

Budoucnost aditivní výroby

David Paloušek

Ústav konstruování

Fakulta strojního inženýrství

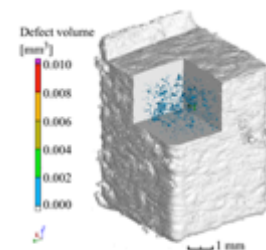
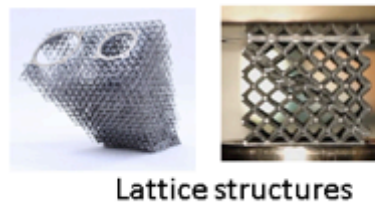
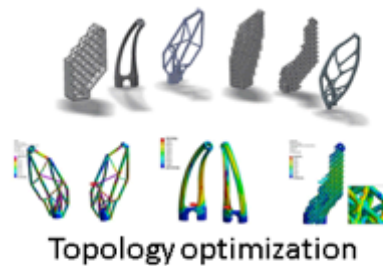
VUT v Brně



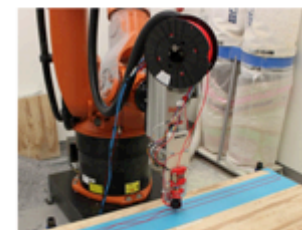
NETME Centre – FSI VUT Brno

Aktivita

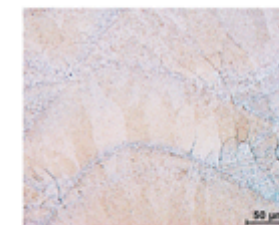
- SLM
- Nerezová ocel
- Slitiny Al
- Slitiny Cu
- 3D optická digitalizace
- Reverse Engineering
- Robotic 3D printing



Process parameters tuning



Robotic 3D printing



New materials for metal printing



Application of 3D printing

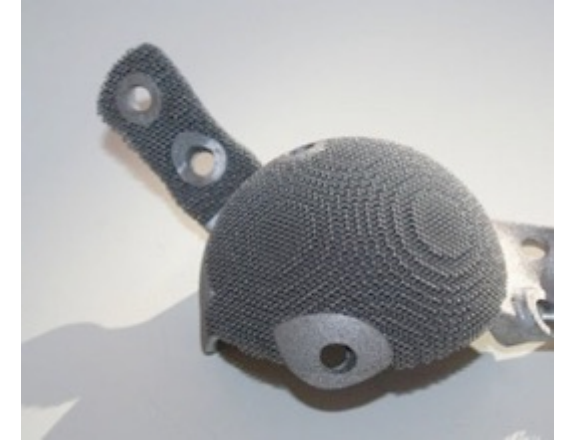
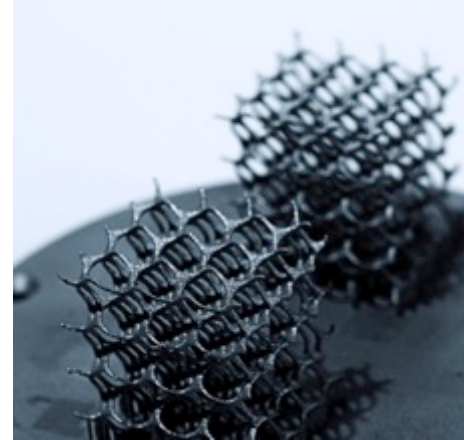
K čemu slouží aditivní výroba

K čemu slouží aditivní výroba

- Zkrácení vývoje produktu
- Výroba unikátních dílů (malé série)
- Tvarově složité díly
- Tenkostěnné a strukturované díly
- Výroba unikátních dílů
- Díly topologické optimalizace
- Díly pro ověření tvaru a funkce před sériovou výrobou
- Sériová výroba finálních dílů!**

Segmenty uplatnění

- Spotřební průmysl a elektronika
- Automobilový průmysl
- Letectví a kosmonautika
- Lékařství
- Zbrojní průmysl
- Stavební průmysl



Základní rozdělení

Podle:

Materiálu

- Plasty
- Kovy
- Keramika
- Kompozity
- Potraviny
- Stavební materiál

Způsobu zpracování

- Laser: sintering, melting,
- Electron beam
- Roztavení: FDM, SHS (Selective Heat Sintering),
- Chemicky
 - Světlo (UV, modré světlo...): stereolitografie
 - Kompozity: sádrokompozit a tvrdidlo
 - Beton
- Mechanicky, vyřezávání
- Hybridní technologie – obrábění a 3D tisk

Podle:

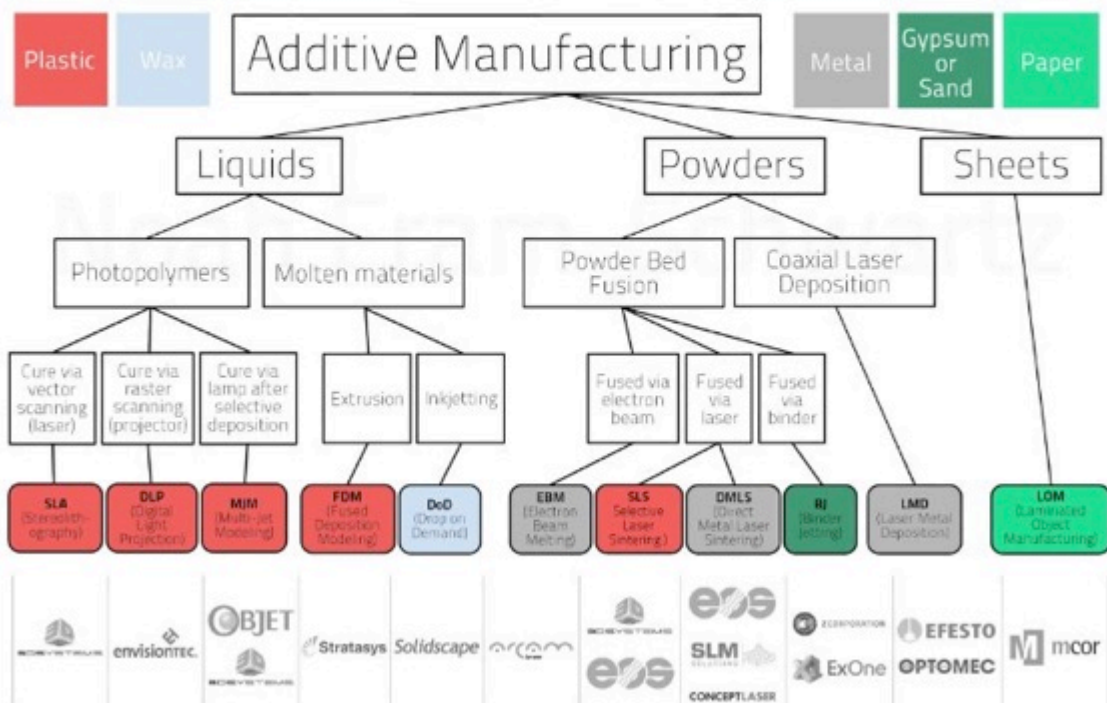
Formy dodávaného materiálu

- Filament, drát
- Folie
- Granulát
- Prášek
- Kapalina

Základní rozdělení

TYPES OF ADDITIVE MANUFACTURING

CREATED BY NOAH FRAM-SCHWARTZ



Classification

CATEGORIES	TECHNOLOGIES	PRINTED "INK"	POWER SOURCE	STRENGTHS / DOWNSIDES
Material Extrusion	Fused Deposition Modeling (FDM)	Thermoplastics, Ceramic slurries, Metal pastes	Thermal Energy	<ul style="list-style-type: none"> Inexpensive extrusion machine Multi-material printing Limited part resolution Poor surface finish
	Contour Crafting			
Powder Bed Fusion	Selective Laser Sintering (SLS)	Atomized metal powder (17-4 PH stainless steel, cobalt chromium, titanium Ti6Al-4V), ceramic powder	High-powered Laser Beam	<ul style="list-style-type: none"> High Accuracy and Details Fully dense parts High specific strength & stiffness Powder handling & recycling Support and anchor structure Fully dense parts High specific strength and stiffness
	Direct Metal Laser Sintering (DMLS)			
	Selective Laser Melting (SLM)			
	Electron Beam Melting (EBM)		Electron Beam	
Vat Photopolymerization	Stereolithography (SLA)	Photopolymer, Ceramics (alumina, zirconia, PZT)	Ultraviolet Laser	<ul style="list-style-type: none"> High building speed Good part resolution Overcuring, scanned line shape High cost for supplies and materials
Material Jetting	Polyjet / Inkjet Printing	Photopolymer, Wax	Thermal Energy / Photocuring	<ul style="list-style-type: none"> Multi-material printing High surface finish Low-strength material
Binder Jetting	Indirect Inkjet Printing (Binder SDP)	Polymer Powder (Plaster, Resin), Ceramic powder, Metal powder	Thermal Energy	<ul style="list-style-type: none"> Full-color objects printing Require infiltration during post-processing Wide material selection High porosities on finished parts
Sheet Lamination	Laminated Object Manufacturing (LOM)	Plastic Film, Metallic Sheet, Ceramic Tape	Laser Beam	<ul style="list-style-type: none"> High surface finish Low material, machine, process cost Decubing issues
Directed Energy Deposition	Laser Engineered Net Shaping (LENS) Electronic Beam Welding (EBW)	Molten metal powder	Laser Beam	<ul style="list-style-type: none"> Repair of damaged / worn parts Functionally graded material printing Require post-processing machine

Přehled AM technologií

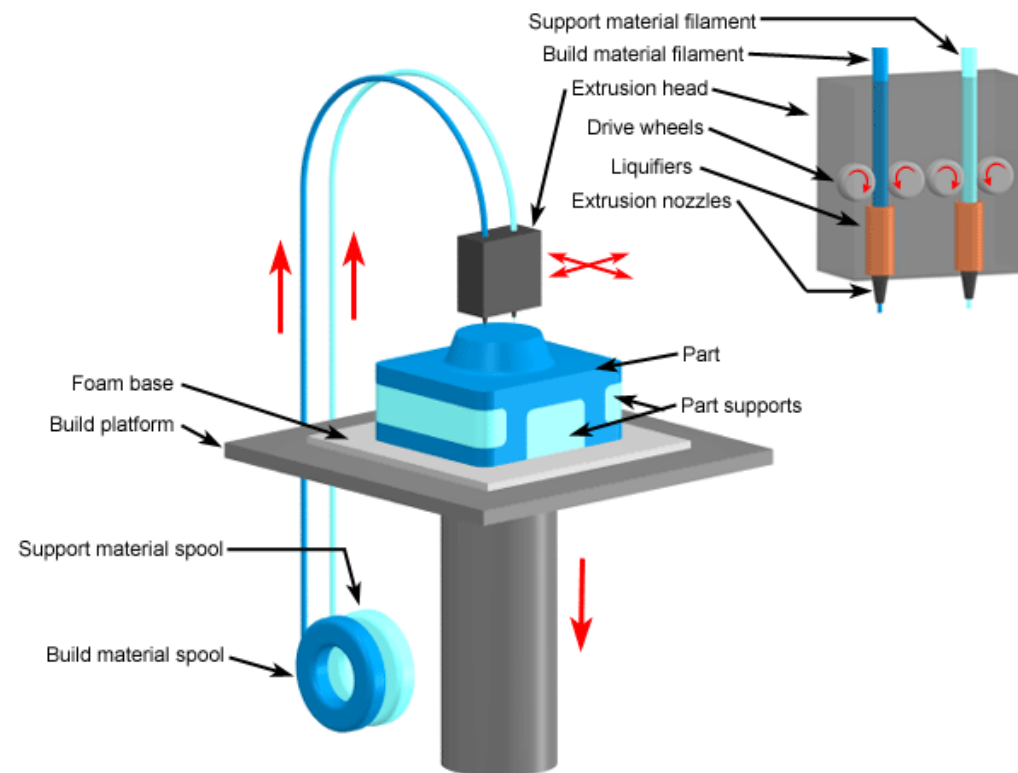
1. FDM - Fused Deposition Modeling, nanášení roztaveného materiálu v tenké vrstvě.
2. SLA - stereolitografie - vytvrzování tekutého fotopolymer laserovým paprskem
3. DLP - DIGITAL LIGHT PROJECTION - nejnovější technologie založená na nasvícení fotopolymeru UV projekcí modelového řezu
4. LOM - Laminated Object Manufacturing - každá vrstva je vyříznuta z plastu a plošně přilepena k vrstvě předchozí
5. SDL - Selective Deposition Lamination – Mcore, stavba z papíru
6. 3DP - 3D tisk pojiva do práškového materiálu
7. MULTI JET MODELING/PolyJet - termoplastický materiál - vosk - je vytlačován tiskovými hlavami
8. THERMOPLASTIC INKJET WITH MILLING (Wax printing) - kombinace vytlačování vosku s horizontálním frézováním
9. LCM - Lithography-based Ceramic Manufacturing - 3D tisk směsi keramiky a fotopolymeru s následným sintrováním v peci
10. SLS - Selective Laser Sintering - spékání práškového materiálu laserovým paprskem
11. SHS - Selective Heat Sintering™ Technology, spékání polymerů bez laseru
12. Glass – 3D tisk skla na MIT
13. EBM – Electron beam melting – tavení práškových kovů elektronovým svazkem
14. Laser Cladding Process (Laser Metal Fusion, Laser Metal Deposition) - tavení kovového materiálu ve formě prášku přiváděného pod laserový svazek
15. SLM – Selective laser melting – selektivní tavení práškových kovů
16. Hybrid manufacturing – 3D tisk a obrábění

Přehled AM technologií - FDM

FDM - Fused Deposition Modeling

Nanášení roztaveného materiálu (nejčastěji plastů) v tenké vrstvě.

- ❑ Vyvinuto firmou Stratasys (Eden Prairie, Minnesota)
- ❑ Materiál nejčastěji ve formě vlákna ale také granulí
- ❑ Velikost pracovní komory až do 914.4 x 609.6 x 914.4 mm
- ❑ ABS, PLA, ABS-M30™, ABS-M30i™, ABS-ESD7™, PC-ABS, PC-ISO™, PC, ULTEM™ 9085 resin, ULTEM 1010 resin, PPSF, FDM Nylon 12™, FDM Nylon 6™, ST-130™



Copyright © 2008 CustomPartNet

Přehled AM technologií - FDM

FDM MATERIALS								
CHEMICAL	ABS-M30™	ASA	PC-ABS	PC	ULTEM™ 9085 RESIN	FDM NYLON 12®	PPSF	ULTEM™ 1010 RESIN
Transmission fluid	3	3	3	3	3	1	2	2
Windshield washer fluid	2	2	2	2	1	1	1	1
Brake fluid	3	3	3	3	3	1	2	2
Antifreeze/ engine coolant	2	2	2	3	2	1	1	1
Motor oil	3	3	3	3	2	1	2	2
Petroleum greases	2	2	2	3	2	1	1	2
Silicone greases/oils	4	4	4	4	2	2	2	2
Petroleum fuels	2	2	3	3	1	1	2	1
Weak acids (pH 3-6)	1	1	1	2	2	2	1	2
Strong acids (pH <3)	3	3	3	4	3	4	2	3
Weak bases (pH 8-10)	1	1	2	2	1	1	1	1
Strong bases (pH >10)	1	1	2	3	2	1	1	2
Deionized water	1	1	1	2	1	1	1	1

1 = Excellent chemical resistance

2 = Good chemical resistance

3 = Limited chemical resistance

4 = Poor resistance

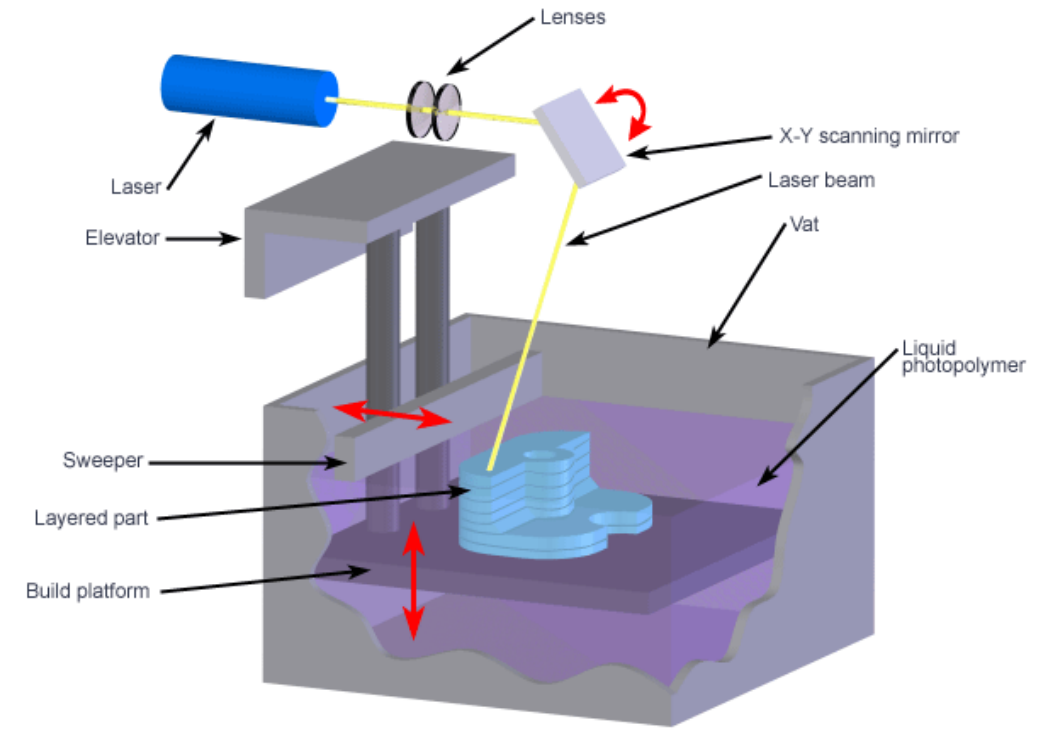


Přehled AM technologií - SLA

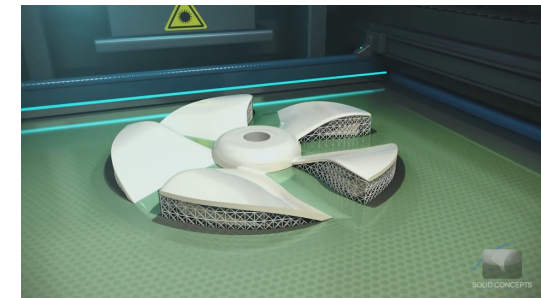
SLA - Stereolitografie

Vytvrzování tekutého polymeru laserovým paprskem

- ❑ První technologie představená v roce 1988 firmou 3D Systems, Inc., založeno na práci Charlese Hulla.
- ❑ Využívá nízko-výkonové lasery s vysoce fokusovaným UV laserem
- ❑ Použití i v obráceném systému vytahování dílu z vany



Copyright © 2008 CustomPartNet



Přehled AM technologií - SLA

SLA - Stereolitografie

Vytvrzování tekutého polymeru laserovým paprskem

Formlabs

- ❑ 145×145×175mm, 25–100 microns
- ❑ Laser Spot Size: 140 microns
- ❑ Laser Power: 250 mW

Titan 2 / Titan 2 HR

- ❑ Titan 2: 38 ~ 75µm
- ❑ Titan 2 HR: 26 ~ 50µm / 23 ~ 38µm
- ❑ Titan 2: 50µm
- ❑ Titan 2 HR: 23µm / 26µm

ProJet 7000 HD

- ❑ 380 x 380 x 250 mm
- ❑ Přesnost dílu +/-45 µm

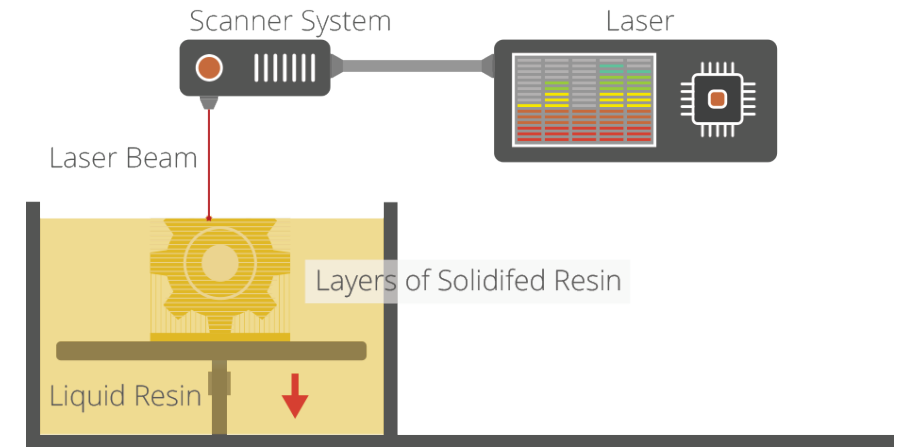


Přehled technologií – DLP SLA

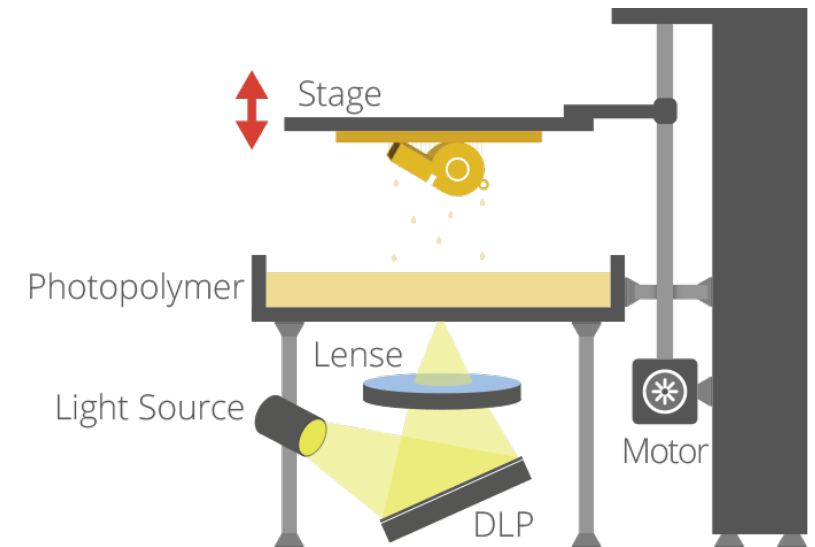
DLP SLA – Digital Light Projection
Technologie založená na nasvícení
fotopolymeru DLP projektorem (DLP 3D
Printing)

- ❑ Princip SLA je obrácen a díl se vytahuje z vany s fotopolymerem
- ❑ Místo laseru se používá DLP projektor

SLA 3D Printing



DLP 3D Printing



3dprintingindustry.com

Přehled AM technologií – DLP SLA

The 10 best resin (SLA/DLP) 3D printers in 2017



Search:

3D printer	Technology	Rating	Build volume	Country	Price	Buy
Formlabs Form 2	SLA	4.7	145 x 145 x 175	United States	€3,925	Buy
SprintRay MoonRay	DLP		127 x 81 x 229	United States	\$3,499	
3D Systems Projet 1200	DLP	4.1	43 x 27 x 150	United States	\$4,900	
Photocentric Liquid Crystal LC10	DPP		200 x 100 x 200	United Kingdom	\$1,080	Quote
BgCreations BgCreator V1.2	DLP	4.0	104 x 76 x 203	United States	\$4,595	
DWS Systems XFAB	SLA		180 x 180 x 180	Italy	€5,950	Quote
Autodesk Ember	DLP		64 x 40 x 134	United States	\$5,995	
MakeX M-One	DLP		145 x 110 x 170	China	\$2,699	
XYZPrinting Nobel 1.0	SLA	2.8	128 x 128 x 200	Taiwan	\$990	Buy
Kudo3D Titan 2	DLP		190 x 110 x 249	United States	\$3,500	

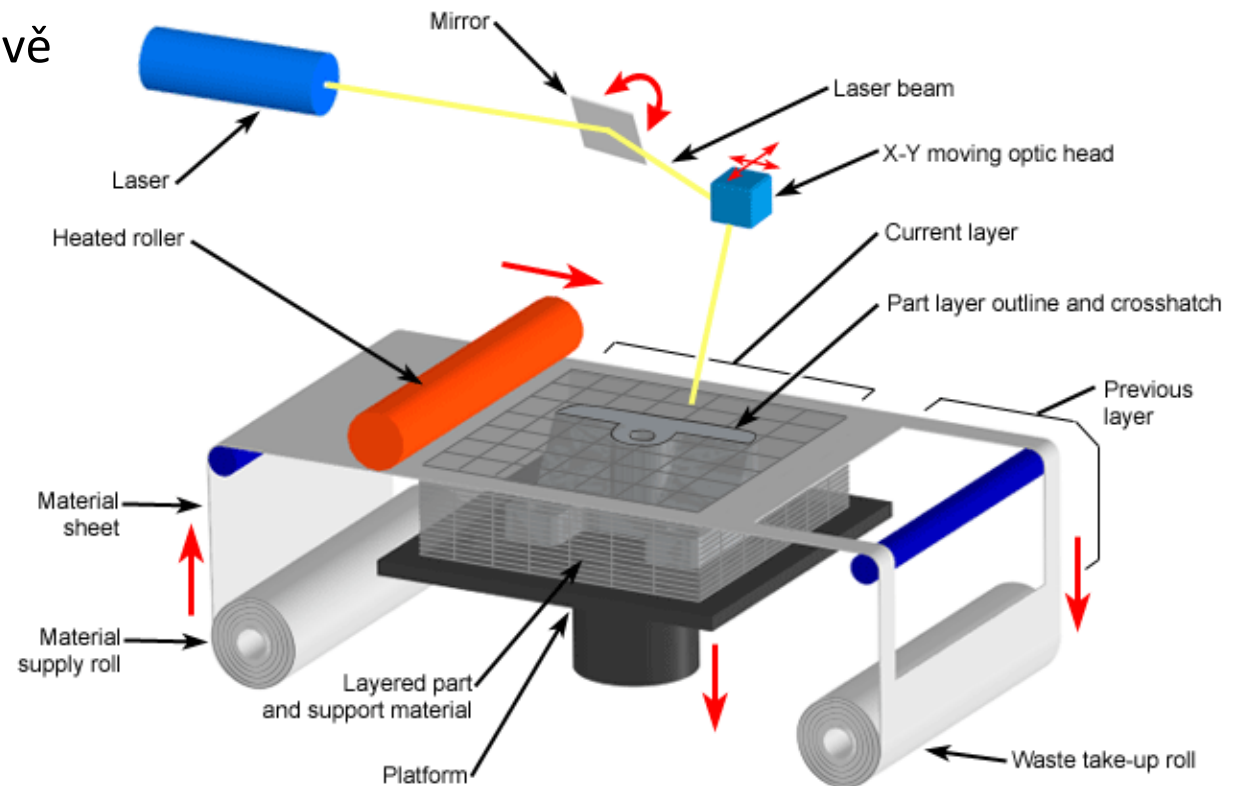
This list covers the best resin 3D printers using resin-based 3D printing technologies such as SLA and DLP.

Přehled AM technologií – LOM

LOM - Laminated Object Manufacturing

Každá vrstva je vyříznuta a plošně přilepena k vrstvě předchozí

- ❑ První komerční zařízení v roce 1991.
- ❑ Vyvinuto firmou Helisys of Torrance, CA.
- ❑ Jako nástroj může být použit laser nebo nůž
- ❑ Materiály: PVC, Paper, Composites



Copyright © 2008 CustomPartNet

Přehled AM technologií – DLP SLA

LOM - Laminated Object Manufacturing

Každá vrstva je vyříznuta a plošně přilepena k vrstvě předchozí

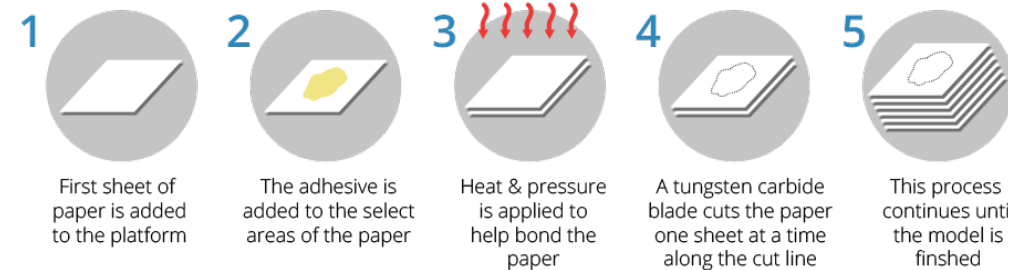
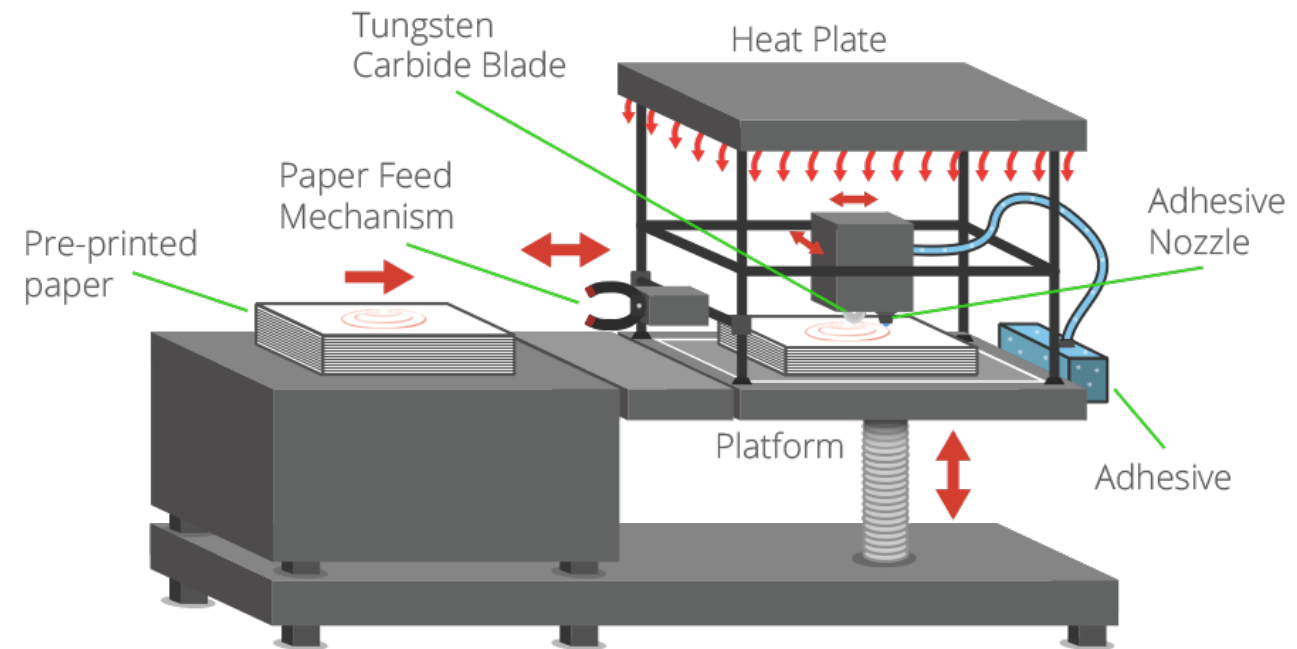
- ❑ Helisys USA
- ❑ Cubic Technologies
- ❑ Kira – využívá nůž
- ❑ Solidica – ultrasonic + CNC
- ❑ Mcore - papír



Přehled technologií – SDL

SDL - Selective Deposition Lamination 3D tisk pomocí papíru a lepidla

- ❑ Ke spojení vrstev papíru se používá lepidlo
- ❑ Technologie Mcore



Přehled AM technologií – SDL

SDL - Selective Deposition Lamination
3D tisk pomocí papíru a lepidla

- ❑ Mcore – papír
- ❑ Vrstva 0.1mm nebo 0.19mm
- ❑ Komora A4 Paper: 256 x 169 x 150mm
- ❑ Barevné rozlišení x, y, z: 5760 x 1440 x 508dpi
- ❑ Formáty STL, OBJ, VRML, Collada



Přehled AM technologií – 3DP

3DP - 3D printing technology

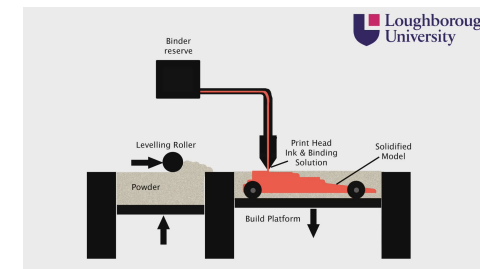
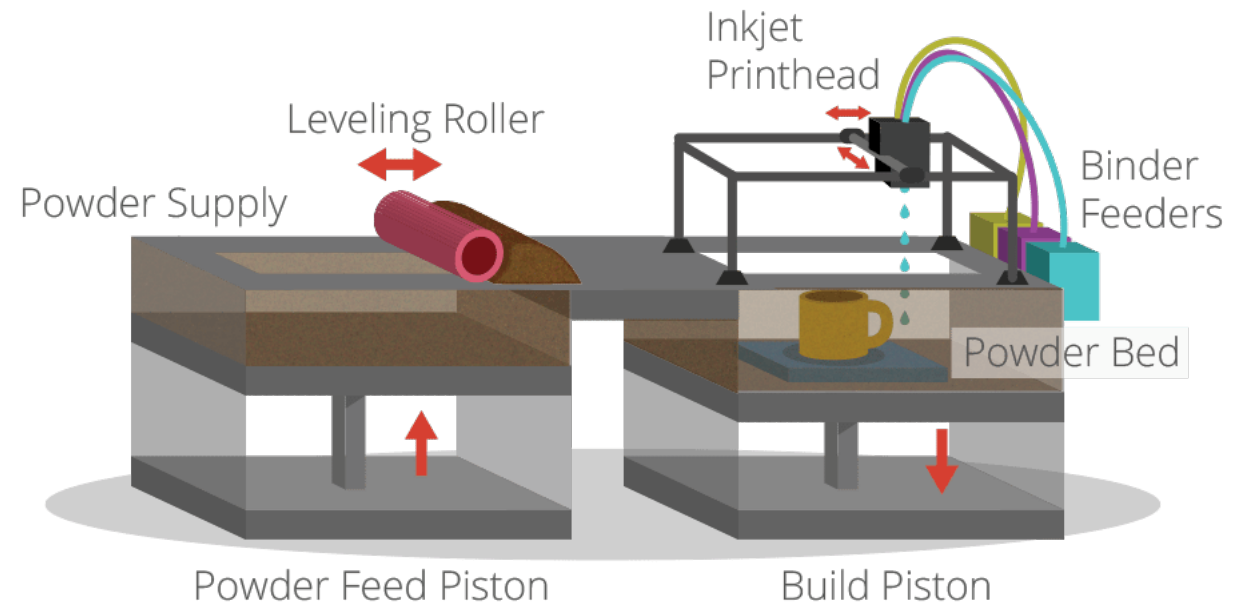
Tisk adhesiva do práškového materiálu
(Powder-Binder-Jetting)

- ❑ Technologie vyvinutá na MIT (Massachusetts Institute of Technology)
- ❑ Licence v držení několika firem

Materiály

- ❑ Keramika, kompozity, ocel, elastomery

Inkjet: Binder Jetting



3dprintingindustry.com

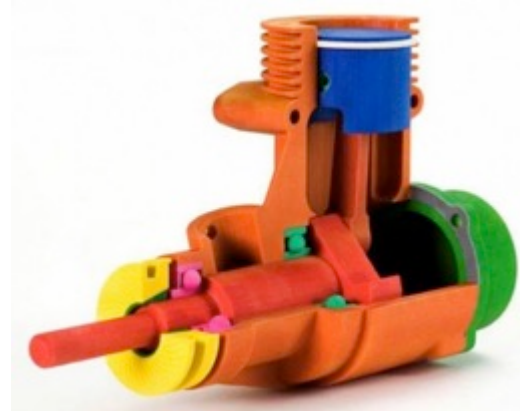
Přehled AM technologií – 3DP

3DP - 3D printing technology

Tisk adheziva do práškového materiálu (Powder-Binder-Jetting)

- ❑ 3D systems (Zcorp)
 - ❑ Vysoké rozlišení - 600 x 540 dpi
 - ❑ Komora 254 x 381 x 203 mm
 - ❑ 4 barvy - cyan, magenta, yellow, black + clear

- ❑ Voxeljet
 - ❑ Komora 4,000 x 2,000 x 1,000 mm
 - ❑ Rozlišení 300dpi
 - ❑ PMMA materiál (55 μm)
 - ❑ Vrstva 150 μm

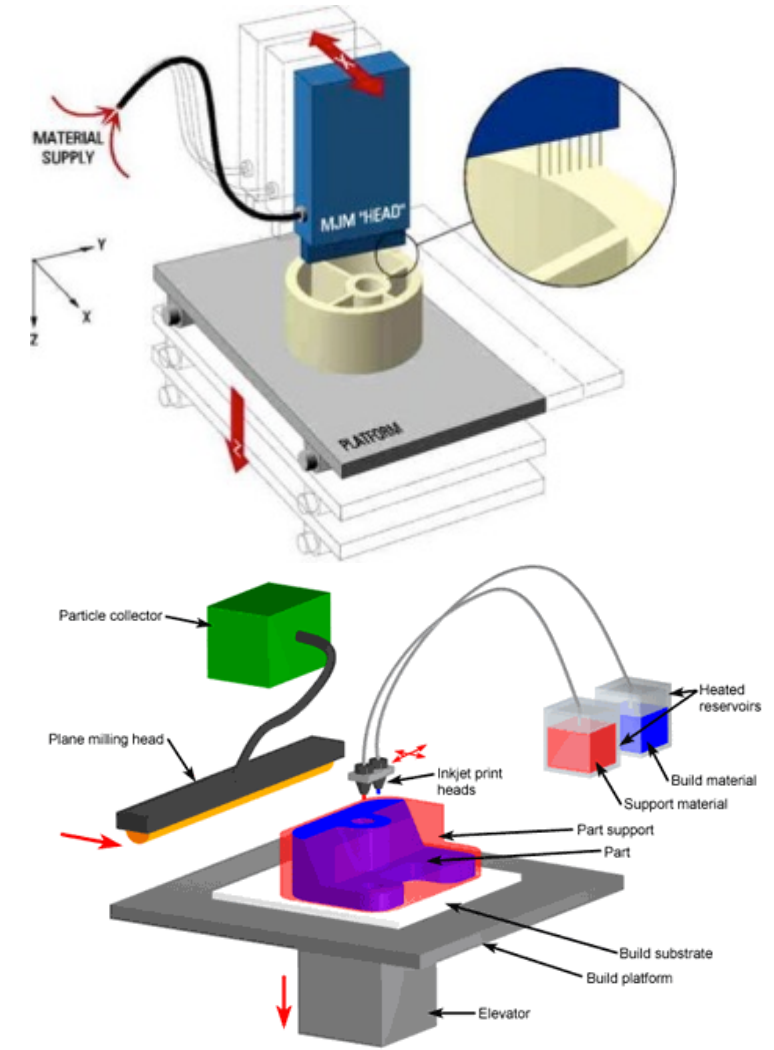
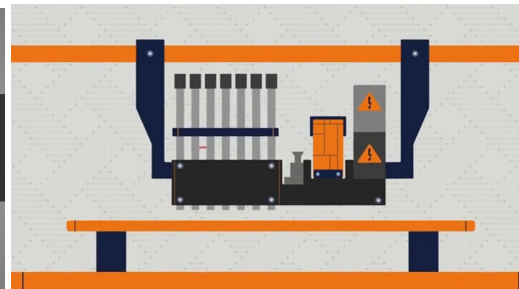
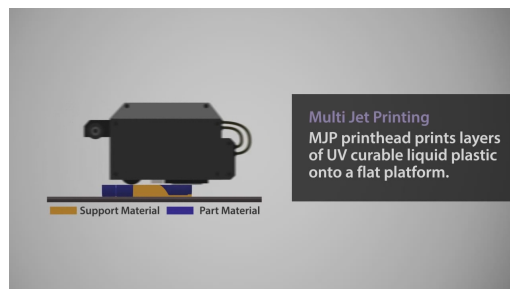


Přehled AM technologií – MJM/PJ

MJM - MULTI JET MODELING

UV vytvrditelný fotopolymer je vytlačován tiskovými hlavami

- ❑ 3DSystems: piezo hlava nanáší fotocitlivý polymer nebo vosk
- ❑ Po nanesení se materiál vytvrzuje UV světlem
- ❑ Využití : medicína, stomatologie, šperkařství a zlatnictví, design,
- ❑ Pře 80 materiálových vlastností v jedné stavbě
- ❑ Flexibilní materiály



Copyright © 2008 CustomPartNet

<https://kylestetzerp.wordpress.com/2009/05/20/inkjet-and-multi-jet-printing/>

Přehled AM technologií – MJM/PJ

MJM - MULTI JET MODELING

UV vytvrditelný fotopolymer je vytlačován tiskovými hlavami

- ❑ 3DSystems: piezo hlava nanáší fotocitlivý polymer nebo vosk
- ❑ Po nanesení se materiál vytvrzuje UV světlem
- ❑ The material used is a type of photopolymer similar to the SLA process that requires a UV light to cure.
- ❑ business applications: dental, medical, jewelry, and manufacturing
- ❑ Up to 82 material properties in a single build
- ❑ rubber-like flexible materials



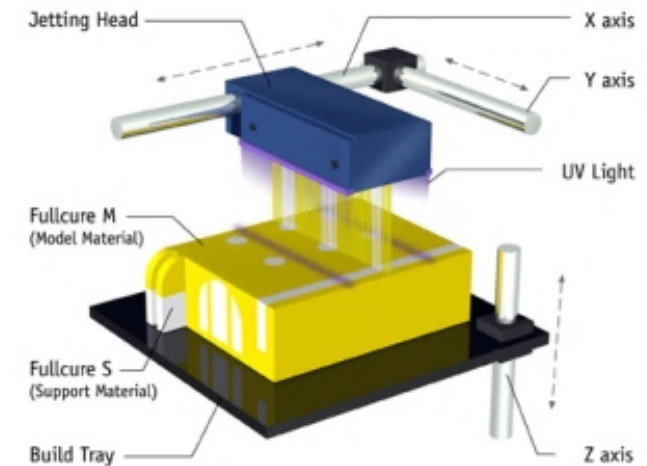
Přehled AM technologií – MJM/PJ

PolyJet Technology (Stratasys) - akrylový fotonopolymér je vytlačován tiskovými hlavami

- ❑ 3D tisková hlava nanáší fotocitlivý polymer nebo vosk
- ❑ Po nanesení se materiál vytvrzuje UV světlem
- ❑ Digitální materiály
 - ❑ přes 360,000 barev
 - ❑ Digital ABS a Digital ABS2
 - ❑ Flexibilní materiály s různým Shore
 - ❑ Průsvitné materiály
- ❑ Biokompatibilní materiály
- ❑ Flexibilní materiály

Stratasys J750

- ❑ Stavební komora 490 x 390 x 200 mm
- ❑ Vrstva 14 mikronů



The Objet PolyJet Process

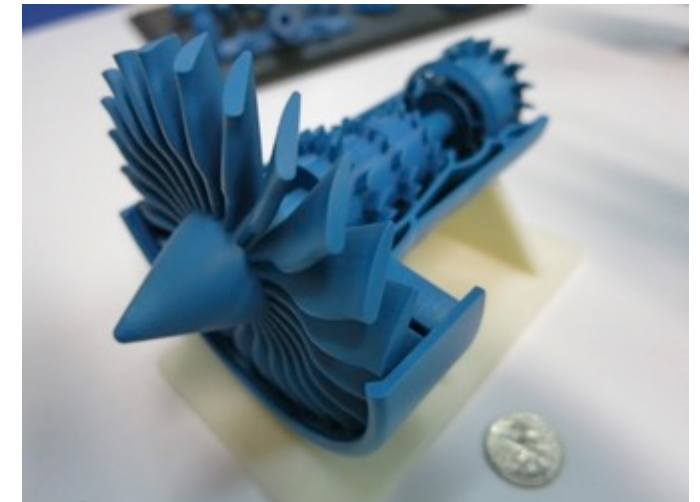


Přehled AM technologií – MJM/PJ

WAX printing – Solidscape – Stratasys

Thermoplastic inkjet with milling - kombinace vytlačování vosku s horizontálním frézováním

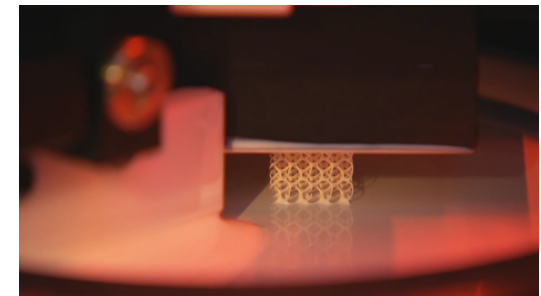
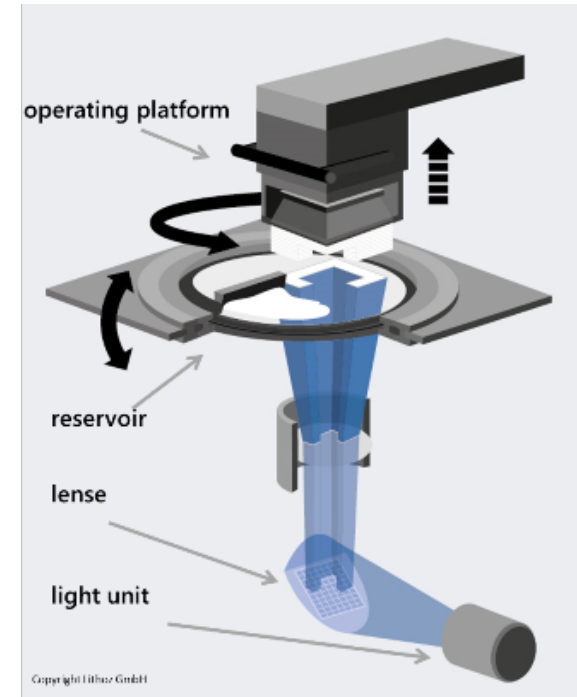
- ❑ Založeno pod názvem Sanders Prototype, Inc. v roce 1993 (Royden C. Sanders)
- ❑ 3D tisková hlava nanáší voskový materiál
- ❑ Technologie používá podpůrný a modelový materiál
- ❑ Každá vrstva je ofrézována
- ❑ Podpůrný materiál se vyplaví
- ❑ Rozlišení: 197 X 197 dots/mm v X, Y
- ❑ 315 dots/mm v Z
- ❑ Přesnost: $\pm 25.4\mu/25.4\text{mm}$ podél X, Y a Z



Přehled technologií - LCM

LCM - Lithography-based Ceramic Manufacturing
3D tisk směsi keramiky a fotopolymeru s následným
sintrováním v peci

- ❑ Keramika s obsahem fotopolymeru
- ❑ Lázeň je vytvrzována světlem
- ❑ They act as binder between the ceramic particles and make the precise shaping of the part possible.
- ❑ 3D tiskem vznikne tzv. „green body“
- ❑ Post-processing představuje vypálení pojiva a sintrování keramiky v peci. Dochází tak ke smrštění výsledného dílu, které je potřeba kompenzovat.
- ❑ Výsledkem je homogenní keramický díly s mechanickými vlastnostmi srovnatelnými s konvenční výrobou



<https://www.youtube.com/watch?v=L95qa-MUfds>

Přehled technologií - LCM

Lithography-based Ceramic Manufacturing

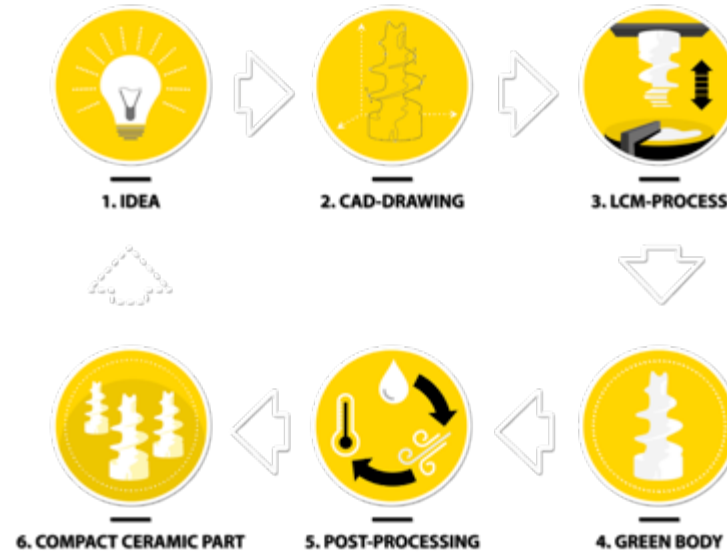
■ CeraFab 7500

Materials

■ Aluminiumoxide (Al₂O₃)

■ Zirconiumoxide (ZrO₂)

■ Tricalciumphosphate (Ca₃(PO₄)₂)



Lateral resolution	40 µm (635 dpi)
Building velocity	up to 100 slices per hour
Slice thickness	25 – 100 µm
Number of pixels (X, Y)	1920 x 1080
Building envelope (X, Y, Z)	76 mm x 43 mm x 150 mm
Data format	.stl (binary)
Light source	LED



<http://www.lithoz.com>

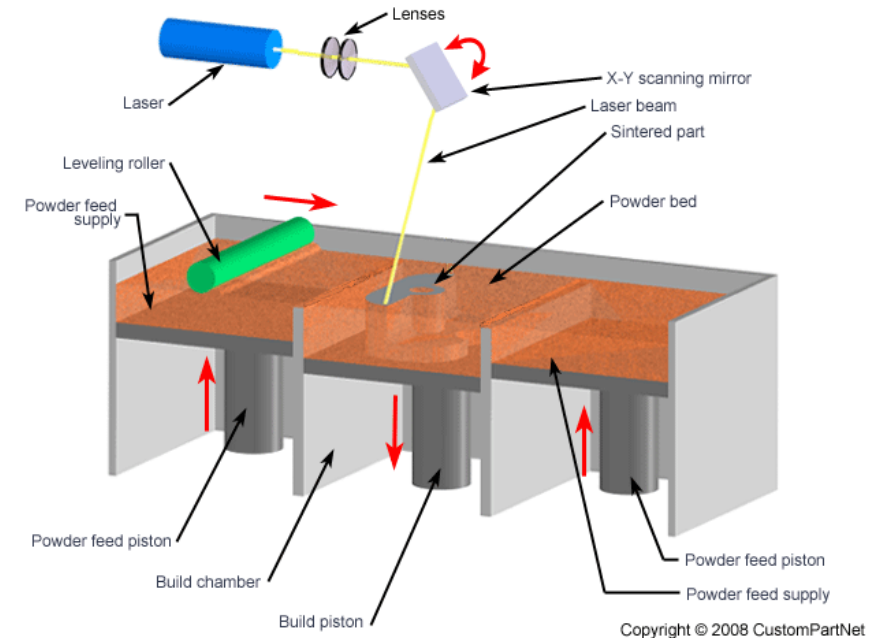
Přehled technologií - SLS

SLS - Selective Laser Sintering - spékání práškového materiálu laserovým paprskem

- ❑ Vyvinuto na University of Texas in Austin, Carl Deckard.
- ❑ Patentováno v roce 1989, prodáváno DTM Corporation.
- ❑ V roce 2001 byla DTM koupena 3D Systems
- ❑ The basic concept uses a moving laser beam to trace and selectively sinter powdered polymer and/or metal composite materials into successive cross-sections of a three-dimensional part.
- ❑ CO2 Laser, 50W
- ❑ Layer thickness typically 0.12 mm

Materials

- ❑ Thermoplastics such as Nylon, Polyamide, and Polystyrene; Elastomers; Composites, Aluminium-filled polyamide, Polyaryletherketone (PEEK)



Mechanical Properties (x, y-direction):

Properties	Test method	Value	Unit
Tensile modulus	ASTM D638	4250 ± 150	MPa
Tensile strength	ASTM D638	90 ± 5	MPa
Elongation at break	ASTM D638	2.8 ± 0.2	%

Thermal Properties:

Properties	Test method	Value	Unit
Melting point	DSC	372 (702)	°C (°F)
Glass transition temperature (Tg)	DSC	164 (327)	°C (°F)
Heat deflection temperature (HDT)	ISO 75 (1.8 MPa)	165 (329)	°C (°F)
Continuous use temperature			

EOS PEEK

Přehled technologií - SLS

SLS - Selective Laser Sintering - spékání práškového materiálu laserovým paprskem

- ❑ EOSINT P 800
- ❑ 700 mm x 380 mm x 560 mm
- ❑ Laser: CO₂, 2 x 50 W
- ❑ Tloušťka vrstvy typicky 0.12 mm



Přehled technologií - SLS

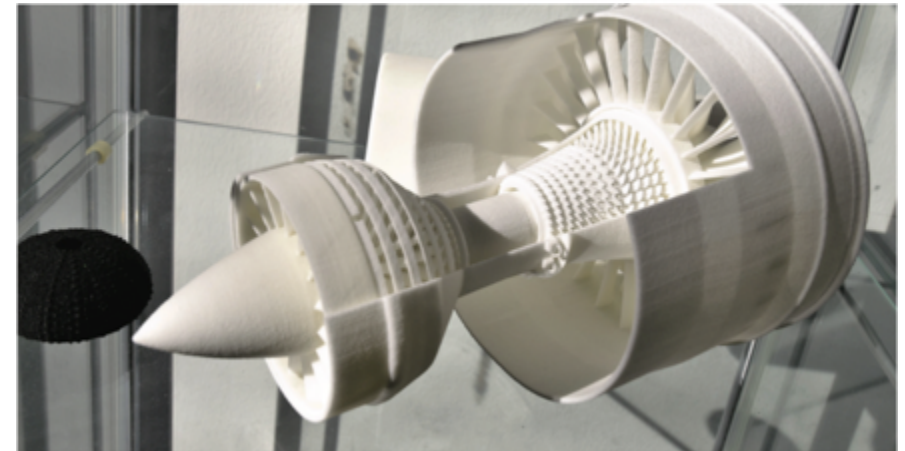
EOS Materials Plastic

Product class	Product name	Colour of laser-sintered parts	Main properties	Typical applications
Polyamide 12	PA 2200	white	<ul style="list-style-type: none"> • Multipurpose material • Balanced property profile 	<ul style="list-style-type: none"> • Functional parts
	PrimePart® PLUS (PA 2221)	natural	<ul style="list-style-type: none"> • Economical multipurpose material • Balanced property profile • Variety of certificates available (Biocompatibility, Food contact) 	<ul style="list-style-type: none"> • Functional parts
	PA 2202 black	anthracite black	<ul style="list-style-type: none"> • Balanced property profile • Pigmented throughout 	<ul style="list-style-type: none"> • Functional parts in anthracite black colour
Polyamide 12, glass bead filled	PA 3200 GF	whitish	<ul style="list-style-type: none"> • High stiffness • Wear resistance • Improved temperature performance 	<ul style="list-style-type: none"> • Stiff housings • Parts with requirements on wear and abrasion • Parts used under elevated thermal conditions
Polyamide 12, aluminium filled	Alumide®	metallic grey	<ul style="list-style-type: none"> • Easy post-processing, good machinability • High temperature performance • Thermal conductivity (limited) • High stiffness 	<ul style="list-style-type: none"> • Applications with metallic finish • Parts requiring machining • Parts with thermal loads
Polyamide 12, carbon fibre reinforced	CarbonMide®	anthracite black	<ul style="list-style-type: none"> • Extreme strength and stiffness • Thermal and limited electrical conductivity • Best strength / weight ratio 	<ul style="list-style-type: none"> • Light and stiff functional parts • Metal replacement
Polyamide 11	PA 1101	natural	<ul style="list-style-type: none"> • High ductility and impact resistance • Otherwise balanced property profile (similar to PA 2200) • From renewable sources 	<ul style="list-style-type: none"> • Functional parts requiring impact resistance • Parts with functional elements like film hinges
	PA 1102 black	black	<ul style="list-style-type: none"> • Similar to typical applications for PA 1101 • Additionally: black, mass-coloured applications, which remain black even under abrasive wear / scratching 	<ul style="list-style-type: none"> • Similar to typical applications for PA 1101 • Additionally: black, integrated colour • Through mass-colourisation suitable for scratch resistant parts

Přehled AM technologií - SHS

SHS - Selective Heat Sintering™ Technology
Spékání polymerů bez laseru

- ❑ Využívá speciální tiskové hlavy (nepotřebuje laser)
- ❑ Komora (mm): 200 x 157 x 150 (X * Y * Z)
- ❑ Rychlost tisku: 2-3 mm/hodinu
- ❑ Vrstva: 0.1 mm
- ❑ Náklady: 0,18 € /cm³

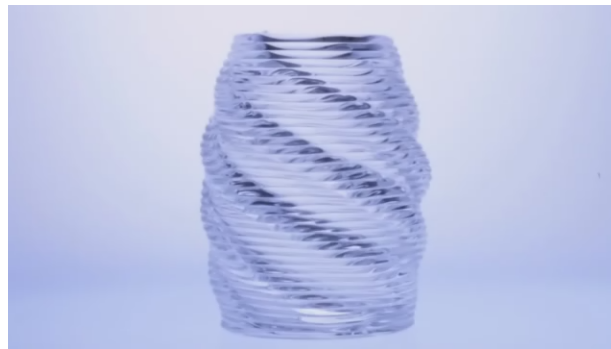


Přehled technologií - Glass

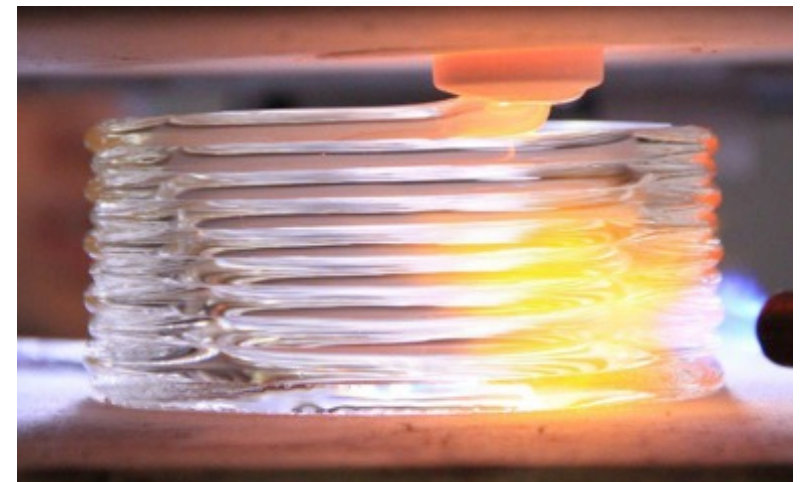
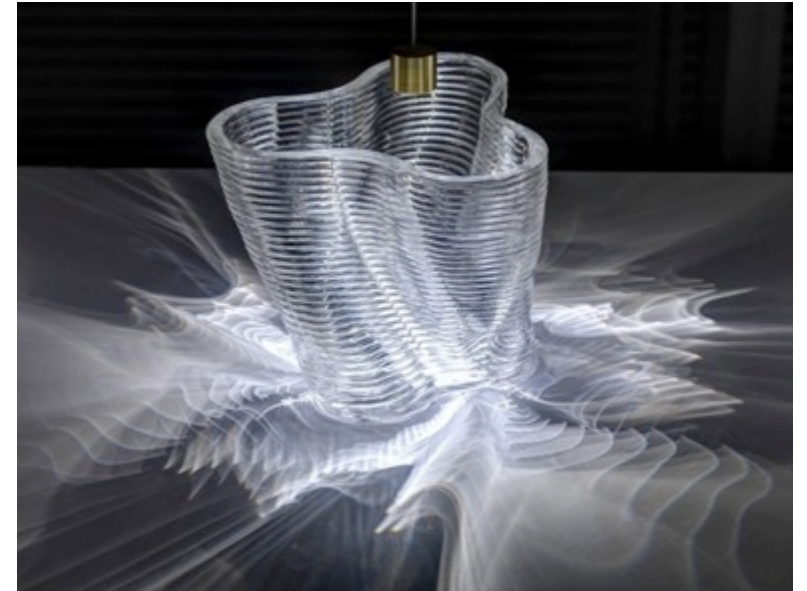
Glass (MIT)

Principle:

- ❑ Heats the glass up to around 1900°F
- ❑ alumina-zircon-silica nozzle
- ❑ Nozzle printer with compressed air, cooling it down rapidly and causing the glass to halt in place
- ❑ propane torches are applied to the printed piece, keeping it above its annealing temperature

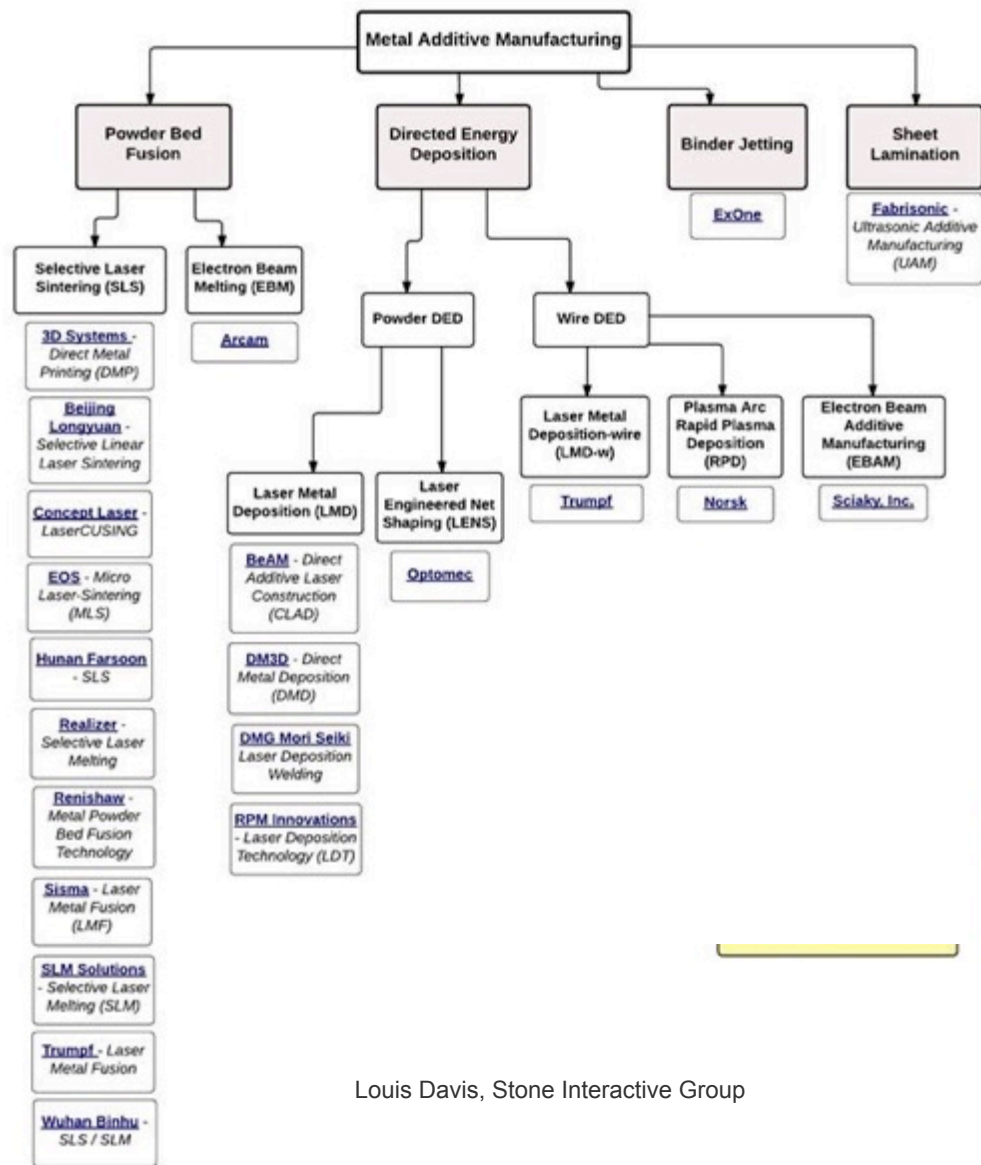


<https://www.youtube.com/watch?v=7pRAzeNdVN8>



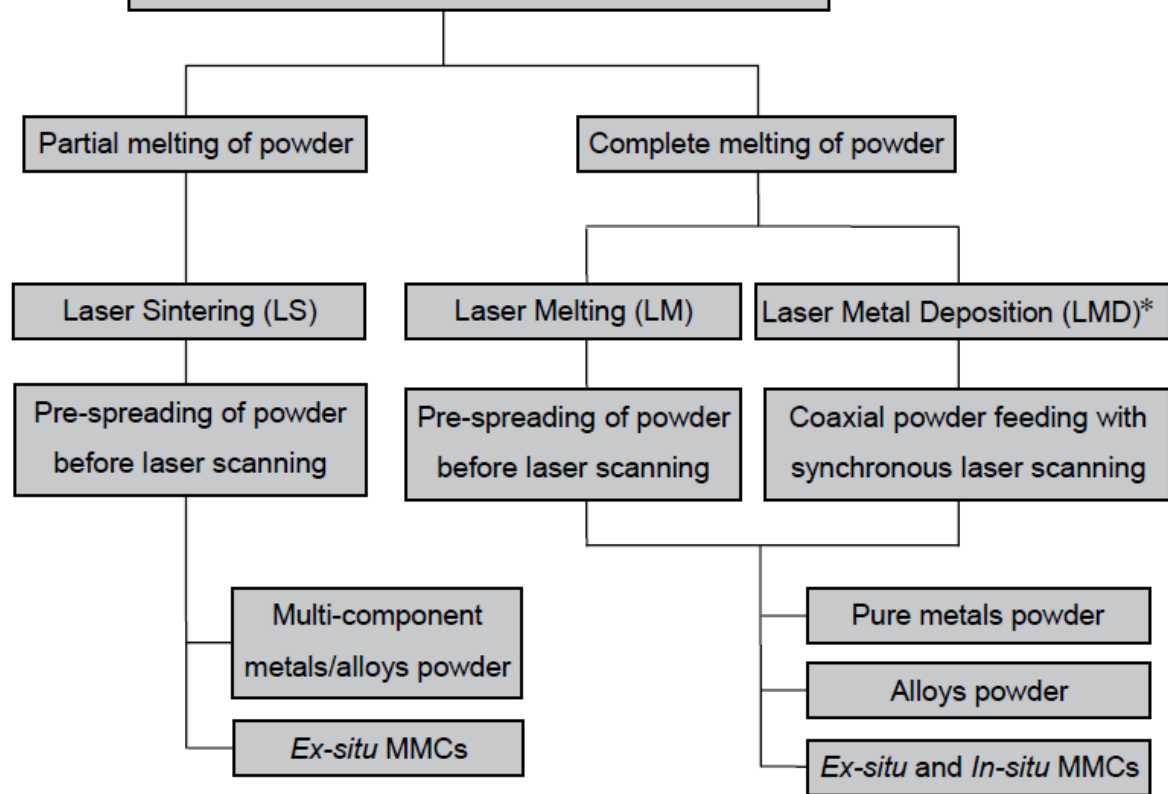
Základní rozdělení

Industrial-Grade Metal Additive Manufacturing Processes



Louis Davis, Stone Interactive Group

Laser additive manufacturing of metallic components



* Partial melting mechanism is occasionally applied for LMD to create porous components with the residual porosity required.

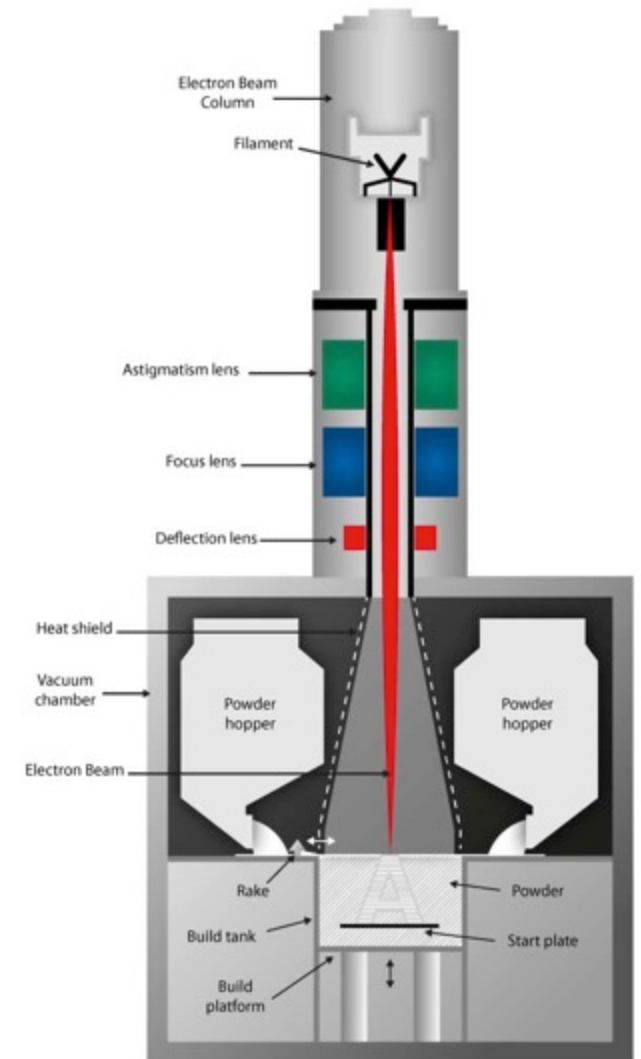
Fig. 2.1 Classification of laser AM processes based on different mechanisms of laser-material interaction

D. Gu, Laser Additive Manufacturing of High-Performance Materials

Přehled technologií

EBM – Electron Beam Melting

- ❑ The Arcam EBM, technologie využívá výkoný elektronový svazek pro plné meltování materiálu
 - ❑ Elektronový svazek je vychylován elektromagnetickými cívkami
 - ❑ Stavba probíhá ve vakuu o tlaku 1×10^{-5} mbar
 - ❑ Jako atmosféra se používá He o tlaku 2×10^{-3} mbar.
-
- ❑ **Materiály**
 - ❑ Titanium Ti6Al4V
 - ❑ Titanium Ti6Al4V ELI
 - ❑ Titanium Grade 2
 - ❑ Cobalt-Chrome, ASTM F75
 - ❑ „Inconel 718“



Přehled technologií

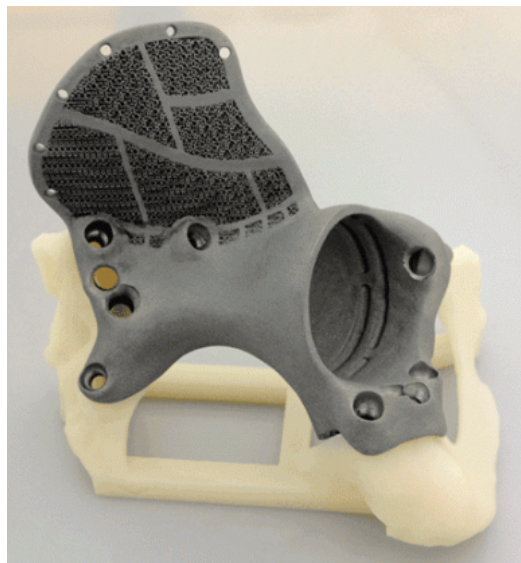
EBM – Electron Beam Melting

ARCAM A2 TECHNICAL DATA

- ❑ Build tank volume 250x250x400 mm and 350x350x250 mm (W x D x H)
- ❑ Maximum build size 200x200x350 mm and \varnothing 300x200 mm (W x D x H)
- ❑ Model-to-Part accuracy, long range¹ +/- 0.20 mm (3σ)
- ❑ Model-to-Part accuracy, short range¹ +/- 0.13 mm (3σ)
- ❑ Surface finish (vertical & horizontal) 2 Ra25/Ra35
- ❑ Beam power 50–3500 W (continuously variable)
- ❑ Beam spot size (FWHM) 0.2 mm – 1.0 mm (continuously variable)
- ❑ EB scan speed up to 8000 m/s



Přehled technologií



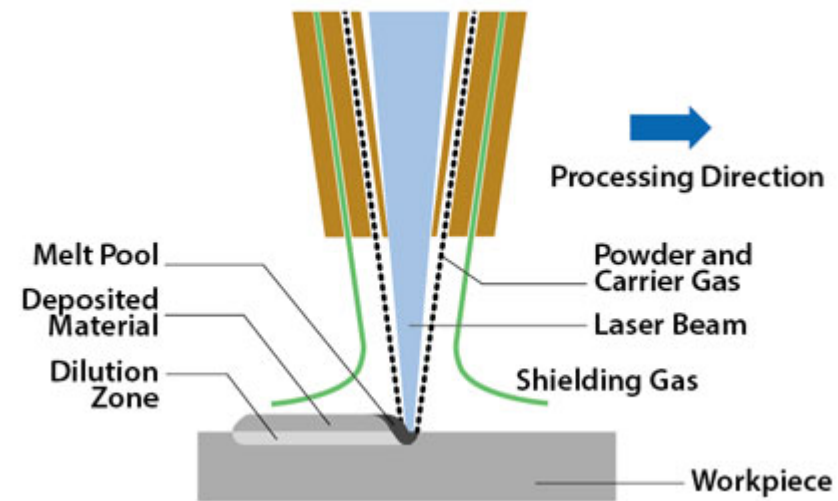
<https://www.highpowermedia.com>

Přehled AM technologií – Laser Cladding

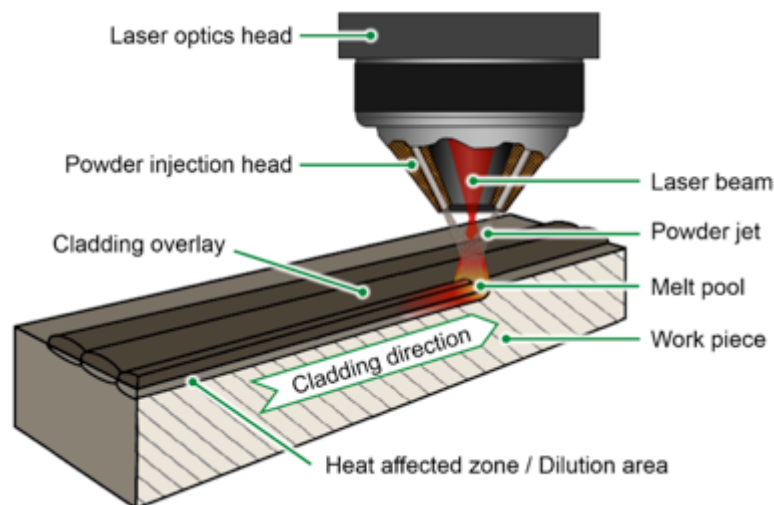
LC proces – Laser Cladding Process

Tavení kovového materiálu ve formě prášku přiváděného pod laserový svazek

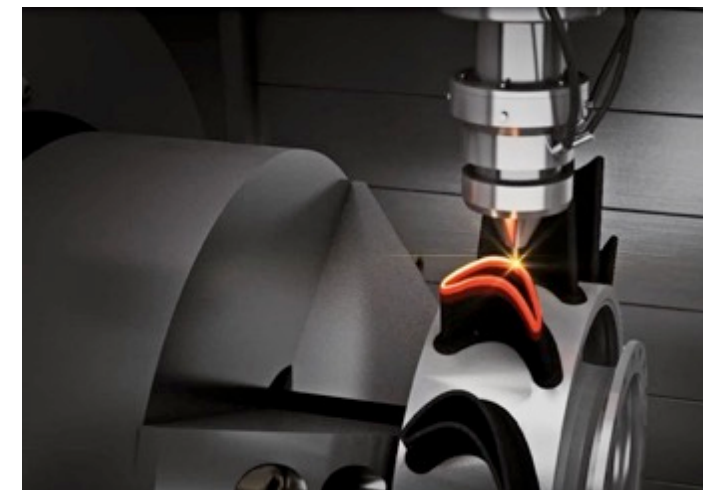
- ❑ Využíváno také v hybridních systémech
- ❑ Opravy komponentů
- ❑ Navařování povlaků a speciálních povrchů
- ❑ Laserová hlava navařuje práškový kov
- ❑ Stroj následně po výrobě provede obrobení požadovaných ploch
- ❑ Výkon laseru až 10 kW



DMG MORI



fst.nl

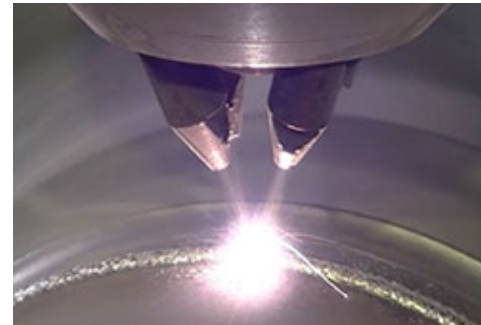


Přehled AM technologií – Laser Cladding

LC proces – Laser Cladding Process

Tavení kovového materiálu ve formě prášku přiváděného pod laserový svazek

- ❑ DMG MORI
- ❑ Optomec
- ❑ Stroj následně po výrobě provede obrobení požadovaných ploch (hybrid)



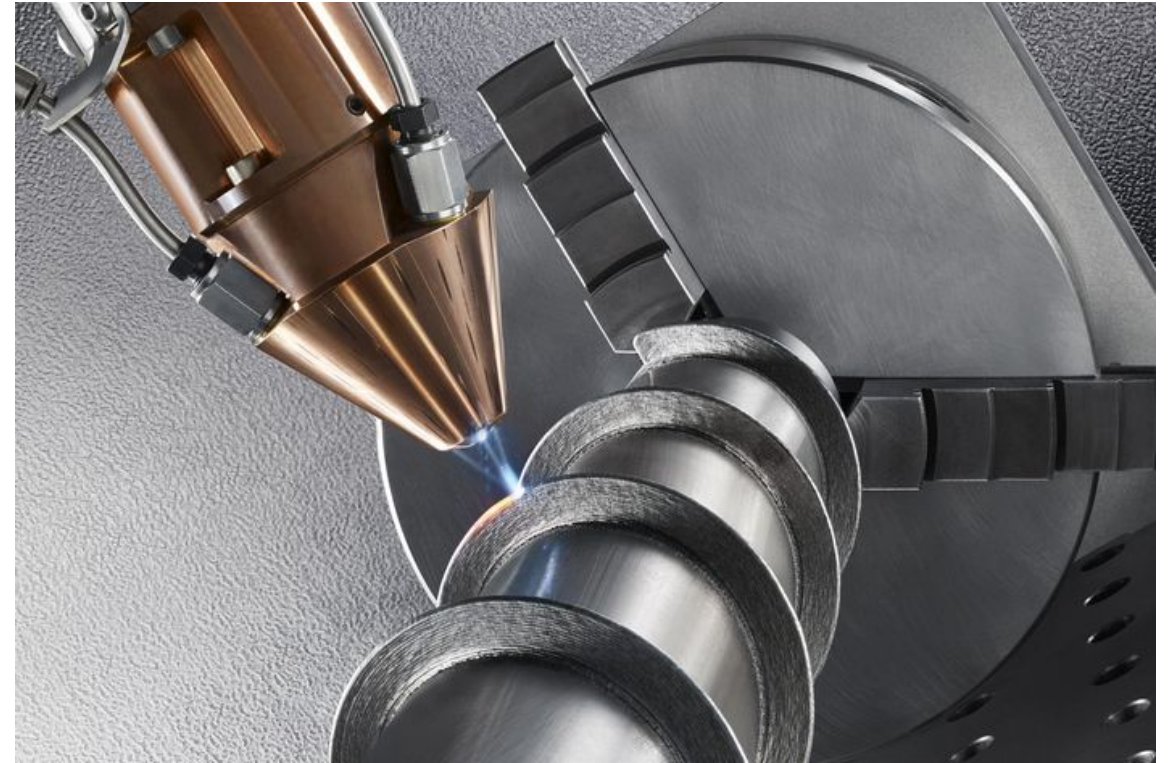
Přehled AM technologií – Laser Cladding

Laser Metal Deposition

(Laser Metal Fusion)

Tavení kovového materiálu ve formě prášku přiváděného pod laserový svazek

- ❑ Trumpf
- ❑ materiály v práškové formě, včetně oceli, slitin na bázi niklu (Ni), kobalt (Co), hliníku (Al), mědi (Cu) nebo titanu (Ti),
- ❑ Kovové matrice WC a TiC.



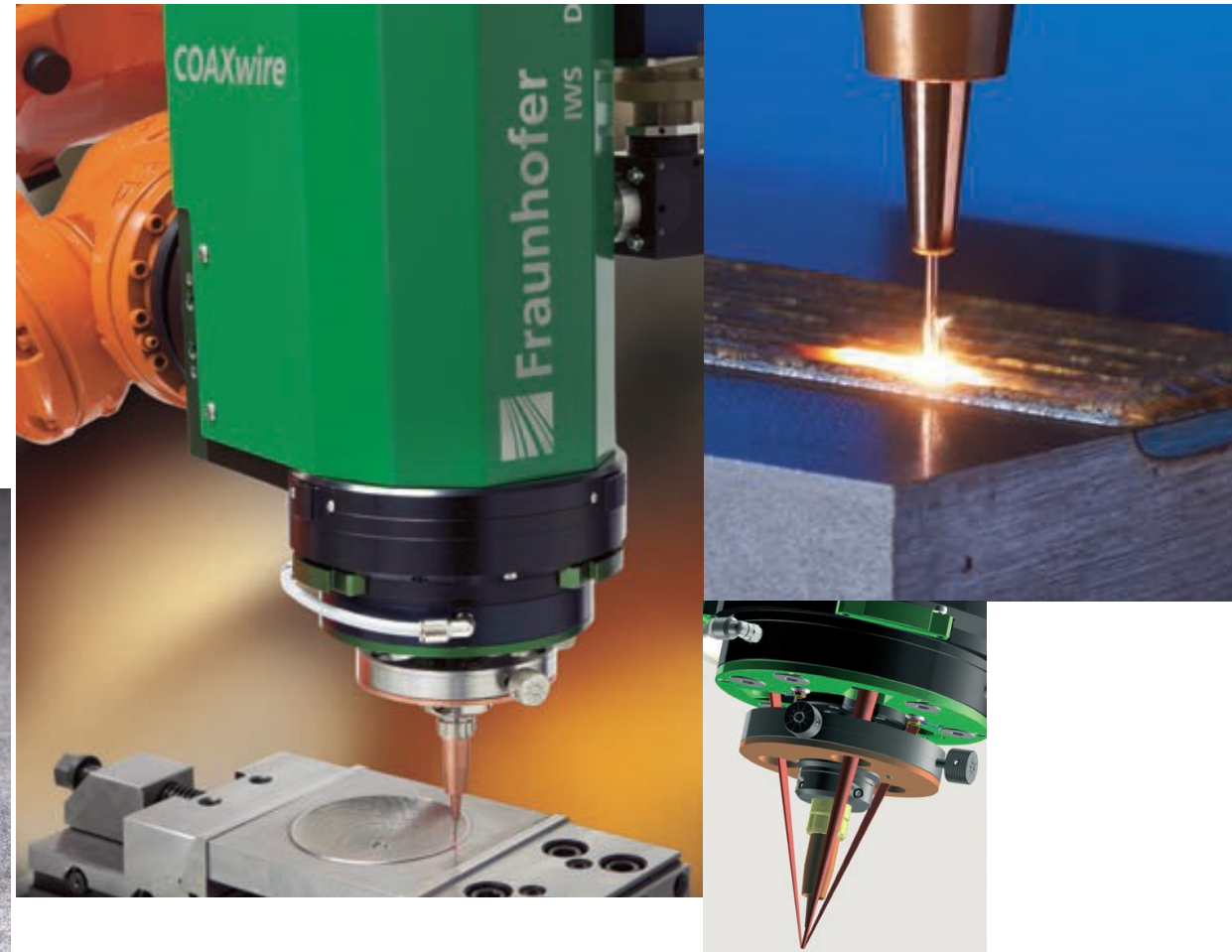
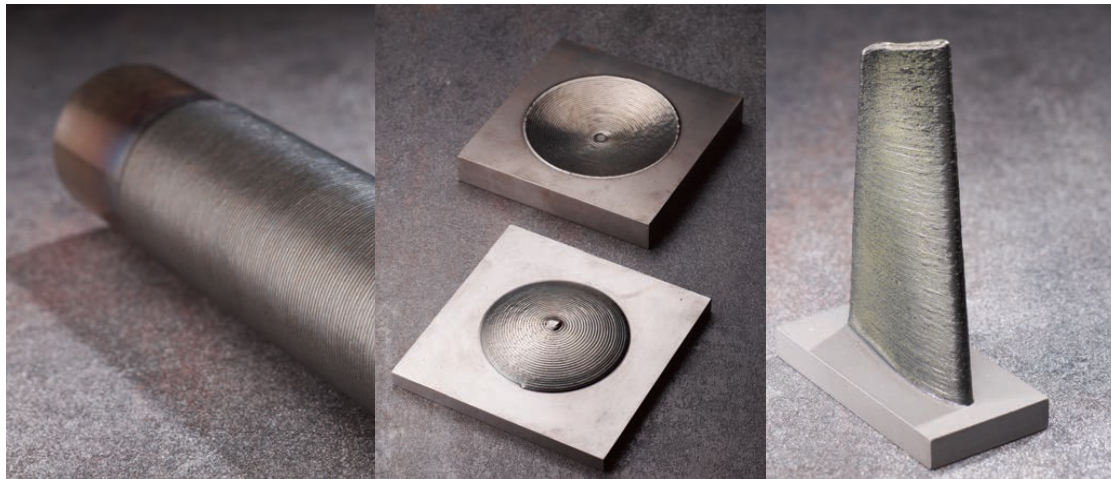
trumpf.com

Přehled AM technologií – Laser Cladding

Laser Cladding - wire

Tavení kovového materiálu ve formě drátu

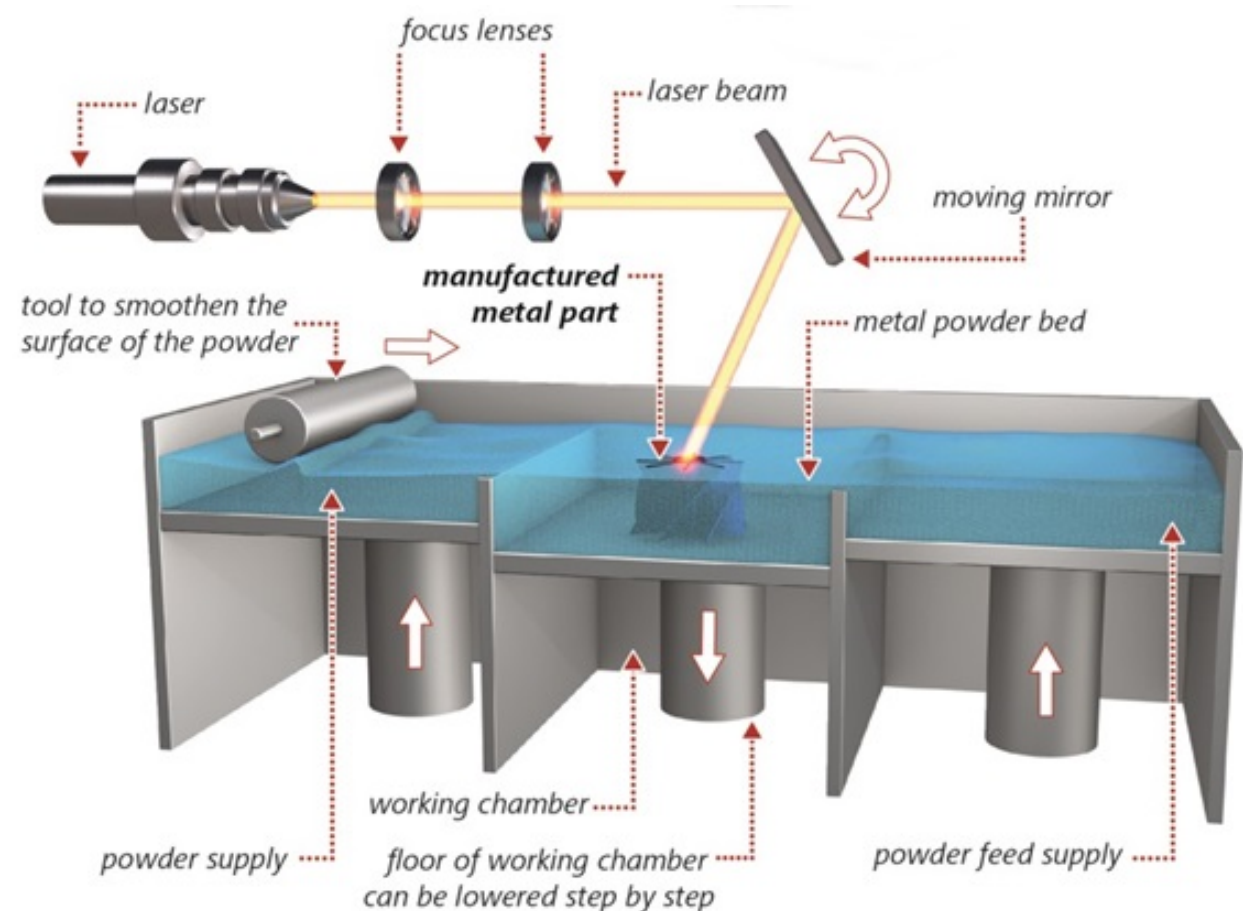
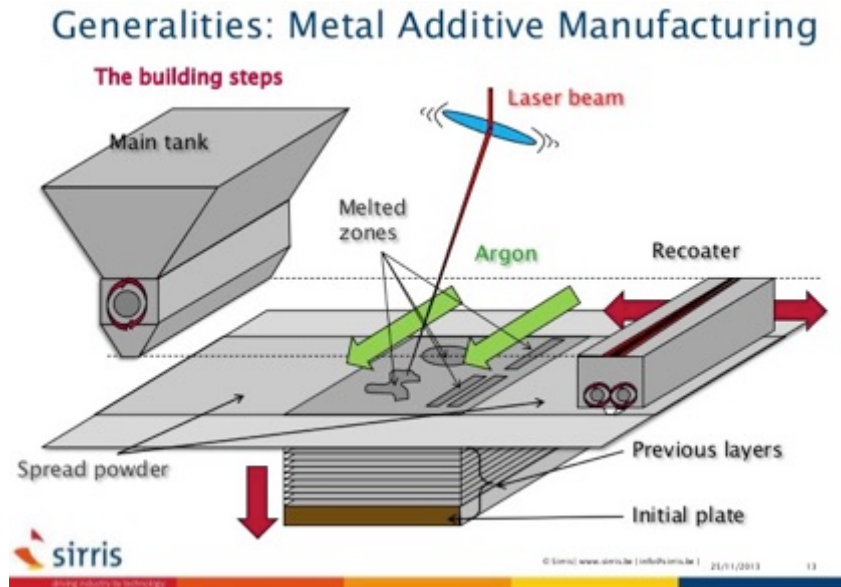
- ❑ Fraunhofer IWS - OPTIC COAXwire
- ❑ Beam split into 3 beams
- ❑ 4 kW fiber or disc laser
- ❑ Deposition rate 100 to 250 cm³/h
- ❑ Wire diam. 0.4 - 1.6 mm



Přehled technologií

SLM – Selective laser melting Selektivní tavení práškových kovů laserem

- ❑ Spojování práškového materiálu laserem
- ❑ Výkony 200-1500W
- ❑ Ochranná atmosféra: dusík, argon
- ❑ Materiály: slitiny oceli, hliníku, titanu, mědi, cobalt-chrom, cca 20 materiálů



www.empa.ch

Přehled technologií

SLM – Selective laser metling Selektivní tavení práškových kovů laserem

- ❑ Concept Laser - X2000R
- ❑ 800 x 400 x 500 mm (x,y,z)
- ❑ Fibre laser 2 x 1 kW
- ❑ Layer thickness 30-150 μm
- ❑ Build rate up to 120 cm^3/h



www.concept-laser.de

Přehled technologií

SLM – Selective laser metling Selektivní tavení práškových kovů laserem

- ❑ SLM-Solutions - SLM 500
- ❑ 500 x 280 x 365 mm (x,y,z)
- ❑ IPG Fiber laser 4 x 400 W / 4x 700 W
- ❑ Rychlost tisku až do 105 cm³/h
- ❑ Vrstva 20-100 µm
- ❑ Nerezová ocel (1.4404, 1.4410)
- ❑ Nástrojová ocel (1.2344, 1.2709)
- ❑ Kobalt -chrom (2.4723 / ASTM F75)
- ❑ Niklové slitiny (Inconel 625, Inconel 718)
- ❑ Titanové slitiny (TiAl6Nb7, TiAl6V4)
- ❑ Hliníkové slitiny (AlSi12, AlSi10, AlSi7Mg, AlSi9Cu3)

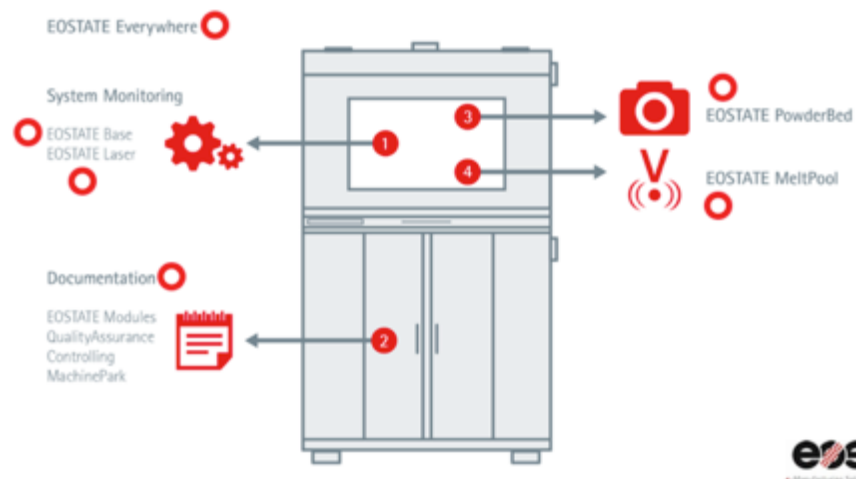


www.slm-solutions.com

Přehled technologií

SLM – Selective laser melting Selektivní tavení práškových kovů laserem

- ❑ EOS - EOS M 400
- ❑ 400 x 400 x 400 mm
- ❑ Yb-fibre laser; 4 x 400 W
- ❑ 4 F-theta-lenses; 4 high-speed scanners
- ❑ High build rate of 100 cm³/h



www.eos.info

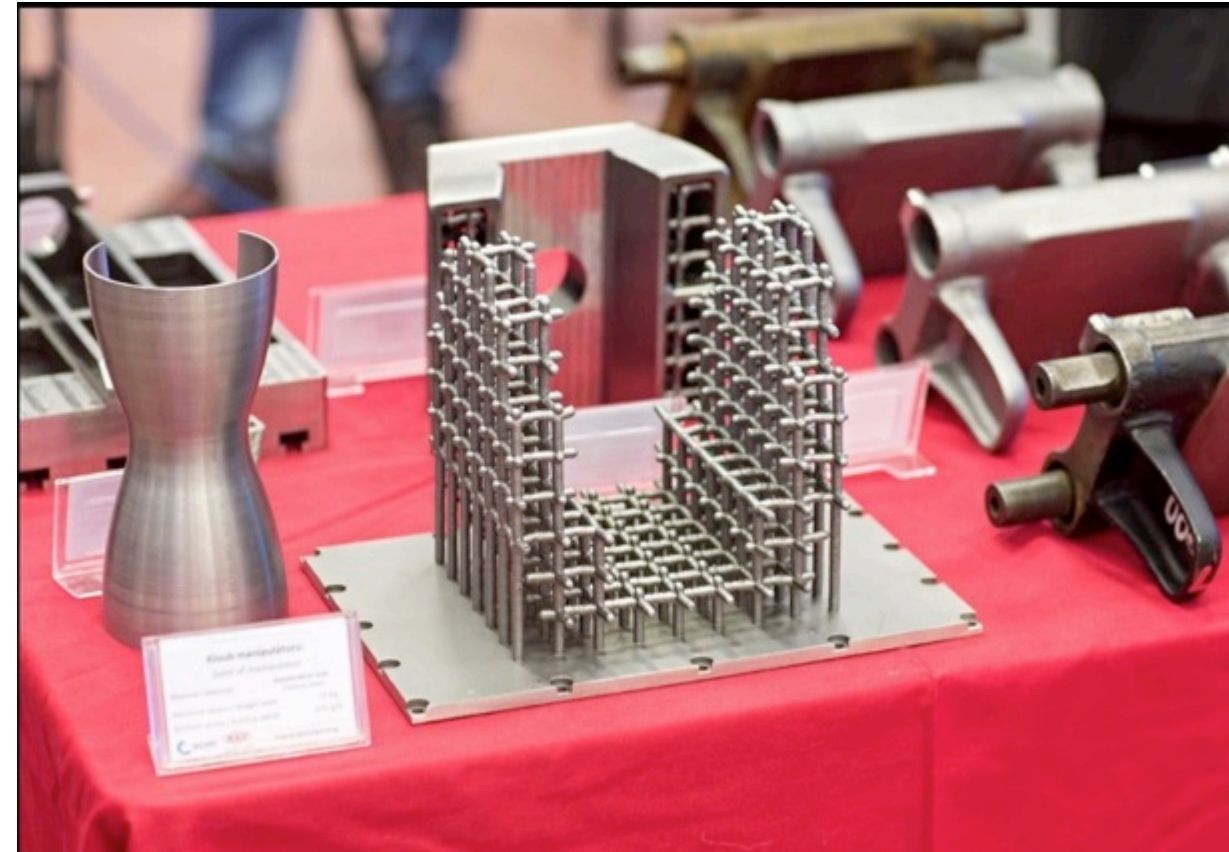
Přehled technologií

Hybridní - navařování el. obloukem

- ❑ Kovosvit MAS - WeldPrint 1000 5AX
- ❑ díly o hmotnosti až 400 kilogramů
- ❑ 2500 až 3500 Kč na kilogram
- ❑ 500 x 500 x 400 mm (x,y,z)
- ❑ půl kilogramu za hodinu
- ❑ navaření/ochlazení/obrobení



www.kovosvit.cz

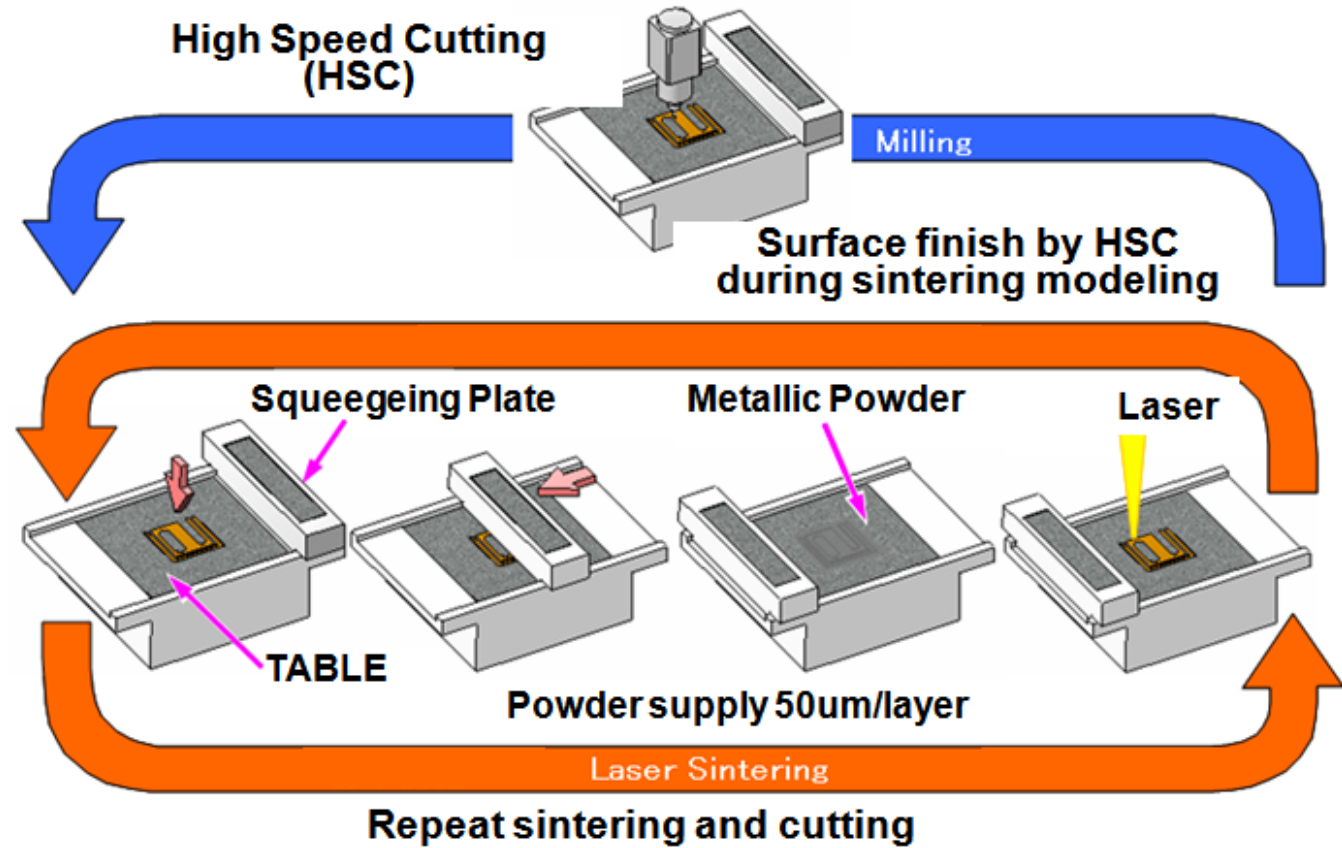


www.kovosvit.cz

Přehled technologií

Metal Laser Sintering Hybrid Milling Machine

- Matsuura



Přehled technologií

Metal Laser Sintering Hybrid Milling Machine

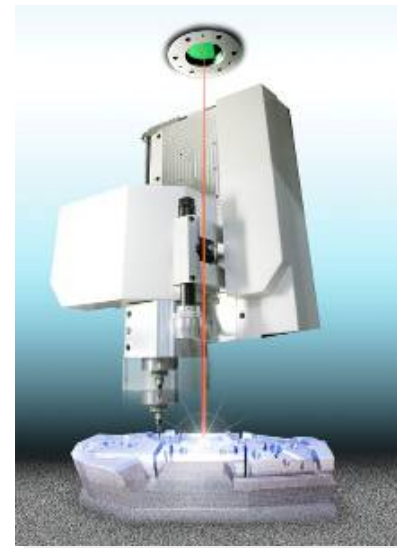
- Matsuura

High speed
milling



+

Rapid
prototyping



=



Budoucnost „?“ AM

Budoucnost je zde !

Budoucnost „?“ AM

Produkce finálních dílů pro různá odvětví včetně kustomizace.

Výzvy

1. Legislativa - standardizace, certifikace, práva na data
2. Materiály – nové materiály, certifikace, kvalita, multi-materiály
3. Softwarová integrace - topologická optimalizace, CAD pro 3D tisk, simulace
4. Stabilita a efektivita procesu - kontrola
5. Větší, rychlejší
6. Masová produkce

Budoucnost AM - normy

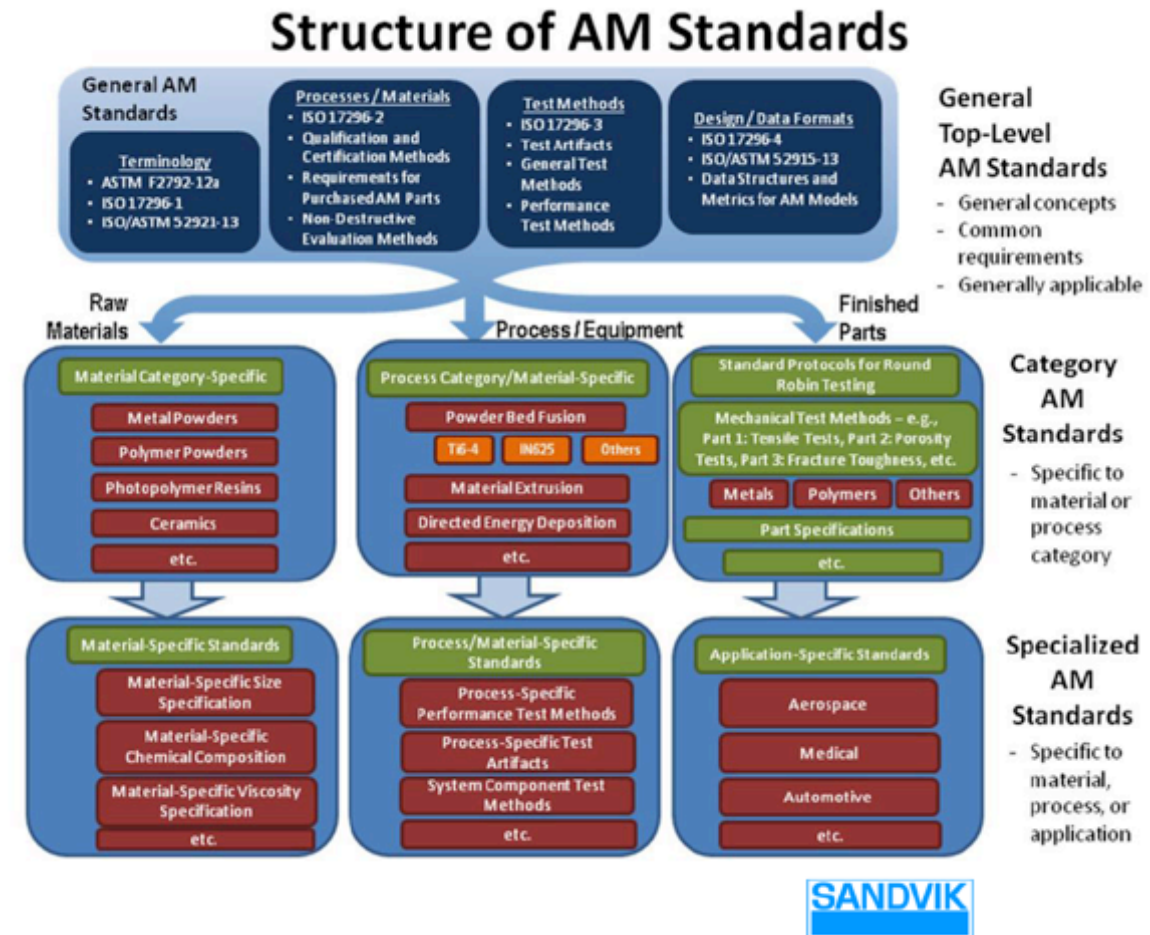
Produkce finálních dílů pro různá odvětví včetně kustomizace.

Výzvy

Legislativa - standardizace, certifikace, práva na data

- ❑ ASTM International, Committee F42
- ❑ ISO Technical Committee 261 (ISO/TC261)
- ❑ Harmonizace norem
- ❑ Terminologie
 - F2792-12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies
 - ISO 17296-1 Terminology for Additive Manufacturing

- ❑ Datové formáty
- ❑ Joint ASTM-ISO Standards
- ❑ ISO/ASTM52915-13 Standard Specification for Additive Manufacturing File Format (AMF) Version 1.1
- ❑ ISO/ASTM52921-13 Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologie
- ❑ ISO/ASTM 52900 Additive Manufacturing - General principles
 - Terminology (replace ASTM F2792-12a)

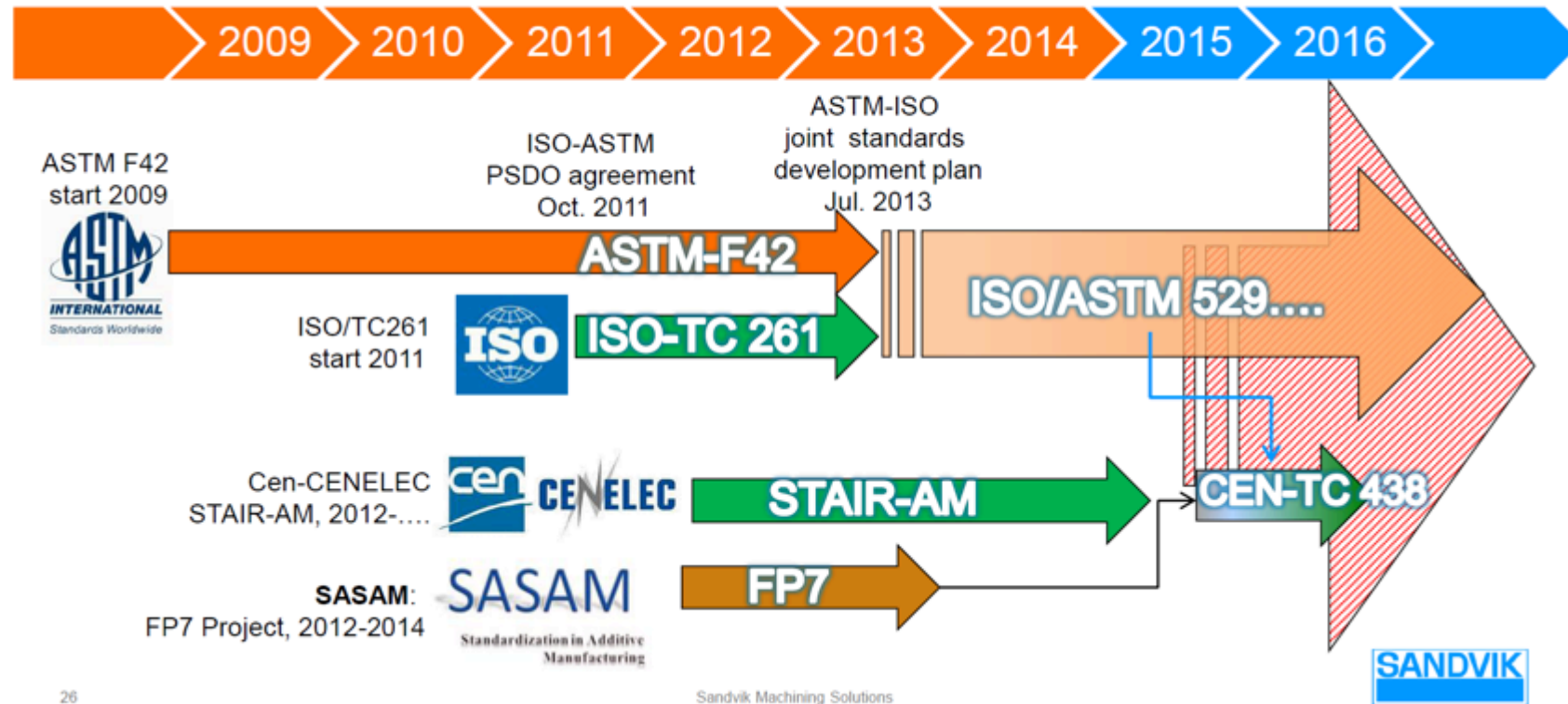


Budoucnost AM - normy

Legislativa - standardizace, certifikace, práva na data

- ❑ ASTM International, Committee F42
- ❑ ISO Technical Committee 261 (ISO/TC261)

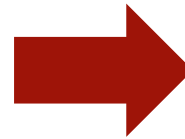
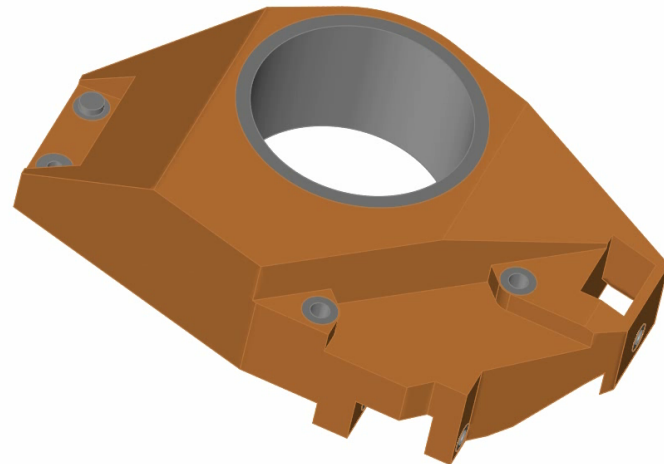
AM STANDARDIZATION ACTIVITIES: OVERVIEW



Budoucnost AM - software

CAD systémy podporující aditivní výrobu

- Topologická optimalizace ANO/NE ?
- Inspire
- OptiStruc
- Frustum (on-line)
- Autodesk Netfabb
- Tosca Dassault



Budoucnost AM - software

CAD systémy podporující aditivní výrobu

- Topologická optimalizace ANO/NE ?
- Additive rules



- topologická optimalizace



- převod dat z topologické optimalizace (STL) na CAD model
- plošné/objemové modelování



- tvorba sestav



- kontrolní MKP výpočty, ověření správnosti optimalizace



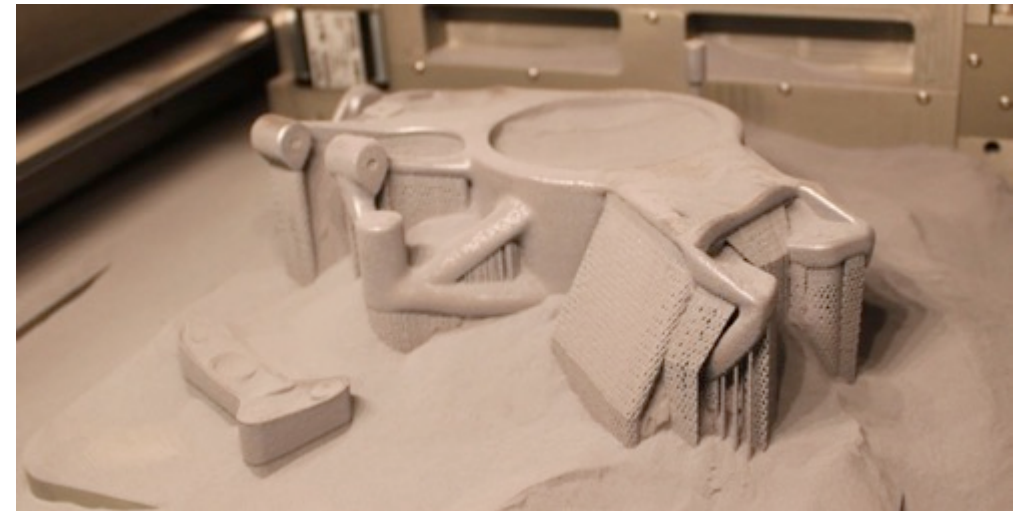
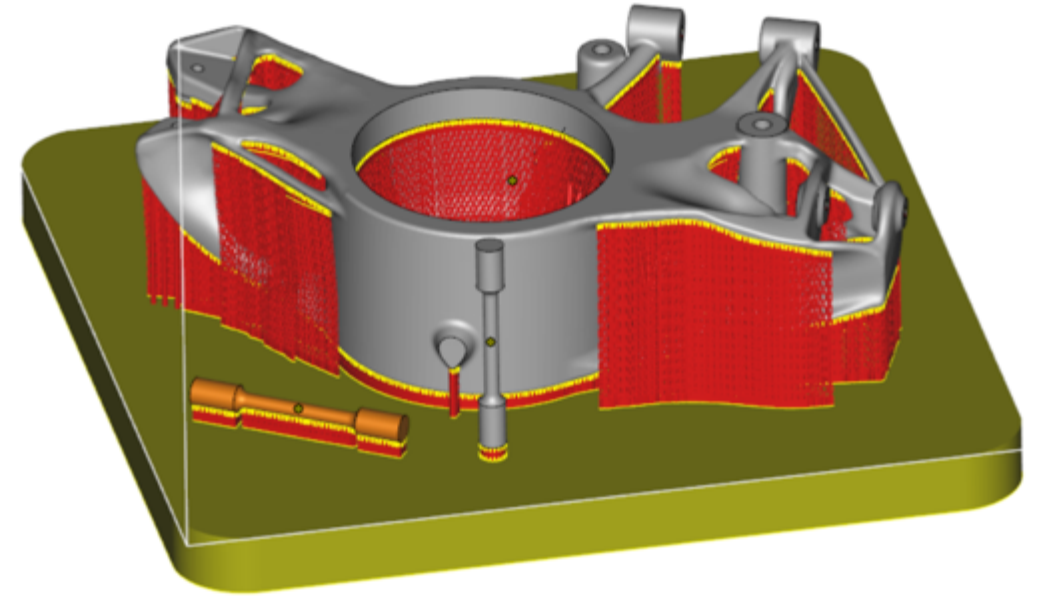
- finální export, model celého monopostu

Budoucnost AM - software

Produkce finálních dílů pro různá odvětví včetně kustomizace.

CAD systémy podporující aditivní výrobu

- Topologická optimalizace ANO/NE ?
- Additive rules
- Post-processing ?
- Jak stavět? Bez podpor?



Budoucnost AM - software

CAD systémy podporující aditivní výrobu

- Topologická optimalizace ANO/NE ?
- Inspire
- OptiStruc
- Frustum (on-line)
- Pluginy a moduly do CAD
 - Solidworks
 - Inventor

The screenshot displays the Generate Additive software interface for a project named "ge bracket". The main view shows a 3D model of a blue, lattice-structured bracket. The interface includes a top navigation bar with "Dashboard", "Account", and "Logout" options. Below the navigation bar, the scenario is identified as "scenario 1-clone...".

Key parameters shown are:

- Material: Ti6Al4V
- Resolution: Medium
- Target Mass Percentage: 25%

The interface features a table for defining load cases (LC) and face groups (FG). The table below shows the configuration for four load cases and one face group.

Face Groups	Name	Offset Thickness	Loadcases			
			LC 1	LC 2	LC 3	LC 4
▶ FG 1		3	fixed	fixed	fixed	fixed
▶ Hole 1		10	x: 0 N y: 11788 N z: 13325 N	x: 0 N y: 14158 N z: 12525 N	x: 0 N y: 955 N z: 21121 N	x: 0 N y: 14477 N z: 14577 N
▶ Hole 2		10	x: 0 N y: 11788 N z: 13325 N	x: 0 N y: 14158 N z: 12525 N	x: 0 N y: 955 N z: 21121 N	x: 0 N y: 14477 N z: 14577 N

At the bottom of the interface, there is a "Diagram of Convergence" showing two stages of optimization. A "SHOW FINAL RESULT" button is visible below the diagram. A "DOWNLOAD" button is located at the bottom right of the 3D view area. The interface also includes a "Feedback" button on the right side and a "3D View" icon at the bottom right.

Budoucnost AM - software

Produkce finálních dílů pro různá odvětví včetně kustomizace

CAD systémy podporující aditivní výrobu

- ❑ Topologická optimalizace ANO/NE ?
(Lightweighting is an example of this: parts can be created with a minimum of material necessary to meet specified functional requirements)

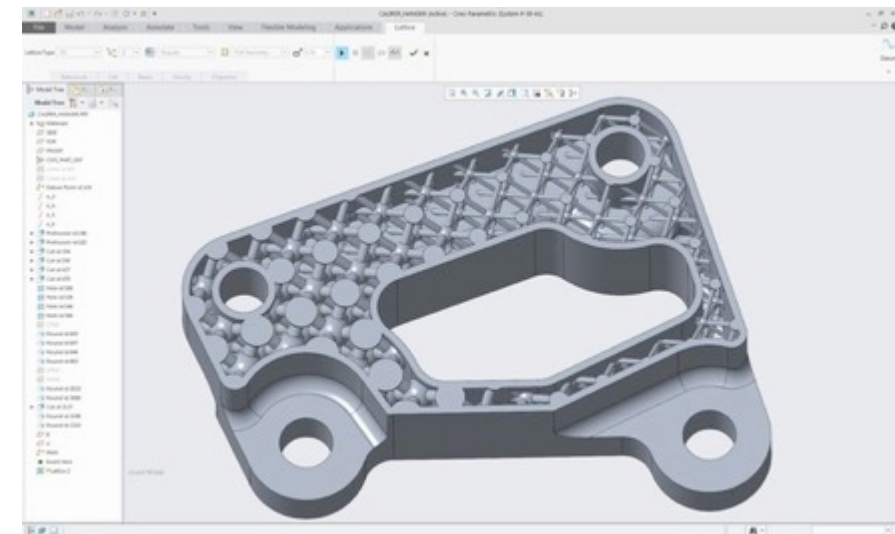
- ❑ Integrace do CAD systémů

Creo

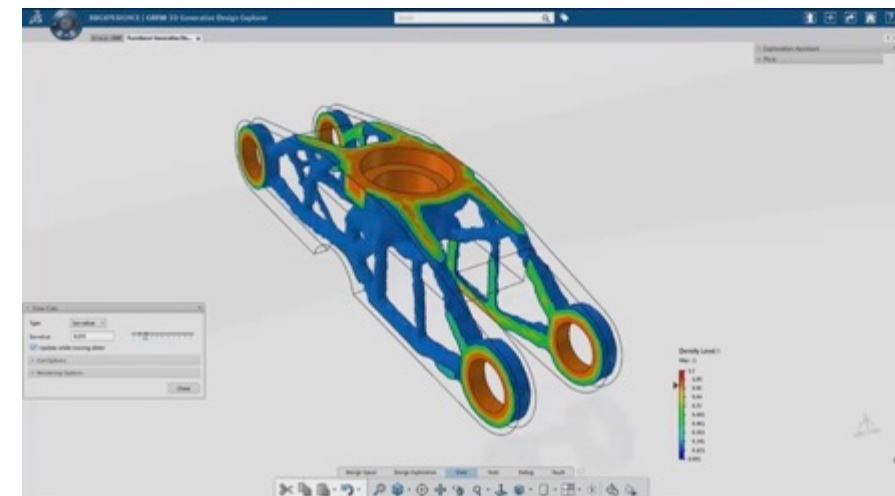
- ❑ Compatible Printers Stratasys • Polyjet Technology (Connex), using Object Studio
- ❑ FDM technology (uPrint, Dimension and Fortus) using GrabCAD Print 3D Systems • ProJet 1200, 2500, 2500 Plus, 5500x, using 3D Sprint kernel embedded into Creo •
Upcoming: ProJet 3600, 3510, 6000 & 7000, 800, 950

CATIA & SIMULIA

- ❑ 3D Generative Design Explorer
- ❑ Topologická optimalizace
- ❑ Rekonstrukce polygonálních dat do ploch
- ❑ Generování struktur



<http://www.ptc.com>

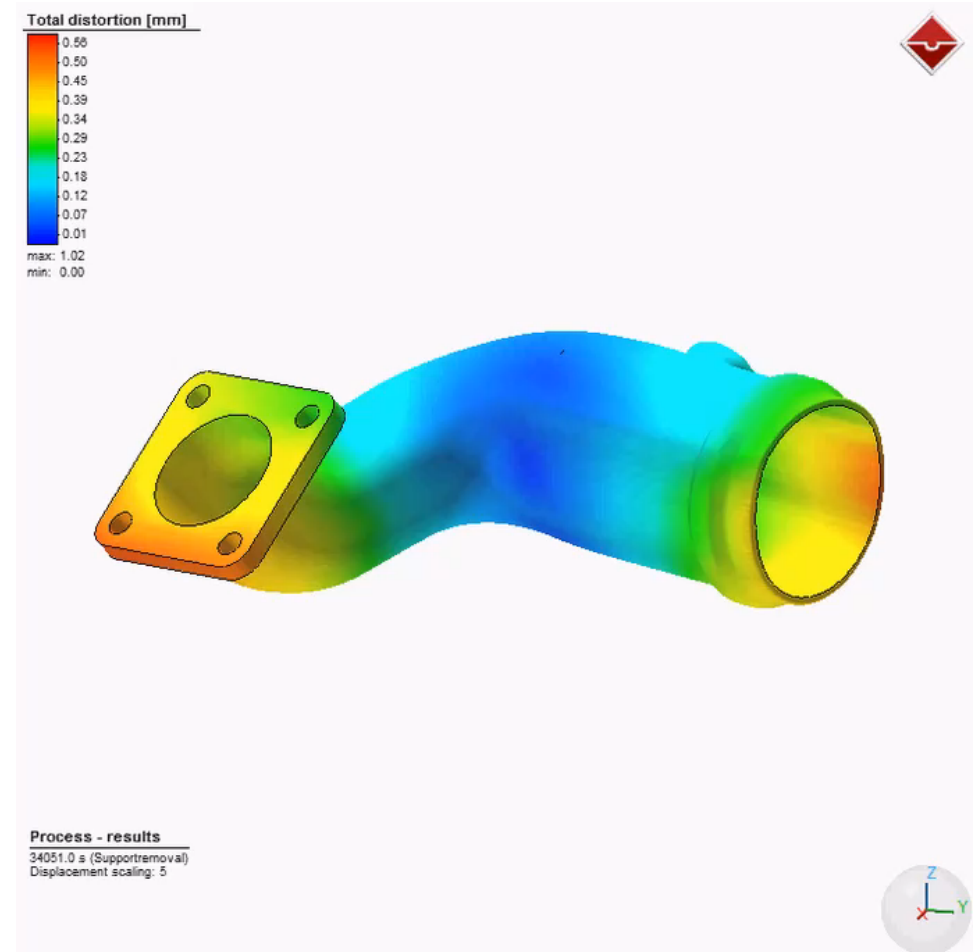


Budoucnost AM - software

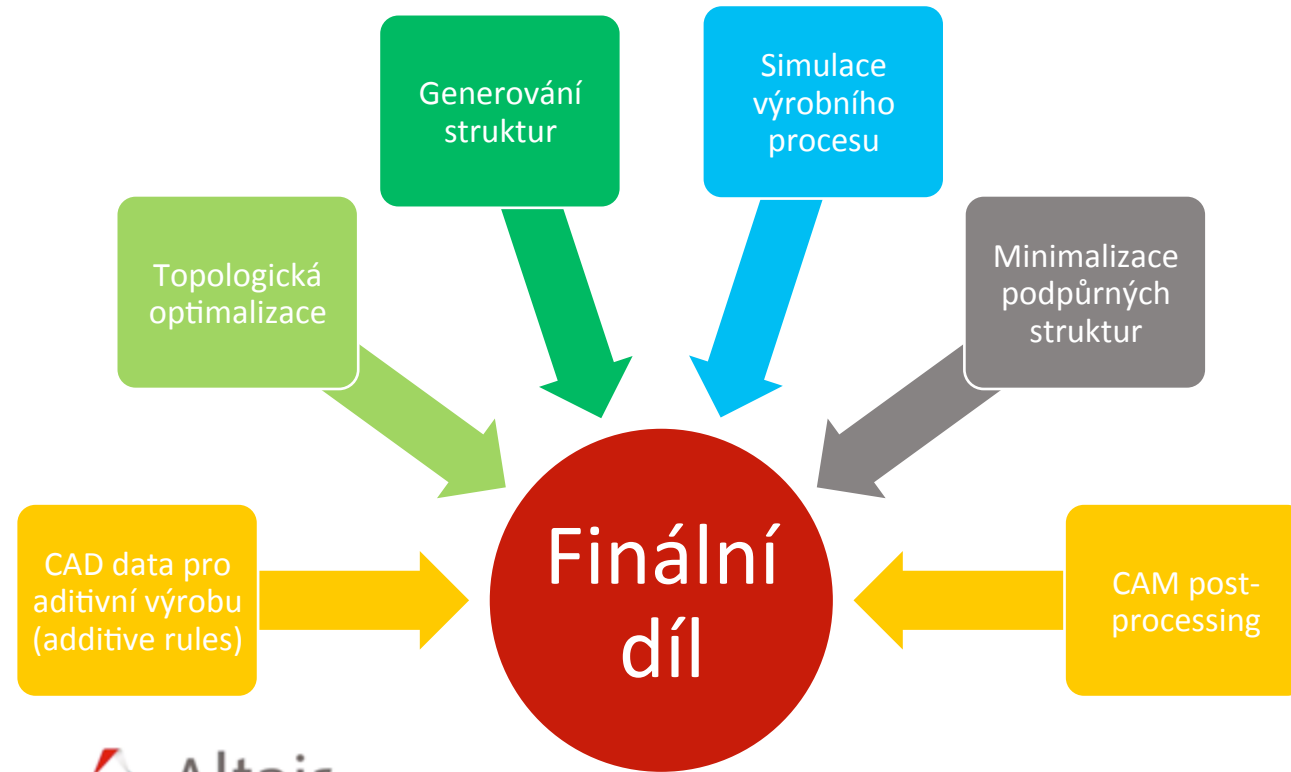
Simulace výrobního procesu

Simulace podporující aditivní výrobu

- Simufact Additive
- Autodesk Netfabb (integrované řešení)
- Virfac® Additive Manufacturing
- Amphion
- Ansys



Budoucnost AM - integrace



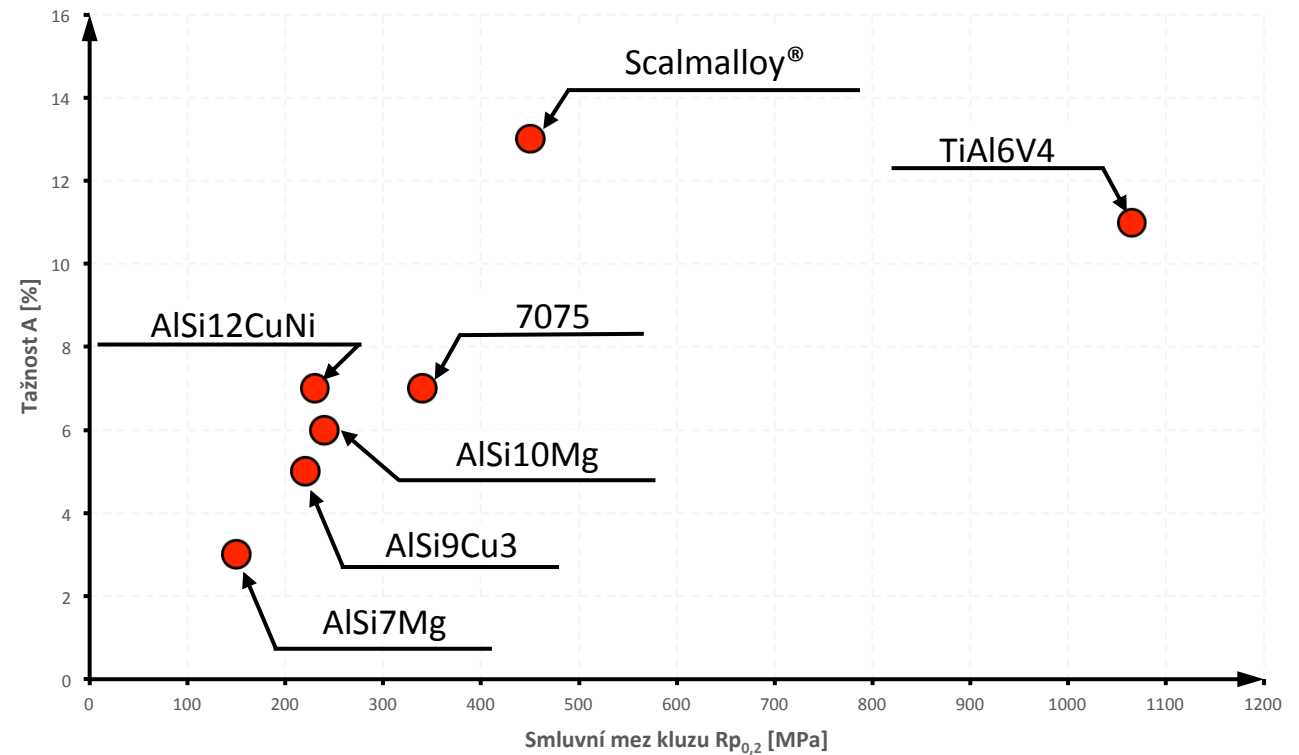
Budoucnost AM - materiály

Tiskové materiály:

- Nerezová ocel (1.4404, 1.4410, 17-4PH)
- Nástrojová ocel (1.2344, 1.2709)
- Kobalt -chrom (2.4723 / ASTM F75)
- Niklové slitiny (Inconel 625, Inconel 718)
- Titanové slitiny (TiAl6Nb7, TiAl6V4)
- Hliníkové slitiny (AlSi12, AlSi10, AlSi9Cu3, AlSi7Mg)
- Cu slitiny
- V oblasti plastů díky digitálním materiálům desítky až stovky možností

Budoucnost AM - materiály

- ❑ Scalmalloy
- ❑ Pro zařízení SLM 280^{HL} nebyly stanoveny procesní parametry
- ❑ Vyšší mechanické vlastnosti než běžně používané hliníkové slitiny
- ❑ Vývojem slitiny se zabývá firma Airbus – APWorks
- ❑ Young's Modulus 65 Gpa
- ❑ Yield Strength 450 MPa
- ❑ Ultimate Tensile Strength 490 MPa

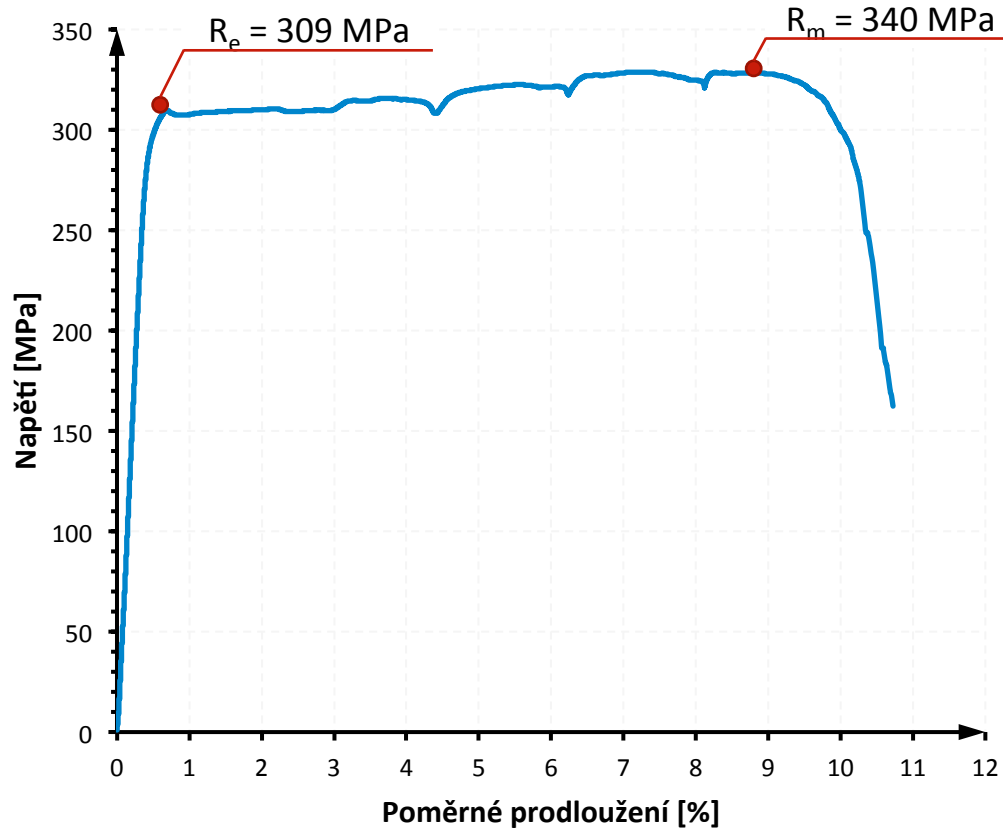


Srovnání zpracovaných slitin hliníku technologií SLM

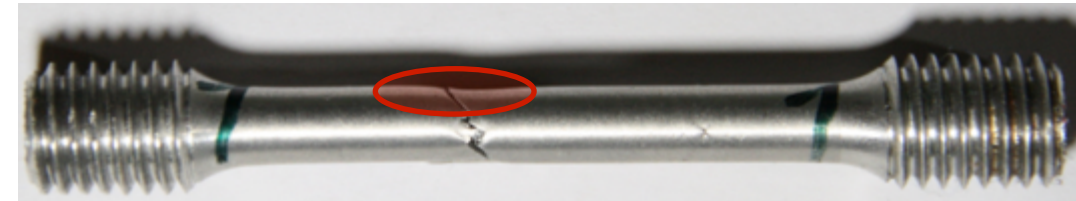
citim.de; apworks.de

Budoucnost AM - materiály

Scalmalloy



Průběh tahové zkoušky



Vzorky obrobeny dle DIN 50125 - B

Výsledky tahové zkoušky

Směr stavby	E [GPa]	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
0°	77,9	309	340	14,2	19,9
0°	75,7	304	329	10,5	20,8

Dosažené mech. vlastnosti kolektivem SPIERINGS et. al

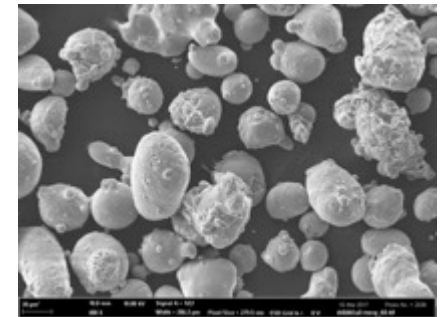
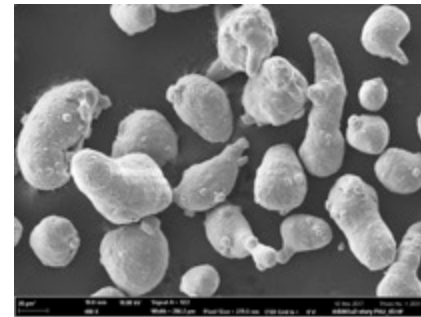
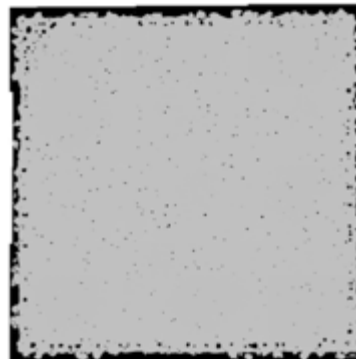
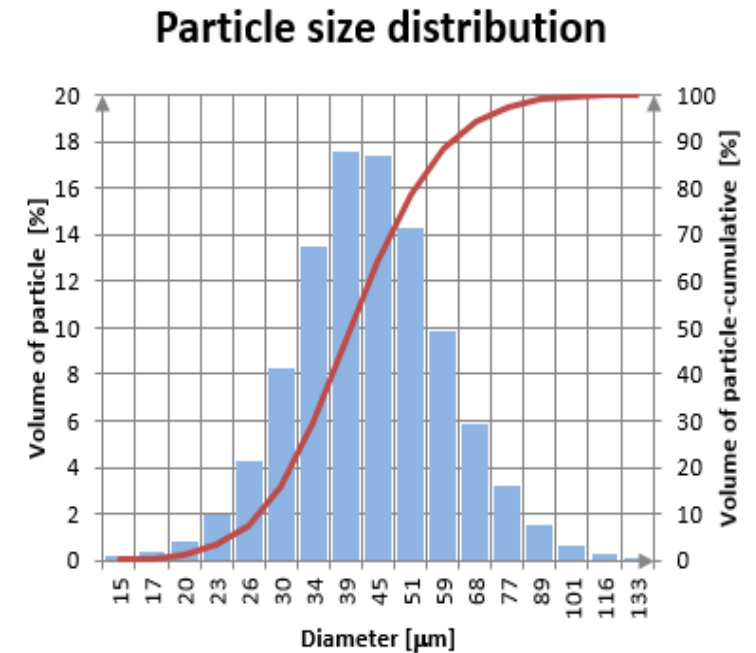
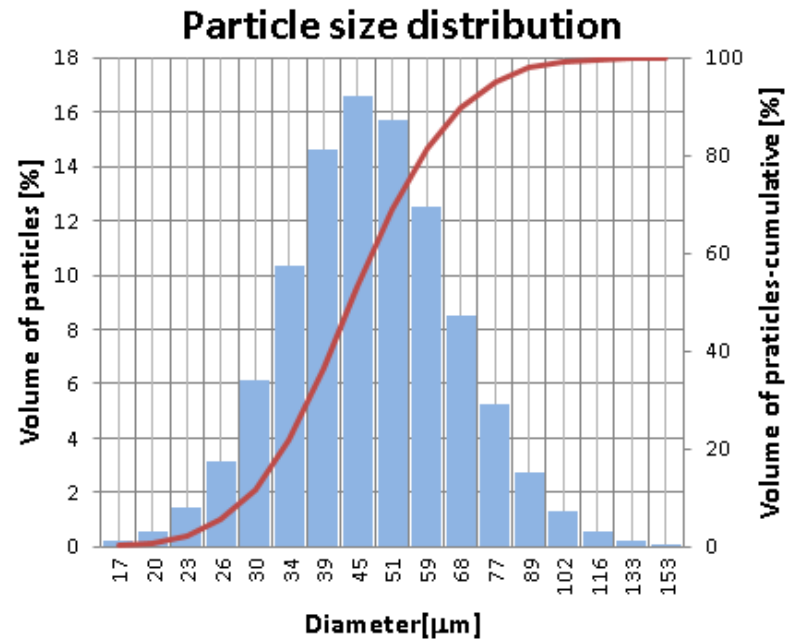
Směr stavby	E [GPa]	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
0°	70	270	390	×	×
90°	72	310	420	×	×

Budoucnost AM - materiály

Kvalita materiálů

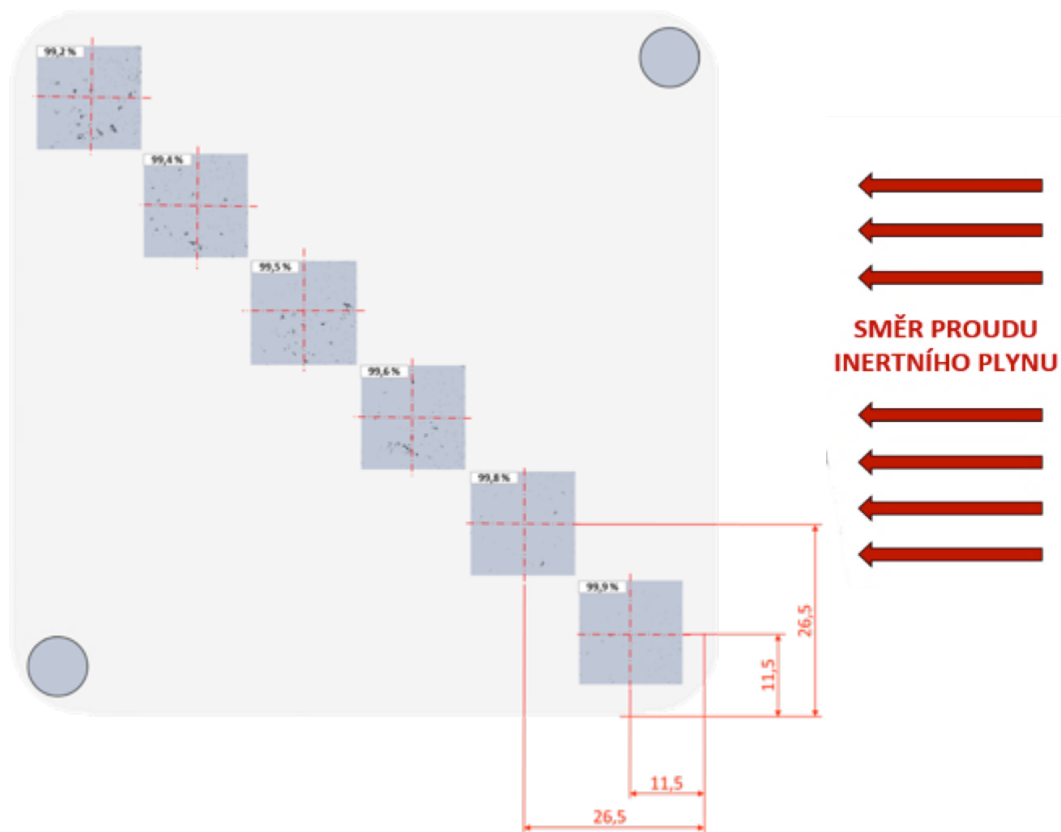
- Distribuce velikosti částic
- Tvar částic

	HORIBA LPW	HORIBA SLM
MEDIAN	43.8 μm	40.2
MEAN SIZE	46.7 μm	42.6
STD. DEV.	16.5 μm	14.3
DIAMETER OF CUMULATIVE (%)	D10% - 28.9 μm D90% - 67.9 μm	D10% - 27.2 μm D90% - 61.2 μm

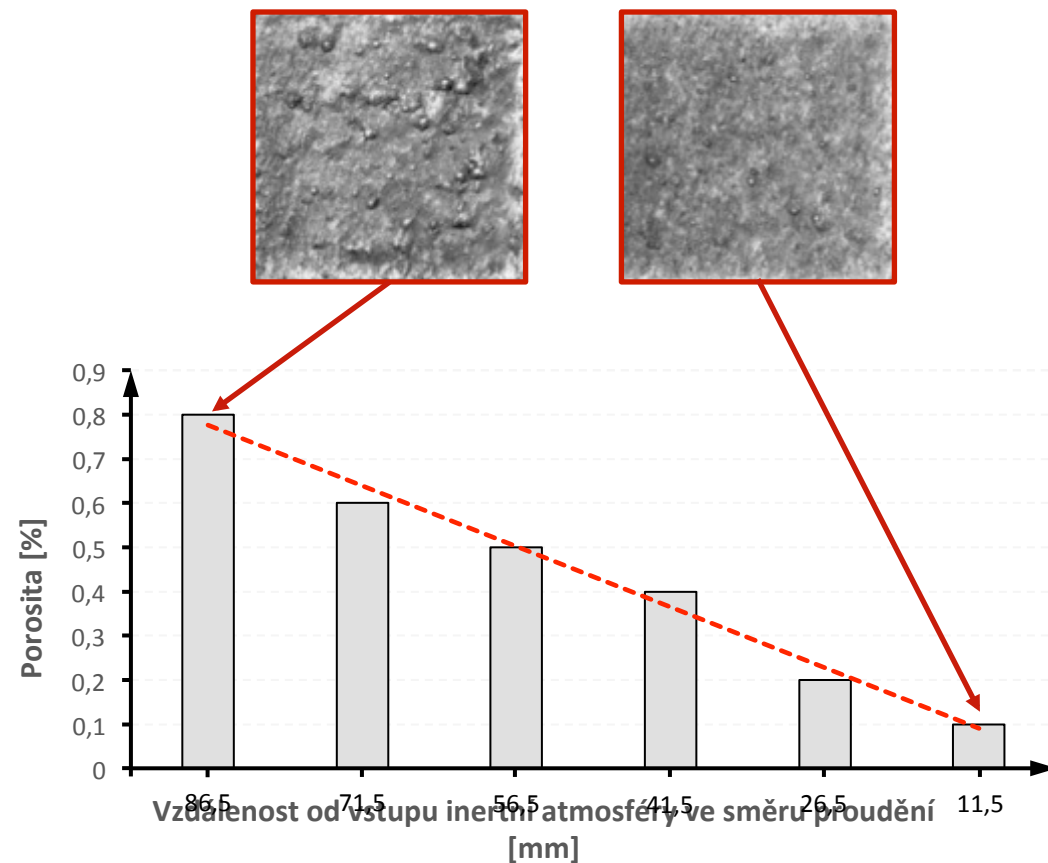


Budoucnost AM – opakovatelnost

Stabilita procesu



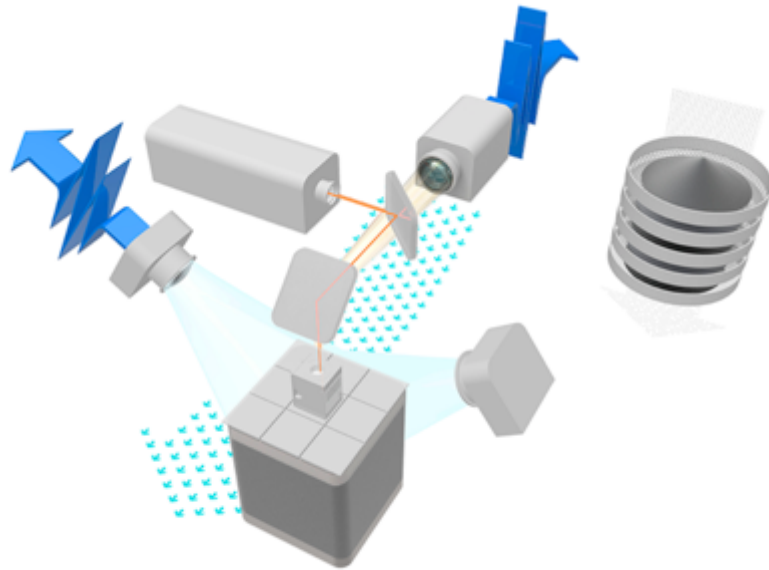
Umístění vzorků na platformě



Závislost porosity na vzdálenosti od vstupu inertní atmosféry

Budoucnost AM – stabilita procesu

- ❑ Kontrola procesu přímo ve stroji
- ❑ Protokol stavby
- ❑ Validace dílu (3D digitalizace)

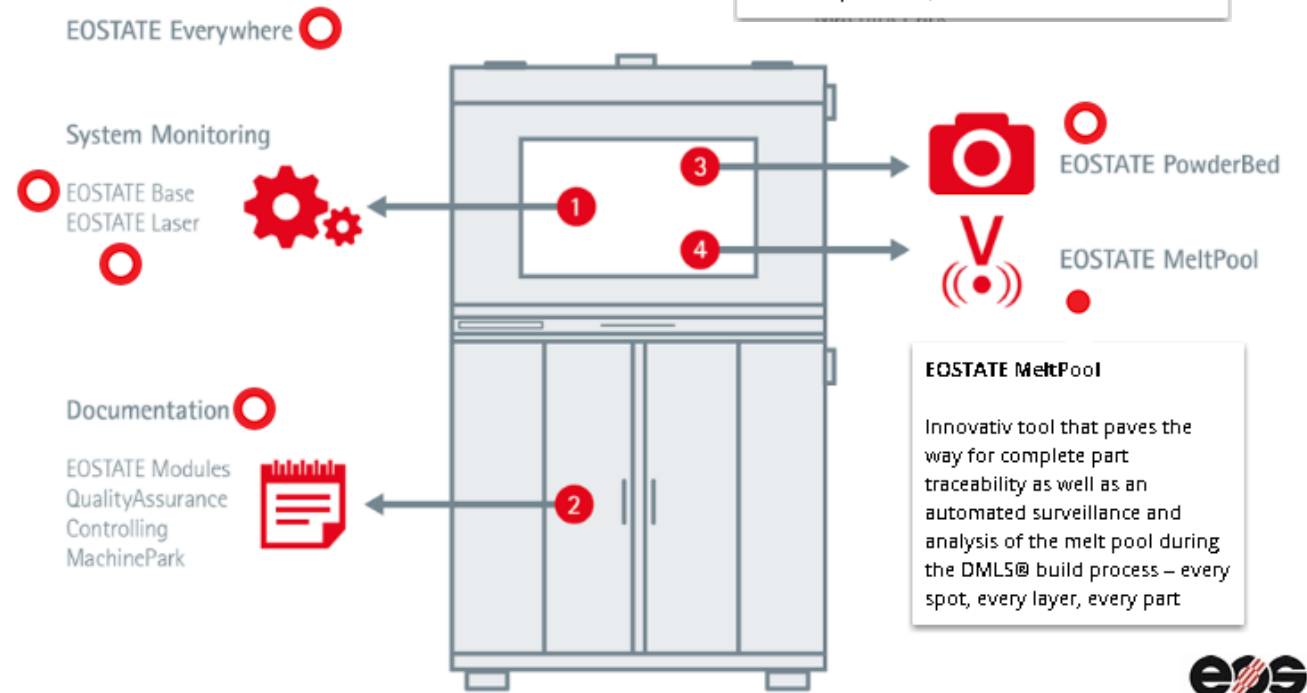


QM^{RT} meltpool 3D* QM^{RT} coating QM^{RT} live view QM fiber power QM casing power QM^{RT} atmosphere QM powder QM documentation

www.concept-laser.de

Comprehensive system status monitoring sensors:

Laser and scanner status with automated scanner self-calibration, cooling system, electrics complete with power-failure protection, build platform position, dosing system and collector vessels, status of circulating air filter system, process chamber and surrounding atmosphere, temperature of build platform, etc.



eos
e-Manufacturing Solutions

Budoucnost AM – velké díly

Velké díly

- Kovy
- Sciaky
- Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM®) Systems
- 5.79 m x 1.22 m x 1.22 m
- Rotační díly průměr 2.44 m



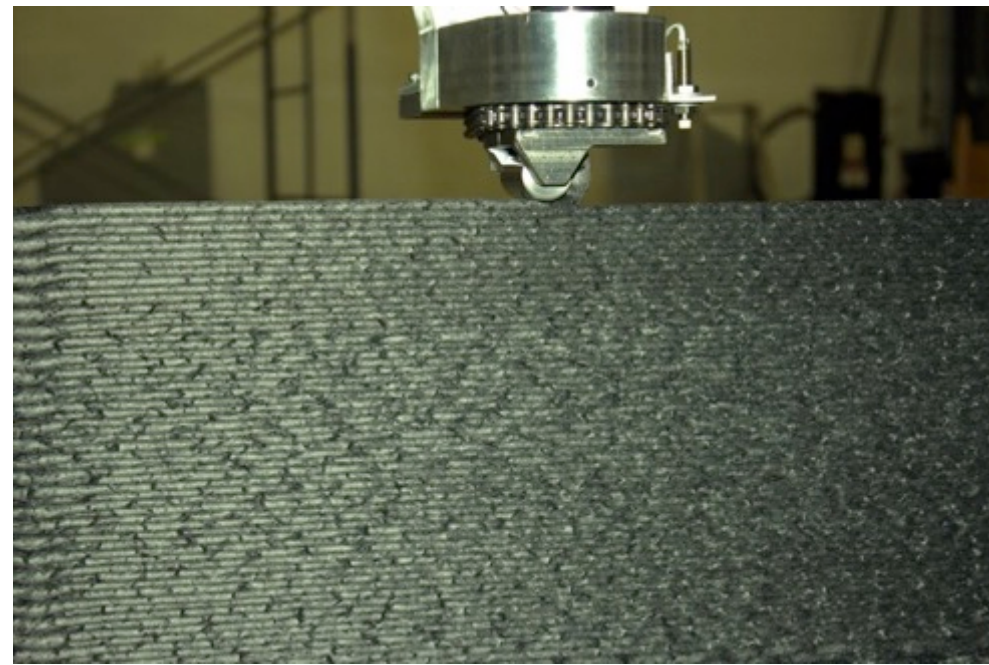
3dprint.com

Budoucnost AM – velké díly

Velké díly

❑ Plasty

❑ Thermwood Corporation



Budoucnost AM – velké díly

Velké díly

❑ Beton

❑ Win Sun



<http://www.machinedesign.com>

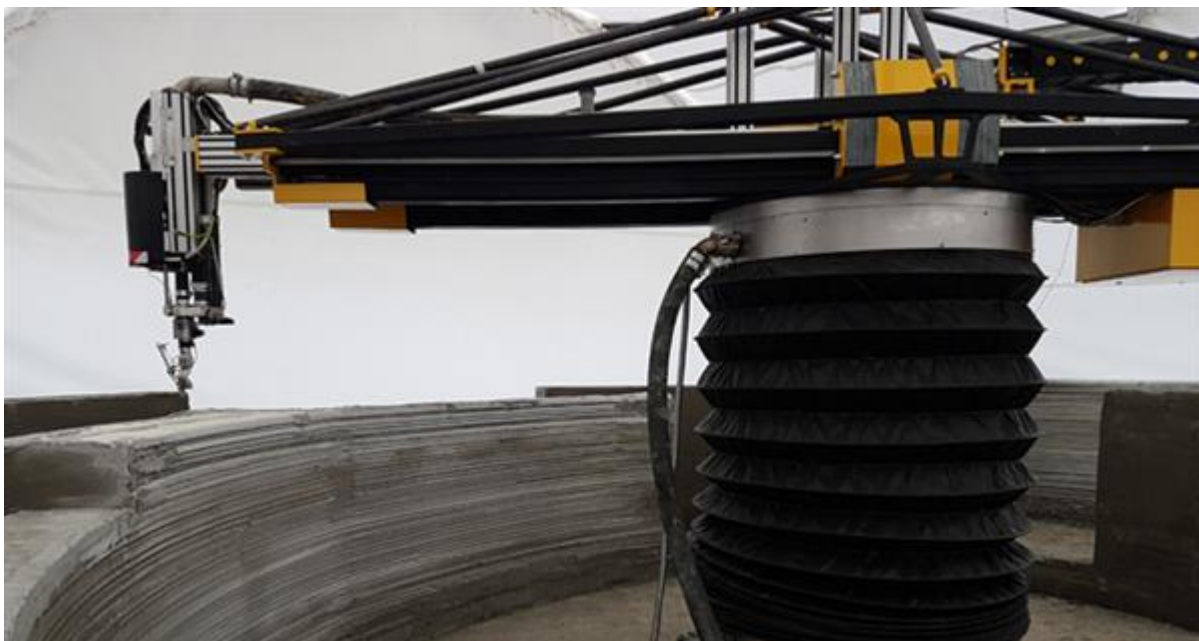
<http://www.prototypetoday.com/additive-manufacturing-news>

Budoucnost AM – velké díly

Velké díly

Beton

Apis Cor

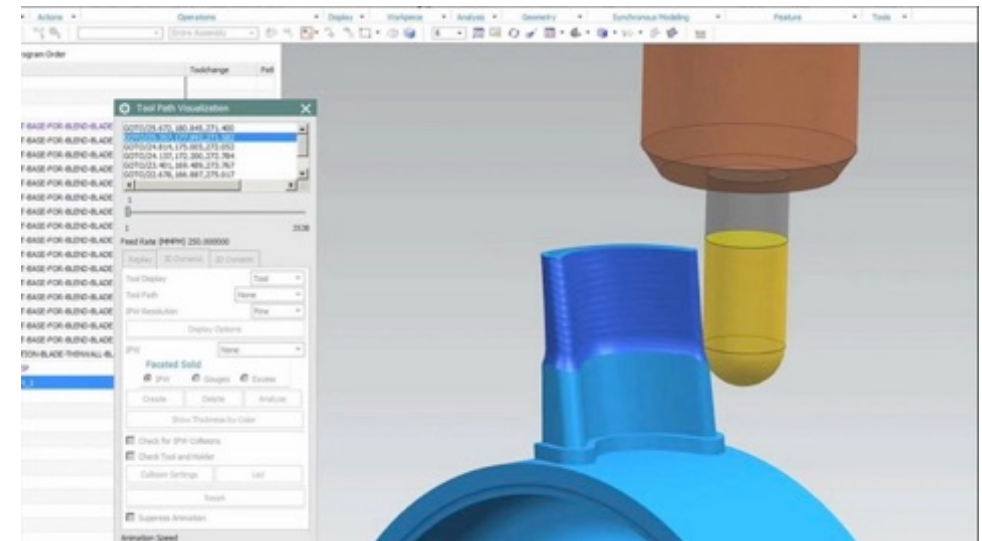
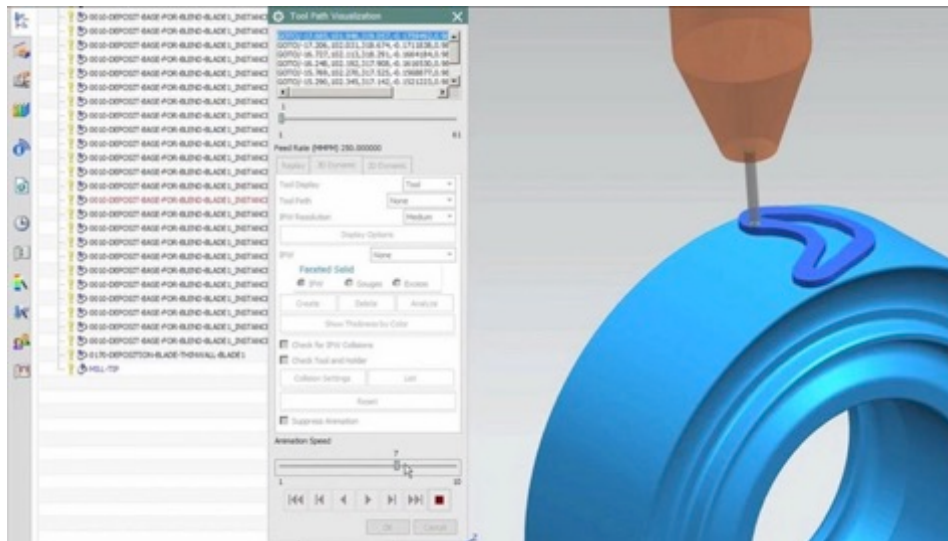


<http://www.3ders.org>

Budoucnost AM – perspektivní technologie

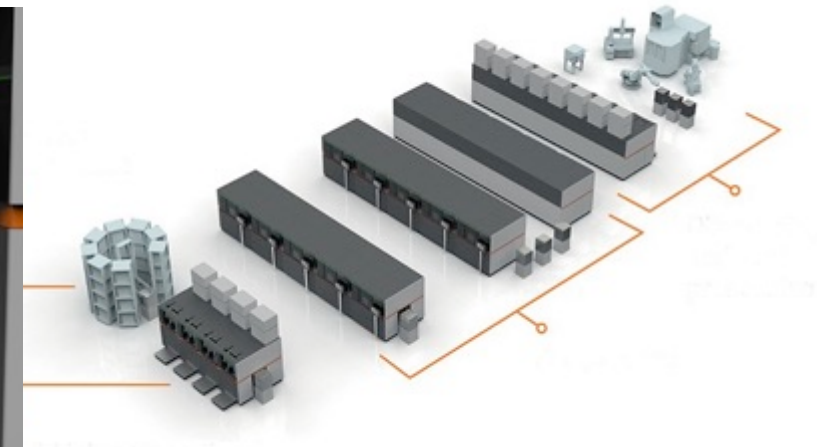
Hybrid manufacturing

- ❑ CAM Softwarová platforma Siemens NX Hybrid Additive Manufacturing
- ❑ Oprava dílů a nástrojů
- ❑ Vysoká přesnost aditivních dílů po obrobení
- ❑ Eliminace přeupínání dílů (výroba v jedno stroji)
- ❑ Umožňuje stavět velké díly



Budoucnost AM – masová produkce

- ❑ Masová produkce
- ❑ Několik desítek strojů
- ❑ Jeden stroj – různé výrobky
- ❑ Automatizace, „factory of tomorrow“



Děkuji Vám za pozornost

David Paloušek
NETME Centre
www.3Dlaboratory.cz

