalit siirtyvät aktiivisiin ryhmiin, jotka reagoivat muiden ryhmien kanssa

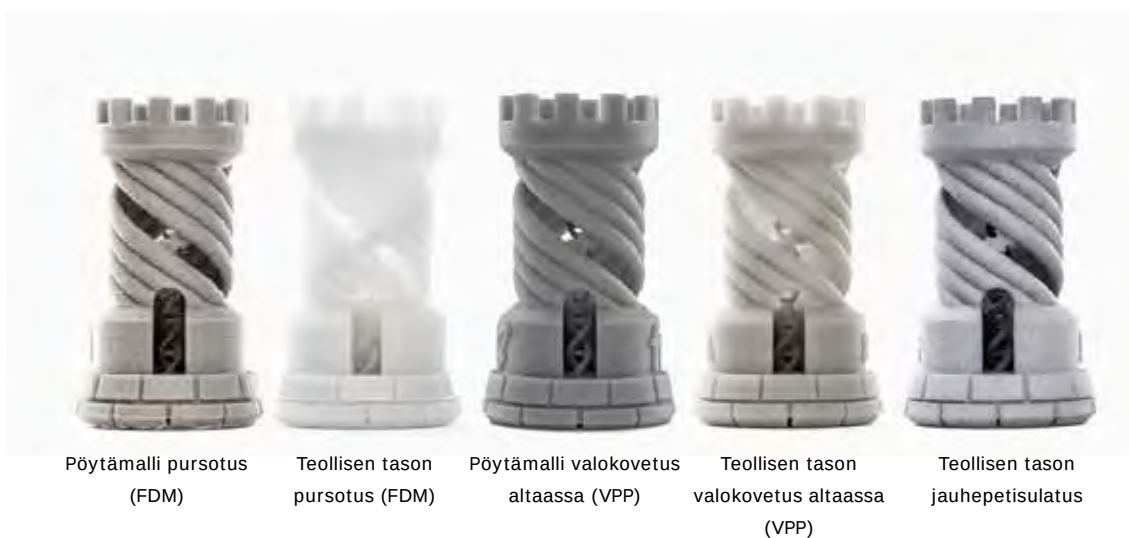


Parametrit



Tarkkuus

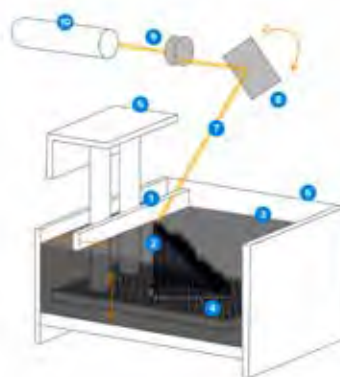
Valokovetettujen tulosteiden yleinen tarkkuus on 50 - 200 mikrometriä koosta, muovihartsista, mallin geometriasta ja tukirakenteesta riippuen.



Laitetyypit

Ylhäältä-alas (yläpuolinen kovetus):

- Lämmönlähde altaan yläpuolella
- Valmistusalustaa kastetaan etenevästi altaaseen
- Suuret teolliset sovellukset
- Valmistustilavuus: 1500x750x550mm³ asti



Right-Side Up VPP

- 1 Kaavin
- 2 Tulostettu kappale
- 3 Nestemäinen muovi
- 4 Valmistusalusta
- 5 Nostin
- 6 Nestemäisen muovin allas
- 7 Lasersäde
- 8 Peili X-Y-tason skannaukseen
- 9 Linssit
- 10 UV-laser

Alhaalta-ylös (alapuolinen kovetus):

- Lämmönlähde altaan alapuolella
- Valmistusalustaa nostetaan etenevästi
- UV-laser osoittaa kahteen peiliin
- galvanometrit, jotka ohjaavat valon oikeaan kohtaan
- koordinointi usean peilin kautta
- valmis kappale rakentuu ylösalaisin
- Valmistustilavuus: 1500x750x550mm³ asti

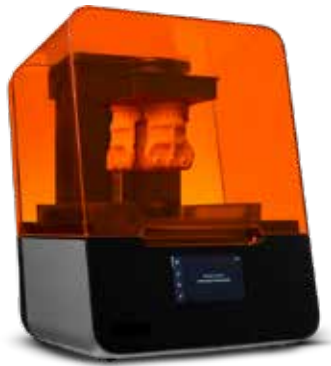


Upside-Down (Inverted) VPP

- 1 Tulostettu kappale
- 2 Tukirakenne
- 3 Nestemäinen muovi
- 4 Valmistusalusta
- 5 UV-laser
- 6 Galvanometrit
- 7 Peili X-Y-tason skannaukseen
- 8 Lasersäde
- 9 Nestemäisen muovin allas

Laite-esimerkkejä

Formlabs



145 x 145 x 175 mm (xyz)

Envisiontec



400 x 400 x 400 mm

3D Systems



1500 x 750 x 550 mm

Materialise



2100 x 700 x 800 mm

Laitteiden hintavertailu

General accuracy of VPP prints is 50 to 200 microns depending on size, resin, model geometry and support generation.

	Pöytämalli SLA: Ylösalaisin	Teollinen SLA: Oikeinpäin
Hinta	Alkaen \$3500	\$80,000-\$1,000,000+
Tulostustilavuus	145 x 145 x 175 mm asti	1500 x 750 x 550 mm asti
Edut	- Huokea - Helppo käyttää - Helppo ylläpito - Vähäinen tilavaatimus - Helppo materiaalin vaihto	- Suuri valmistustilavuus - Korkea valmistusnopeus - Laajat materiaaliveitohdot
Huonot puolet	Keskikokoinen tulostustilavuus	- Kallis laitteisto - Vaativa ylläpito - Vaatii operaattorin

Edut

- Suunnitteluvapaus;
- Geometriset mallit hyvällä pinnanlaadulla;
- Nopea prosessi;
- Huokea laitteisto;
- Kappaleiden isotropia mahdollista.

Huonot puolet

- Materiaalivalikoima vähäinen (UV-kovettuvat hartsit);
- Vaatii tukirakenteita;
- Materiaalin heikkeneminen valoaltistuksessa;
- Alhainen käyttölämpötila kappaleille;
- Osa hartseista on myrkyllisiä.

Sovellukset & sektorit

- Nopea prototyyppien valmistus;
- Hammaslääketiede;
- Terveystuotteet;
- Juoksupyörät ja pyörivät laitteet;
- Kotelot;
- Vahamallivalu.

Materiaalit

- Hartsi, joka koostuu tyypillisesti epoksista tai akryyli- ja metakryylimonomereista, polymerisoituu ja kovettuu, kun se altistetaan valolle

Raaka-aineen muoto

- Nestemäinen tai pastamainen (valoreaktiivinen) hartsi täytemateriaalilla tai ilman)

Prosessointivaiheet (Yläpuolinen kovetus, Teollinen):

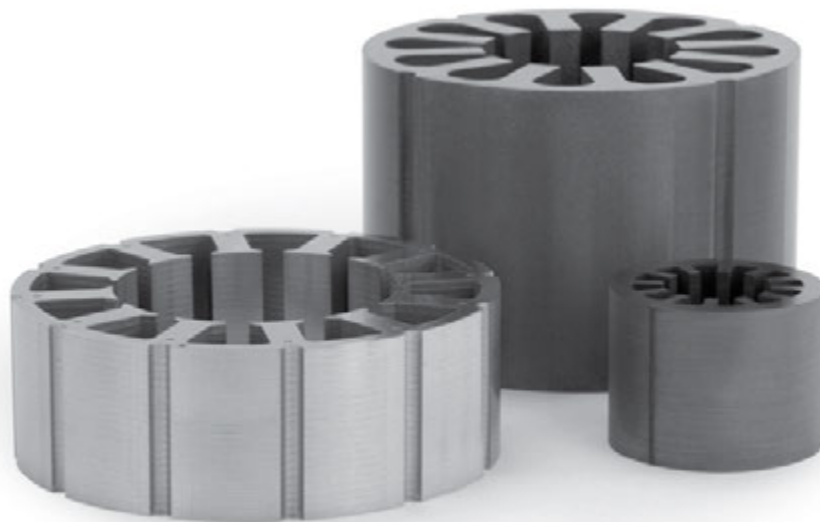
- Valmistusala sijoitetaan nestemäisen fotopolymeerin altaaseen yhden kerrospaksuuden etäisyydelle nesteen pinnasta
- UV-laserilla kovetetaan seuraava kerros valitulta alueelta nestemäisestä valokovettuvasta muovista
- Mallin koko poikkipinta-ala skannataan siten, että koko kappale on täysin kiinteä
- Kun kerros on valmis, alusta liikkuu riittävän etäisyyden päähän ja kaavin tasaa pinnan uudelleen seuraavaa kerrosta varten. Prosessia toistetaan kunnes kappale on valmis
- PTulostuksen jälkeen kappale on vihreässä tilassa, ei täysin kovettunut, ja vaatii jälkikäsittelyä UV-valolla mikäli siltä vaaditaan korkeita mekaanisia ja termisiä ominaisuuksia

Kerroslaminointi (*Sheet Lamination*)

“Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa materiaalileikkeitä liitetään siten, että muodostuu kappale”, ISO/ASTM 52900-18 mukaan.

Prosessoitavat Materiaalit:

- Polymeerit;
- Metallit;
- Komposiitit;
- Keraamit;
- Paperi.



Polymeerit

- Kerrosten välinen adheesio saavutetaan lämmön/liiman avulla
- Leikkaus laserilla/terällä
- Voidaan luoda värillisiä kappaleita
- Tyypillisesti prototyypisovelluksia

Metallien Ultraääniliittäminen

- Ohuiden kalvojen kiinteän tilan hitsausta
- Mahdollisuus monimateriaaleihin
- Mahdollisuus osien upottamiseen kappaleen sisälle (alhainen lämpötila)

Edut

- Suuri nopeus
- Ei jäännösjännityksiä
- Laaja materiaalivalikoima

Huonot puolet

- Vaatii jälkikäsittelyä vaadittujen ominaisuuksien saavuttamiseksi
- Viimeistely/pinnanlaatu voi vaihdella riippuen paperi- tai muovimateriaalista, mutta saattaa tarvita jälkikäsittelyä halutun pinnan saavuttamiseksi

Sovellukset & sektorit

- Arkkitehtoniset mallit
- Topografian visualisointi
- Lento-, avaruus- ja autoteollisuus

Raaka-aineen muoto

- Kerroksittainen materiaali, paperi, metallikalvo, polymeerit tai komposiitit (metalli- tai keraamijauhe sideaineella)

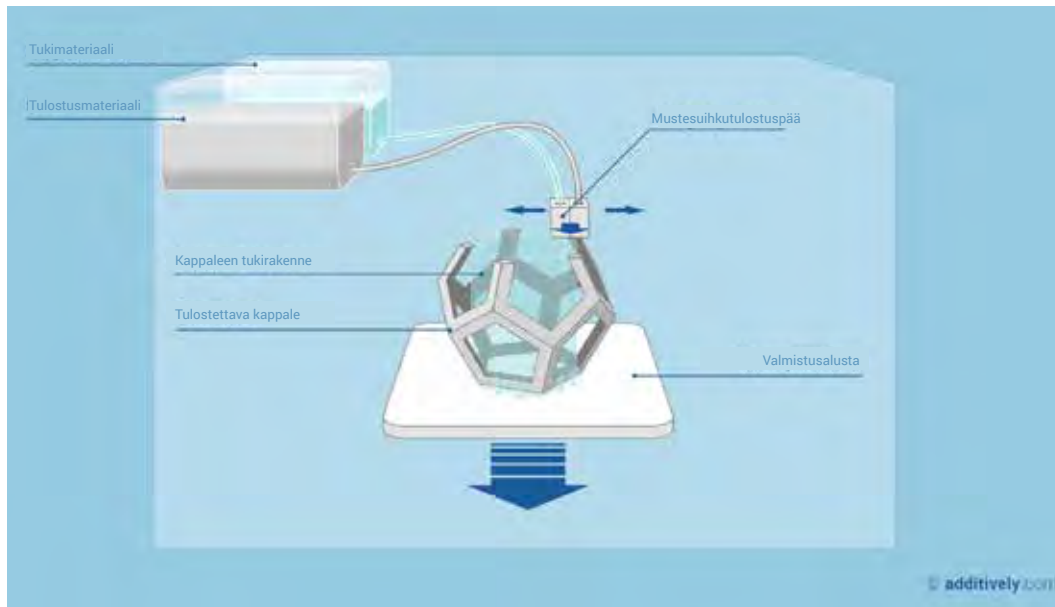
Prosessointivaiheet (muovi):

1. Materiaali sijoitetaan leikkaavalle alustalle
2. Materiaali kiinnitetään edellisen kerroksen päälle tartunta-aineen avulla
3. Haluttu muoto leikataan kerroksesta laserilla tai veitsellä ja seuraava kerros materiaalia lisätään
4. Kaksi edellistä askelta on mahdollista tehdä käänteisesti ja materiaali voidaan leikata ennen edellisen kerroksen päälle laittoa ja kiinnittämistä



Materiaalin suihkutus (*Material Jetting*)

“Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa raaka-ainepisarat kovetetaan kohdennetusti”, ISO/ASTM 52900-18 mukaan.



Edut

- Nopea prosessi
- Pienet - keskikokoiset kappaleet
- Hyvä tarkkuus (tyypillisesti $\pm 0.1\%$)
- Mahdollistaa värien ja ominaisuuksien säädön
- Pehmeitä ja kovat materiaalit
- Ei vaadi jälkikäsittelyä
- Alhaisemman hinnan laitteistoja

Huonot puolet

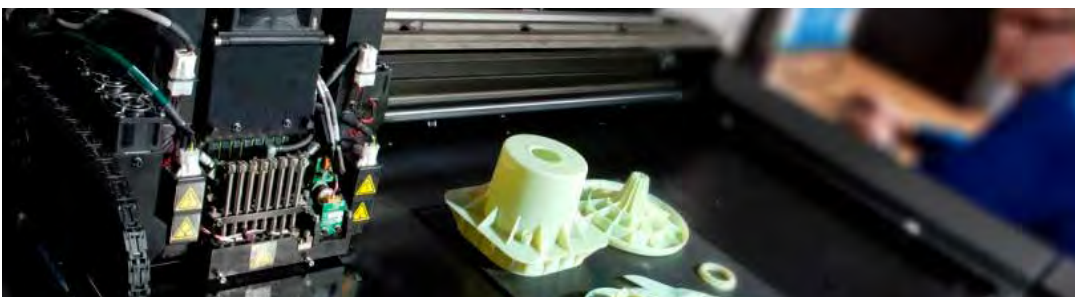
- Alhaisempi kappaleiden kestävyys

Sovellukset & sektorit

- Nopea prototyyppien valmistus
- Hammaslääketiede
- Terveystieteet
- Proteesit

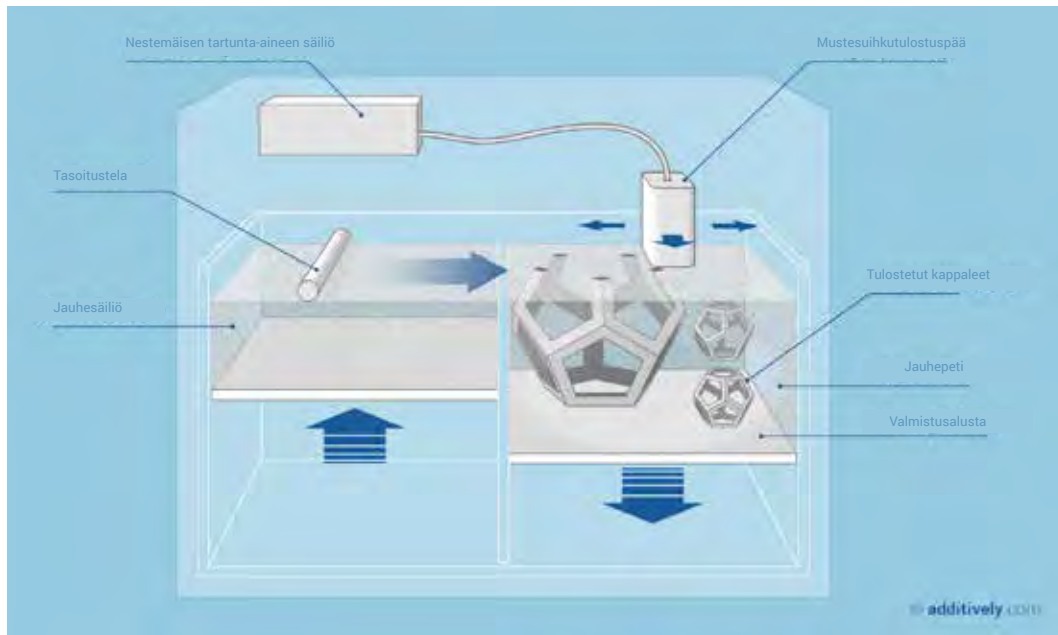
Materiaalit

- UV-valoherkät hartsit
- Akryylifotopolymeerit (kertamuovit)



Sideaineen suihkutus (*Binder Jetting*)

“Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa nestemäinen sideaine kohdistetaan valittuihin kohtiin jauheen liittämiseksi”, ISO/ASTM 52900-18 mukaan.



Edut

- 50-100 kertaa nopeampi kuin PBF
- 1/20 kustannukset verrattuna PBF
- Ei vaadi tukirakenteita
- Soveltuu monimutkaisille kappaleille ja suuriin sarjakokoihin
- Hyvä resoluutio

Huonot puolet

- Rajoitettu koko (<400x300x200 mm)
- Lopullinen kappale vaatii monta prosessia (tulostus, sideaineen poisto, sintraus)
- Vihreän kappaleen hankala käsittely
- Kutistumisen hallinta sintrauksessa
- Rajoitettu seinämäpaksuus (5-10 mm)

Sovellukset & sektorit

- Tarkka koneenrakennus
- Autoteollisuus
- Prototyyppien valmistus
- Lääketiede

Materiaalit

- Teräkset
- Ni-pohjaiset
- CoCr-seokset
- W, WC

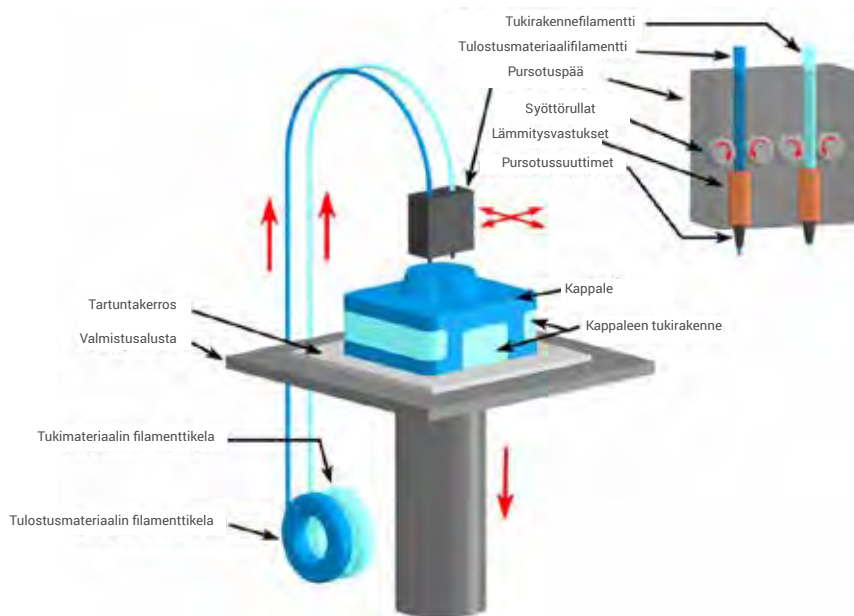




Photo: Michal Kamaryt / CTK / Alamy

Materiaalin pursotus (*Material Extrusion*)

Według normy ISO/ASTM 52900-18 jest to „Proces wytwarzania przyrostowego, w którym materiał jest selektywnie przetłaczany przez dyszę lub otwór”.



Edut

- Laaja valikoima tulostusmateriaaleja (muovit)
- Helppo ja käyttäjäystävällinen prosessi (FDM)
- Pienet aloitus- ja käyttökustannukset
- Pieni laitekoko verrattuna muihin AM-menetelmiin
- Alhaisemmat tuotantokustannukset (metalleissa)
- Soveltuu pienille, monimutkaisille kappaleille (50 mm)
- Soveltuu piensarjojen valmistukseen

Sovellukset & sektorit

- Nopea prototyyppien valmistus
- Autoteollisuus
- Lääketiede

Huonot puolet

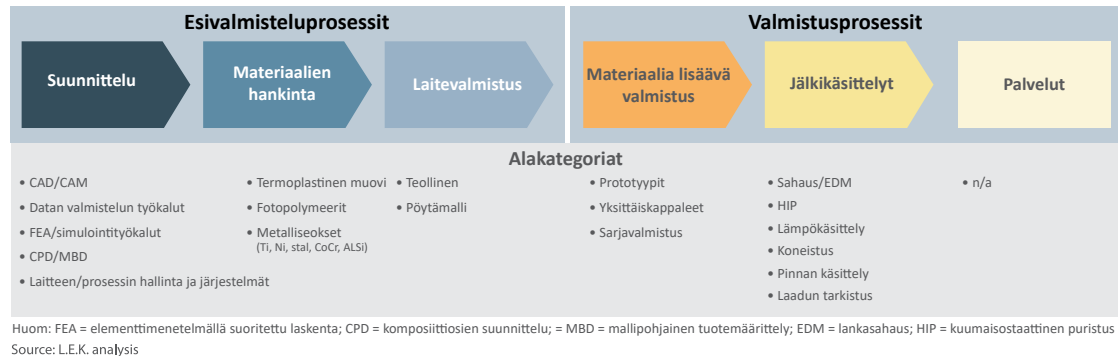
- Myrkylliset tulostusmateriaalit (tietyt kestopuovit)
- Kutistuma sintrauksessa (metalleissa)
- Rajoitettu seinämäpaksuus (metalleissa: 5-10 mm)

Materiaalit

- Kestomuovit (PLA, ABS, PC)
- Komposiittimateriaalit (muovivahvisteiset)
- Metallit (teräs, Cu, Inco625)

02 Materiaalia lisäävän valmistuksen arvoketju

Arvoketjun muodostavat toiminnot, jotka tehdään prosessissa matkalla tutkimuksesta markkinoille tarkoituksena luoda ja lisätä arvoa.



AM:n tuottama lisäarvo

Lisäarvo: ryhmä lisätuotteita tai palveluominaisuuksia, jotka tekevät tuotteesta asiakkaalle kiinnostavamman kelpoisuuden lisäksi

- Kustomointimahdollisuus
- Valmistus tarpeen ja tilanteen mukaan (ilman varastoja)
- Lyhyt aika markkinoille
- Vakaus/pysyvyys ja energiatehokkuus
- Muuntautuva suunnittelu
- Suunnittelun mahdollistamat parannukset:
 - Osien integrointi
 - Kevennys
- Kustannussäästöt:
 - Pienet sarjat
 - Kalliit materiaalit

Mikä on paras AM-prosessi minun tuotteelleni?

	TEKNOLOGIA	MATERIAALIT	TYYPILLISET MARKKINAT	RELEVANSSI METALLIEN VALMISTUKSEEN	
Sulatus	 Jauhepetisulatus - Lämpöenergia sulattaa jauhepedin valitulta alueelta	Metallit, polymeerit	Prototyytit, valmiit kappaleet	●	AM teknologien voor metalen objecten.
	 Suorakerrostus - Fokusoitua lämpöenergiaa käytetään sulattamaan materiaalia samalla, kun materiaalia kerrostetaan	Metallit	Valmiit kappaleet, korjaus	◐	
	 Kerros laminointi - Materiaalilevyjä tai -arkkeja kiinnitetään toisiinsa kappaleen luomiseksi	Metallit, paperi	Prototyytit, valmiit kappaleet, valumuotit	◐	
Sintraus	 Sideaineen suihkut - Nestemäinen sideaine kohdistetaan jauheeseen valittuun kohtaan jauheen kiinnittämiseksi	Metallit, polymeerit, muottihiekka	Prototyytit, valmiit kappaleet	◐	
	 Materiaalin suihkut - Rakennusmateriaali suihkutetaan pisaroina valittuun kohtaan	Polymeerit, vahat	Prototyytit, valumallit	○	
	 Materiaalin pursotus - Materiaalia pursotetaan suuttimen läpi valittuun kohtaan	Polymeerit	Prototyytit	○	
	 Valokovetus altaassa - Altaassa oleva nestemäinen muovi kovetetaan valitusta kohdasta valoaktiivisen polymeroinnin avulla	Fotopolymeerit	Prototyytit	○	

Source: ASTM international Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies; Roland Berger

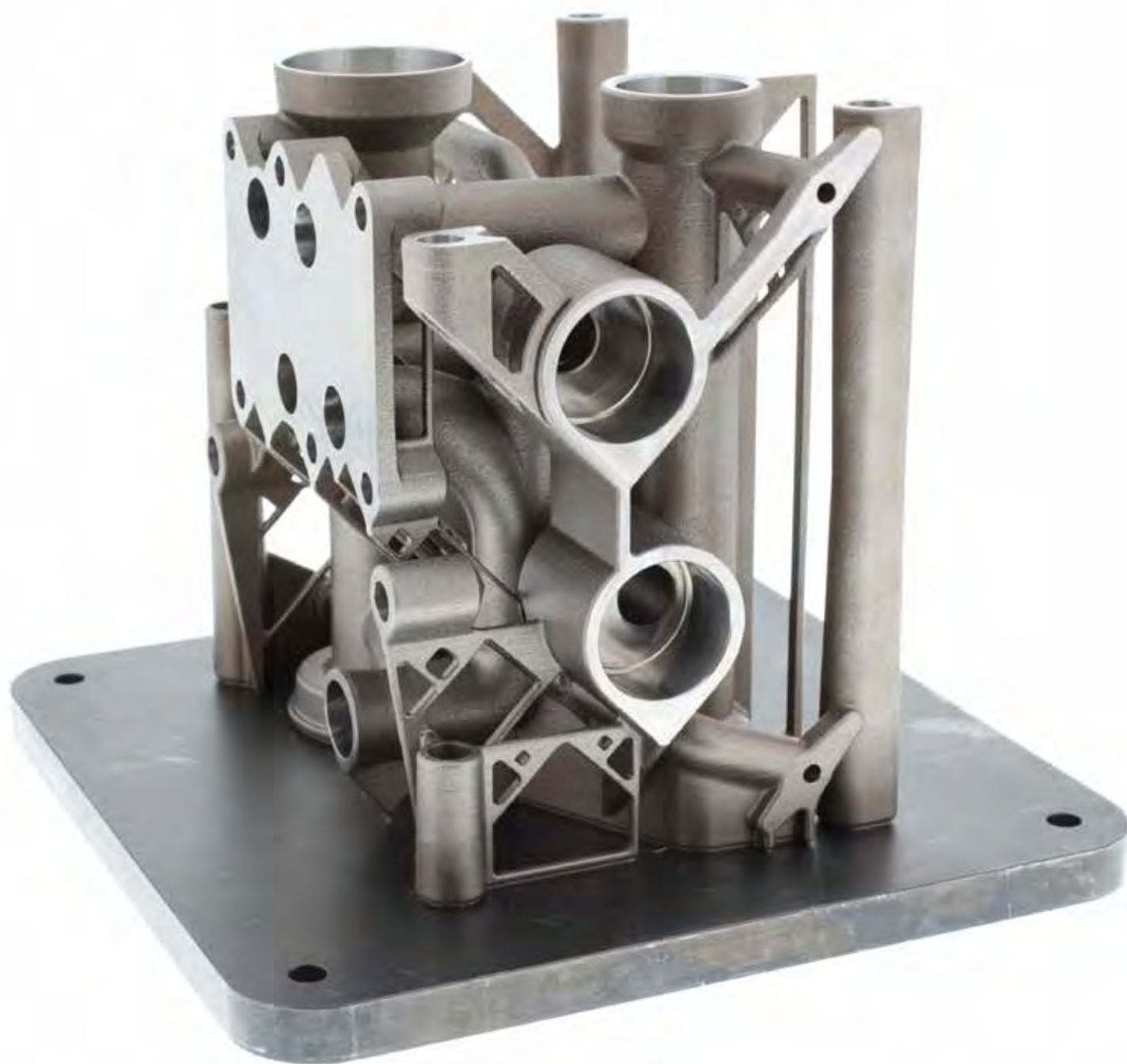
Established and challenger technologies for metal AM

Several new metal AM technologies are emerging alongside powder bed fusion or direct energy deposition – Simplified overview (schematic)

	POWDER BED FUSION		DIRECT ENERGY DEPOSITION	WIRE BY LASER / PLASMA / EB	MATERIAL JETTING	MATERIAL EXTRUSION	BINDER JETTING
	BY LASER	BY ELECTRON BEAM	POWDER BY LASER				
BUILD PRINCIPLE	Thermal energy by laser fuses regions of a powder bed	Thermal energy by electron beam fuses regions of a powder bed	Fusion of powdered material by melting during deposition	Fusion of wire fed material by melting during deposition	Deposition of droplets of molten metal	Dispensing of material through nozzle to form a green part	Joining powder with binding agent to form a green part
MANUFACTURING READINESS FOR AM	Manufacturing readiness reached for selected industries	Manufacturing readiness reached for selected industries	So far mainly used for coating, AM only in niche applications	So far mainly used for coating, AM only in niche applications	Production capabilities shown	Production capabilities shown for prototyping	Manufacturing readiness reached for niche applications
KEY MATERIALS	Al, Ti, Ni-alloys, CoCr, steel	Ti, Ni-alloys, CoCr	Ti, Ni-alloys, steel, Co, Al	Ti, Ni, steel, Co, Al, W, Zr-alloy, CuNi	Al, steel	Cu, Inco, steel, (others incl. Ti in development)	WC, W, CoCr, steel/bronze, steel, Inco, non-metal molds
MECHANICAL PROPERTIES							
POST-PROCESSING REQUIRED	HT ¹⁾ /HIP ²⁾ , machining, surface treatment	Machining, surface treatment	HT ¹⁾ , machining, surface treatment	HT ¹⁾ , machining, surface treatment	HT ¹⁾ (HIP ²⁾ , machining, surface treatment	HT ¹⁾ (HIP ²⁾ , machining, surface treatment	HT ¹⁾ (HIP ²⁾ , machining, surface treatment
BUILD COSTS							
CORE APPLICATION INDUSTRIES	Aerospace, turbines, med-tech, dental, automotive	Aerospace, turbines, med-tech	Aerospace, general MRO-related business	Aerospace, general MRO-related business	Precision engineering, automotive, prototyping	Precision engineering, automotive, prototyping	Precision engineering, automotive, prototyping, med-tech, arts and design
EQUIPMENT SUPPLIERS (SELECTION)	Concept Laser, Trumpf, EOS, Renishaw, DMG MORI, SLM Solutions, Additive Industries	Arcam	DMG MORI, Mazak, BeAM, PM Innovations, Trumpf, Optomec	Sciaky, OR Laser, Trumpf, Norsk Titanium	Vader Systems, XJet	Desktop Metal, Markforged, BASF	ExOne, Digital Metal, Desktop Metal
	Established technologies			Challenger technologies			

¹⁾ Heat treatment ²⁾ Hot isostatic pressing
Source: Company information; expert interviews; Roland Berger

● Low degree required ● High degree required Low High Proof of concept Full rate production



AMable

AMablesta

AMable on ryhmä useiden organisaatioiden henkilöitä, jotka pyrkivät luomaan uuden ekosysteemin materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöönottoon. Nämä henkilöt tuovat mukaan laajan asiantuntijuuden teknologian, liiketoiminnan ja koulutuksen saralla. Euroopan komissio tukee tätä konsortiota I4MS-kehityksen alla rahoituksella H2020-kehysohjelmasta ohjeistuksena pyrkimys avoimen alustan luomiseen eurooppalaisille yrityksille.

Ensisijainen kohderyhmä on pienet ja keskisuuret yritykset (PK-yritykset), jotka tarvitsevat tukea materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöönottoon. Näiden yritysten henkilöille AMable pyrkii luomaan mahdollisuuksia tarkoituksena osaamisen kasvattaminen heidän puolesta tekemisen sijaan. Ekosysteemi kehittää kuitenkin laajan tarjoaman tieteellisen osaamisen tukemista taidoista ja koulutuksesta kaupallisiin palveluihin.



Kontaktot englanniksi
projectoffice@amable.eu

www.amable.eu

Koordinoiinti
Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
c/o Ulrich Thombansen
+49/241/8906-320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

Ota Yhteyttä

Kontaktoi englanniksi
projectoffice@amable.eu
www.amable.eu

Koordinoiinti

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
c/o Ulrich Thombansen
+49/241/8906-320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

© AMable Project Consortium 2020, v1.0
Lead Editors Ana Cardoso (EWF), Pedro Alvarez (LORTEK)



Tätä hanketta rahoittaa Euroopan unionin Horisontti 2020 -tutkimus ja avustussopimuksen 768775 mukainen innovaatio-ohjelma

www.amable.eu

