

Additív gyártástechnológia

- Összefoglalás -

Pammer Dávid

www.pab.hu

Pammer Dávid – david.pammer@pab.hu

- ❖ m4p material solutions GmbH: CEE Sales Manager
- ❖ PaB Kft.: tanácsadó, tulajdonos
- ❖ MAGE (Magyar Additív Gyártástechnológiai Egyesület): elnök

Okleveles mechatronikai és egészségügyi mérnök. Doktori kutatásom kezdetén kerültem kapcsolatba az additív gyártástechnológiával, amely terület így a PaB Kft. egyik ágazatává vált. A vállalat az ügyfélközpontú műszaki tanácsadás mellett a CADS Additive (Hexagon) szoftverfejlesztő és a One Click Metal GmbH 3D nyomtató gyártó magyarországi képviselőjét látja el. A több mint tíz éves tapasztalat és azon keresztül kialakult partnerségek eredményeként jelenleg a fémpor gyártó m4p material solutions GmbH, CEE régió Sales Managereként támogatom az ügyfeleket az additív gyártás új, lehetőségekkel és kihívásokkal teli világában. Alapítója és jelenlegi elnöke vagyok a Magyar Additív Gyártástechnológiai Egyesületnek, illetve meghívott előadója vagyok a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemnek.

„a jó nem elég, csak a tökéletes!”

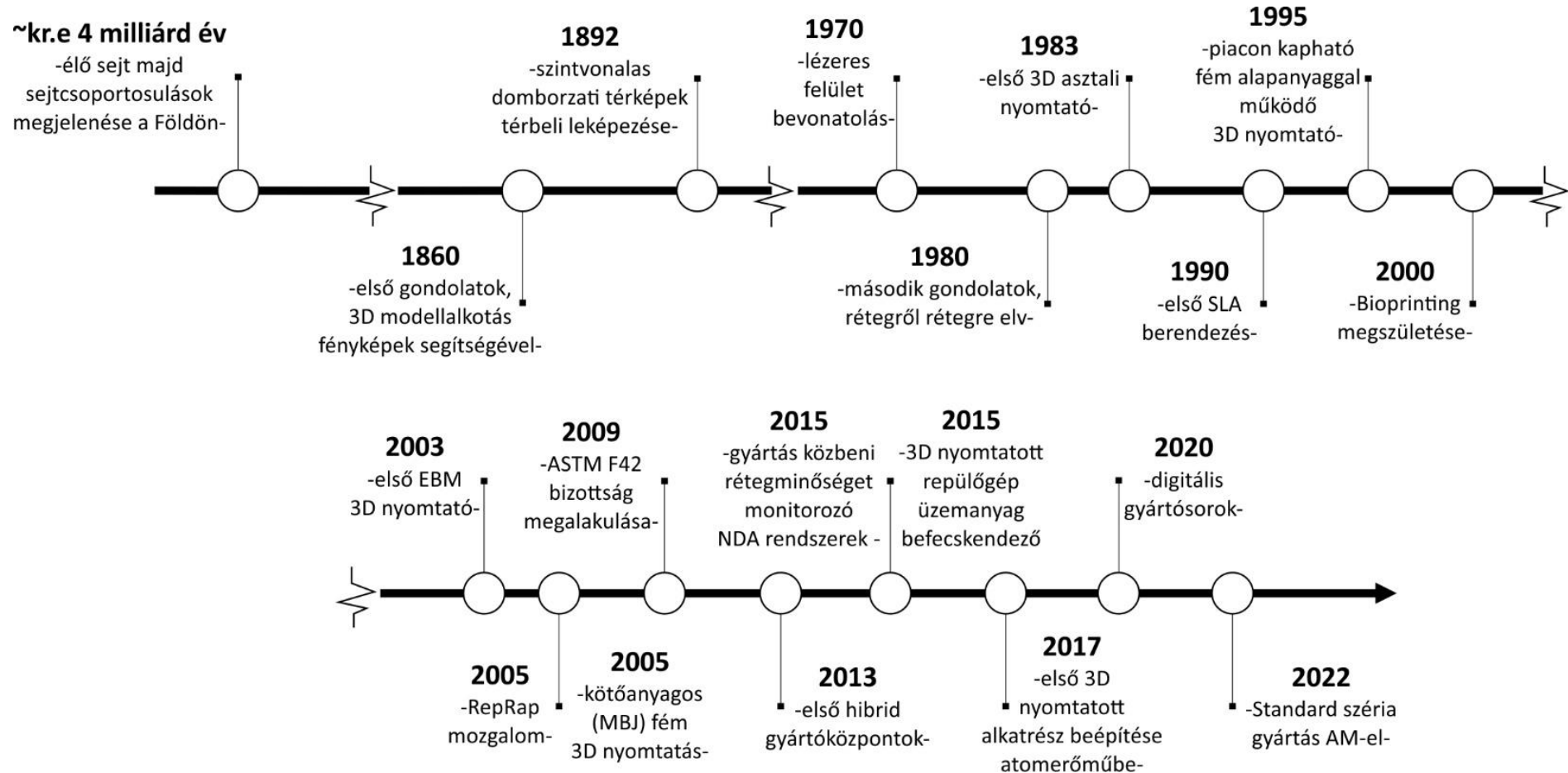
MSZ EN ISO/ASTM 52900-es terminológiákra vonatkozó szabvány a következő módon határoz meg: **Additív gyártás (AM – Additive Manufacturing)**, olyan folyamat, amely során a valós tárgy 3D-s modell adatok alapján, rétegről rétegre, alapanyagok összekapcsolódásával jön létre, ellentétben a szubtraktív és formaadó gyártási módszerekkel.

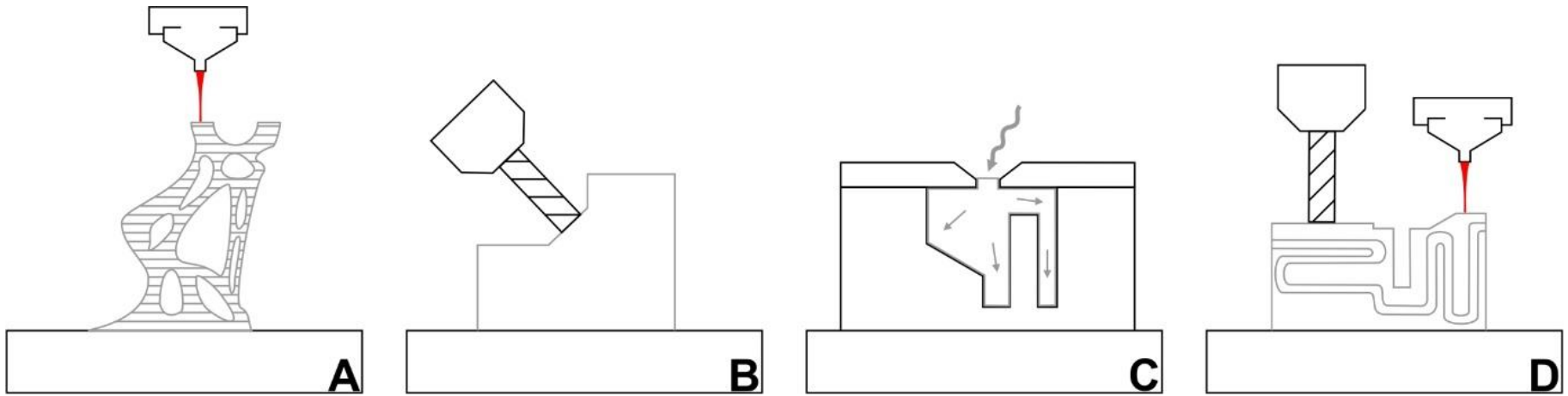
Az additív gyártás révén a továbbfejlesztett forma, funkcionalitás és megbízhatóság segíti a felhasználókat, hogy eleget tudjanak tenni **a költség, minőség és idő** hármasság egységnek. A felhasználóknak el kell fogadniuk, hogy az additív gyártás egy **hagyományostól eltérő irány**, amely akkor tud sikeres lenni, ha az ahhoz tartozó **új mérnöki és gazdasági szemléletmódot** alkalmazzák, és **nem konkurens eljárásként**, hanem **integrált rendszerként** tekintenek rá. Napjainkban a szubtraktív és additív eljárásoknak **egymás kiegészítéseként kell**, hogy működjenek. **Tévhit, hogy az additív technológia kiszorítja a meglévő eljárásokat.**

További szabványok: ISO TC 261, ASTM F42 és CEN TC 438

- ❖ A 3D nyomtatás a következőkre nyújt megoldást:
 - ❖ Visszamodellezett alkatrészek gyártása (Reverse Engineering)
 - ❖ Új fejlesztésekhez prototípusok készítése
 - ❖ Végfelhasználásra szánt funkcionális alkatrészek gyártása
 - ❖ Egyedi, kis és nagy széria gyártás
 - ❖ Digitális raktár
 - ❖ Direkt gyártás
 - ❖ Anyagfejlesztés
 - ❖ Struktúrák és egyéb extrém geometriák fejlesztése
 - ❖ All-in-one összeszerelt alkatrészek
- ❖ Mi kell ehhez?

ÚJ MÉRNÖKI SZEMLÉLETMÓD
(Think Additive)





A – Additív technológiák

B – Szubtraktív technológiák

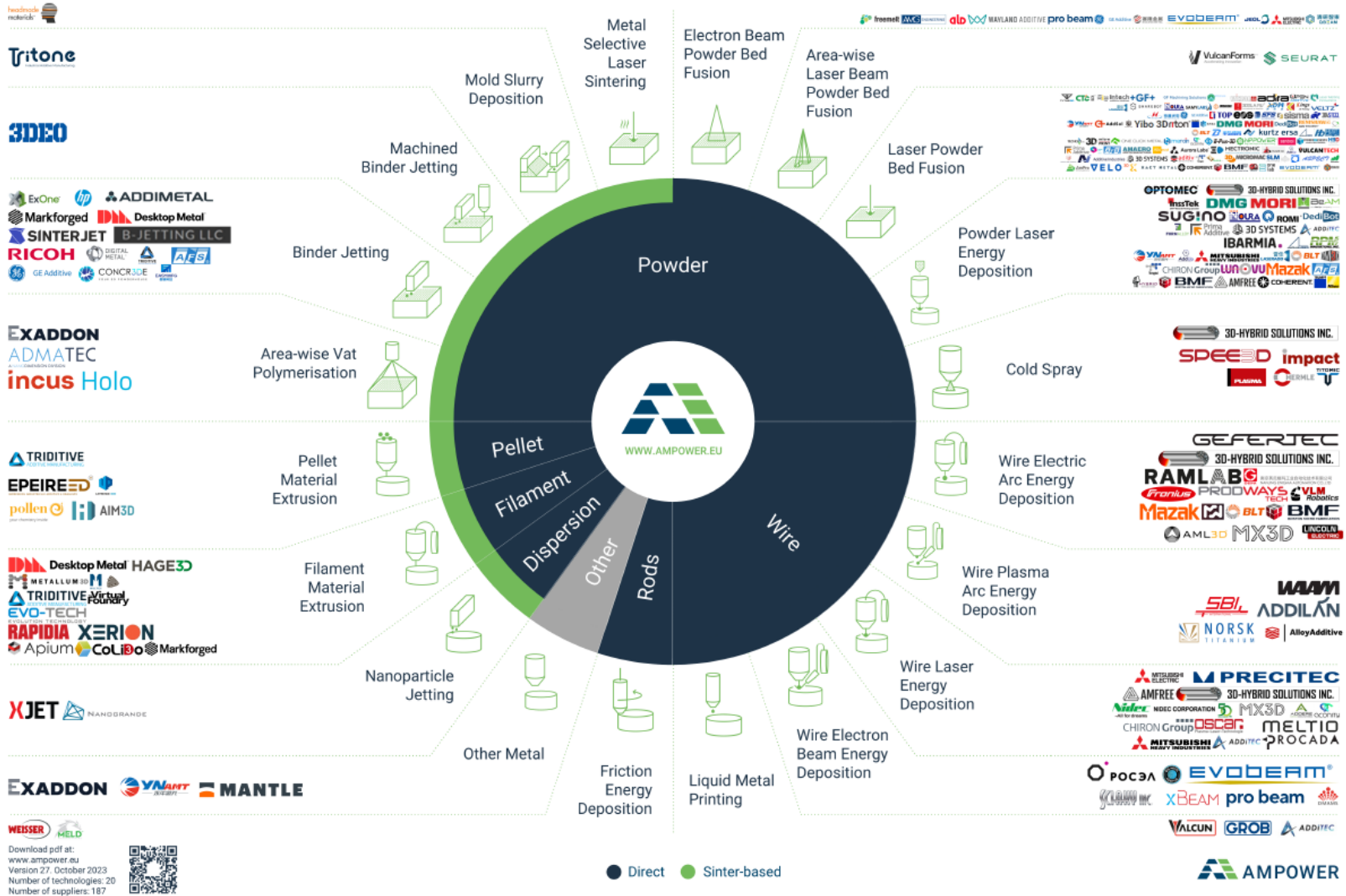
C – Formaadó technológiák

D – Hibrid technológiák.

Eljárás típusok						
Binder Jetting (BJT)	Direct Energy Deposition (DED)	Material Extrusion (MEX)	Material Jetting (MJT)	Powder Bed Fusion (PBF)	Sheet Lamination (SHL)	Vat Photo-polymerization (VPP)
Binder Jetting (BJ) F,P,K,C	Laser Engineering Net Shape (LENS) F	Fused Deposition Modeling (FDM) P	Multi Jet Modeling (MJM) P	Multi Jet Fusion (MJF) F,P	Layer Laminated Manufacturing (LLM) F,P,C	Stereolithography (SLA) P
	Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) F	Composite Extrusion Modeling (CEM) F,P,C	Nano Particle Jetting (NPJ) F,K,C	Selective Laser Sintering (SLS) P	Laminated Object Manufacturing (LOM) F,P,C	Continuous Liquid Interface Production (CLIP) P
	Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) F	Paste Extrusion Modeling (PEM) E	Drop on demand (DOD) F,P,K,C	Laser Beam Melting (LBM) F	Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM) F,P,C	Digital Light Processing (DLP) P
	High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) F		Poly Jet Modeling (PJM) P	Electron Beam Melting (EBM) F	Friction Stir Additive Manufacturing (FSAM) F, P	Hot lithography (HL) P
						Lithography-based metal manufacturing (LMM) F

Megjegyzés: Alapanyag típusok: fém (F), polimer (P), kerámia (K), kompozit (C), egyéb (E)

Metal Additive Manufacturing technology landscape

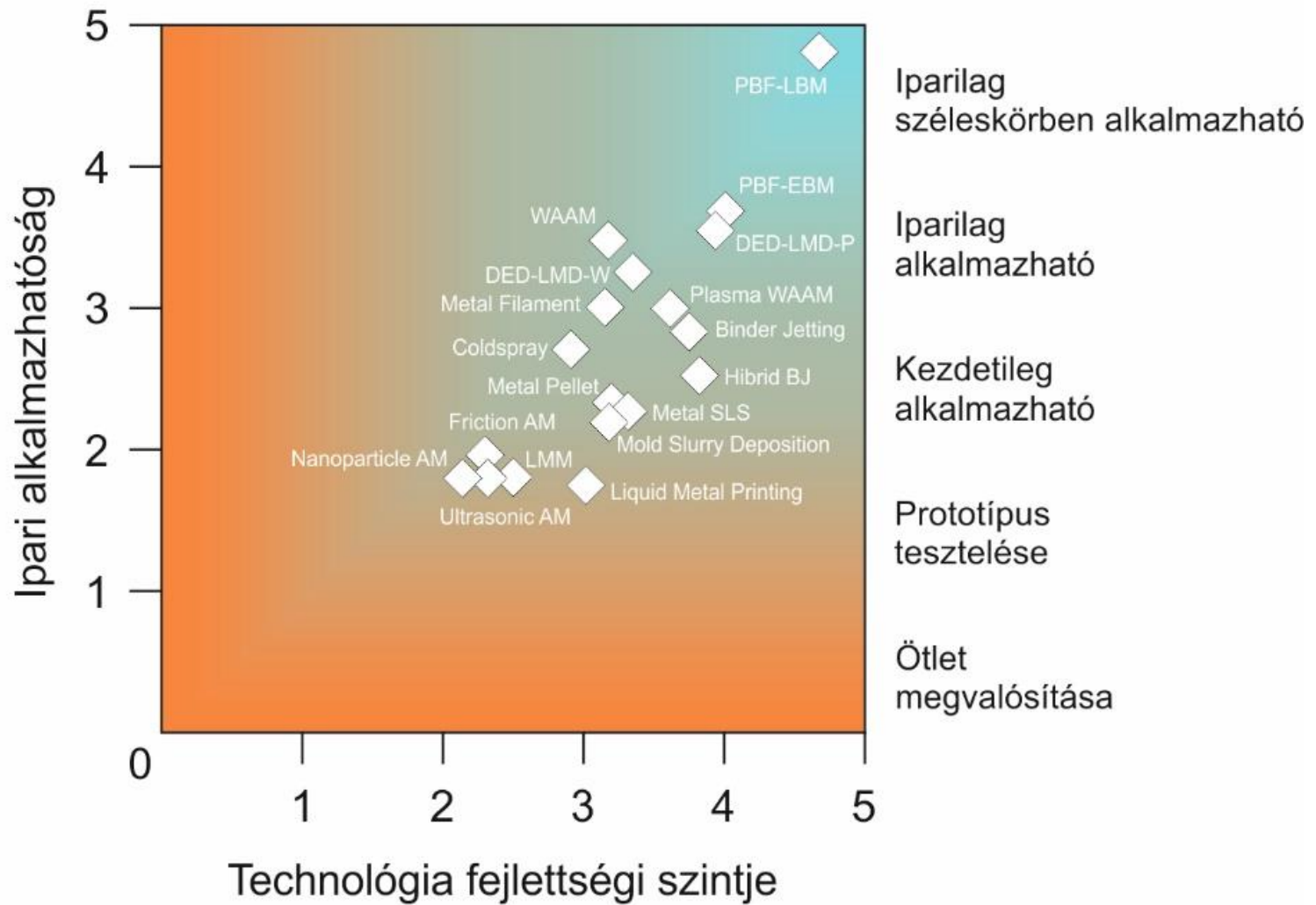


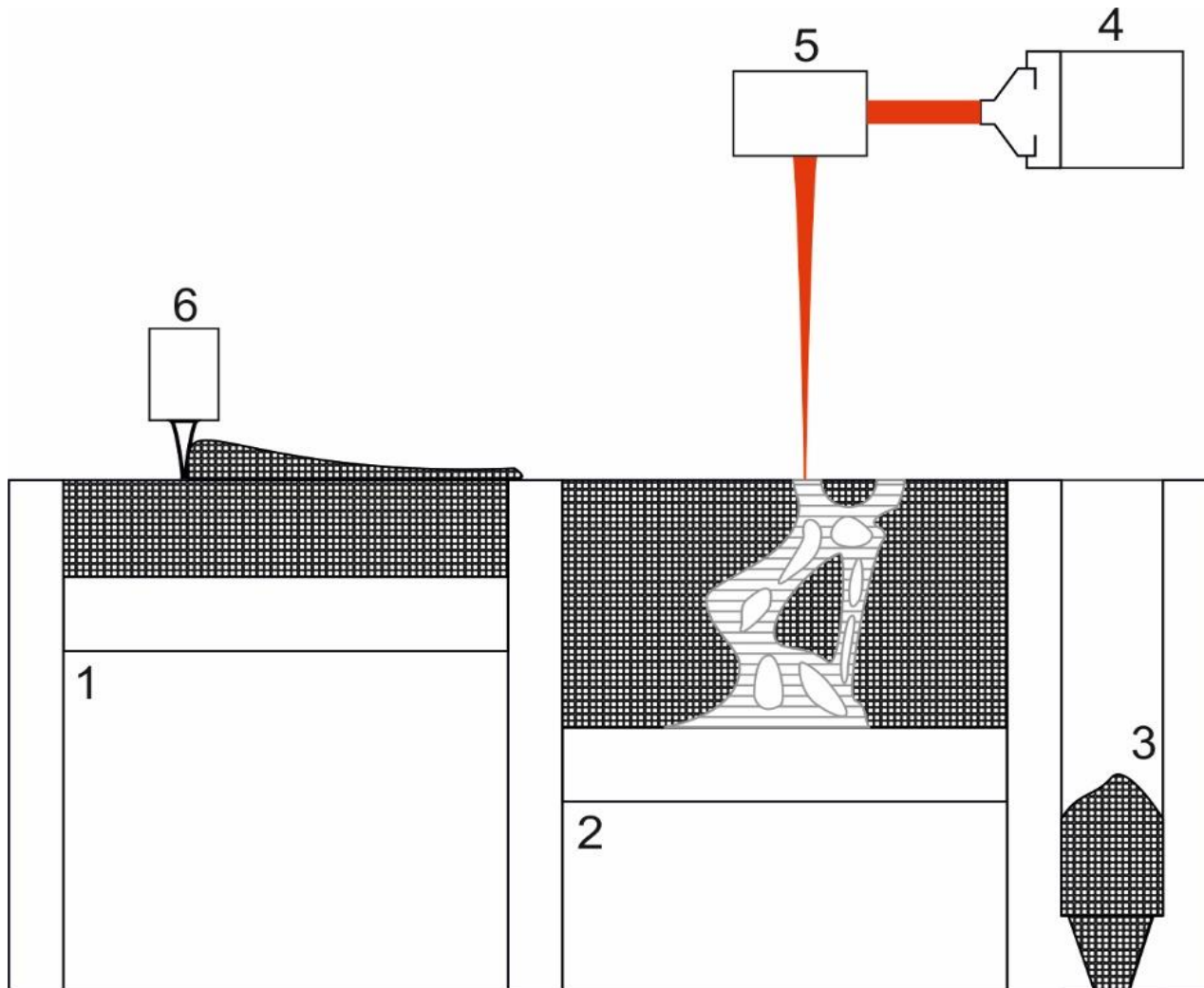
Ceramic Additive Manufacturing technology landscape



Download pdf at:
www.ampower.eu
 Version 27, October 2023
 Number of technologies: 12
 Number of suppliers: 67

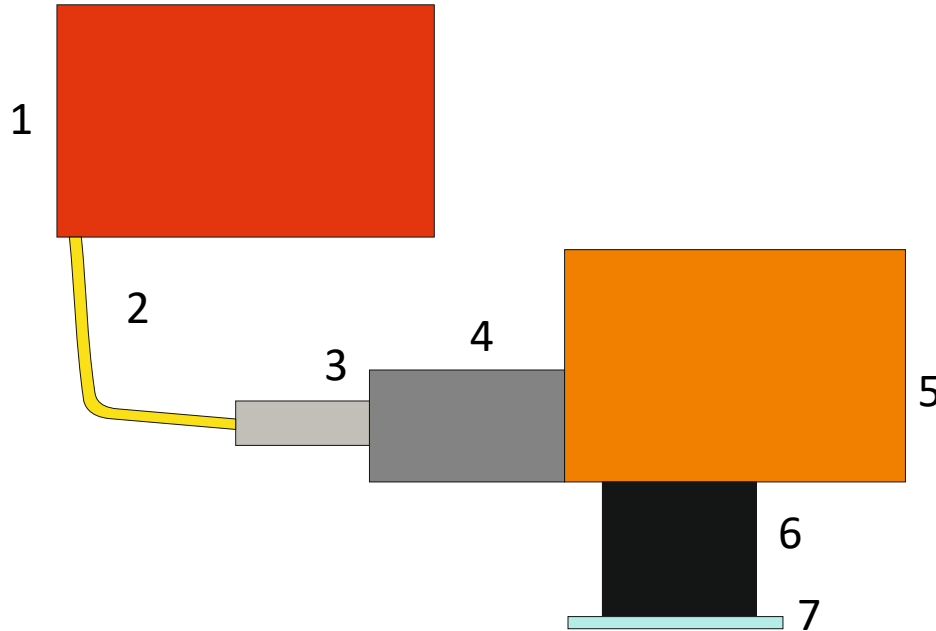






1-porkamra, 2-építőkamra, 3-túlfolyókamra, 4-lézerforrás, 5-szkenner, 6-terítőegység.

☼ Általános rendszer felépítés



1. Lézer forrás (fibre)

2. Optikai kábel

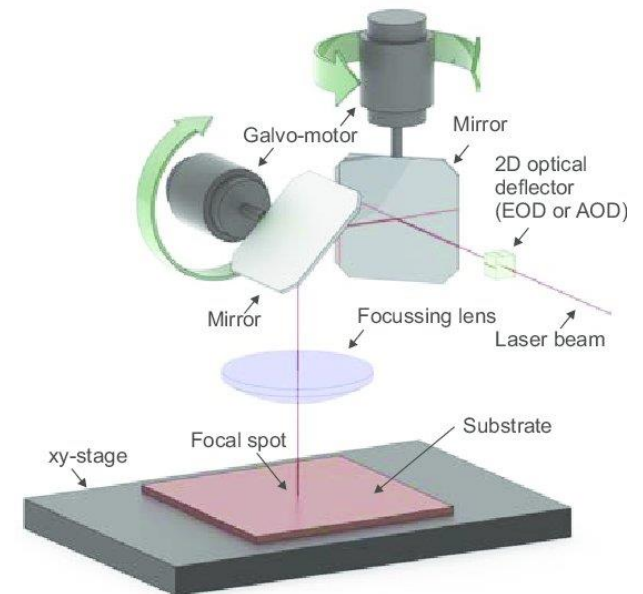
3. Kollimátor

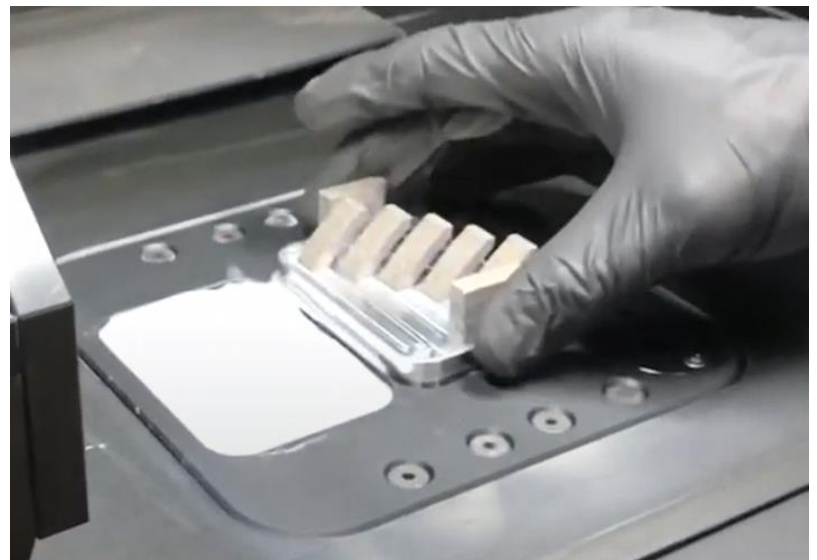
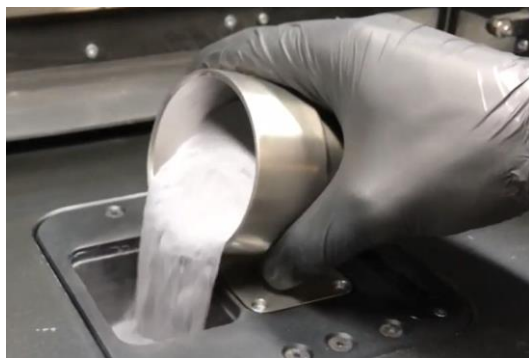
4. Széttartó optika

5. Szkennер fej

6. F-Theta optika

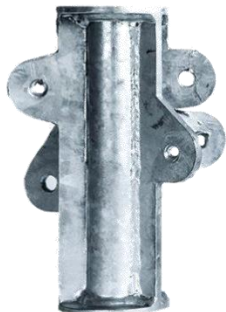
7. Védő üveg







Kezdeti geometria



Additív tervezés



Alapanyag



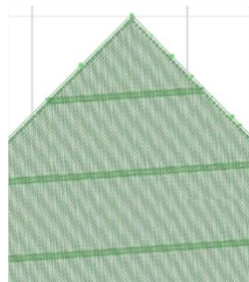
Támaszanyag struktúra



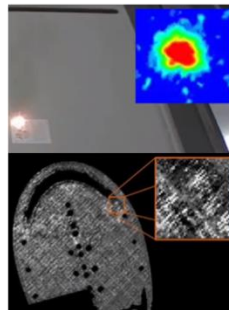
Test orientáció



Paraméter tervezés



Minőség-ellenőrzés



Utómunkálat





Source: DIN (German Institute for Standardization)

ISO/TC 261 tagországok

-27 aktív tag

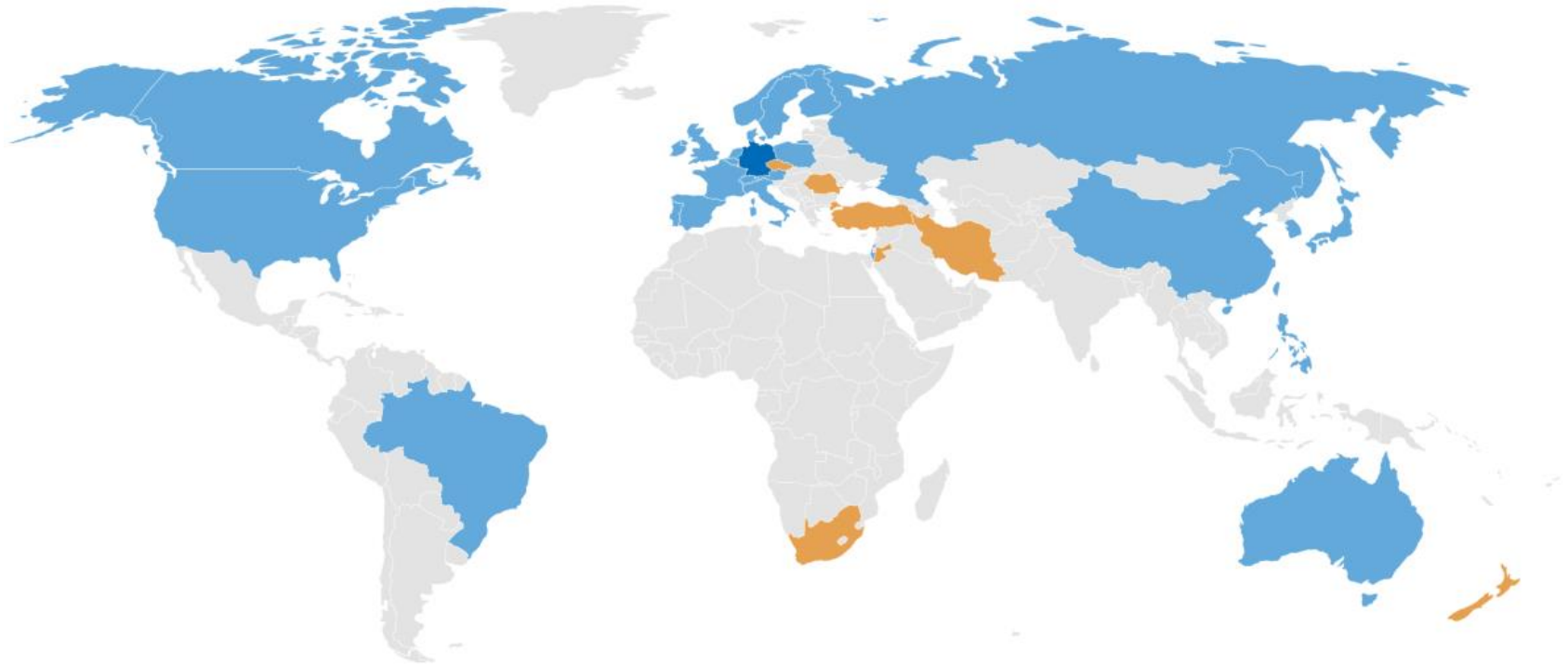
-8 „bedolgozó” tag

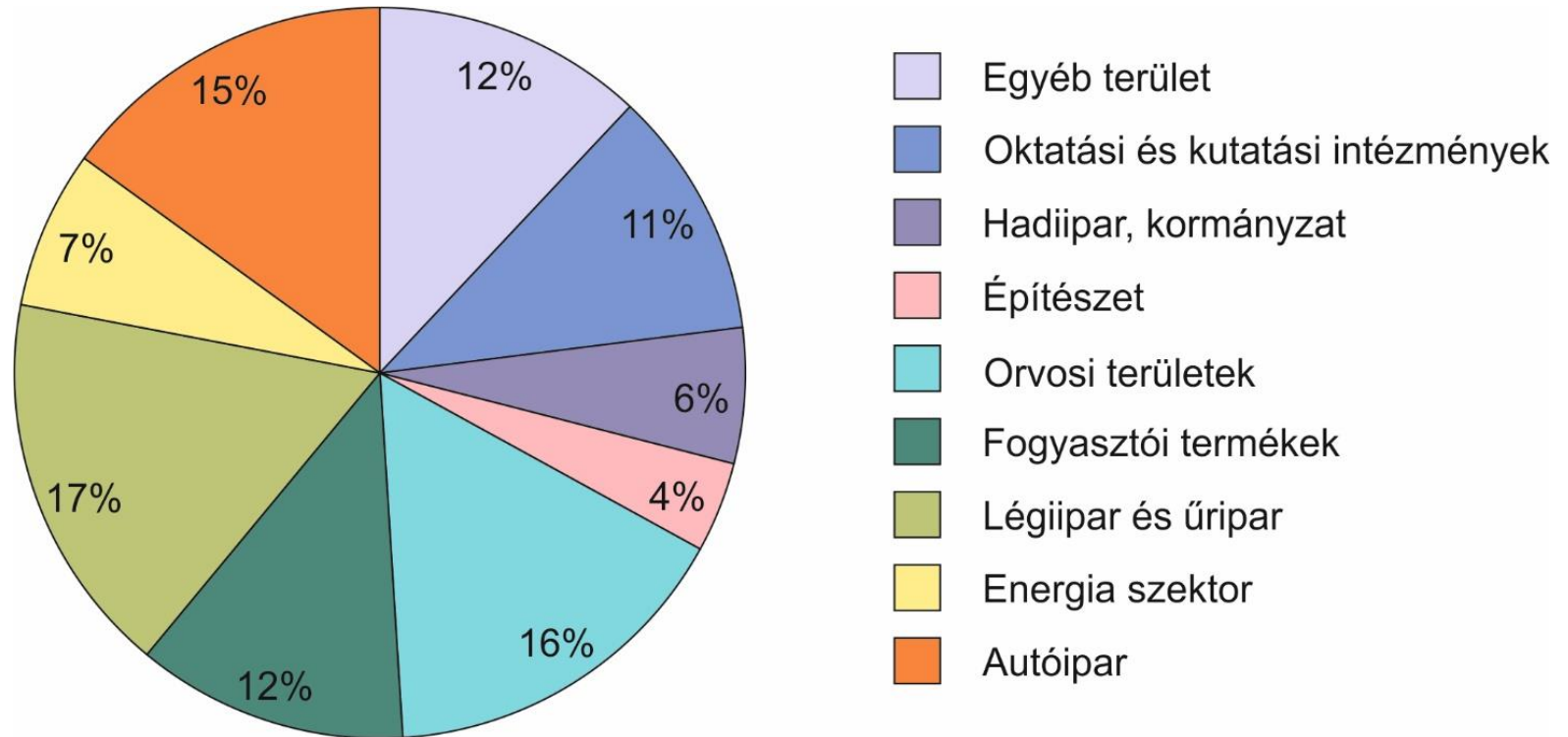
25

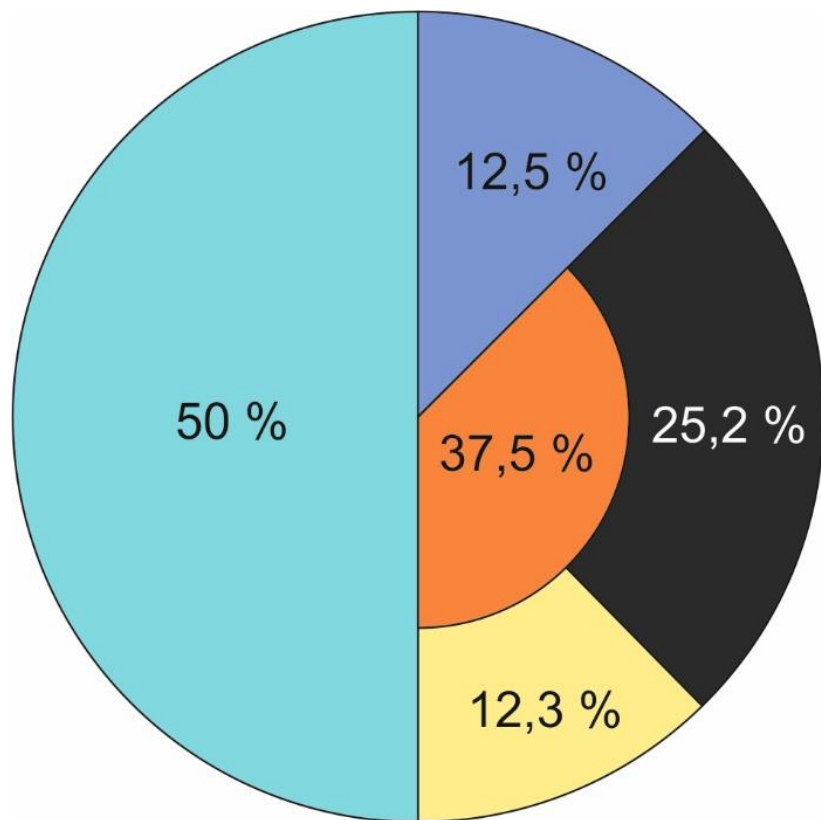
published ISO standards *
under the direct responsibility of ISO/TC
261

33

ISO standards under
development *
under the direct responsibility of ISO/TC
261







- Oktatási és kutatási intézmények
- Fogtechnika
- Ipari szereplők, szolgáltatók
- Alkalmoszerű használat
- Napi használat
 - Szerszámgyártás
 - Vegyipari alkatrészek
 - Általános gépalkatrészek
 - Orvostechnikai eszközök
 - Design eszközök

Itthon használt eljárások:

- L-PBF
- DED
- BJ
- FDM (kompozit)

Kellő tájékozottság nem csak az AM berendezésre vonatkozóan, hanem a teljes gyártási folyamatra, főként:

- ❖ AM folyamat/rendszer tervezése, környezet kiépítés, karbantartás
- ❖ AM-re tervezés
- ❖ AM technológiai paraméterek
- ❖ Minőség-ellenőrzés és minősítés
- ❖ Utómunkálatok

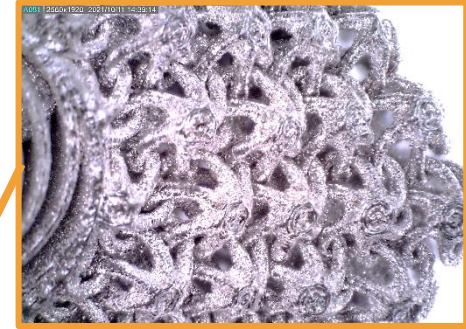


	Helyettesítés	Adaptálás	Optimalizálás
Idő		Több idő	Több idő
Költség	Költségesebb		Magas
Minőség	Gyenge	Kielégítő	

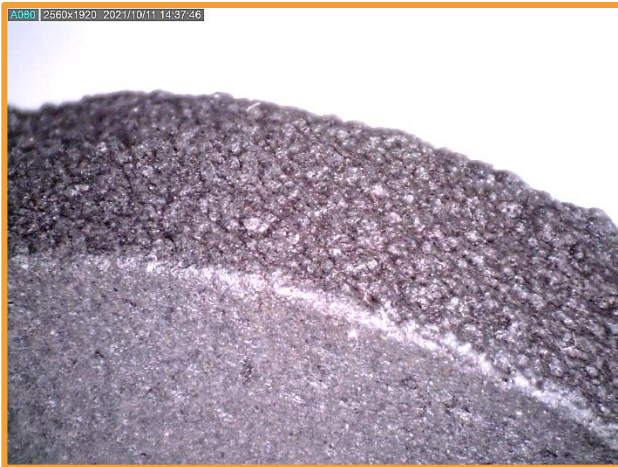
→



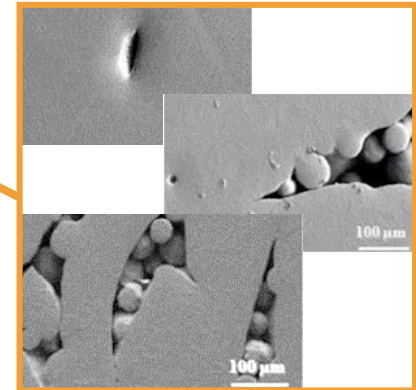
Anyagszerkezet



Térbeli struktúra

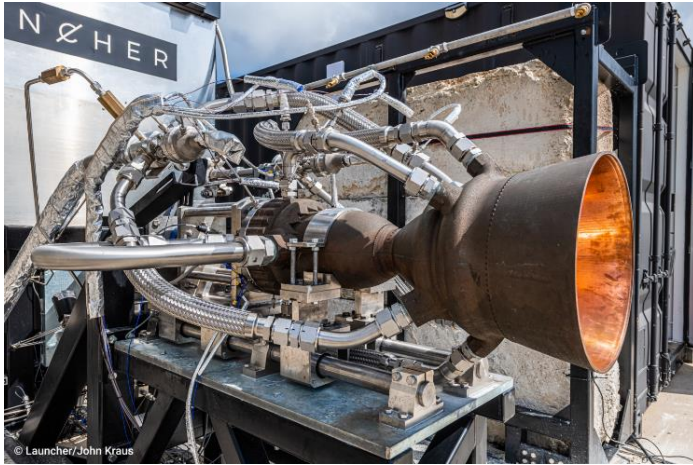


Felületi érdesség

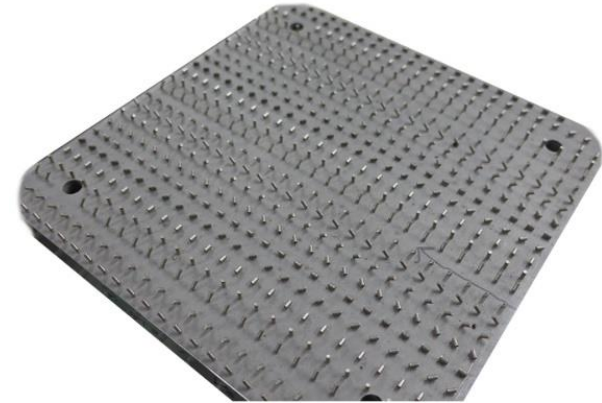


Anyagfolytonossági hibák

DfMAM – Design for Metal Additive Manufacturing



© Launcher/John Kraus
<https://amcm.com/success-stories/customized-large-frame-system-for-launcher-aerospace>



Építési magasság
csökkentése

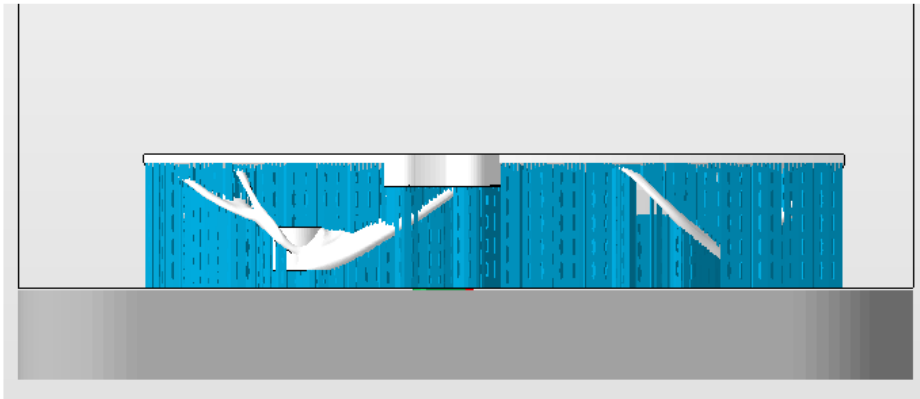
-Építési idő/költség
-Alapanyag felhasználás
-Utómunkálás

Hődeformáció
csökkentése

Minél kevesebb
támaszték

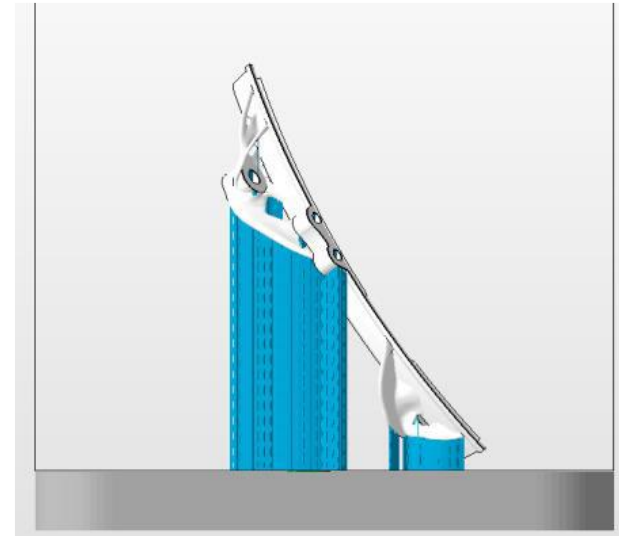
Minél
bonyolultabb
geometria

Tervezési útmutatók használata



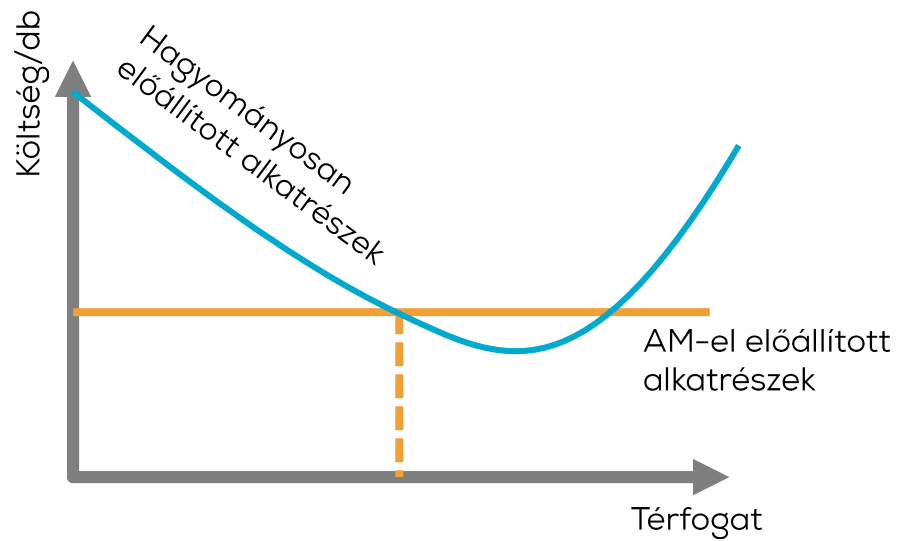
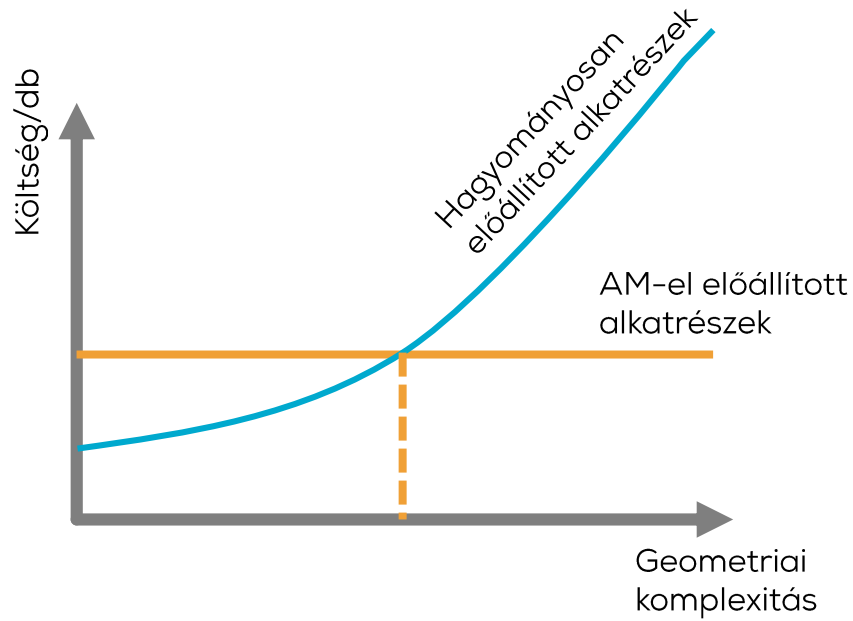
Nyomtatási idő:
1,9 óra

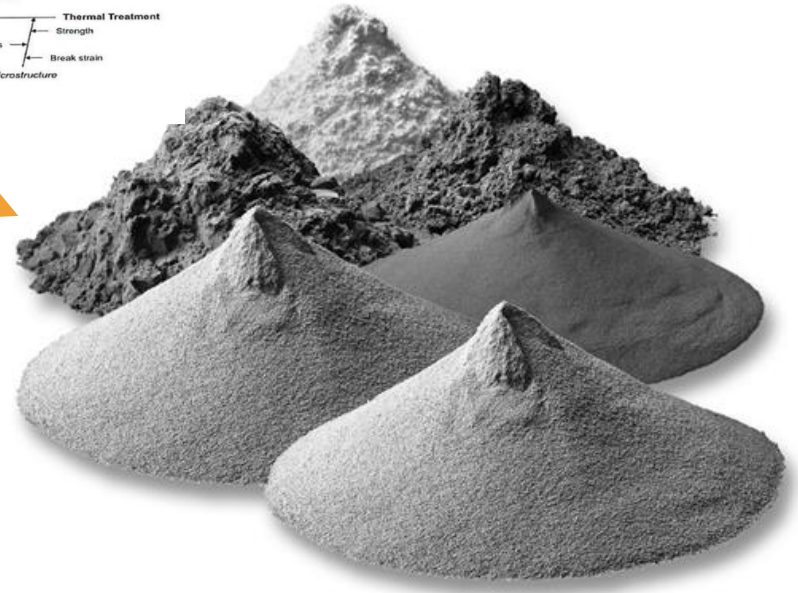
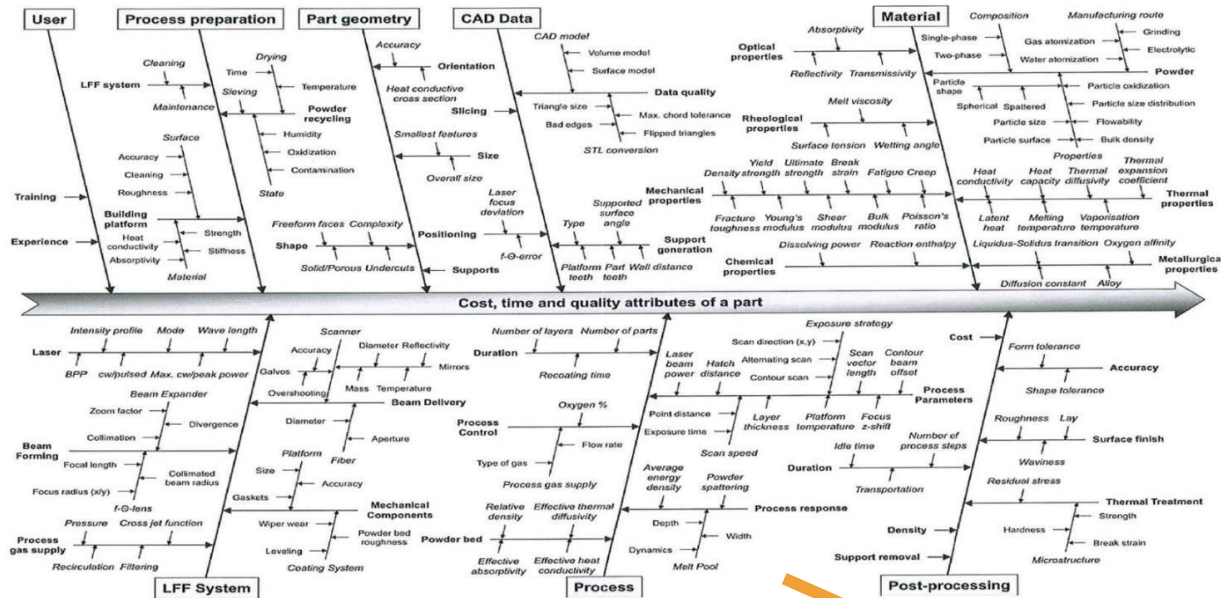
Utómunkálat:
~3 h



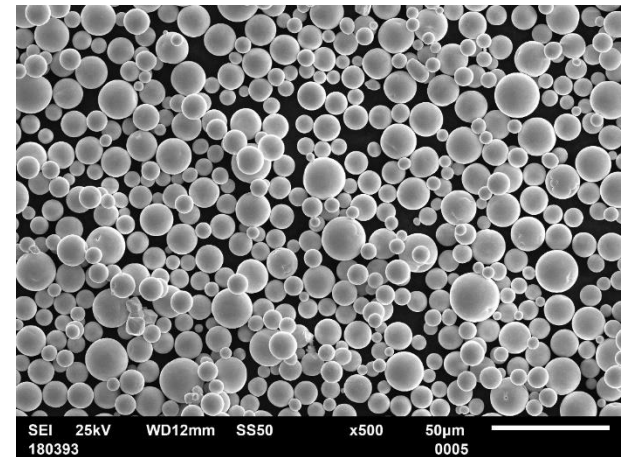
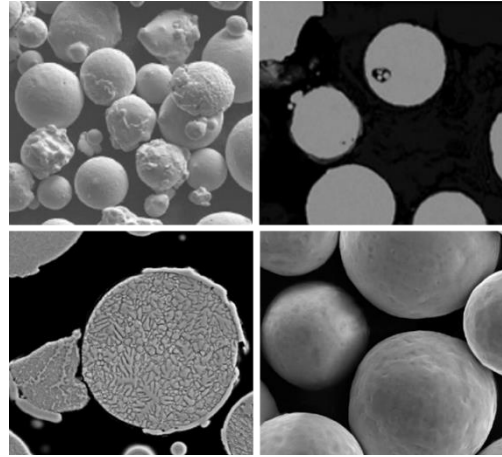
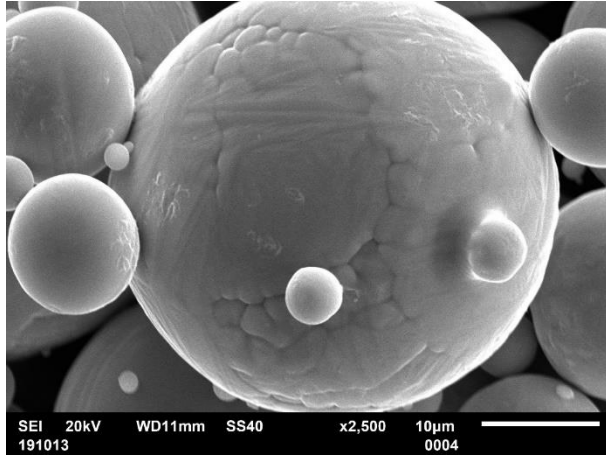
Nyomtatási idő:
6,5 óra

Utómunkálat:
~0,5 h





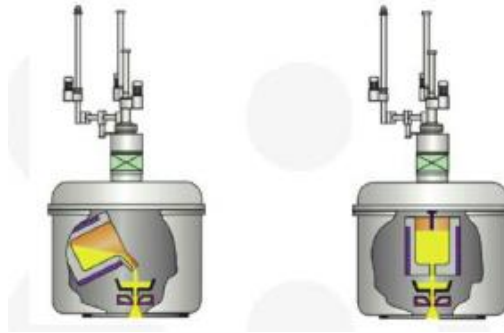
Alapanyag tulajdonságok



Nyílt-olvasztás



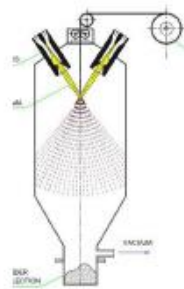
Indukciós olvasztás vákuum térben,
inert gáz atomizáció (VIGA)



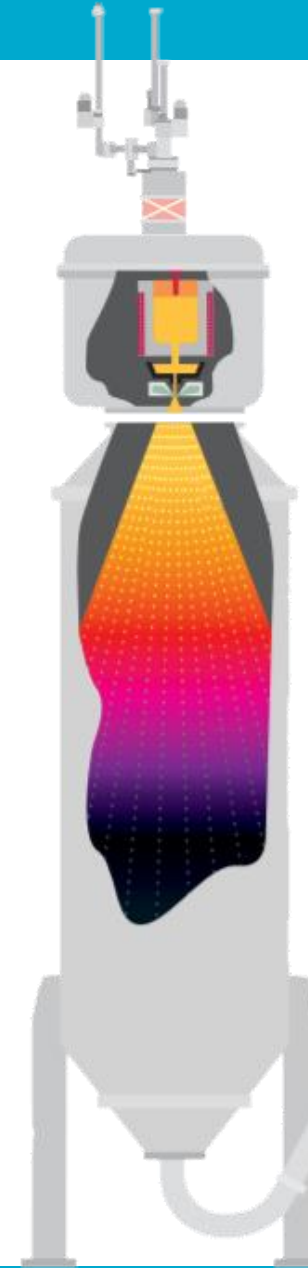
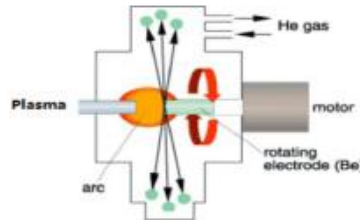
Elektróda indukciós olvasztása
vákuum térben,
inert gáz
atomizáció (EIGA)



Plazma atomizáció



Plazma forgó
elektróda atomizáció
(PREP)





Alapanyag összetétel



Szemcse méret



Szemcse geometria



Por sűrűség

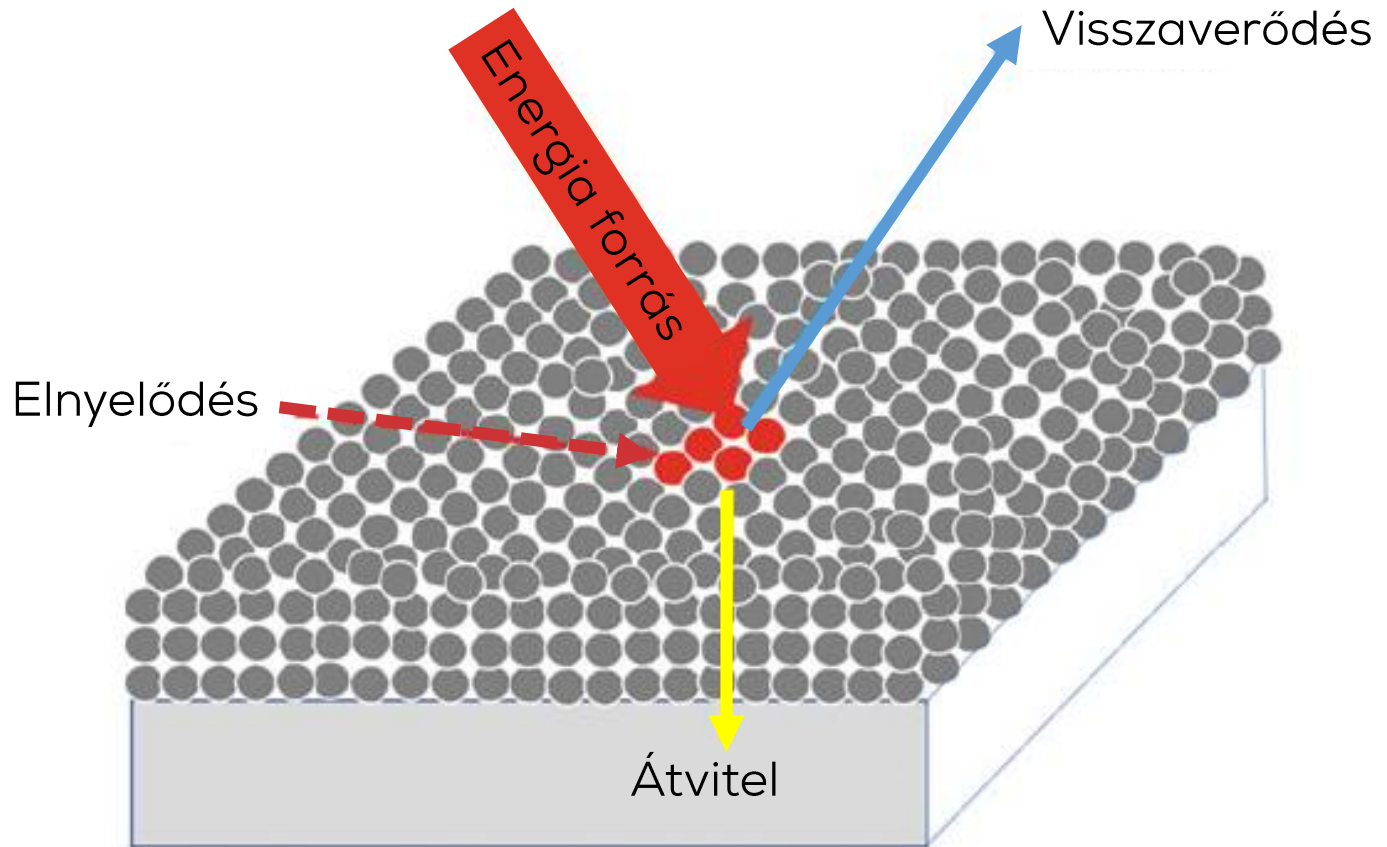


Por folyóképesség



Por kontamináció





Ömledék tulajdonságok

- ❖ Folytonosság
- ❖ Hőmérséklet eloszlás
- ❖ Dermedési arány
- ❖ Rétegeközi adhéziós kapcsolat

Lézer paraméterek

- ❖ Energia
- ❖ Lézernyaláb alak
- ❖ Levilágítási sebesség
- ❖ Levilágítási átfedés

Elterített por tulajdonságok

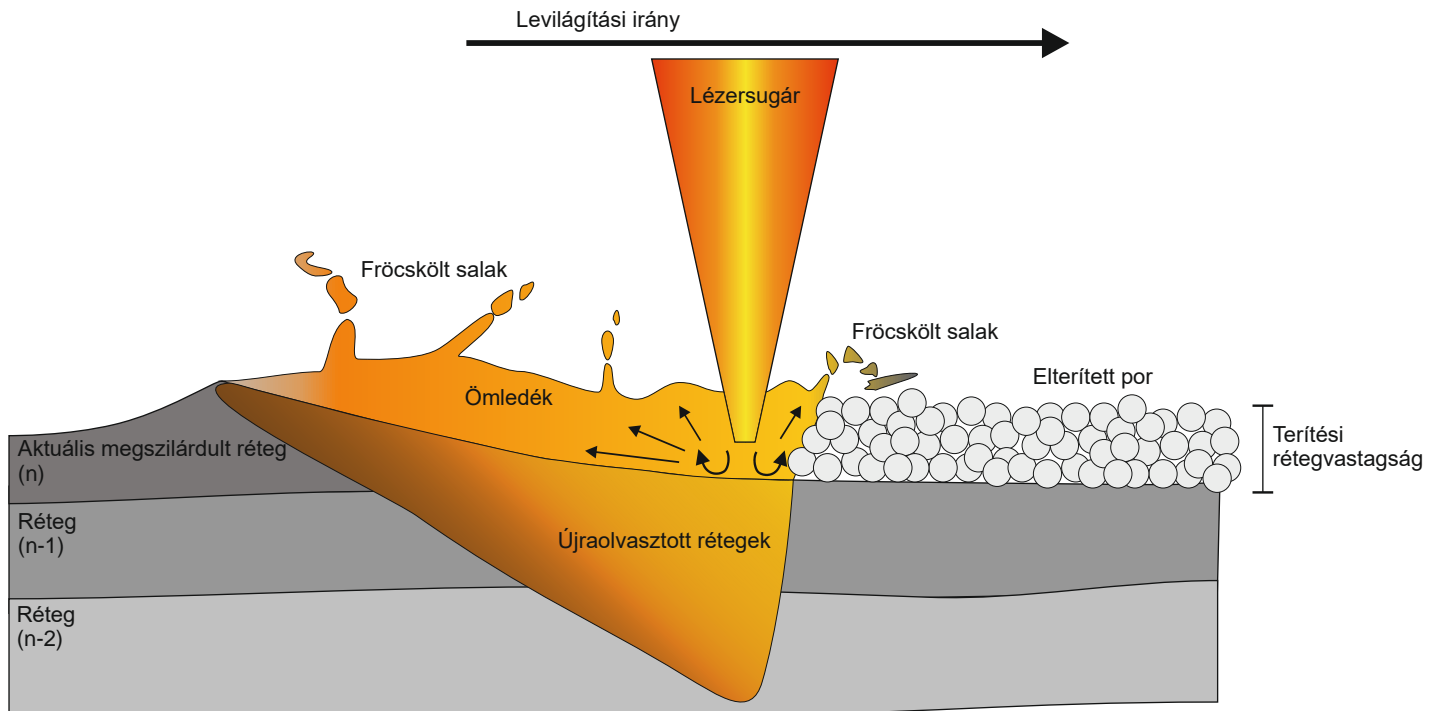
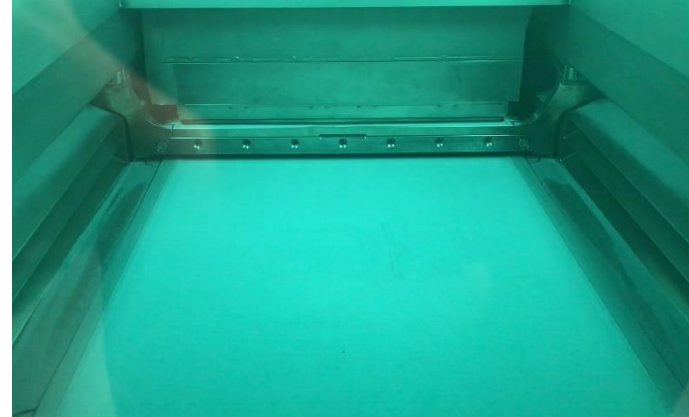
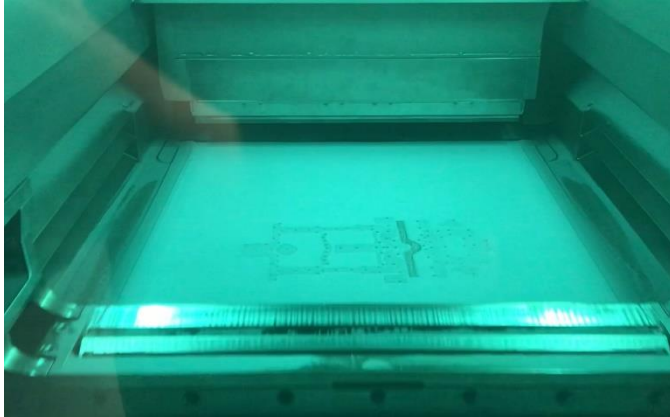
- ❖ Hővezető képesség
- ❖ Szabad felületek nagysága

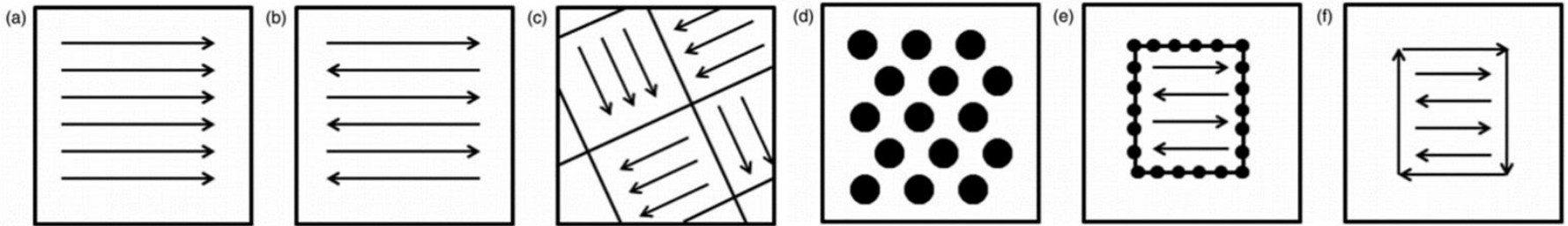
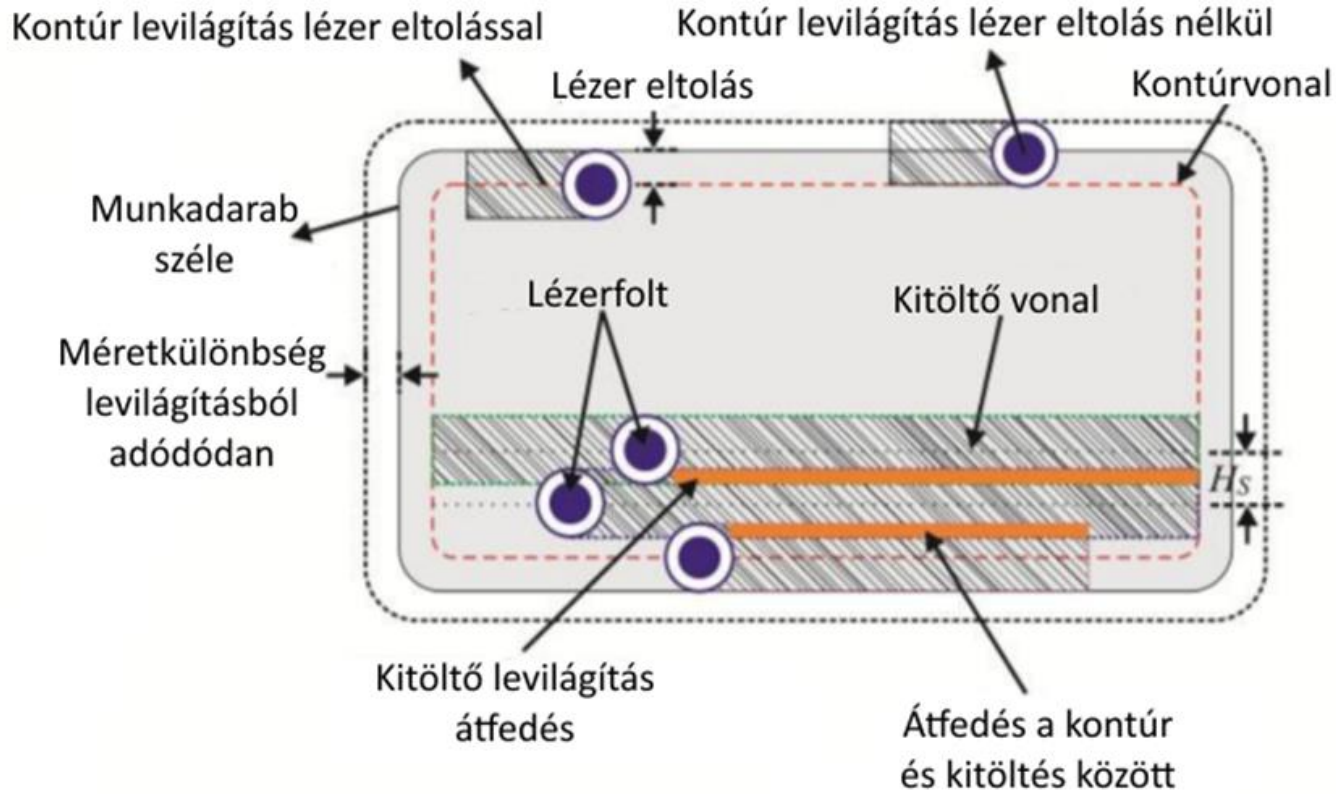
Alapanyag tulajdonságok

- ❖ Por homogenitás
- ❖ Szemcseméret
- ❖ Terítési rétegvastagság

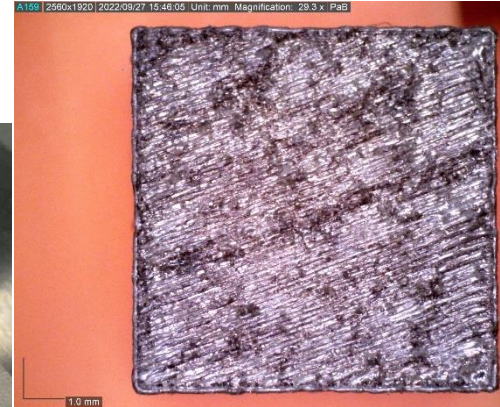
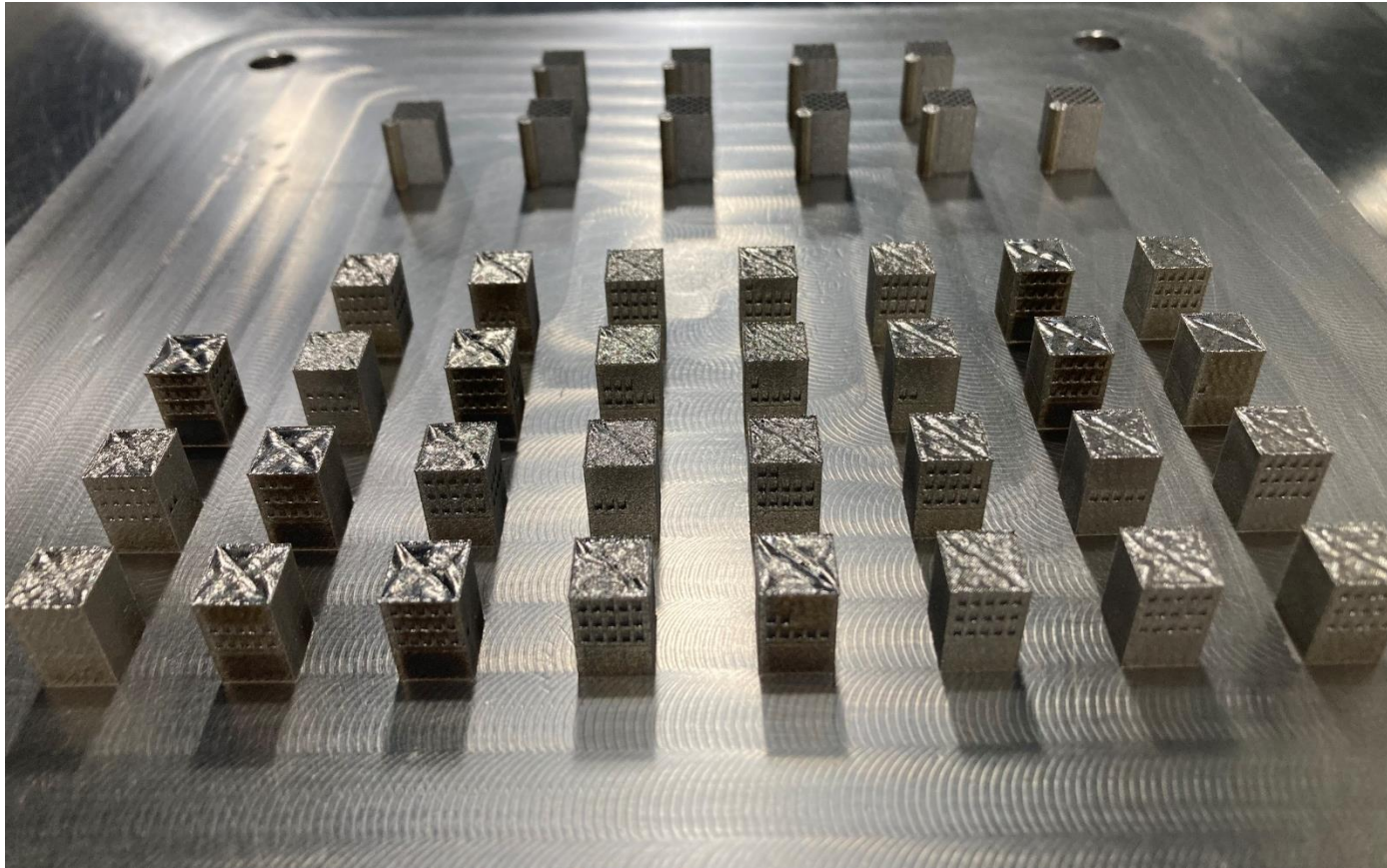
Folyamat optimalizálási paraméterek

- ❖ Energia
- ❖ Lézernyaláb alak
- ❖ Levilágítási sebesség
- ❖ Levilágítási átfedés
- ❖ Rétegvastagság
- ❖ Inertizáció
- ❖ Terítési sebesség





- Ügyfél igényeknek és az AM lehetőségeknek megfelelően paraméter fejlesztés adott alapanyaghoz.



Al	Aluminium	m4p™ AlSi10Mg
		m4p™ AlSi9Cu3
		m4p™ AlSi7Mg
		m4p™ PureAl
		m4p™ StrengthAl
		m4p™ ResistAl
Cu	Kupfer Legierungen	m4p™ CuNiSiCr
		m4p™ PureCu
		m4p™ CuCrZr
		m4p™ Al-Brz8,5
		m4p™ CuZn42
		m4p™ Brz10
Fe	Rostfreie Stähle	m4p™ 316L
		m4p™ Fe-4542
		m4p™ Fe-4828
		m4p™ Fe-4011
		m4p™ Fe-4021
		m4p™ type13-X

Fe	Maraging Stähle	m4p™ CXplus
		m4p™ Fe-2709
		m4p™ MS2
Fe	Verschleißfeste Stähle	m4p™ Fe-2343
		m4p™ Fe-2344
		m4p™ type26
Fe	Vergütungsstähle	m4p™ CH100-Fe
		m4p™ Fe-7225
Fe	Einsatzstähle	m4p™ Fe-7131
Fe	Weichmagnetische Werkstoffe	m4p™ PureFe
		m4p™ FeSi2,9
		m4p™ FeSi6,5%
		m4p™ Fe49Co2V
		m4p™ FeCo50
Ni	Nickel Legierungen	m4p™ PureNi
		m4p™ Ni-718
		m4p™ Ni-625
		m4p™ Ni-X
		m4p™ Ni-247LC

W	Wolfram	m4p™ PureW
		m4p™ Hart12
		m4p™ Hart17
		m4p™ sWC
Ti	Titan	m4p™ PureTi
		m4p™ Ti64 grade5
		m4p™ Ti64 grade23
Mo	Molybdän	m4p™ PureMo
Co	Cobalt	m4p™ CoF75
Ta	Tantal	m4p™ PureTa

- ❖ Egyéni igény alapján további anyag és AM paraméter fejlesztés
- ❖ Általános PSD-k:
 - ❖ -63+20 μm ❖ -90+45 μm
 - ❖ -52+20 μm
 - ❖ -45+15 μm ❖ -125+45μm
 - ❖ <-25 μm ❖ -160+53 μm
 - ❖ -45+10 μm ❖ -150+53 μm

Alapanyagok iparágak szerint:

❖ Fogtechnika

- ❖ CoCr
- ❖ Titán grade5
- ❖ Titán grade23

❖ Szerszámgyártás

- ❖ 1.2709
- ❖ 1.2343
- ❖ Cxplus

❖ Vegyipari alkatrészek

- ❖ 1.4404 (316L)
- ❖ C22
- ❖ 904L
- ❖ BC1
- ❖ Tantál

❖ Általános gépalkatrészek

- ❖ 1.4404 (316L)
- ❖ 1.4542 (17-4PH)
- ❖ 1.2709
- ❖ AISi10Mg
- ❖ Tiszta réz
- ❖ Ni-WSc

❖ Orvostechnika

- ❖ CoCr
- ❖ Titán grade5
- ❖ Titán grade23
- ❖ 1.4404 (316L)

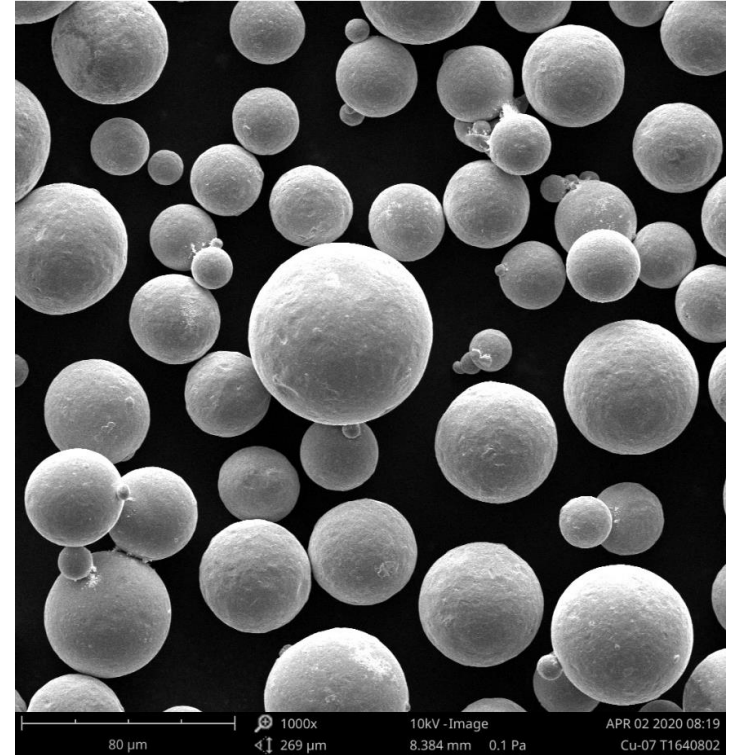
❖ Design eszközök

- ❖ Bronz
- ❖ AISi10Mg
- ❖ 1.4404 (316L)

❖ Speciális területek

- ❖ CuNiSi
- ❖ CuCrZr
- ❖ Tantál
- ❖ Volfrám
- ❖ Kobalt

Mindig lehet ekvivalens anyagot találni!



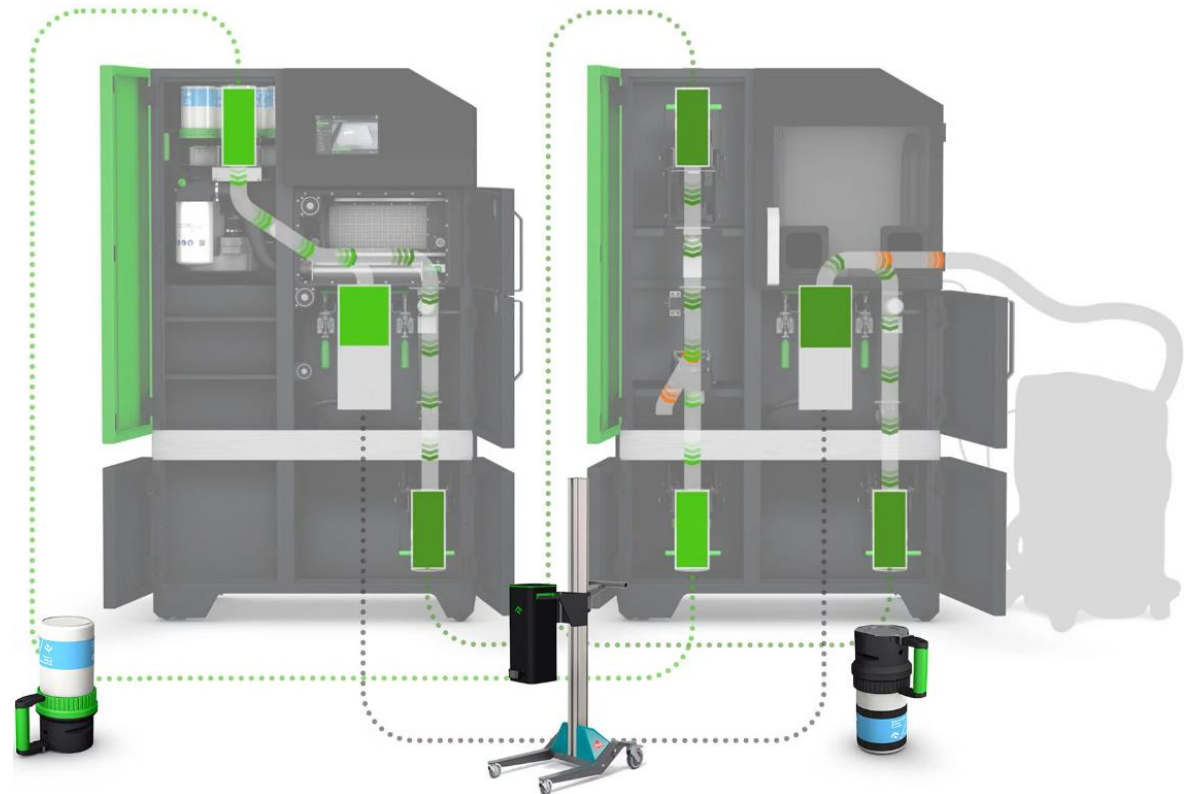
Mindig lehet ekvivalens anyagot találni.

- Alapanyag szállítás
- Minőség-ellenőrzés
- Új alapanyag tárolás és kezelés
- Használt alapanyag újrahasznosítás
- Használt alapanyag tárolás és kezelés
- Munkavédelem

Az alapanyag menedzsmenthez már teljes automata/félautomata rendszereket kínálnak a piacon, amelyek beleillenek a gyártási láncba, és ahol az ember-alapanyag kapcsolat a lehető legkevesebb. Ez különös képpen a por formájú nyersanyagoknál jelentős, csökkentve ezzel annak egészségkárosító hatását.

Ideális porkezelés AM folyamat során:

- ❖ Zárt alapanyag tárolás és mozgatás.
- ❖ Por betöltése a gyártó rendszerbe érintkezés mentesen.
- ❖ Folyamatos por hozzáadás/adagolás, érintkezés mentesen.
- ❖ Újrahasznosítás és szitálás a kezelő porral való érintkezése nélkül.
- ❖ Kicsomagolás a kezelő porral való érintkezése nélkül.





3D PRINTING SOFTWARE

new paths. more possibilities.

We develop the digital cornerstones for your success in additive manufacturing - from data processing to quality control.



1

Termék ötlet



2

3D modell



3

Importálás és ellenőrzés

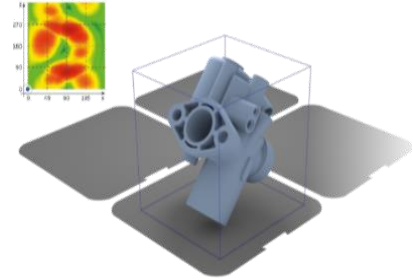


healing Validation

0 0,176 max [mm]

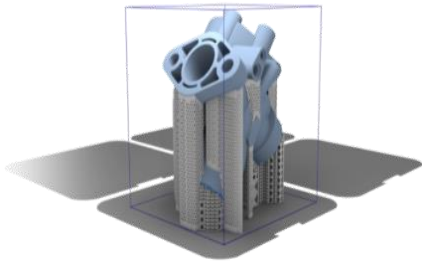
4

Orientálás



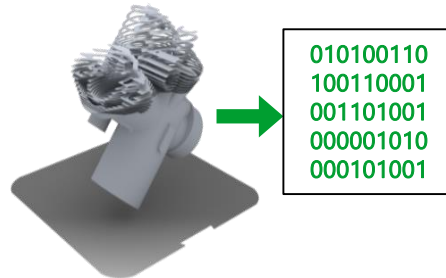
4

Támaszték generálás



5

Gépi kód



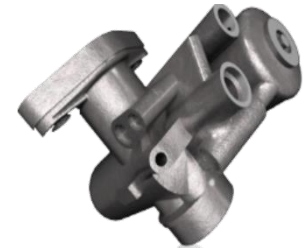
6

Utómunkálatra előkészítés

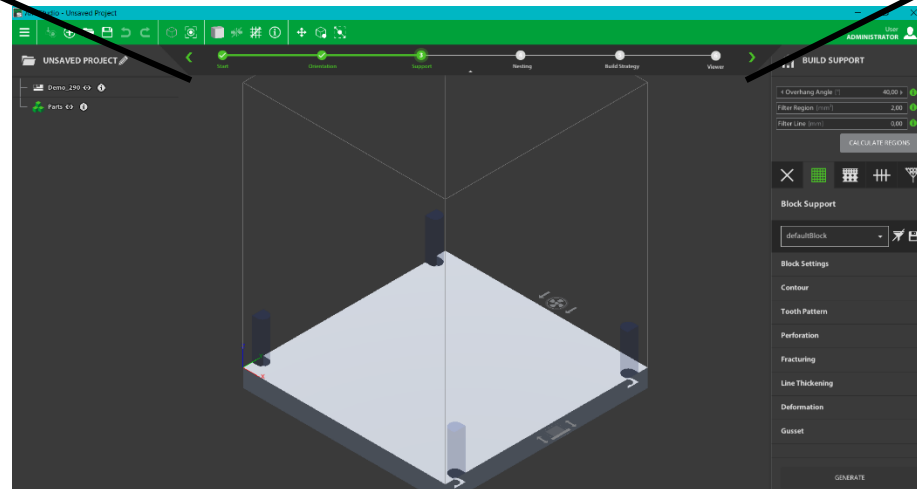
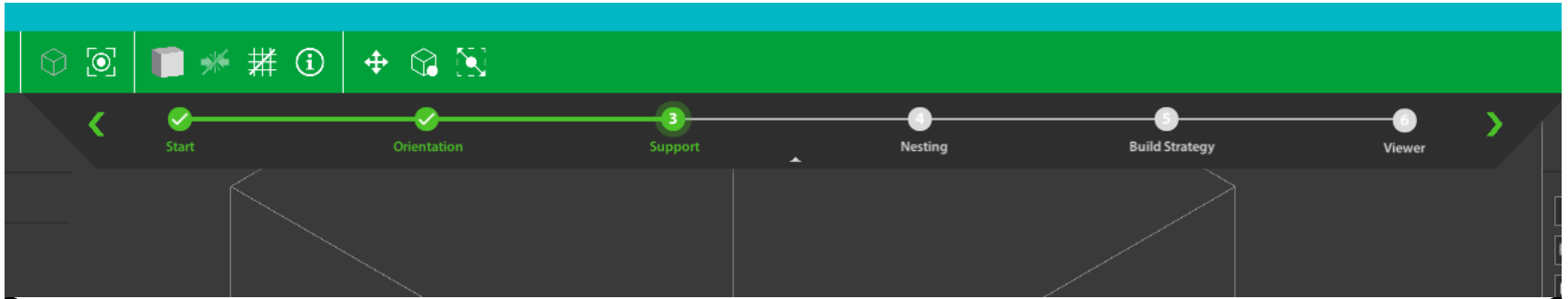


7

TERMÉK



AM-STUDIO



Titan.Core

TIME

	118 min 25 s, 1 core	✓
	1800 min, 16 cores	⚠

MEMORY

	max. 0.19 GB	✓
	max. 125 GB	⚠

● Additive ^{CAD} ● 3rd Party

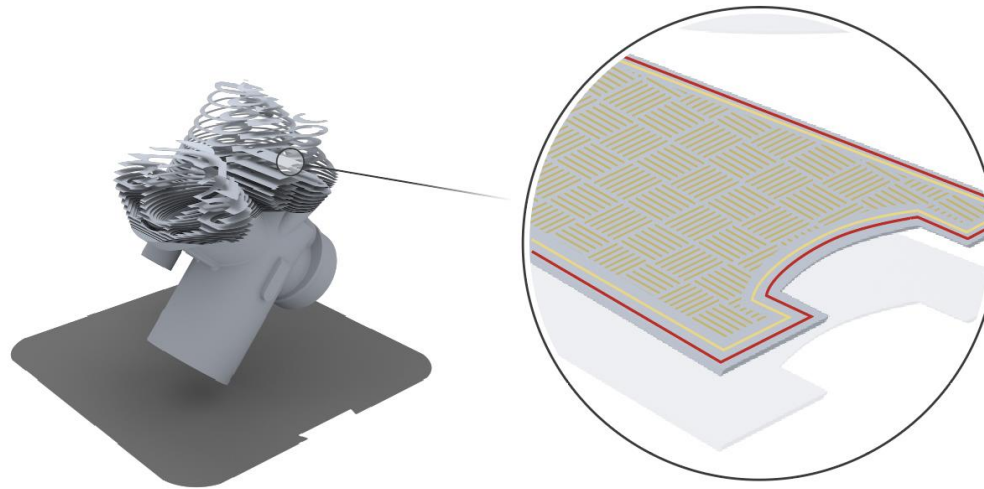
▲ **TRIANGLES**
11 228 876

≡ **LAYERS**
6 734

↶ **SEGMENTS**
4 784 986 821 (71.3 GB)

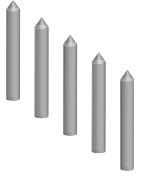
🕒 **RUNTIME**
118 min 25 s, single core

🖨️ **MEMORY**
max. 0.19 GB



Alap támaszték rendszerek:

RÚD



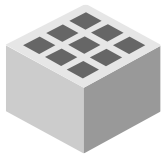
- » Különálló egységek, kúpos végződéssel
- » Csőszerű, nincs teljes térfogat kitöltés

VONAL

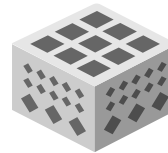


- » Komplex vonaltámaszték, amely alkalmas, fa és hurok megtámasztáshoz is
- » Fogazás és perforáció is lehetséges

BLOKK

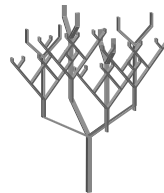


- » Kitölti a kontúr által határolt területet négyzetrácscsal
- » Egyik legstabilabb támaszték struktúra



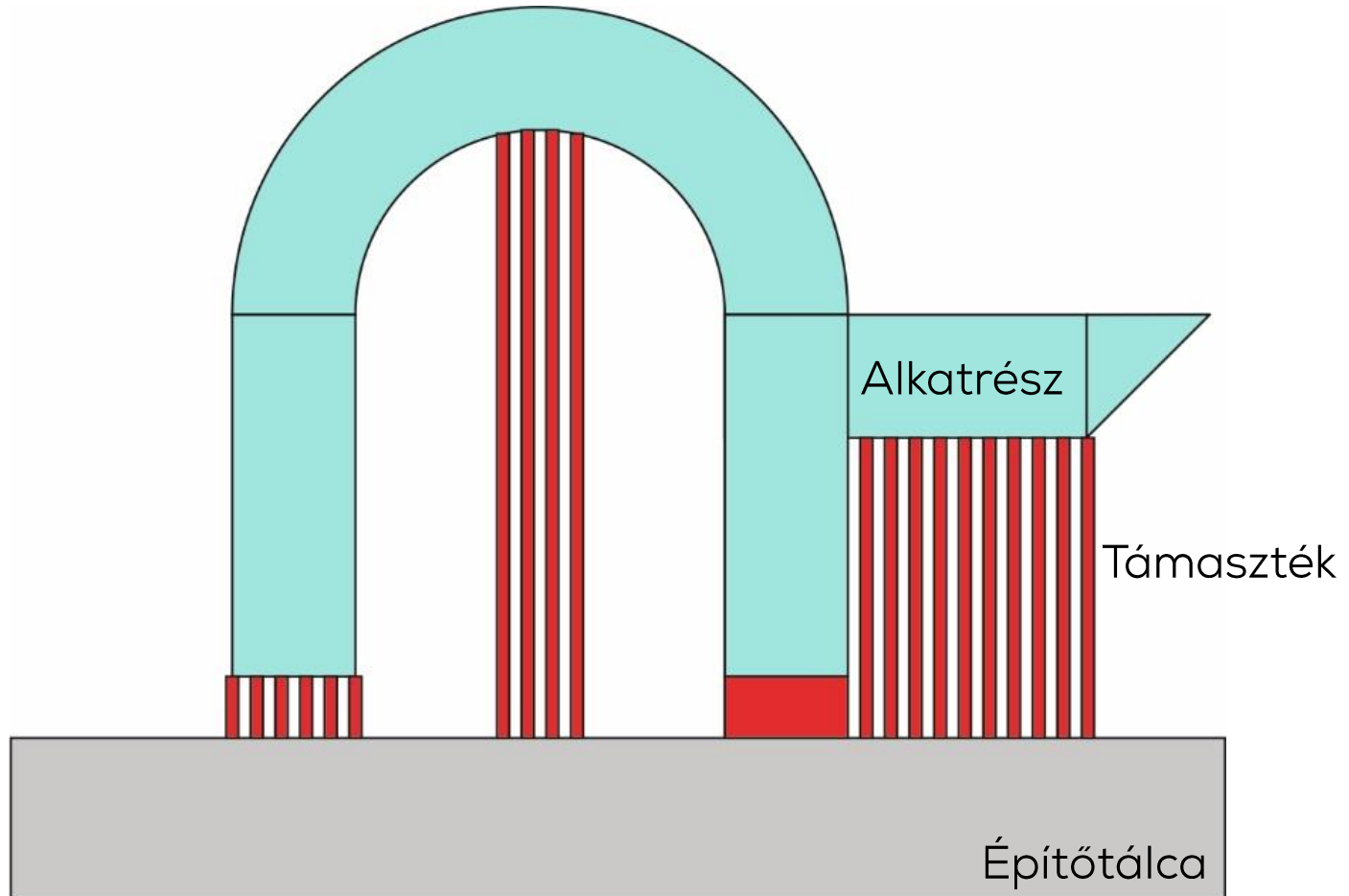
HEARTCELL

- » Blokkhoz hasonló
- » Sejtszerű kialakítás, anyagtakarékosság
- » Kellően stabil, kevesebb támasz is elegendő



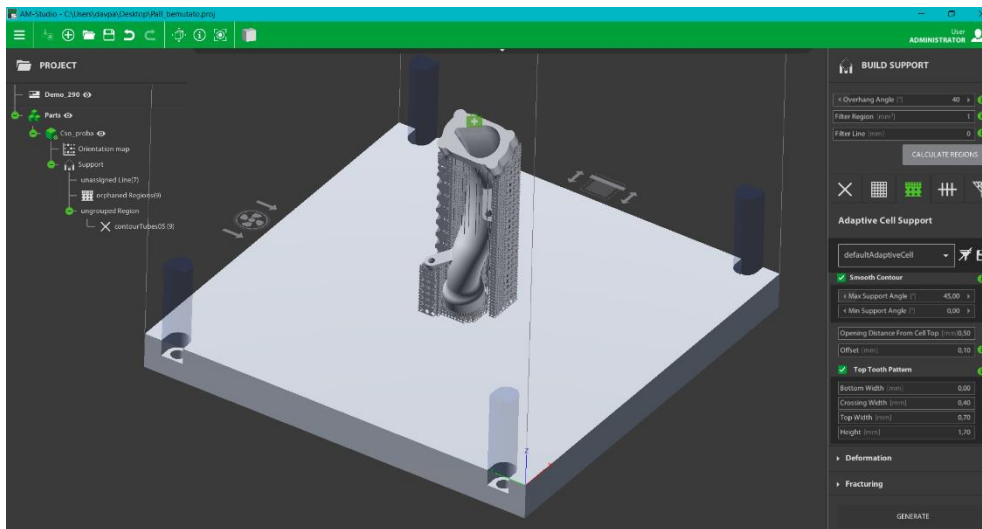
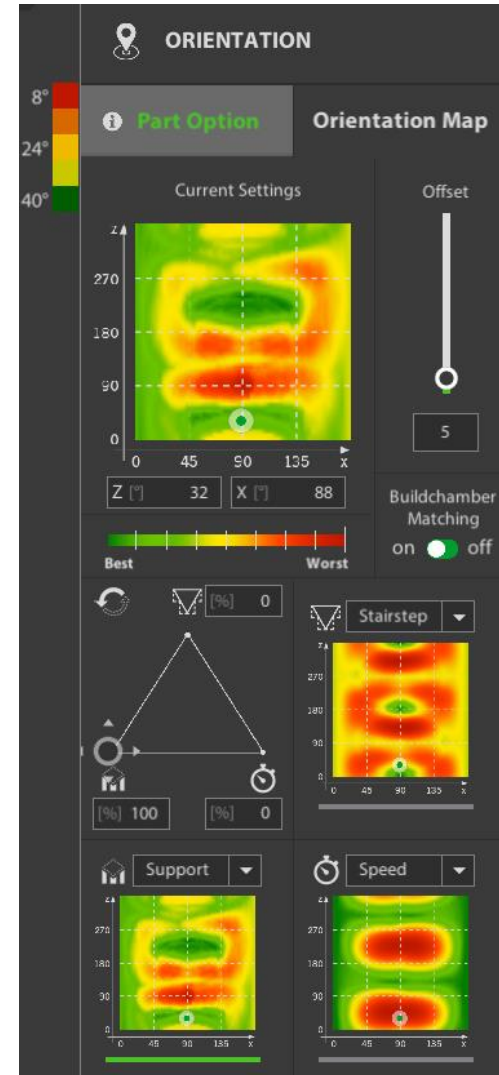
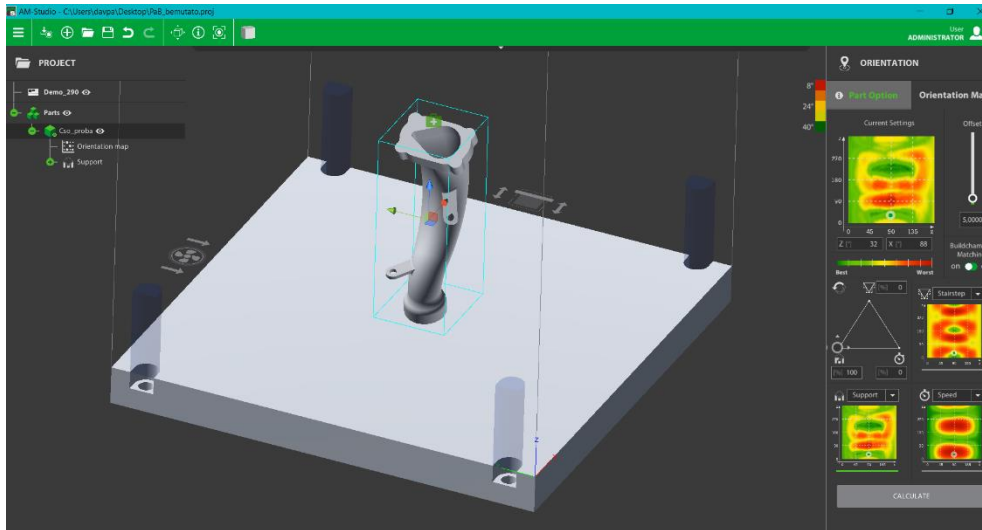
FA

- » Sűrűség eloszlás alapú
- » Első fémre összpontosított fa geometria

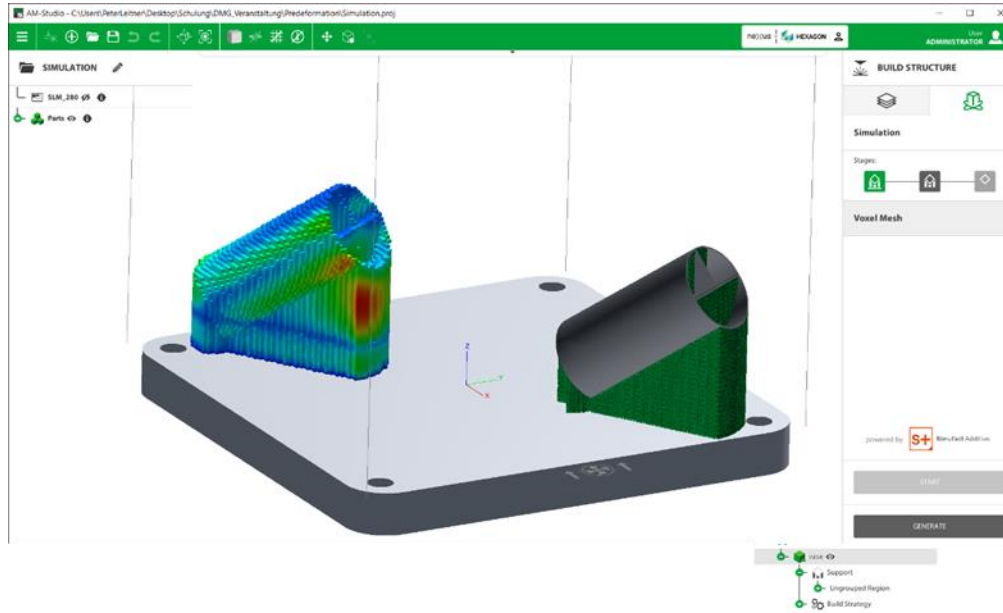


Orientáció meghatározása grafikonok segítségével

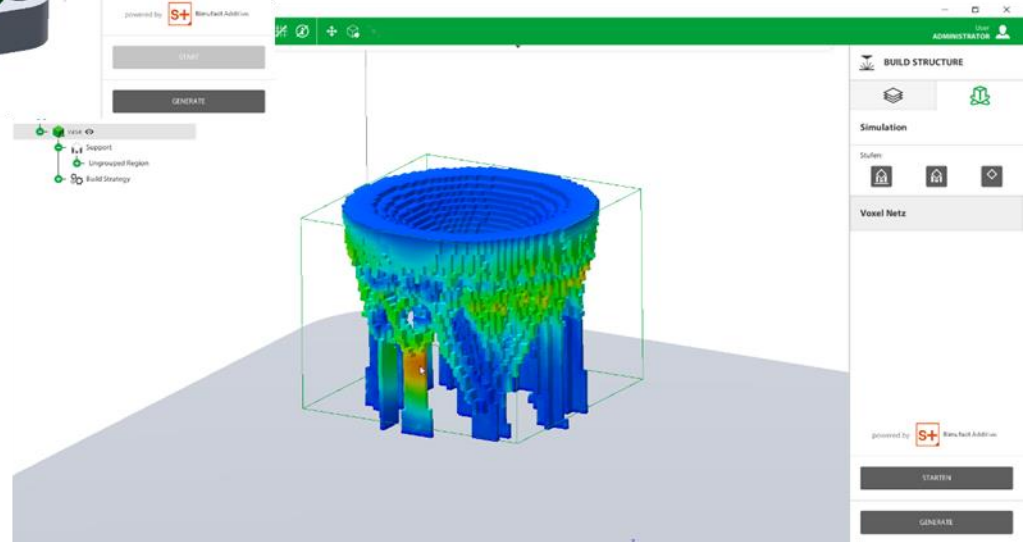
Additive.Optimo



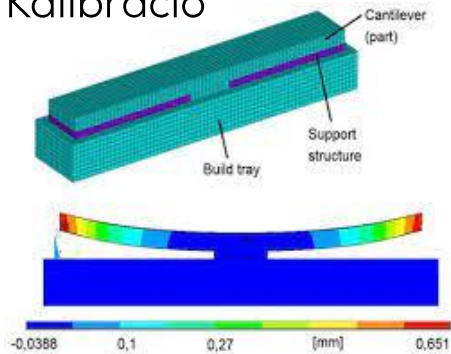
FE - Deformáció meghatározása, hogy elsőre megfelelő minőségű legyen a gyártás.



- ❖ SIMUFACT által támogatott
- ❖ IS módszer (Eigen-, Inherent Strain)

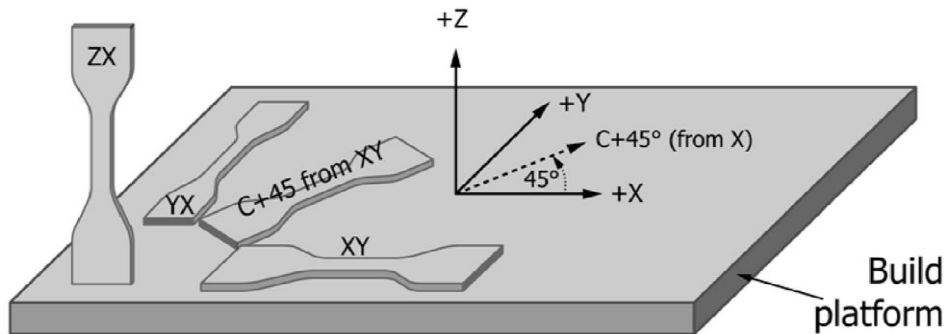
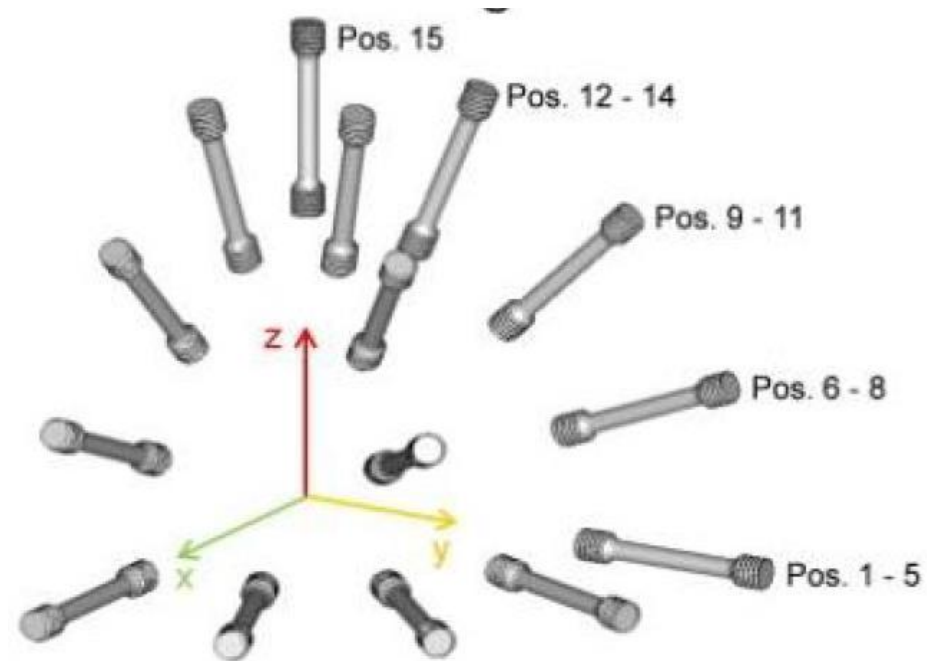


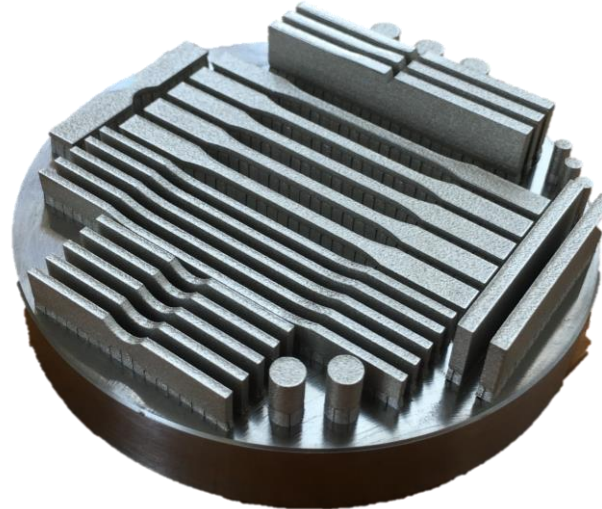
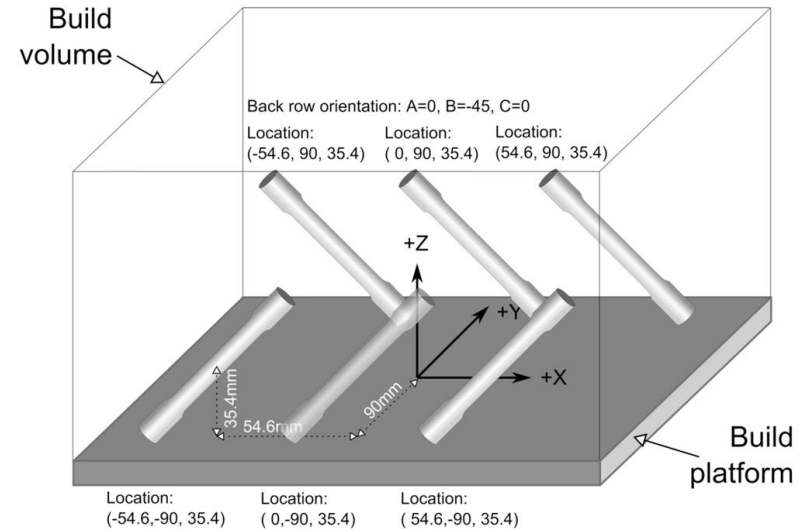
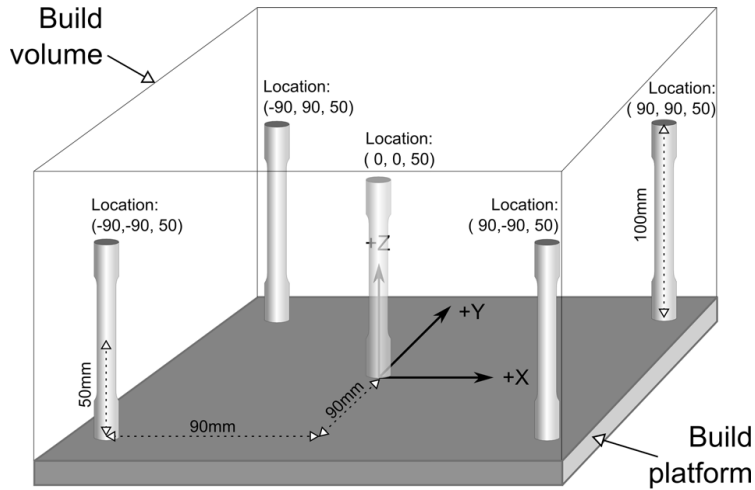
❖ Kalibráció

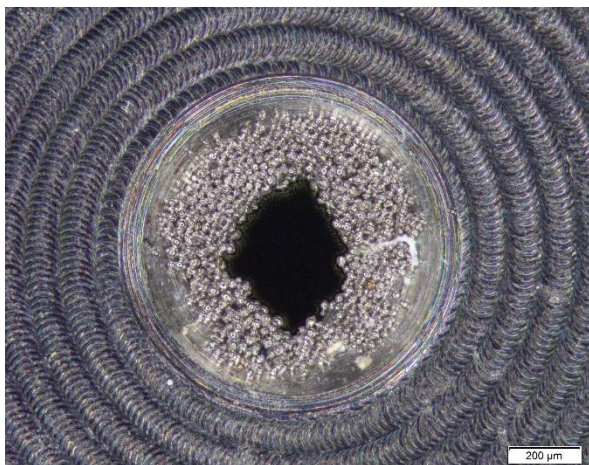


ASTM F3122-14 - Standard Guide for Evaluating Mechanical Properties of Metal Materials Made via Additive Manufacturing Processes

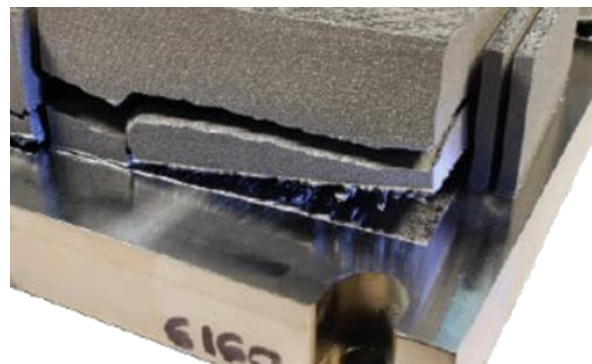
ISO 17296-3 - Additive manufacturing – General principles – Part 3: Main characteristics and corresponding test methods



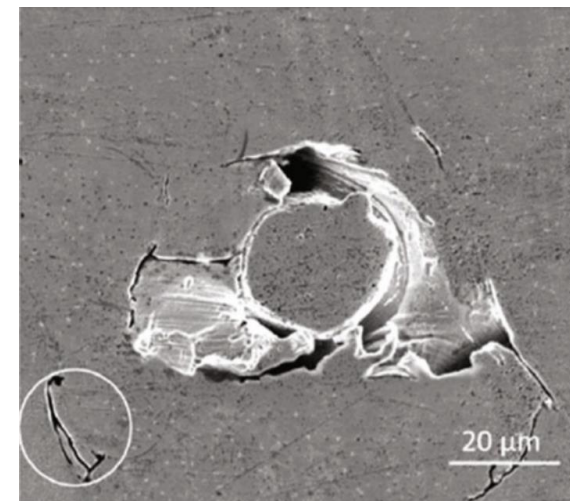




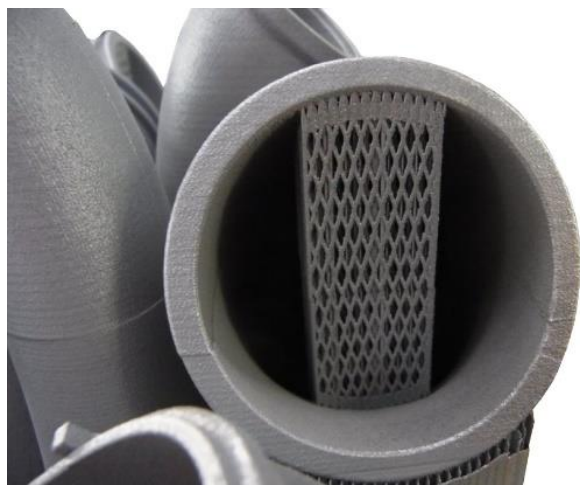
Nem teljesen összeolvadt por szemcsék



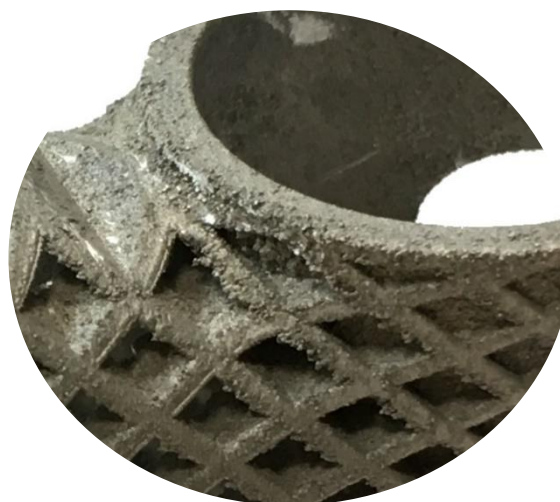
Delaminációs probléma a tálcá síkjában és magában a nyomtatott darabban



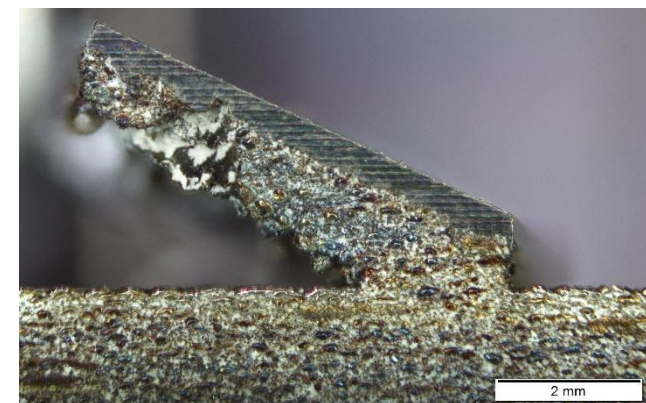
Anyagon belül a nem megfelelő összeolvadásnak köszönhető, anyagfolytonossági hiba



„Tanú-vonalak” a nyomtatás közbeni deformációkról



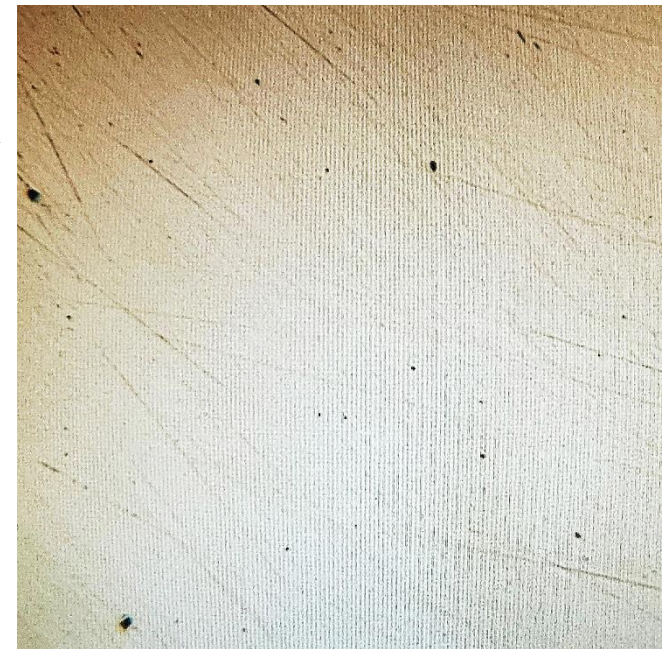
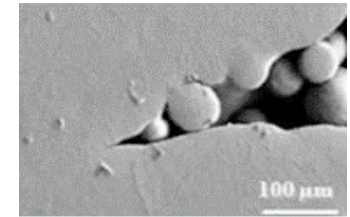
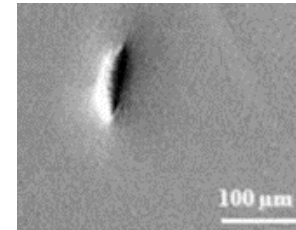
Túvilágított/beégett részek, porterítési és hőelvezetési hiba

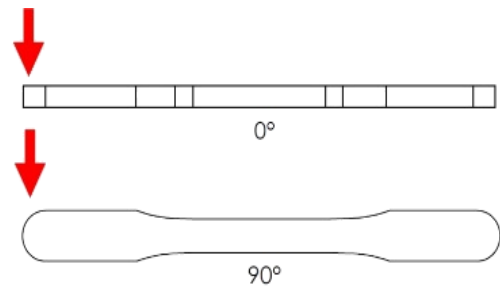


Nem AM-re optimalizált geometria, rossz hőelvezetés

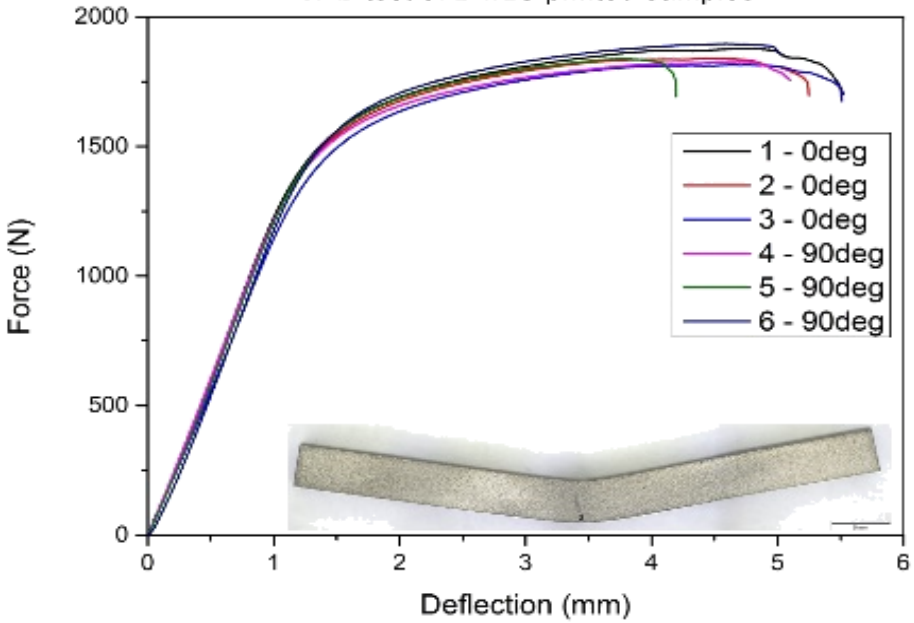
A következő hibákat eredményezheti:

- ❖ szinterelési hibák
- ❖ porozitási hibák
- ❖ felületi hibák
- ❖ repedések
- ❖ zárványok
- ❖ deformációból adódó hibák
- ❖ túlzott energia besugárzásból származó hibák
- ❖ támaszanyag struktúra hiba
- ❖ geometriai hiba
- ❖ rétegződési hiba

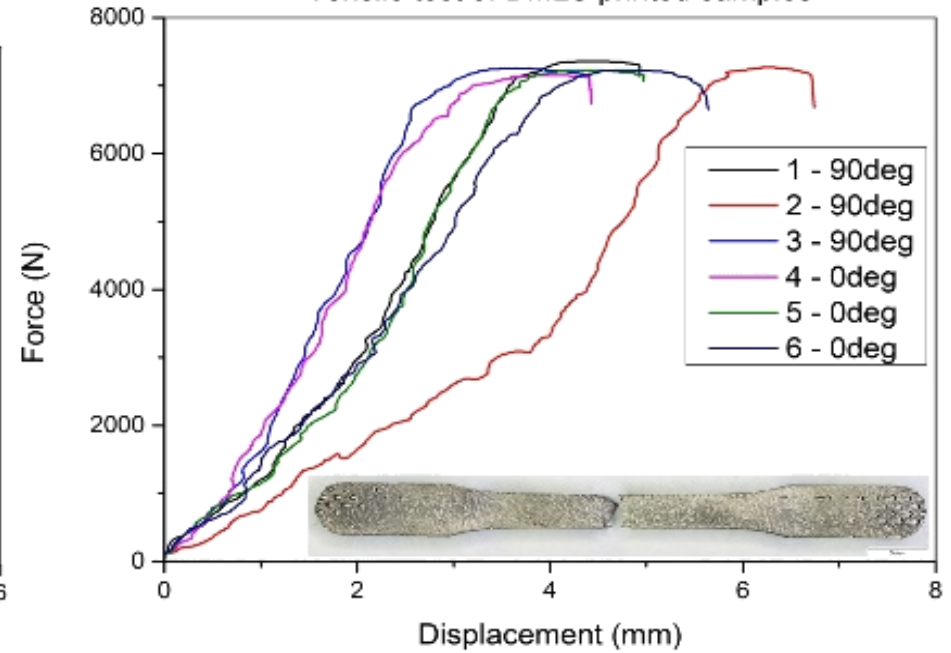




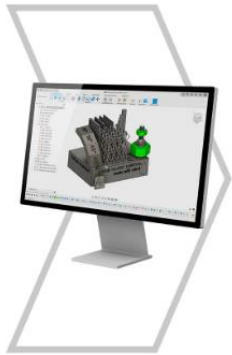
TPB test of DMLS printed samples



Tensile test of DMLS printed samples



MPREP



CAD

At the beginning there is your use case, for which you must create a component design in a CAD program. For this, you can use Autodesk Fusion 360, for example.



Data preparation

The next step is data preparation. Here you define part orientation, supports, and parameters.

MONE



Job upload

Using **MONE**, you can quickly and conveniently load your component onto the machine – you don't have to go to the machine itself to do this but can do it wherever you are.

MPRINT+



Printing process

After you have prepared the **MPRINT+** for printing (see also the section **machine operation**), you can start the build job.

MPURE



Unpacking process

Once the part is printed and the build module is inserted into the **MPURE** with the lifter, you can unpack it **without direct powder contact** and **sieve processed powder at the same time**.



Post processing

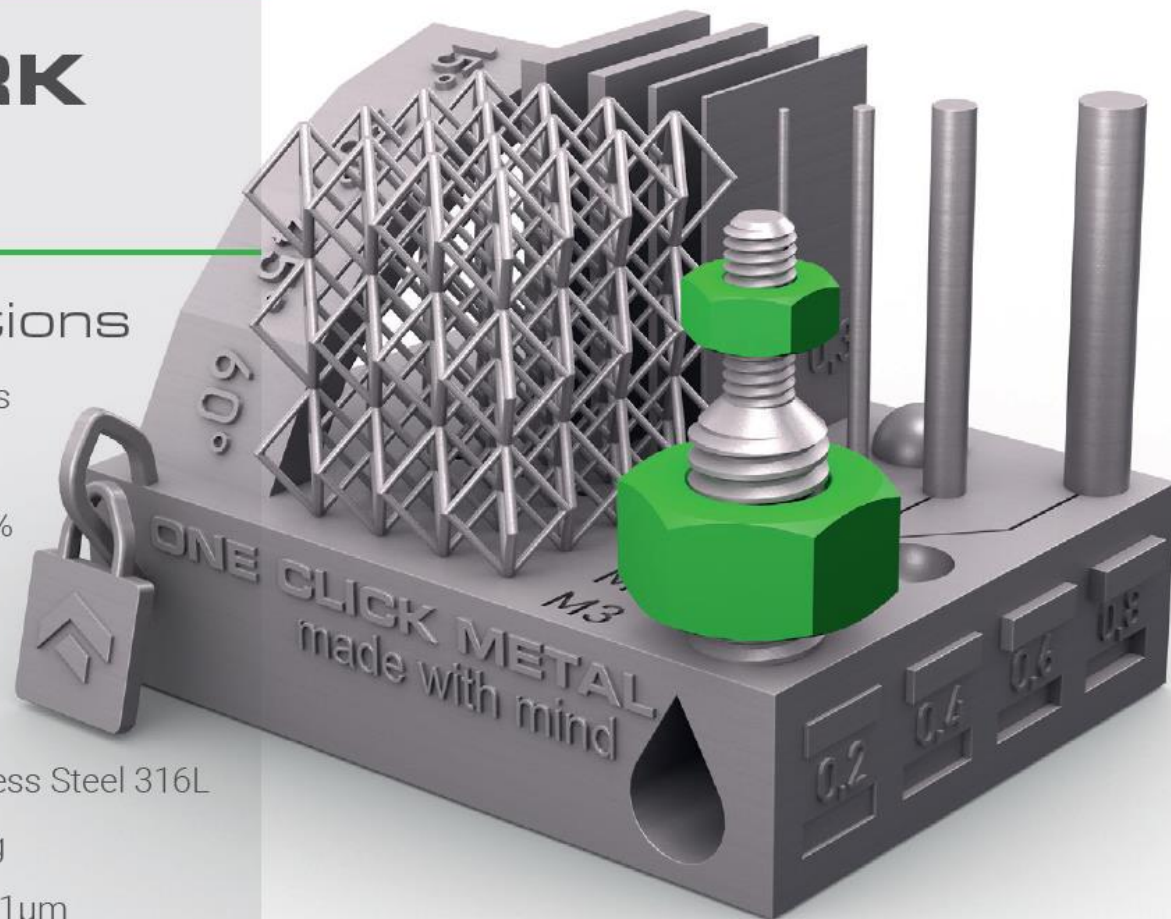
If your component has support structures, now is the time to remove them. Optionally, further finishing steps are possible, such as sandblasting, polishing, or grinding.



BENCHMARK PART

Technical specifications

Maximum load build plate	9 parts
Printing time/part	4.4h
Component density	>99.5%
Cost/part	55€
Layer thickness	20µm
Number of layers	1501
Material	Stainless Steel 316L
Material consumption/part	0.12kg
Surface	Ra < 11µm

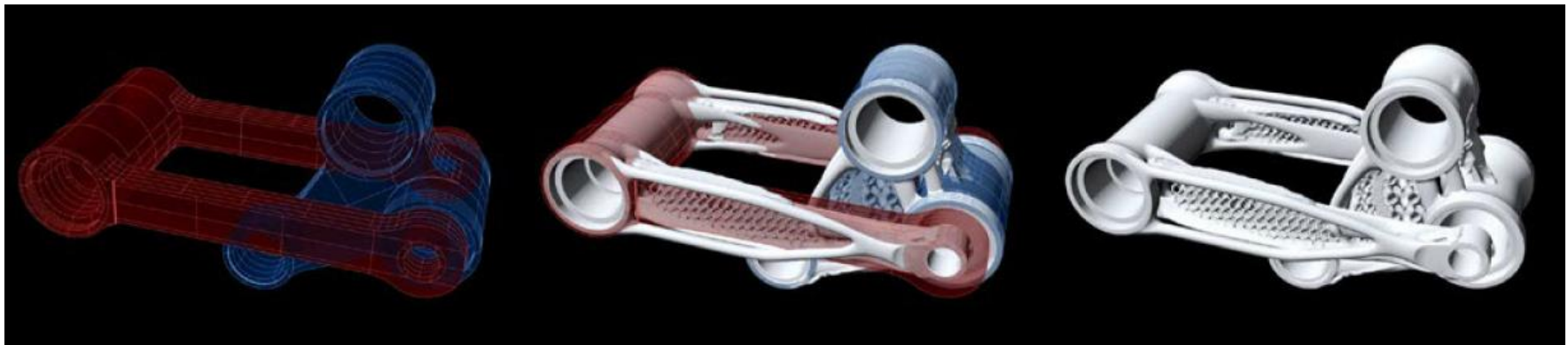
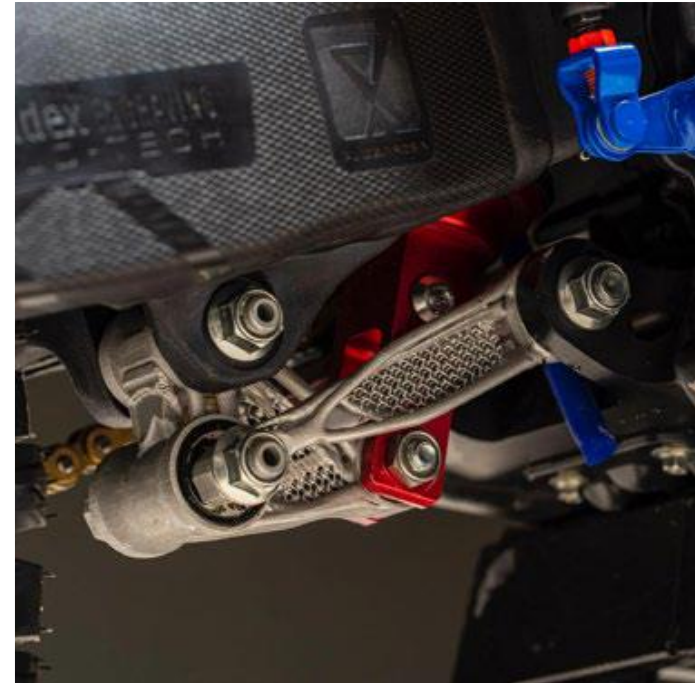


Esettanulmányok, példák alkalmazásra

- ❖ Alapanyag: m4p™ StrengthAI
- ❖ Tervező: PUNTOZERO
- ❖ Gyártó m4p

Original Component	Material	Weight [g]
Link 1	AW-7075	207
Link 2	AW-7075	316

max. Deflection [mm]	max. Load [kN]
0,18	26
0,60	13



- ❁ Nyomtatási idő: 55 óra



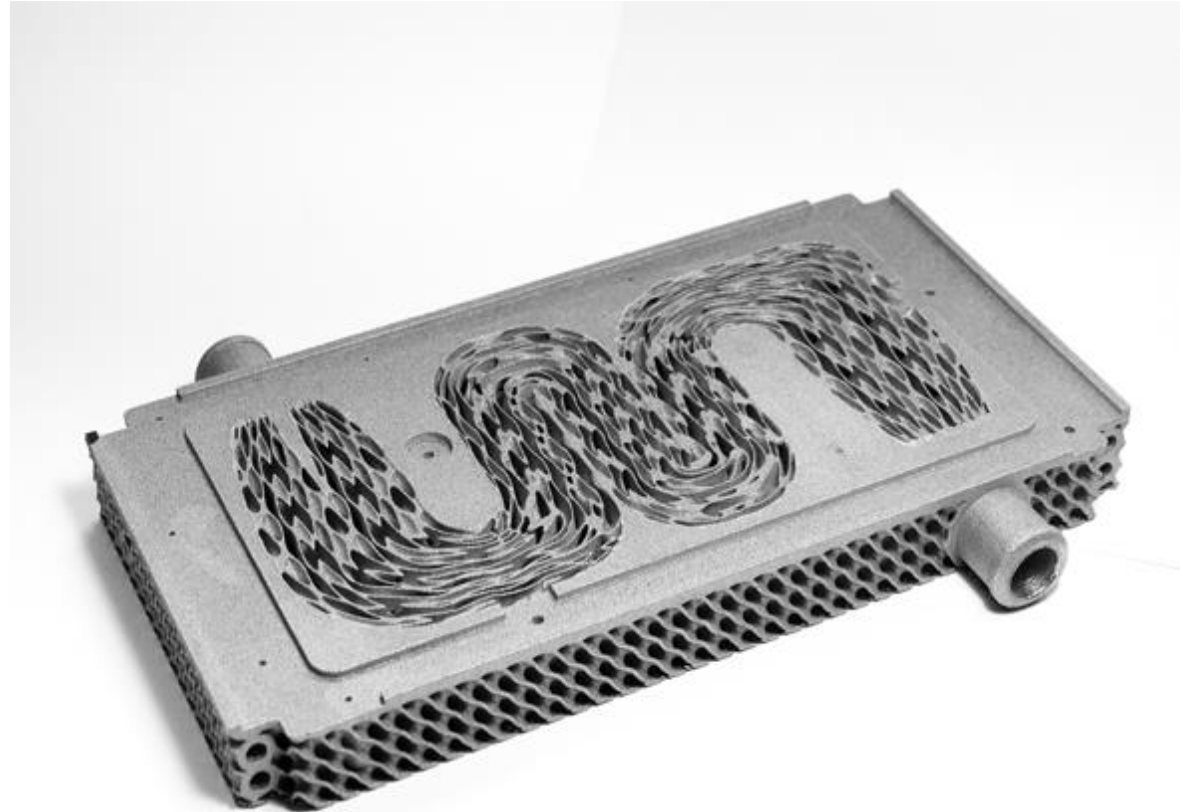
Original Component	Material	Weight [g]	max. Deflection [mm]	max. Load [kN]
Link 1	AW-7075	207	0,18	26
Link 2	AW-7075	316	0,60	13

Optimised Component	Material	Weight [g]	max. Deflection [mm]	max. Load [kN]
Link 1	StrengthAl	121	0,08	26
Link 2	StrengthAl	136	0,20	13

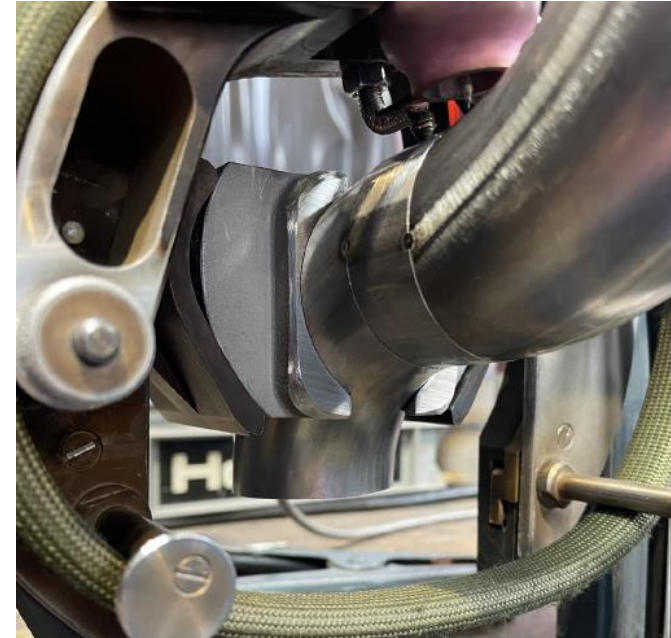
Weight reduction
-51%

Stiffness increase
+64%

- ❖ Alapanyag: m4p PureAl
- ❖ Tervező: PUNTOZERO
- ❖ Gyártó: m4p

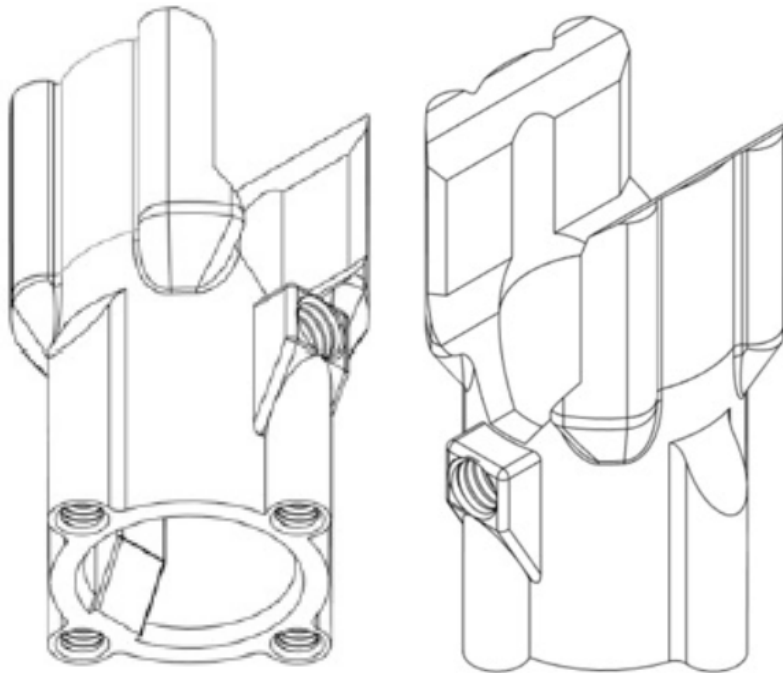


- ❖ Alapanyag: OCM 316L
- ❖ Tervező: Hoedtke Metall- und Lasertechnik
- ❖ Gyártó: One Click Metal
- ❖ Nyomtatási idő: 22,5 óra (2 db)



- ❖ 64%-al csökkenthető a gyártás megkezdéséhez szükséges átfutási idő

- ❖ Alapanyag: OCM 316L
- ❖ Tervező: -
- ❖ Gyártó: One Click Metal

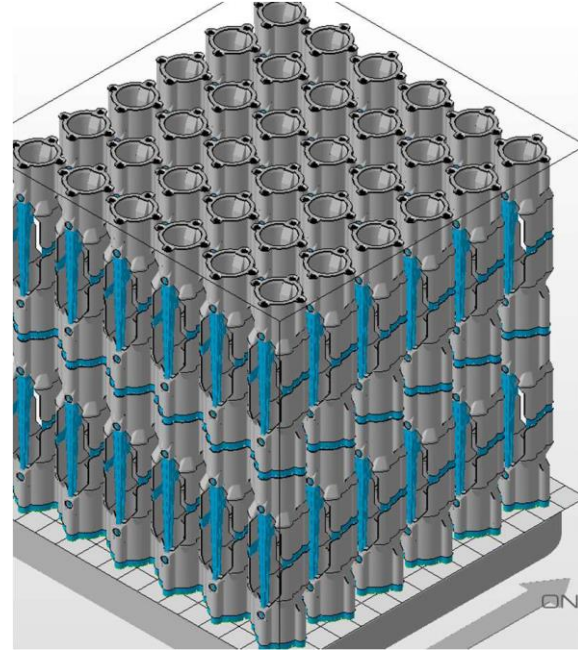


BOLDseries Metal 3D Printer

Technology	Laser Powder Bed Fusion	
Material Type	1.4404/316L	
Part mass	25g	
Fabrication time (per part)	25min (batch: 60,3h)	144 pcs/batch
Cost per part	11,05€	

Milling

Technology	CNC machining from solid metal block	
Material Type	1.4404/316L	
Part mass	52g	
Lead time	6 days	150 pcs/batch
Cost per part	21,45€	
Cost per part	15,26€.	500 pcs/batch





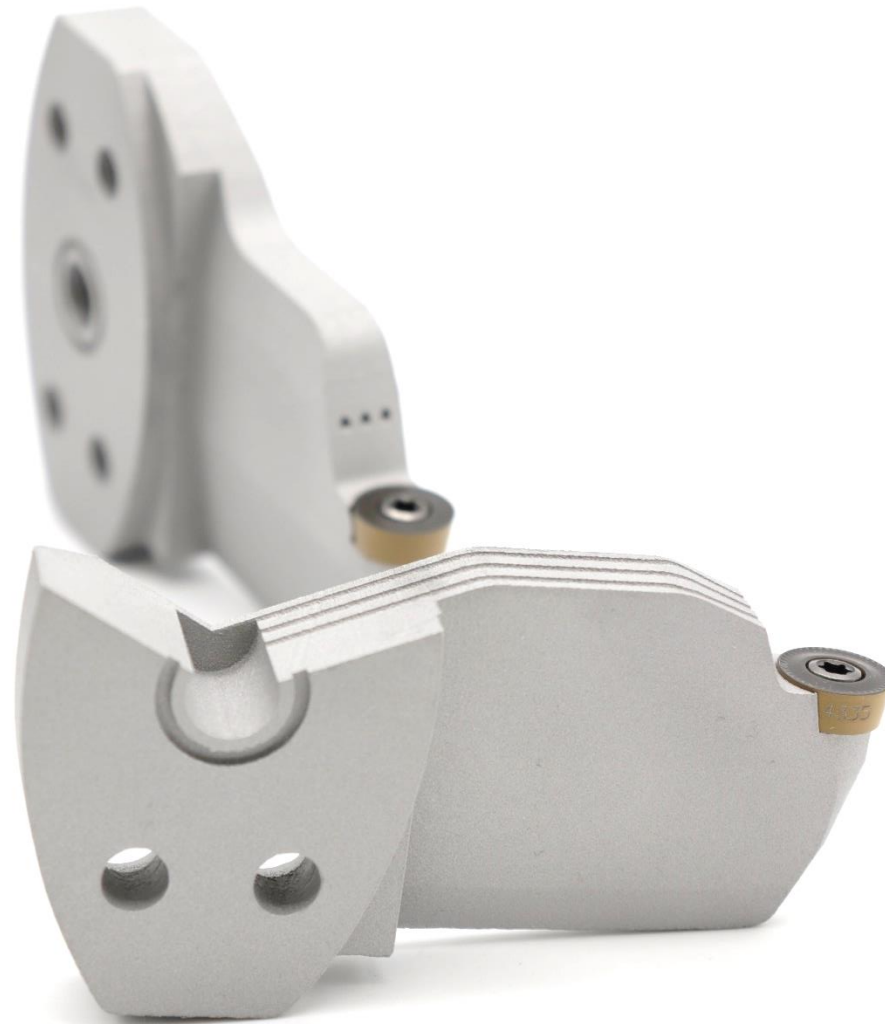
**Cost
saving**
48%



**Weight
Reduction**
52%

- ❖ Alapanyag: Ti Grade 23

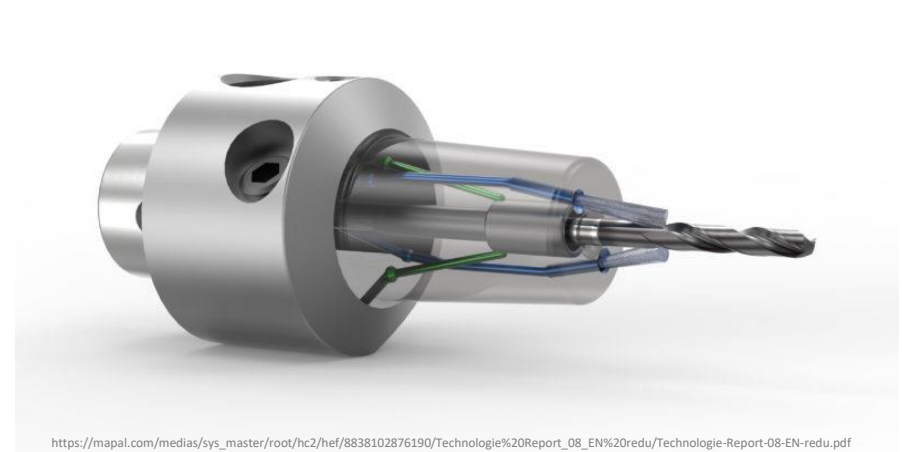




☼ Hagyományos szerszámok



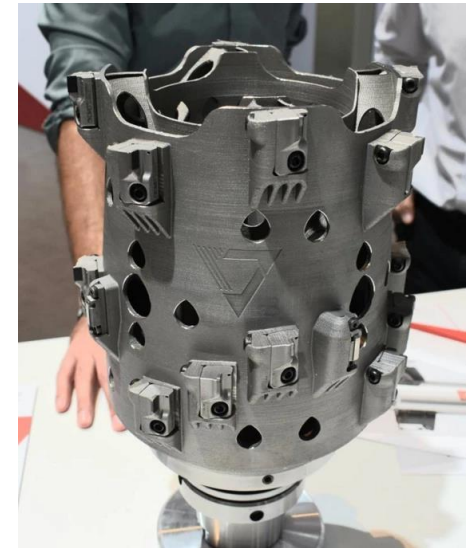
☼ Tokmányok



☼ Egyedi megoldások



<https://www.kennametal.com/us/en/about-us/news/kennametal-news/kennametal-revs-up-metal-cutting-innovation-with-3d-printed-tool.html>



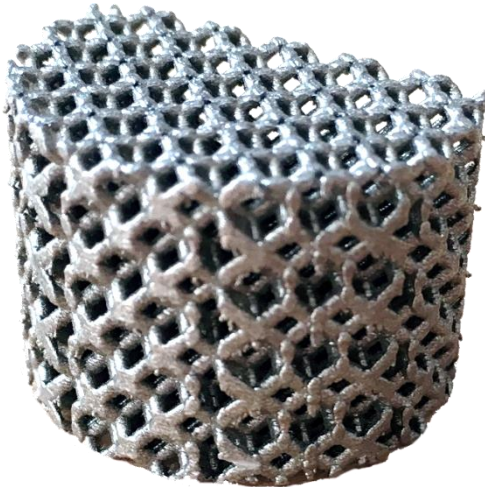
<https://cuttingtools.ceratzit.com/gb/en/tool-solutions/additivemanufacturing.html>



Mercedes-Benz Trucks' first metal AM spare part (Courtesy Daimler AG)



3D printed T25 sensor enclosure unit produced by GE Aviation and certified by FAA, Jet engine nozzle 3D printed by GE







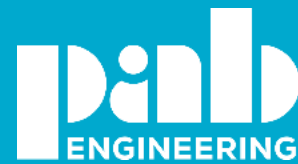
Partnerek:



Additive CADS



ONE CLICK METAL



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

„A jó nem elég, csak a tökéletes”

Pammer Dávid

david.pammer@pab.hu

+36 20 519 00 29

www.pab.hu