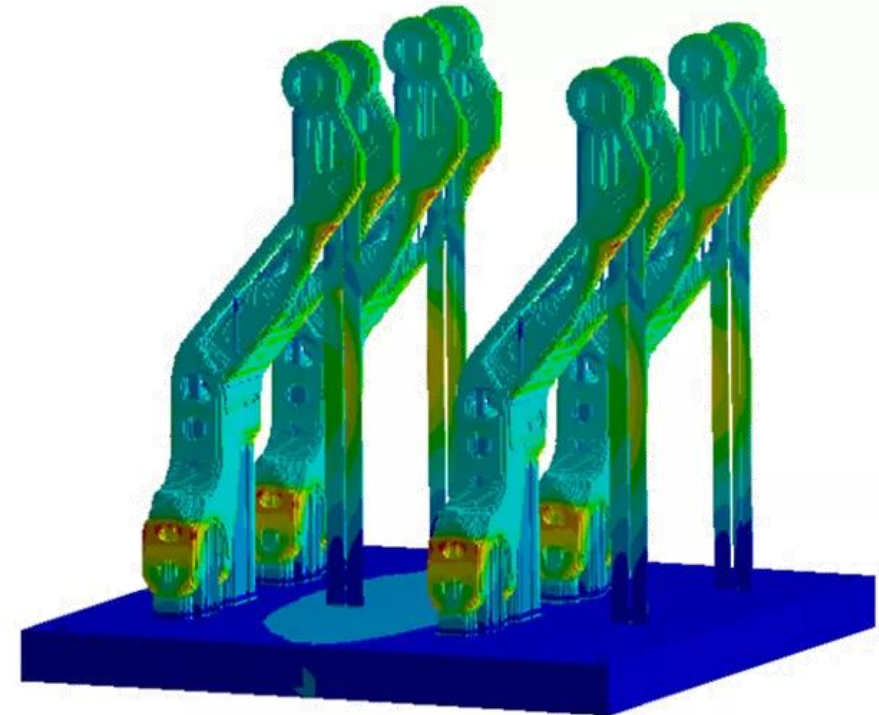


A 3D NYOMTATÁS TERMODYNAMIKAI ALAPJAI ÉS VÉGESELEMES ANALÍZISE

i3D TECHNOLOGIES KFT WORKSHOP

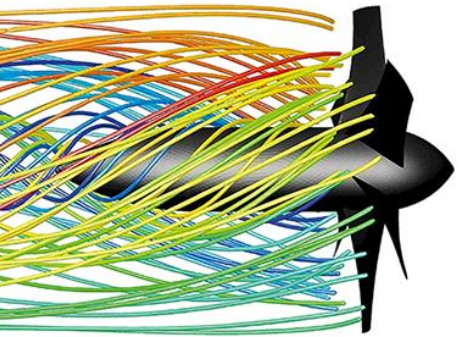
Dr. LIPÓCZI GERGELY, KERESKEDELMI IGAZGATÓ

2025.03.11.



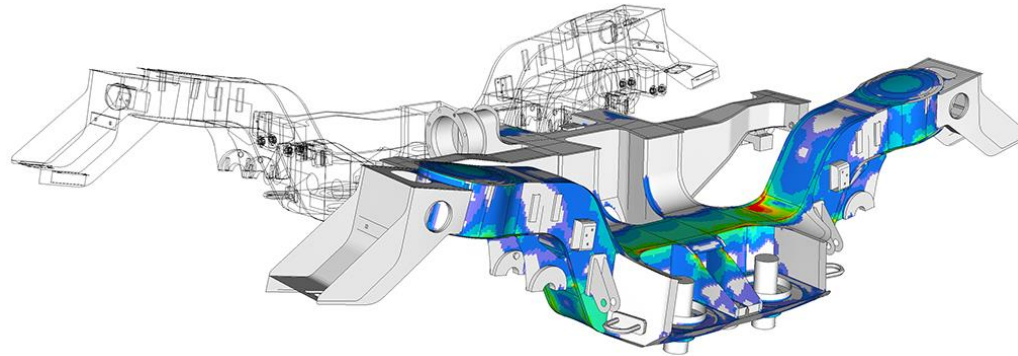
TEVÉKENYSÉGÜNK

MÉRNÖKI SZIMULÁCIÓS MEGOLDÁSOK



- ▶ Végeselem módszer
- ▶ Áramlástanai szimulációk
- ▶ Több test rendszerek szimulációja
- ▶ 1D Rendszer szimulációk

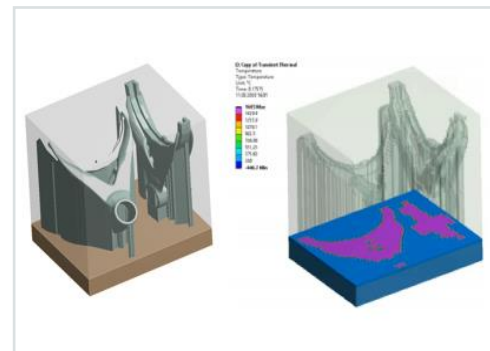
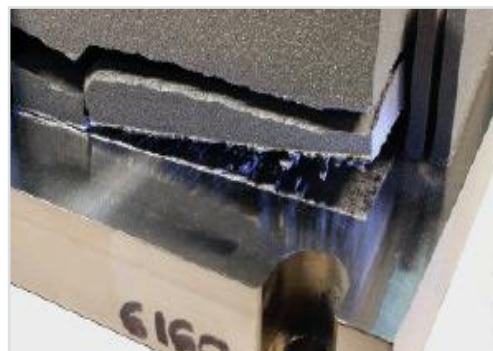
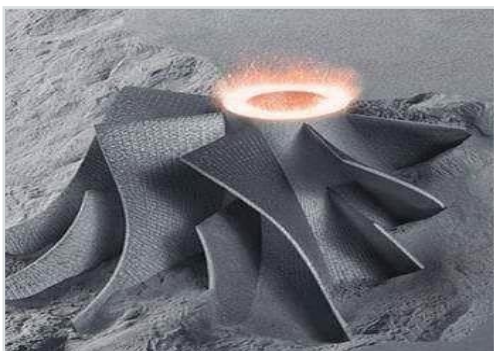
- ▶ Ansys Channel Partner
- ▶ Moldex3D viszonteladó
- ▶ Ügyféltámogatás (support)
- ▶ Szoftver oktatás (training)



AUTOMATIZÁLÁSI MEGOLDÁSOK

- ▶ Gyártási technológia
- ▶ Automatizálás
- ▶ Robotizálás
- ▶ Egyedi célgéptervezés
- ▶ Robotcellák és tesztelésük





ADDITÍV GYÁRTÁS

KIHÍVÁSOK

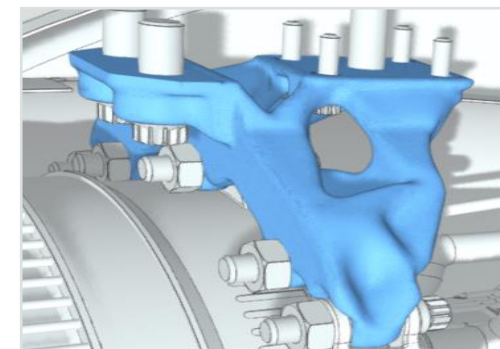
STRATÉGIÁK



ELŐNYÖK

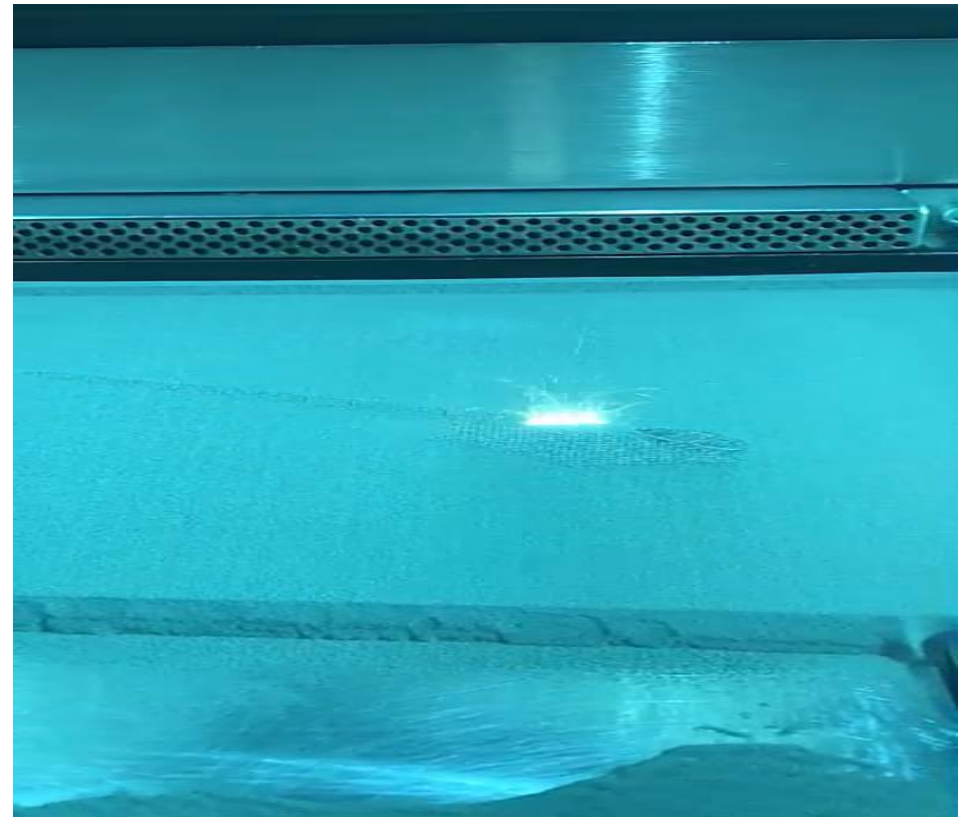
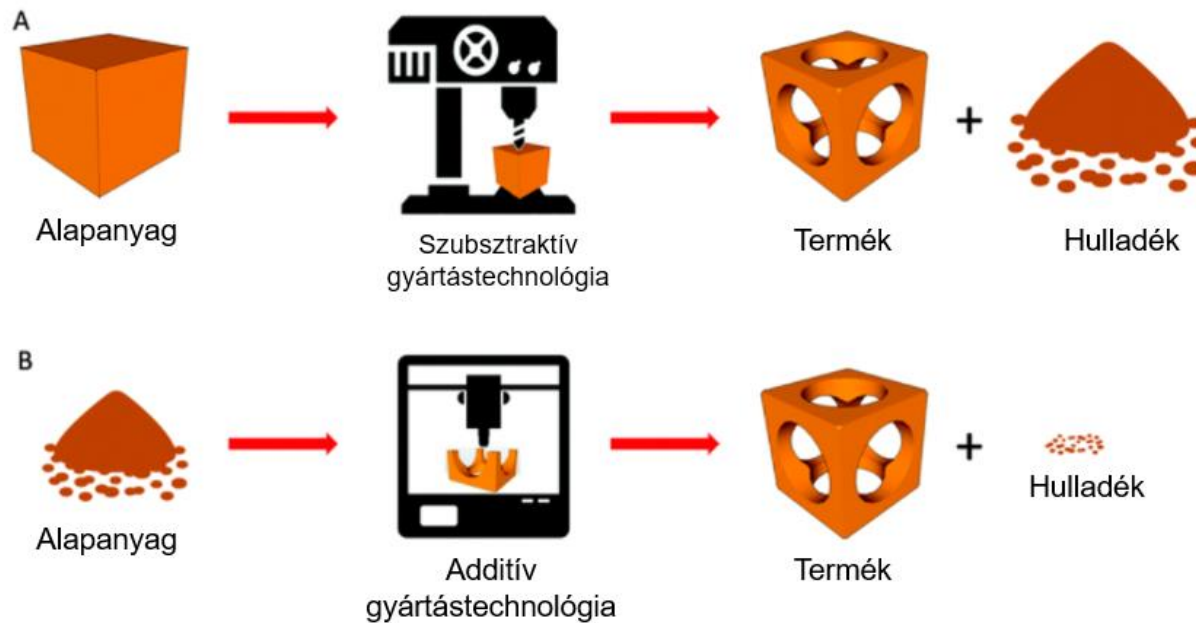
SZIMULÁCIÓ

EREDMÉNYEK

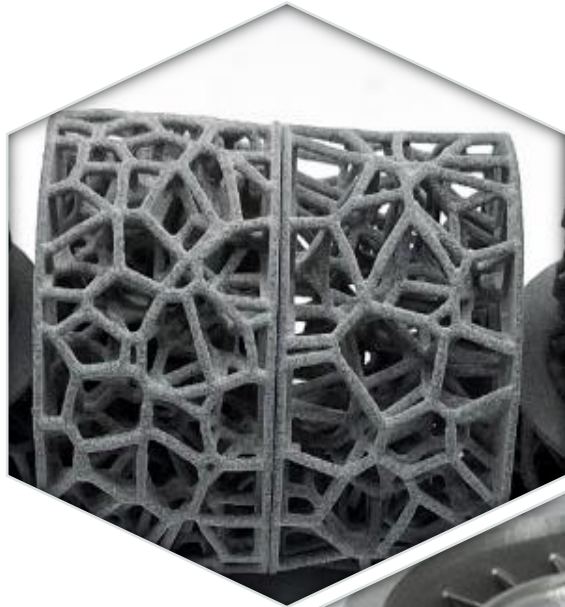


MIT NEVEZÜNK ADDITÍV GYÁRTÁSNAK?

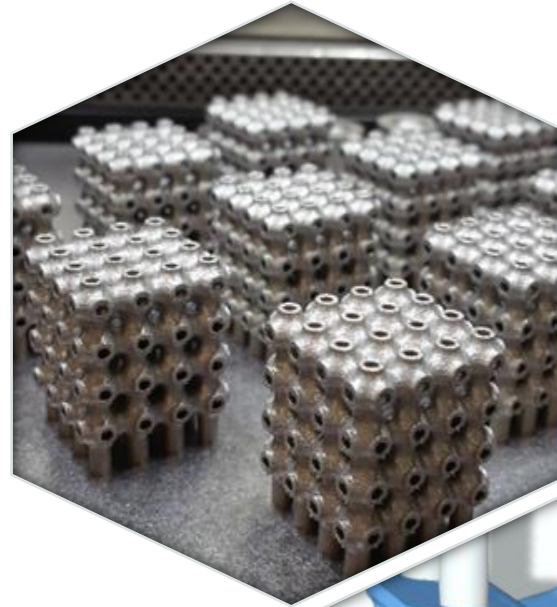
- ▶ Additív gyártás alatt azt a folyamatot értjük, amelynek során 3D modellből kiindulva, általában **rétegről rétegre** (20-100 μm) haladva, **anyag hozzáadással** tárgyakat készítünk.
- ▶ A technológiával az anyagok széles skálája feldolgozható, elsősorban **orvostechnikai** és a **repüléstechnikai** termékekhez.



MIK AZ ADDITÍV GYÁRTÁS ELŐNYEI?



Komplex,
gyárthatatlan
geometriák

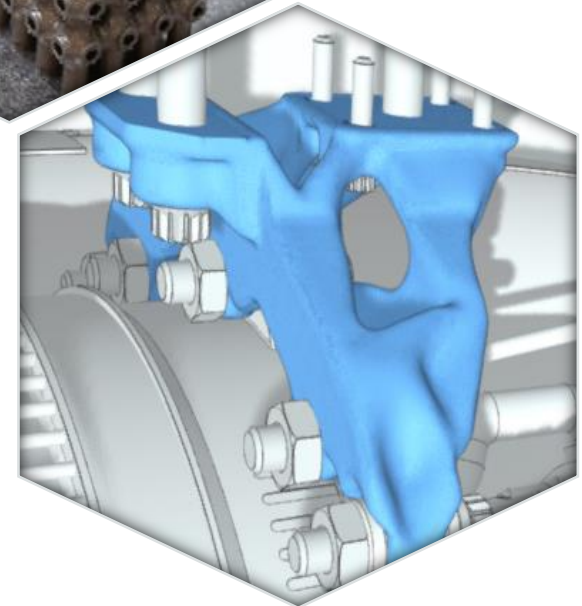


Új anyag-
tulajdonságok
létrehozása

Összevont,
bennszülött
alkatrészek

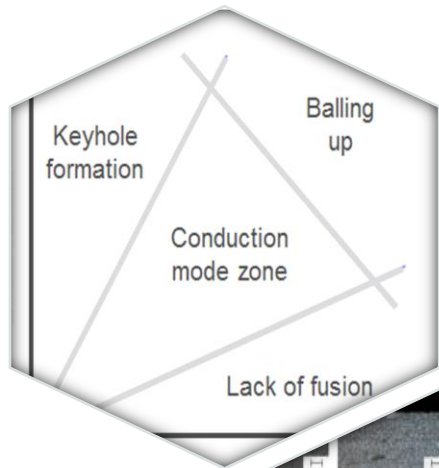


Hulladék
csökkentése,
fenntarthatóság



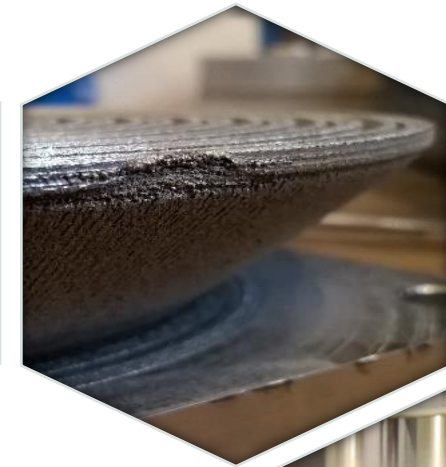
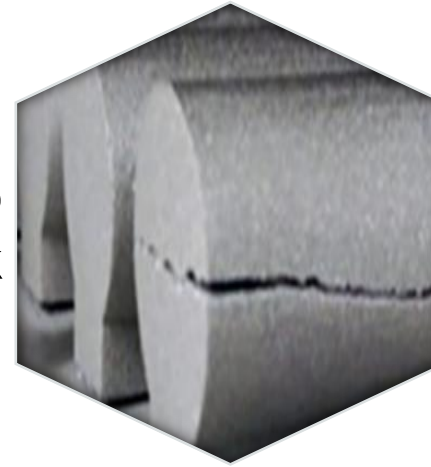
A képek a Lubrizol, Velo3D és Louisvillai Egyetem tulajdona

AZ ADDITÍV GYÁRTÁS TECHNOLÓGIAI KIHÍVÁSAI



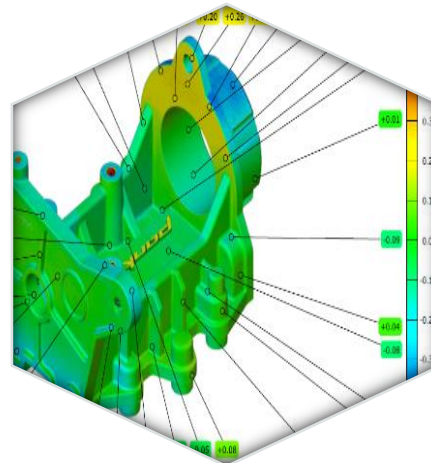
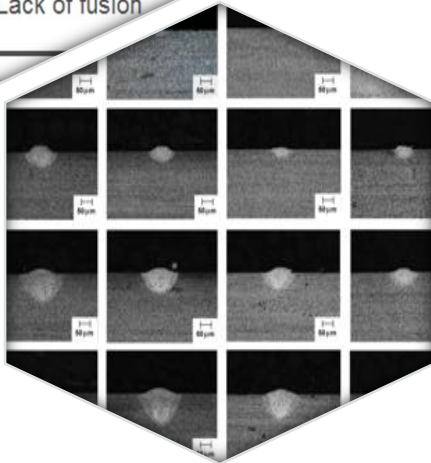
Gyártás-
technológia

Maradó
feszültségek



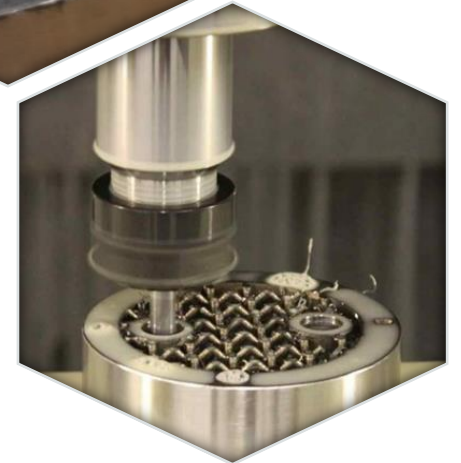
Minősítés,
tanúsítás

Optimális
gyártási
paraméterek



Méret-
pontosság

Utólagos
megmunkálás



MIBEN SEGÍTHET A SZIMULÁCIÓ?

1 FOLYAMATOK JAVÍTÁSA

Tervezési idő
Gépkihasználtság
Anyagigény
Ismételhetőség
Minőség

2 ERŐFORRÁSOK CSÖKKENTÉSE

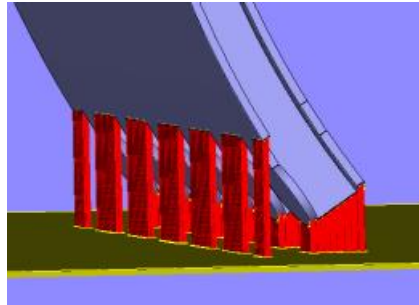
Elakadt nyomtatások
Hibás termékek
Utómunkálatok ideje
Empirikus vizsgálatok
Karbantartási költségek
Környezeti lábnyom
Átfutási és fejlesztési idő

3 TECHNOLÓGIÁK FEJLESZTÉSE

Új alapanyagok
Új gépek
Új paraméterek
Mikroszerkezet
Mechanikai tulajdonságok

SZIMULÁCIÓ ELŐNYEI AZ ADDITÍV GYÁRTÁSBAN

HAGYOMÁNYOS TERVEZÉSI FOLYAMAT



többszörös iteráció



KONCEPCIÓ

TERVEZÉS

VALIDÁCIÓ

GYÁRTÁS

idő

1

2

3

4

5

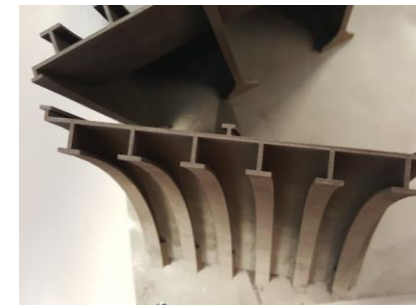
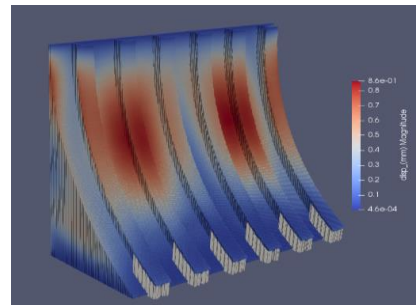
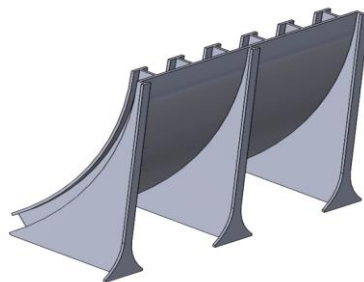
KONCEPCIÓ

TERVEZÉS

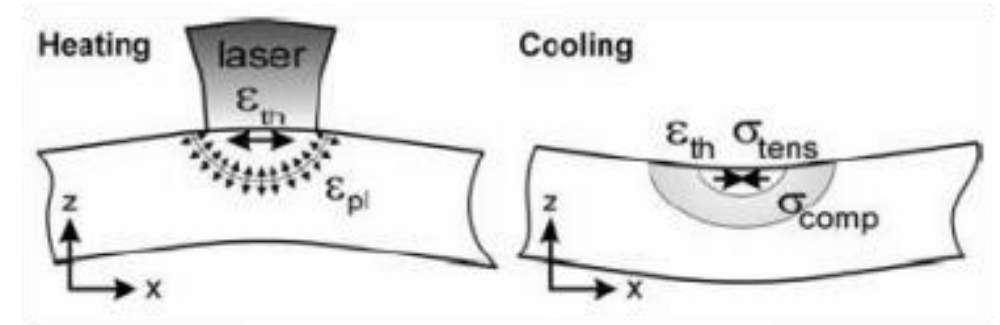
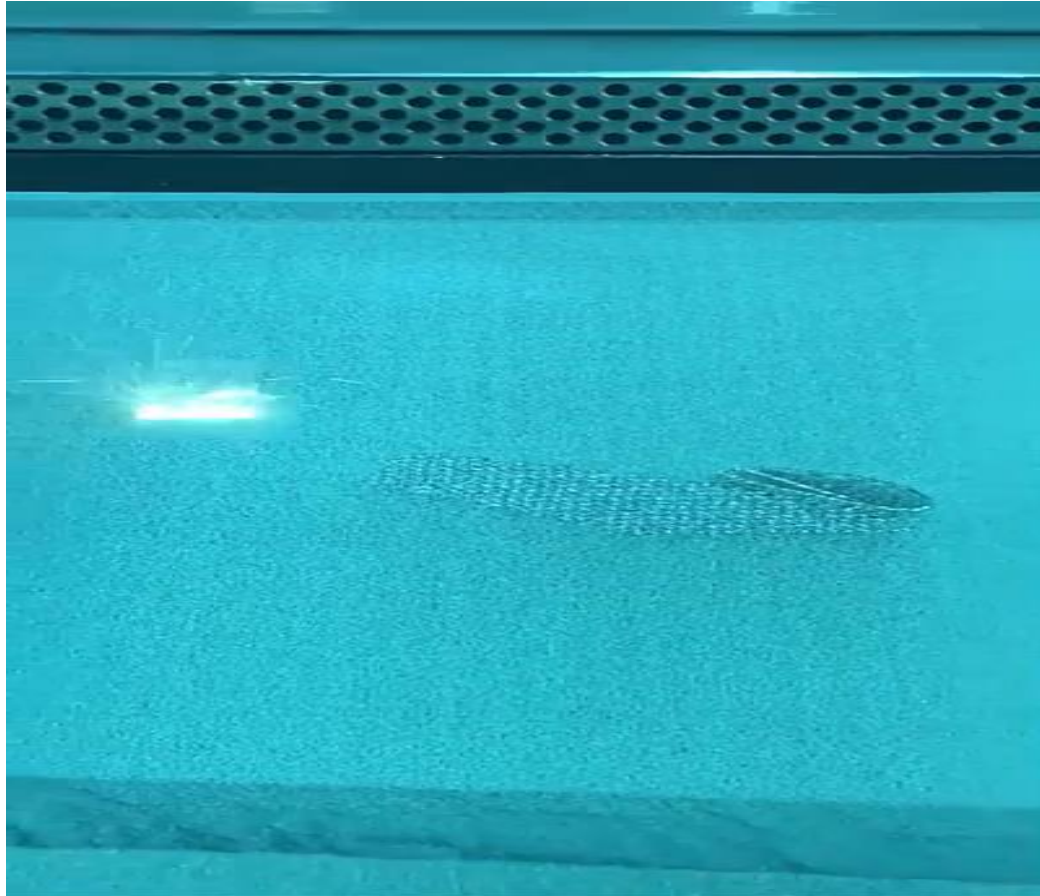
VALIDÁCIÓ

GYÁRTÁS

SZIMULÁCIÓVAL TÁMOGATOTT TERVEZÉS



TECHNOLÓGIAI JELLEMZŐK



Maradó feszültség



Delamináció és törés

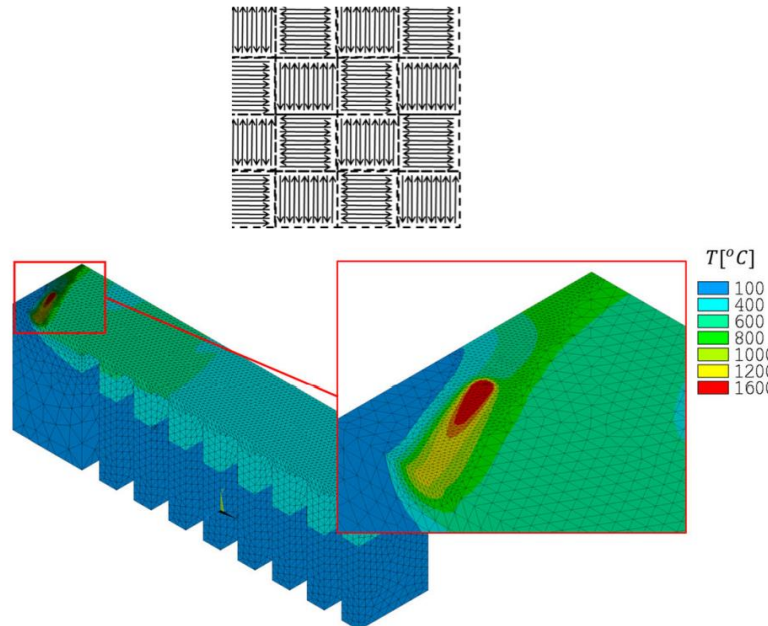
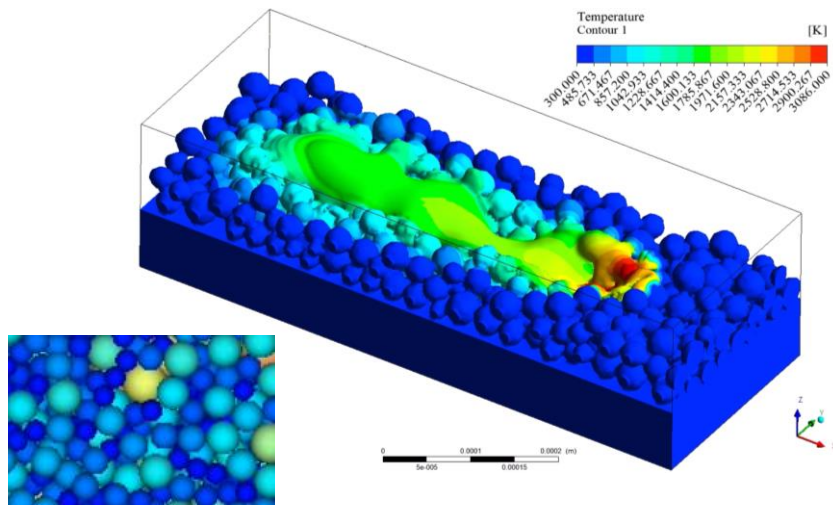
Peter Mercelis and Jean-Pierre Kruth, Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting, Rapid Prototyping Journal, Volume 12 · Number 5 · 2006 · 254–265
<https://www.metal-am.com/articles/how-residual-stress-can-cause-major-build-failures-in-3d-printing/>

KOMPLEX KIHÍVÁSOK AZ ADDITÍV GYÁRTÁSBAN

MEZO SZINT

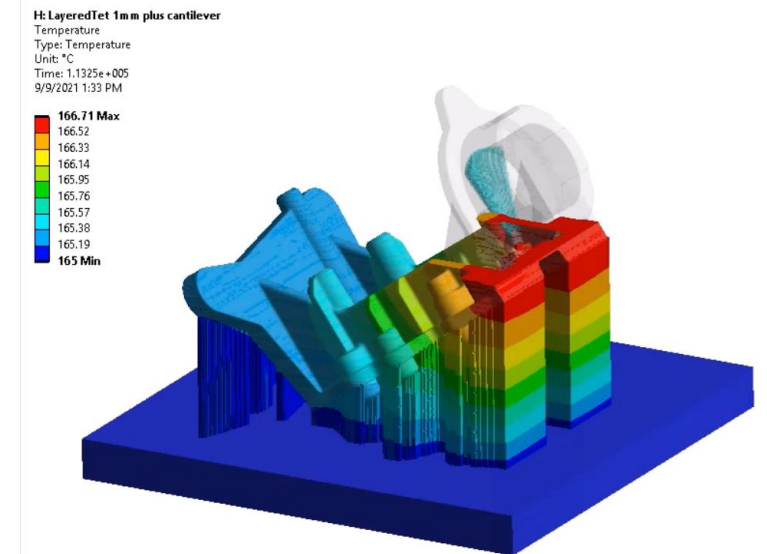
Hőtan-áramlásan,
részecskedinamika

Szkennelési mintázat,
Termo-mechanika



MAKRO SZINT

Rétegenkénti
elemzés

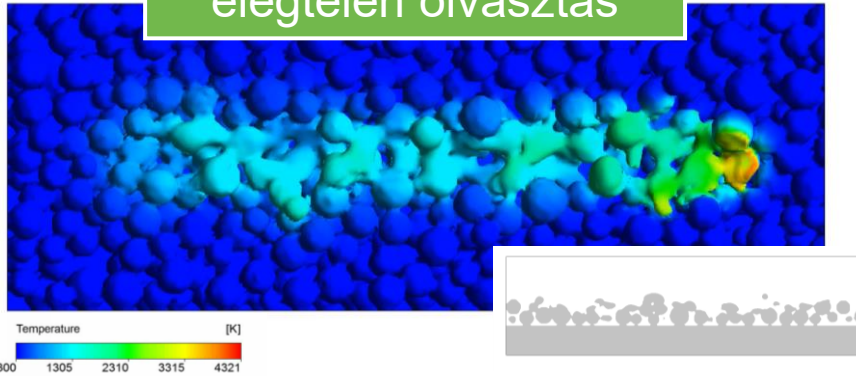


“Modeling of solidification microstructure evolution in laser powder bed fusion fabricated 316L stainless steel using combined computational fluid dynamics and cellular automata”, Yi Zhang, 2019
Olleak, A., Xi, Z. A scan-wise adaptive remeshing framework for thermal simulation of the selective laser melting process. Int J Adv Manuf Technol 107, 573–584 (2020).

HŐTANI-ÁRAMLÁSTANI MODELL (MEZO)

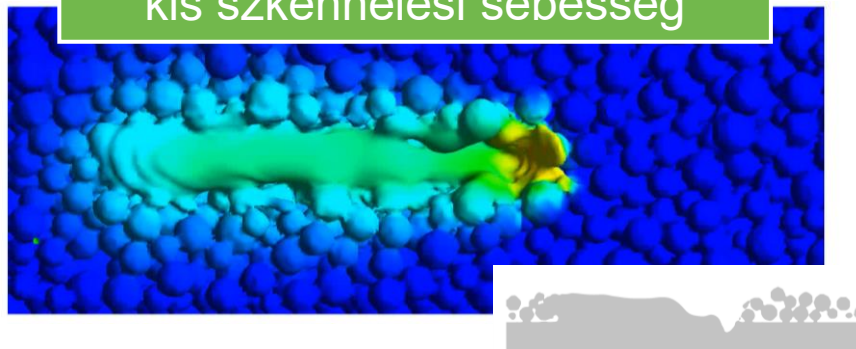
Magas porozitás,
elégtelen olvasztás

7
m/s



Tömorség, alacsony porozitás
kis szkennelési sebesség

1,5
m/s



1

PARAMÉTEREK

Szkennelési mintázat

Lézerek száma és teljesítménye

Lézernyaláb átmérője

Alapanyagok típusa

Kamragáz összetétele

Gázáramlás sebessége

Poragy sűrűsége és szemcseméret

Olvasztási vastagság

Asztal hőmérséklet

2

EREDMÉNYEK

Olvadék geometria

Hőterhelt zóna (HAZ)

Porozitás mérete és eloszlása

Hőmérséklet gradiensek

Fröcskölés

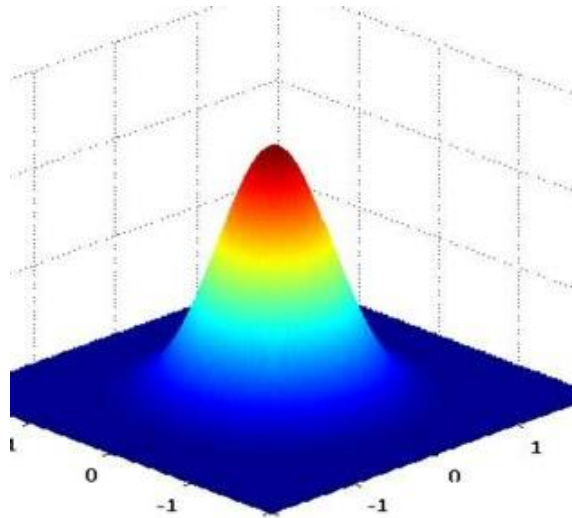
Balling

Keyholing

Felületi érdesség

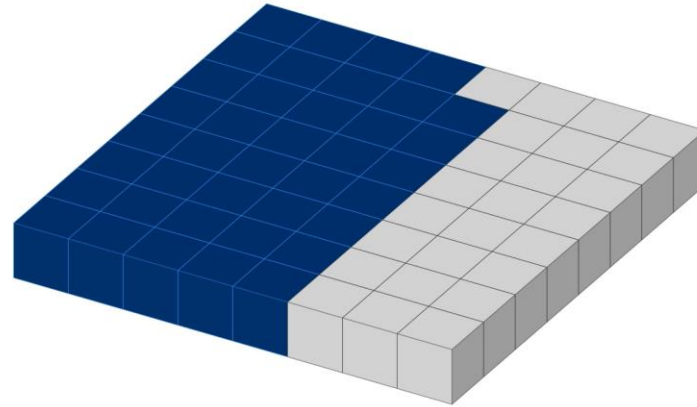
SZKENNELÉSI MINTÁZAT TERMO-MECHANIKAI MODELL I. (MEZO)

Hőforrás
hőárama

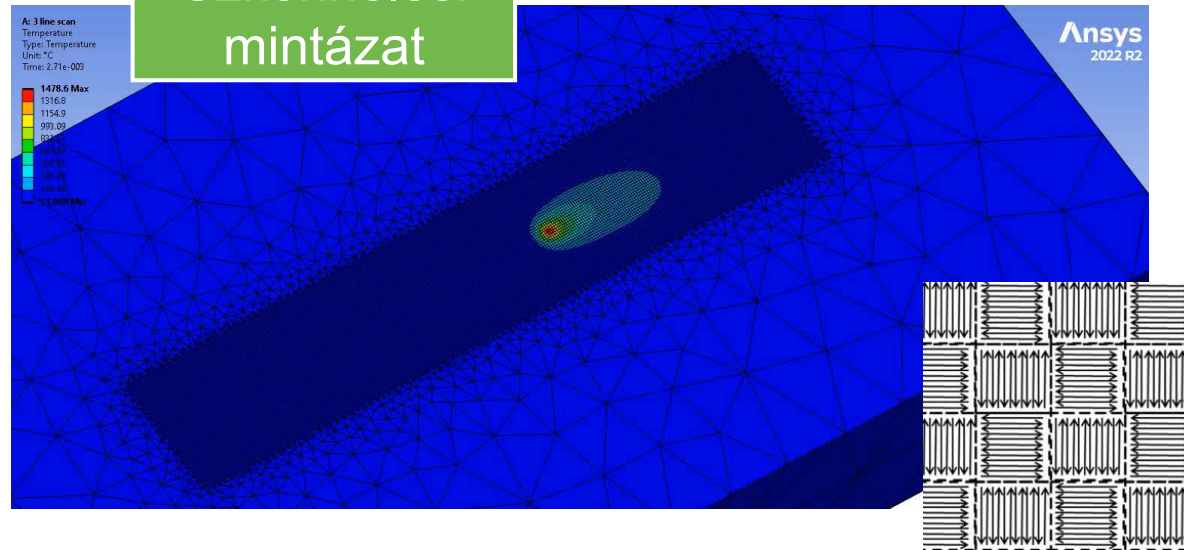


$$Q_i(t) = \frac{6\sqrt{3}aP}{r_{spot}^2 c \pi \sqrt{\pi}} e^{-3 \left(\left(\frac{(x_i - V_{xt})^2 + (y_i - V_{yt})^2}{r_{spot}^2} \right) + \left(\frac{z_{layer} - z_i}{c} \right)^2 \right)}$$

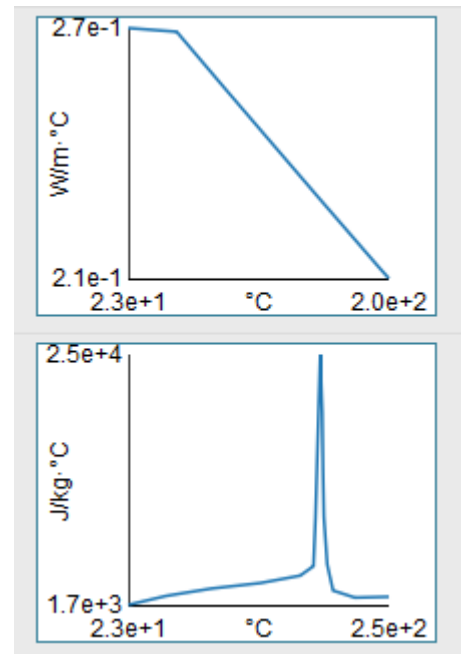
Elemek
aktiválása



Szkennelési
mintázat



Hőmérsékletfüggő
anyagtulajdonságok



SZKENNELÉSI MINTÁZAT TERMO-MECHANIKAI MODELL II. (MEZO)



1 PARAMÉTEREK

Szkennelési paraméterek

Lézerek száma

Lézer teljesítménye

Rétegvastagság

Termék orientációja

Termék elhelyezése (nesting)

Támaszanyag (support)

2 EREDMÉNYEK

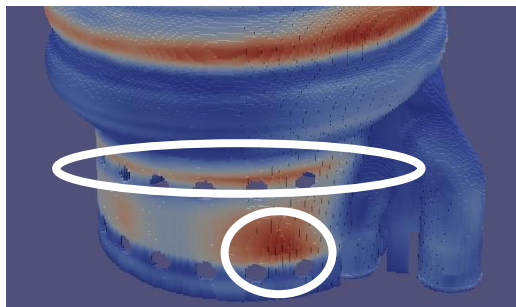
Termikus gradiensek

Por hatása a hőtani tul.-okra

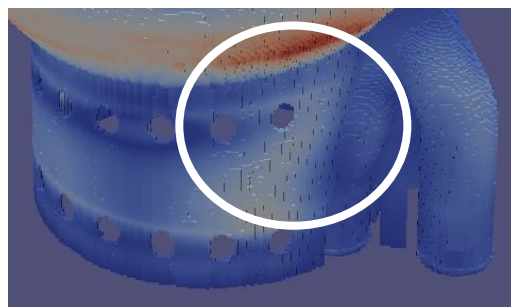
Maradó feszültségek

Deformációk

Feszültség kompenzáció



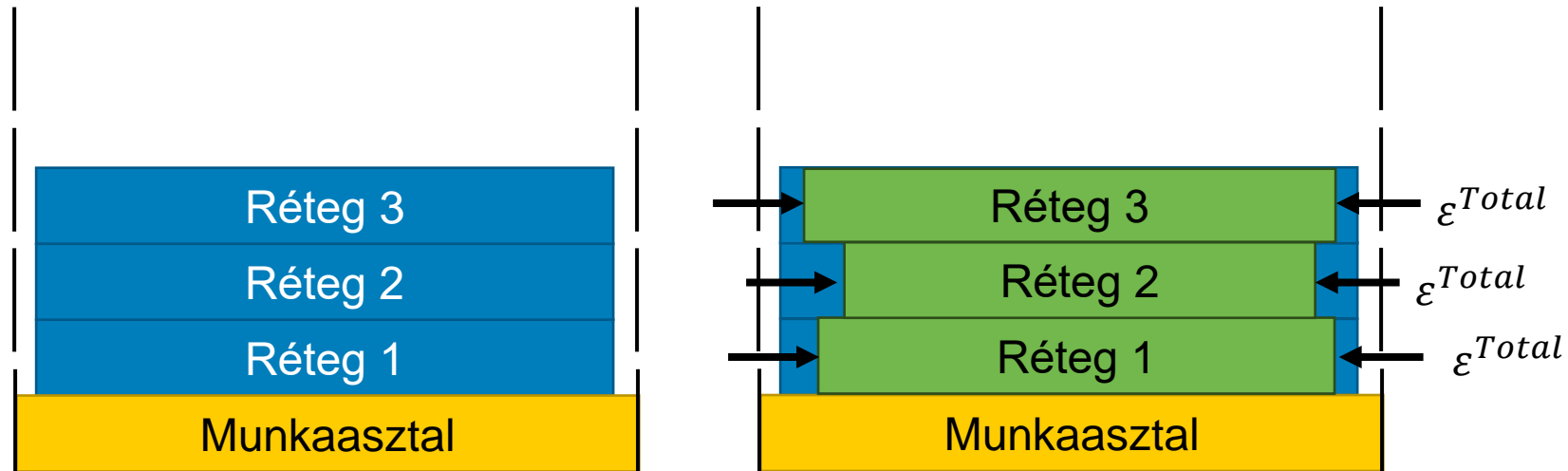
Hőcserélő
hőterhelése



Belső
feszültségek

RÉTEGENKÉNTI ELEMZÉS-RÉTEGEK EGYMÁSRA HATÁSA (MAKRO)

- ▶ Az additív gyártás **komplex folyamat**, az alkatrész előállításához kétféle térbeli mozgás szükséges:
 - ▶ síkbeli mozgás a réteg elkészítéséhez, majd
 - ▶ függőleges építkezés.
- ▶ A hőhatás miatt **maradó feszültségek** keletkeznek a szerkezetben.
- ▶ A **maradó feszültségeken alapuló számítási metódus** egy hatékony módszer komplex problémák megoldására.

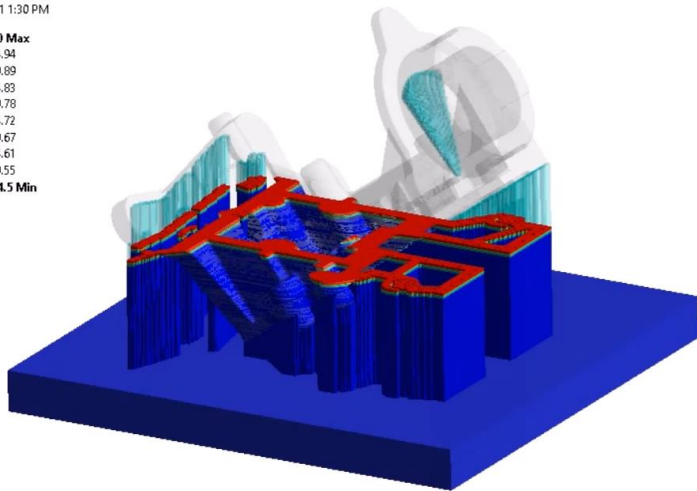


$$\varepsilon^{Total} = \varepsilon^{elastic} + \varepsilon^{plastic} + \varepsilon^{thermal} + \varepsilon^{phase\ change} + \varepsilon^{creep}$$

BELSŐ FESZÜLTSEGEK VIZSGÁLATA (MAKRO)

H: LayeredTet 1 m plus cantilever
Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 70241
9/9/2021 1:30 PM

570 Max
524.94
479.89
434.83
389.78
344.72
299.67
254.61
209.55
164.5 Min



1

PARAMÉTEREK

Hőmérséklet

Rétegvastagság

Szkennelési sebesség

Termék orientáció

Termék elhelyezés (nesting)

Támaszanyag (support)

2

EREDMÉNYEK

Termikus gradiensek

Por hatása a hőtani tul.-okra

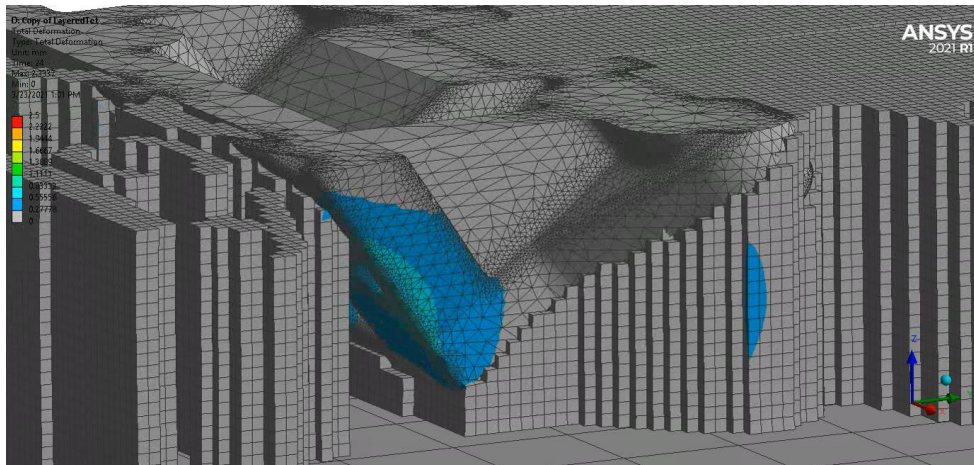
Maradó feszültségek

Deformációk

Termikus "forró pontok" (hotspots)

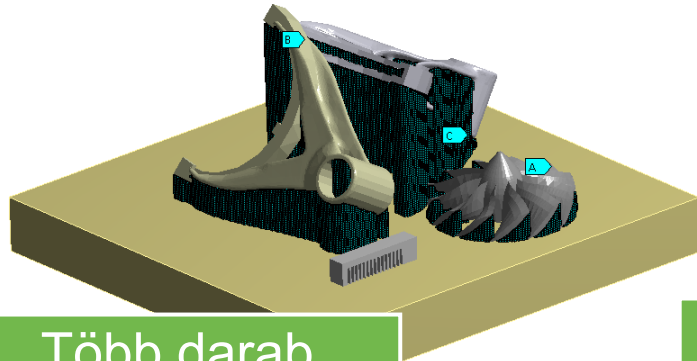
Porterítő igénybevétel

Feszültség kompenzáció

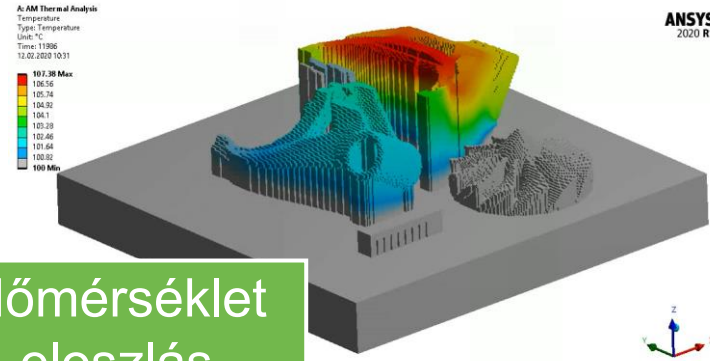


A SZIMULÁCIÓBAN REJLŐ LEHETŐSÉGEK

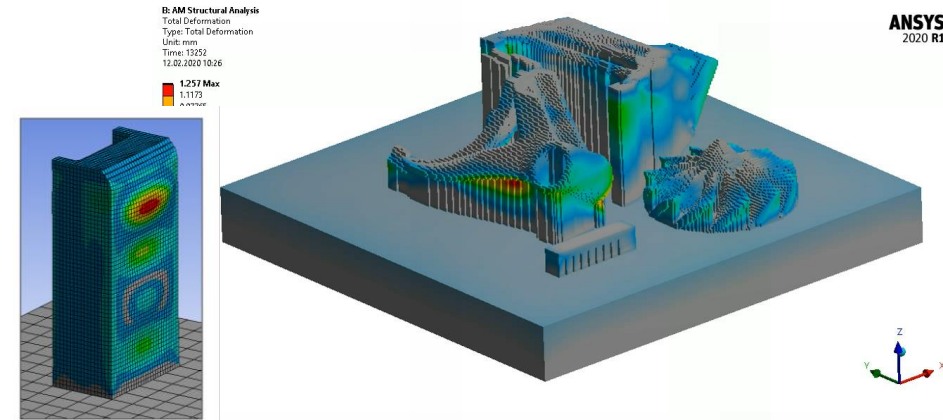
Deformációk és feszültségek



Több darab nyomtatása

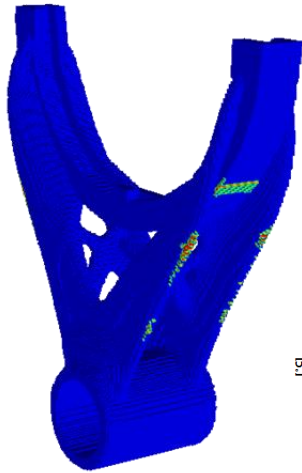


Hőmérséklet eloszlás

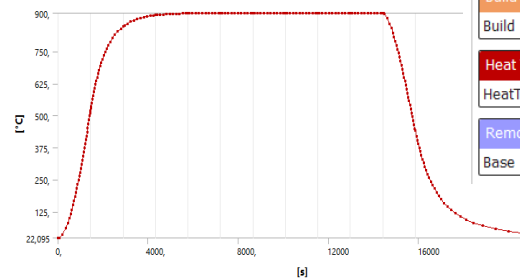


Hőkezelés tervezése

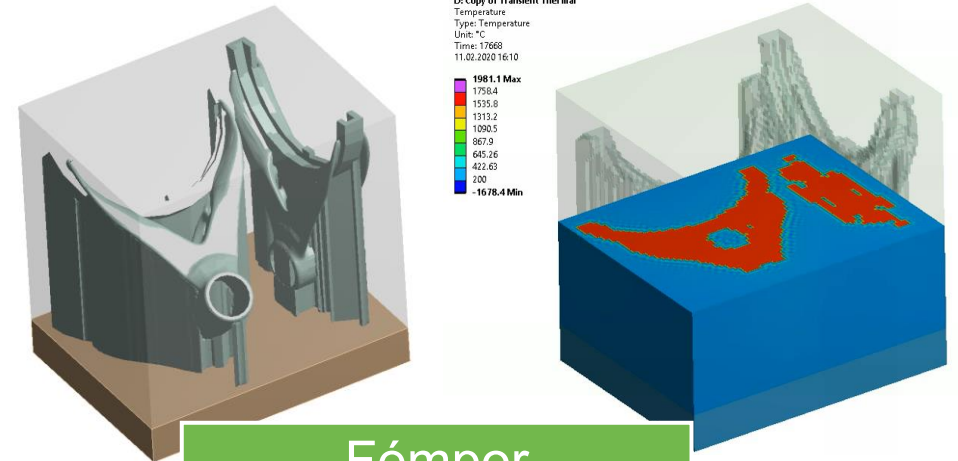
blade_crash_severity
1.000e+00
7.500e-01
5.000e-01
2.500e-01
0.000e+00



Gyártási hibák



Static Structural	
Build Step	
Build	
Heat Treatment Step	×
HeatTreatmentStep	
Removal Step	×
Base	



Fémpor felhasználhatósága

SZEMÉLYRE SZABOTT IMPLANTÁTUM

Egyedi, 3D nyomtatott
implantátumok

Célkitűzés

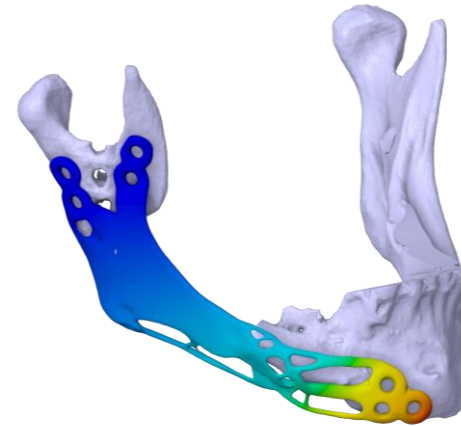
- ✓ Páciens életszínvonalának **javítása** 3D nyomtatott implantátum segítségével.
- ✓ Egyedi anatómiai- és mechanikai modellek gyors **fejlesztése**
- ✓ Implantátum élettartam ellenőrzése

Megoldás

- ✓ 3D szkennelt állkapocs geometria javítása, előkészítése az implantátum fejlesztéséhez. (*Discovery*)
- ✓ GPU alapú topológia optimalizálás a legjobb design elkészítéséhez. (*Discovery*)
- ✓ Geometria módosítása, 3D nyomtatásra való optimalizálás. (*Discovery*)

Előnyök

- ✓ **Rövid projekt futamidő**, implantátum elkészülte 10 napon belül.
- ✓ Iterációk, koncepciók **gyors** ellenőrzése egyetlen szoftverkörnyezetben.
- ✓ **Kiváló** mechanikai tulajdonságok – anyag többlet nélkül



Topológia optimalizálás és geometria
módosítás Ansys Discoveryben

RÁDIÓFREKVENCIÁS (RF) ALKATRÉSZEK

Célkitűzés

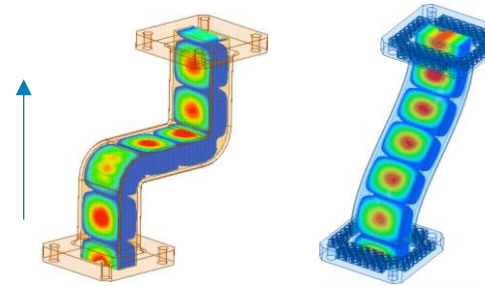
- ✓ Súlycsökkentés a rádiófrekvenciás alkatrészeknél
- ✓ Átviteli veszteség minimalizálása
- ✓ Komplex és nagy hatékonyságú, multifunkciós termékek gyártása az AM előnyeit kihasználva.

Megoldás

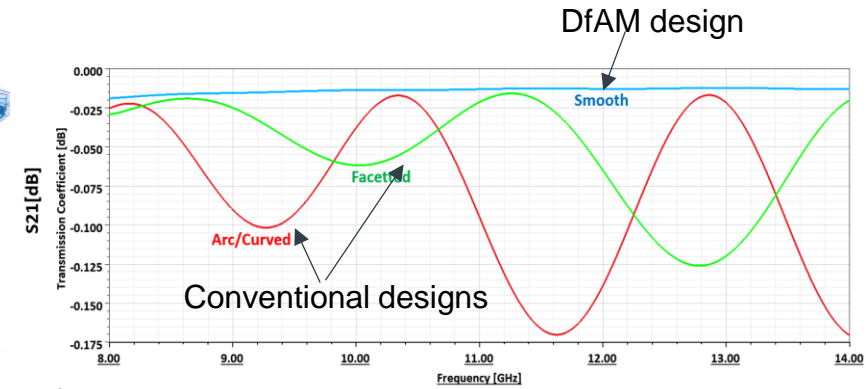
- ✓ Skálázható, nagyfrekvenciás elektromágneses, termikus és szerkezeti analízis az RF komponensek teljesítményének értékeléséhez. (HFSS, Mechanical, HPC)
- ✓ Fejlett optimalizálási stratégiák a gyors és hatékony tervezésért. (optiSlang)
- ✓ Gyártási paraméterek optimalizációja AM szimuláció segítségével (Additive Suite)

Előnyök

- ✓ Alkatrészek tömegcsökkentése akár 50%-al, a funkcionalitás megtartása mellett
- ✓ Kompakt kialakítás kevesebb illesztéssel, megnövelt átviteli hatékonyság.
- ✓ Rövidebb tervezési és fejlesztési ciklus, terméktervezés ideje 1 napra redukálható.

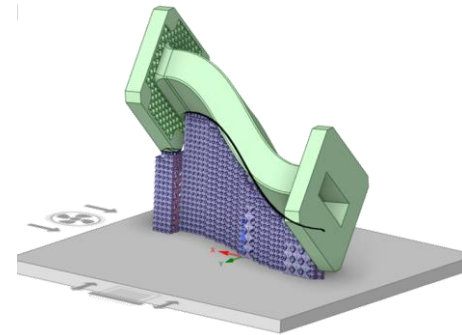


Conventional ARC/Curved Design (7 components) Smooth Waveguide for AM (single component)

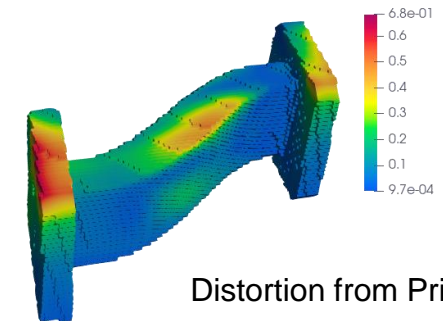


Waveguide Transmission Coefficient comparison

Szimuláció alapú tervezés a támaszanyag és gyártási idő csökkentésére



Build strategy evaluation



Distortion from Printing

Deformációval előkompenzált geometria

“TRIAL AND ERROR” TESZTELÉSI ITERÁCIÓK CSÖKKENTÉSE

Célkitűzés

- ✓ Súlycsökkentés és fogyasztás minimalizálás a kiemelkedő szerkezeti teljesítmény biztosítása mellett.
- ✓ Fejlesztési, gyártási és karbantartási ciklus gyorsítása az AM használatával, biztosítva a gyors alkatrész utánpótlást a versenyszezonban.
- ✓ Hibamentes gyártás biztosítása.

Megoldás

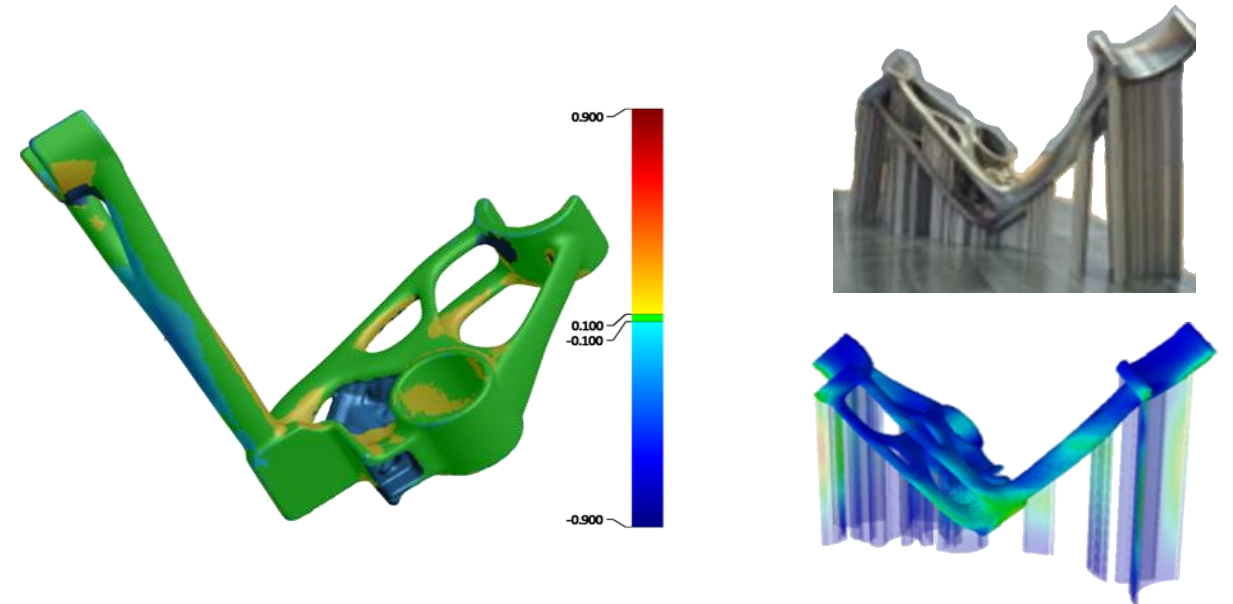
- ✓ Szerkezeti merevség optimalizáció és tömegcsökkentés. (Mechanical)
- ✓ Mérnökök támogatása a gyártástervezésben a hibamentes folyamat és gyártási idő csökkentés érdekében. (Additive Solution)

Előnyök

- ✓ Növelt teljesítmény 55%-os tömegcsökkentéssel.
- ✓ Minimalizált gyártási idő és költség a hatékony tervezésnek köszönhetően.
- ✓ Alkatrész selejtmentes gyártása, fejlesztési ciklus csökkentése versenyszezonban.



Optimalizált kormánytámasz
formula versenyautóhoz



RAKÉTA ALKATRÉSZ - VALIDÁLÁS ÉS KÖLTSÉGCSÖKKENTÉS

Célkitűzés

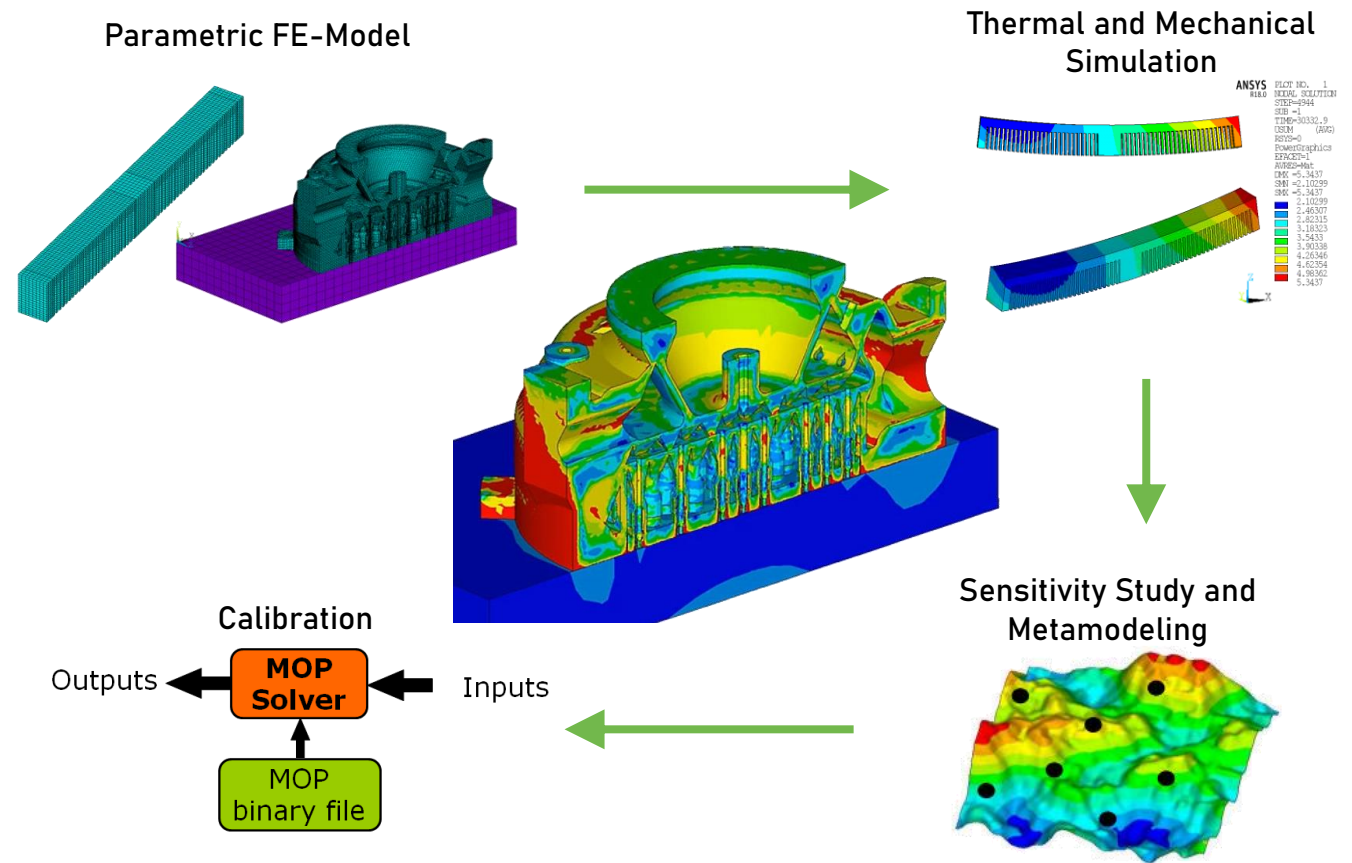
- ✓ Gyártási költségek és átfutási idő csökkentése, ezzel egyidőben a hatékonyság és robusztusság növelése, lehetővé téve az AM alkalmazását a repüléstechnika területén.
- ✓ Termék minősítés numerikus szimuláció alapján, "trial-and-error" fejlesztési metódus helyettesítése, hibás nyomtatások minimalizálása.

Megoldás

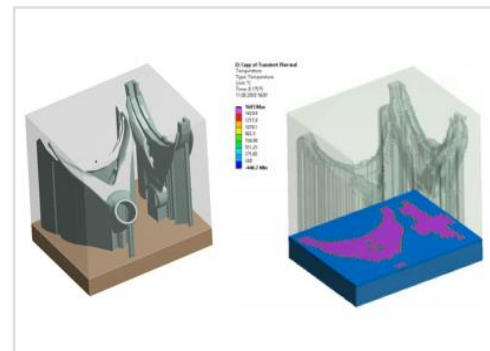
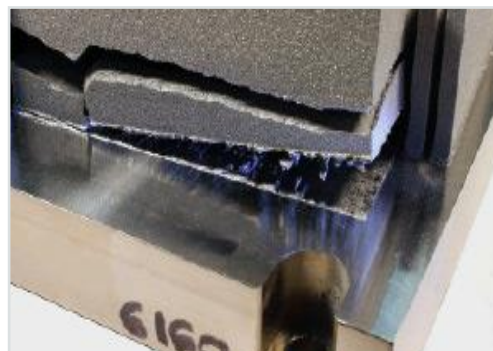
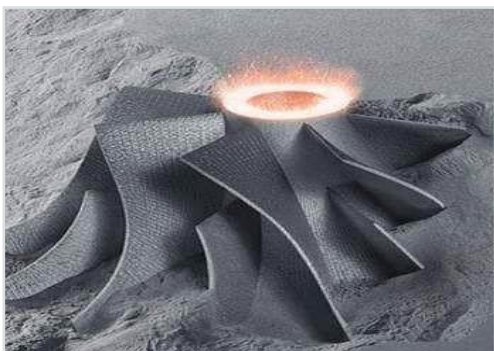
- ✓ Automatizált termékvalidációs folyamat. (Mechanical)
- ✓ Gyártás és folyamat szimuláció a lehetséges hibák korai felderítéséhez. (Additive Suite)
- ✓ Testreszabott és automatizált modell kalibrálás és parameter optimalizálás, a hagyományos "trial-and-error" módszerek költségének töredékéért. A Metamodel of Optimal Prognosis (MOP) megoldó 95%-al gyorsítja számításokat. (optiSLang)

Előnyök

- ✓ Jelentős költség és átfutási idő csökkentés
- ✓ Magas szintű termék megbízhatóság és hatékonyság.



Maradó feszültségek 3D nyomtatott injektor alkatrészén, (Ariane 5 hajtóműrendszer)



ADDITÍV GYÁRTÁS

KIHÍVÁSOK

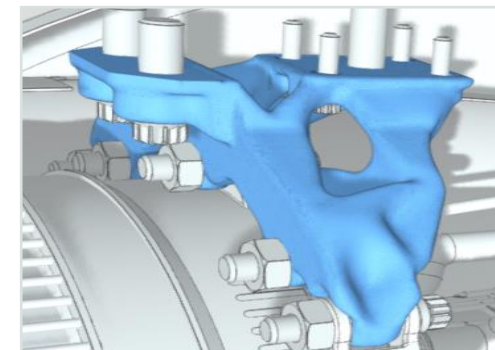
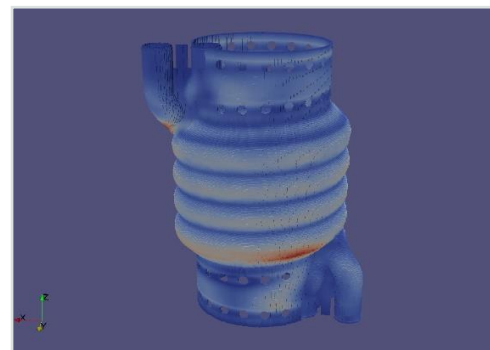
STRATÉGIÁK



ELŐNYÖK

SZIMULÁCIÓ

EREDMÉNYEK



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



eCon Engineering Kft.

H-1116 Budapest

Kondorosi út 3.

Tel.: +36-1-279-0320

www.econengineering.com