

Aditivní technologie

(aditivní výroba, Rapid Prototyping)

Ing. Petr Keller, Ph.D.

Aditivní výroba

Norma ISO/ASTM 52900 uvádí schválené kategorie a názvy procesů aditivních technologií, které jsou uvedeny v následujícím seznamu:

- vytlačování (extrudování) materiálu – proces aditivní výroby, ve kterém je materiál selektivně dávkován tryskou nebo otvorem,
- **tryskání materiálu – proces aditivní výroby, ve kterém jsou selektivně nanášeny kapičky stavěného materiálu,**
- tryskání pojiva – proces aditivní výroby, ve kterém je kapalné pojivo selektivně nanášeno pro spojení práškového materiálu,
- laminování deskového materiálu – proces aditivní výroby, ve kterém je pro vytvoření součásti spojován deskový materiál,
- **fotopolymerizace ve vaně – proces aditivní výroby, při kterém je kapalný fotopolymer v nádobě selektivně vytvrzován polymerizací aktivovanou světlem,**
- spojování prášku ve vrstvách teplem – proces aditivní výroby, při kterém tepelná energie selektivně spojuje oblasti ve vrstvě prášku,
- řízená energie natavování – proces aditivní výroby, při němž je tepelná energie soustředěna na spojení materiálů tavením v okamžiku nanášení.

Starší dělení dle stavu vstupního materiálu

Kapalina (fotopolymery):

- Stereolithography Apparatus (SLA)
- Digital Light Processing (DLP)
- Polyjet printing

Prášek:

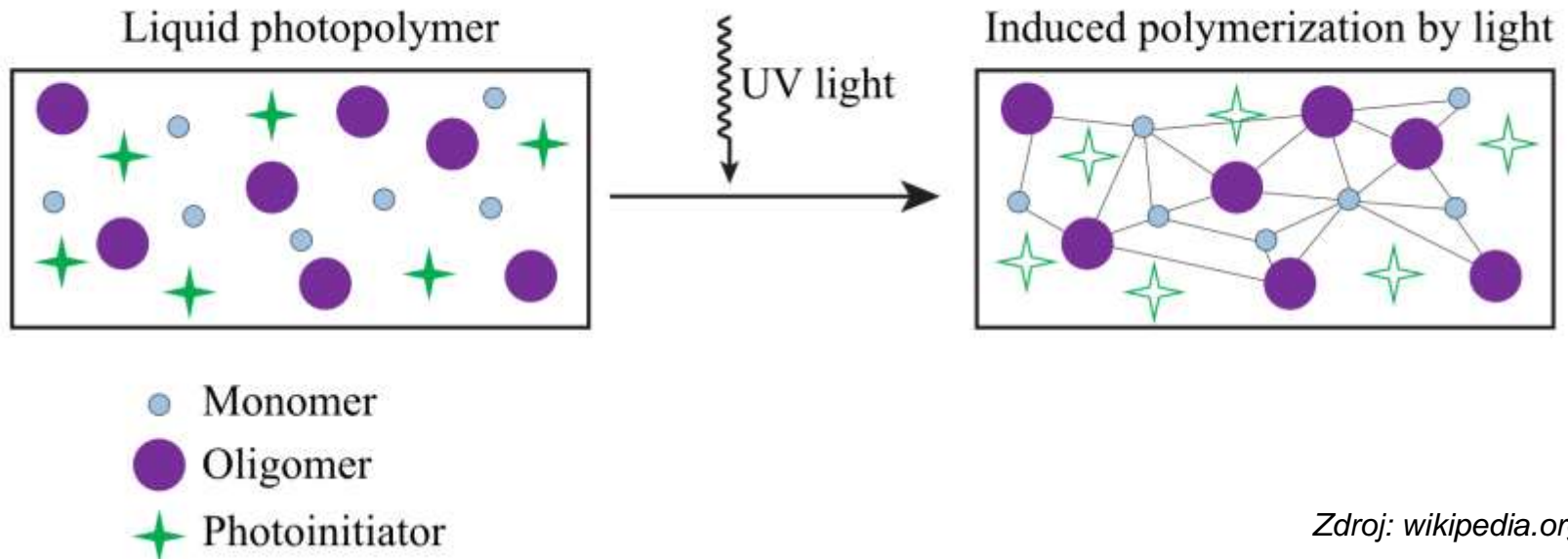
- Selective Laser Sintering (SLS)
- Selective Laser Melting (SLM, DMLS)
- Three Dimensional Printing (3DP)
- Multi Jet Fusion (MJF)
- Directed Energy Deposition (DED, Laser Cladding, MPA,...)

Pevný:

- Fused Deposition Modelling (FLM, FDM, FFF)
- Laminated Object Manufacturing (LOM)
- Thermoplastic Ink Jet (TIJ)
- ARBURG Plastic Freeforming (APF)
- Directed Energy Deposition (DED, MIG/MAG navařování)

Fotopolymer

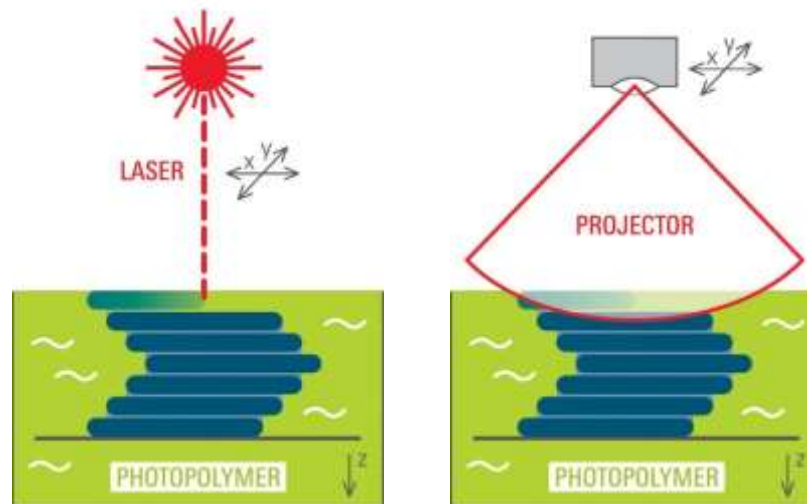
- polymer, který změní své vlastnosti po expozici světla
- tyto změny se často projevují změnou struktury, např. vytvrdnutí materiálu v důsledku zesíťování po expozici světla
- obrázek znázorňuje směs monomerů, oligomerů a fotoiniciátorů před a po vytvrzení



Aditivní technologie

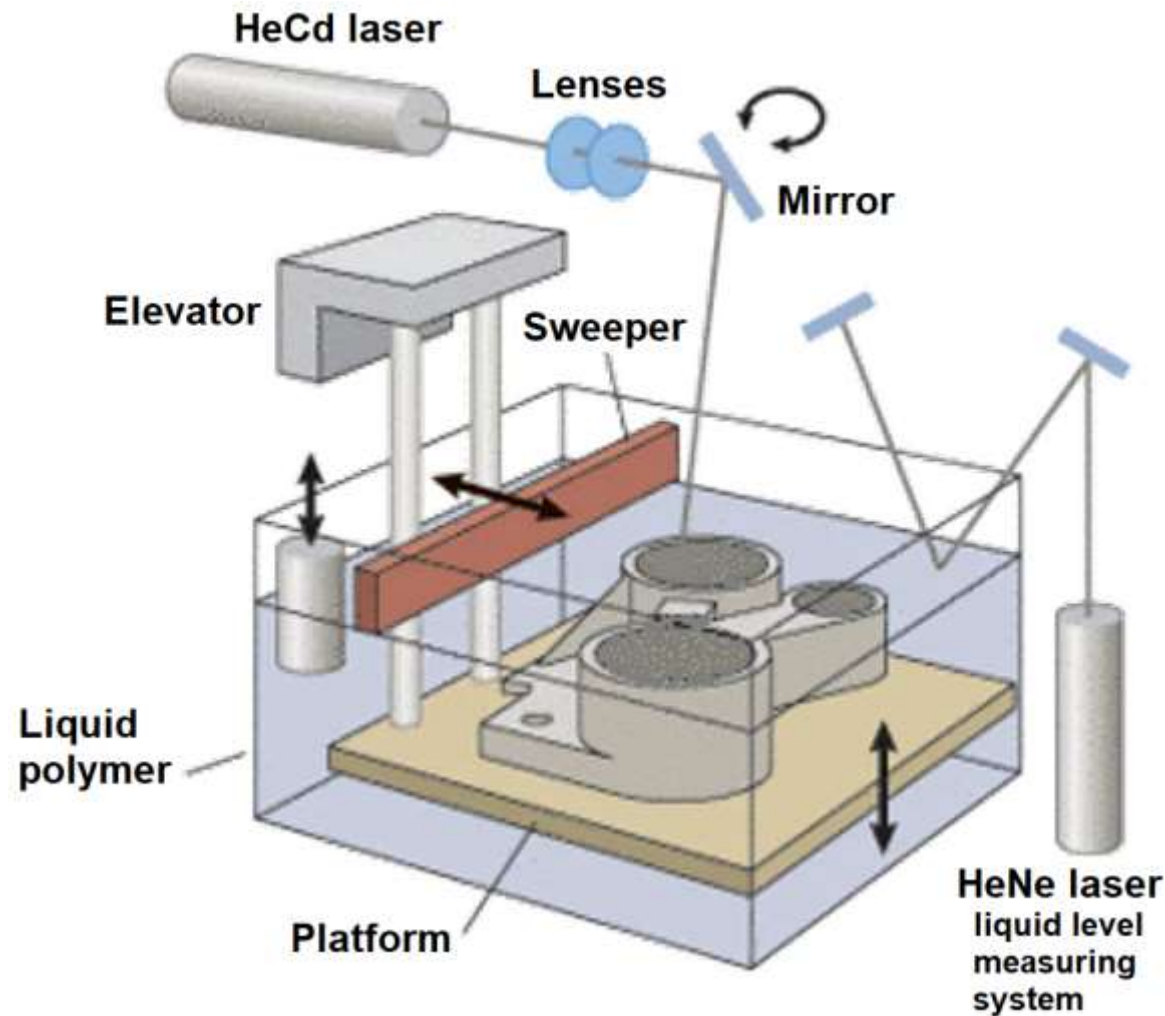
– fotopolymerizace ve vaně

- fotopolymerizace ve vaně – proces aditivní výroby, při kterém je kapalný fotopolymer v nádobě selektivně vytvrzován polymerizací aktivovanou světlem
- vat photo-polymerization – an additive manufacturing process in which liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerization



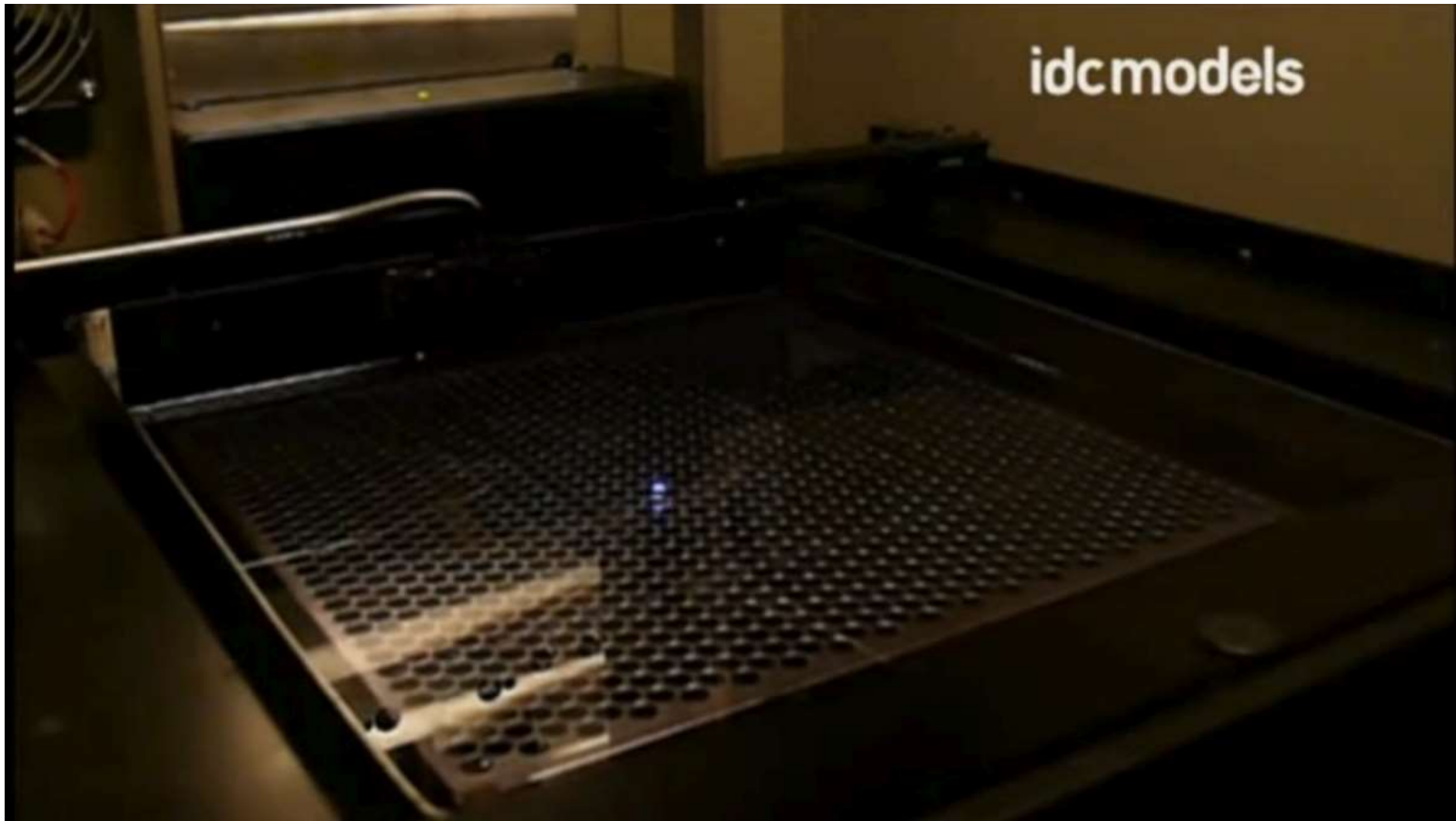
Zdroj: matca.cz/technologie/aditivni-technologie/

Stereolithography Apparatus

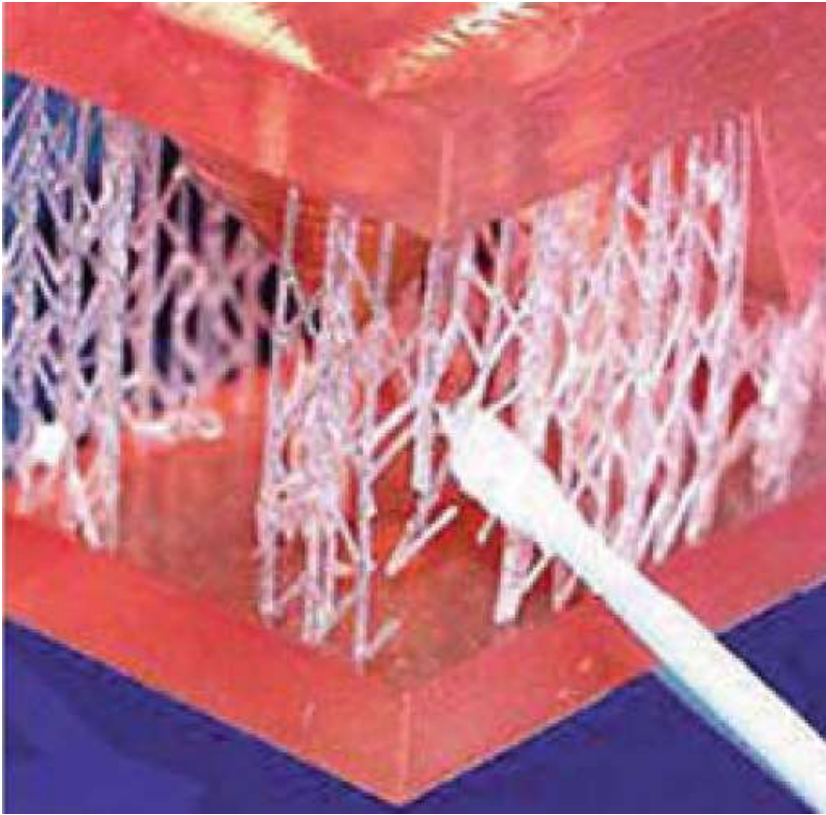


- vytvrzování fotopolymeru selektivně pomocí laseru v tenké vrstvě na hladině
- tekutý nezpracovaný fotopolymer slouží částečně jako podpora, přesto je nutné stavět řídké podpory pro fixování dílu na platformě
- nezpracovaný fotopolymer ve vaně je možné opětovně použít

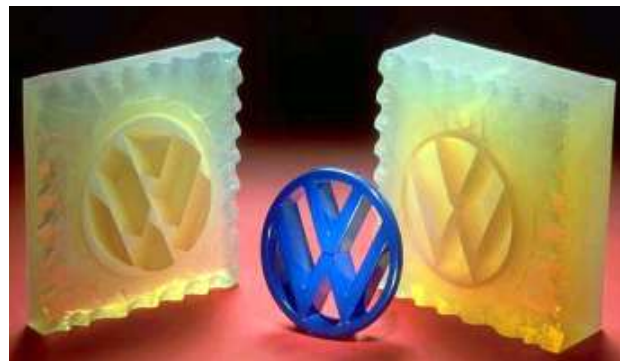
Stereolithography Apparatus



Stereolithography Apparatus

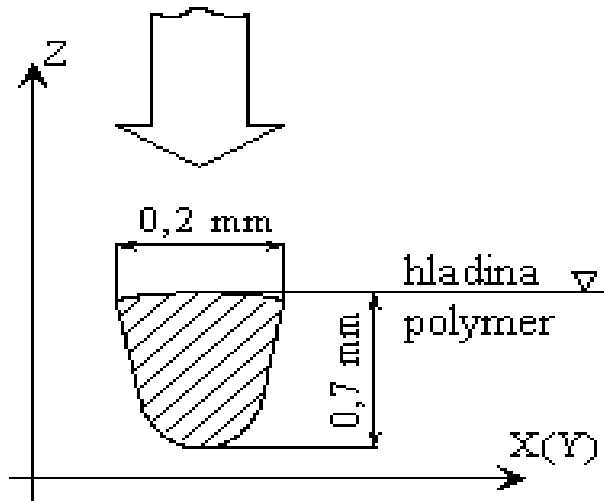


- podpory jsou ze stejného materiálu jako vlastní model (jsou velmi tenké, proto vypadají jako čiré)
- k povrchu dílu jsou připojeny velmi malou plochou, lze je snadno mechanicky odstranit bez zanechání stop
- díl je po vyjmutí z vany „lepkavý“, je třeba následného dotvrzení v UV světle



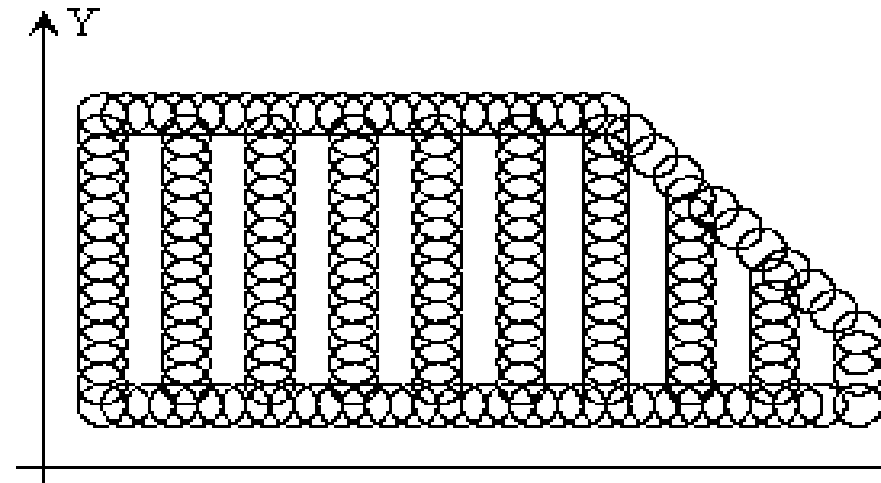
Princip vytváření vrstev z jednotlivých bodů – např. technologie SLA

1. KAPKA (MAX)

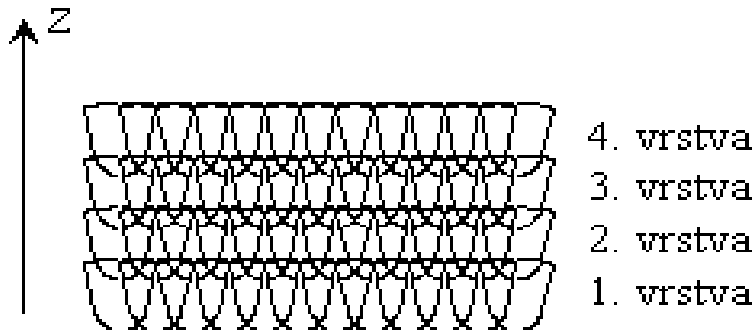


2. VRSTVA - shora

Spojení následných kapek tvoří obrys a výplň tuhé vrstvy



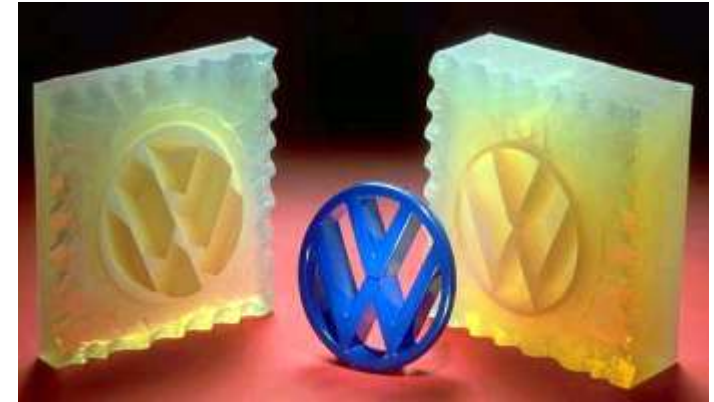
3. STAVBA DÍLU



	Stereolithography (SLA)
Aplikace	Výborná technologie pro ověřování tvarů dílů. Velmi dobrá kvalita povrchu bez znatelných vrstev.
Max. rozměry dílu	635 x 635 x 530 [mm]
Tloušťka vrstev	Vysoké rozlišení: 0.050 - 0.100 [mm] Standardní rozlišení: 0.127 - 0.150 [mm]
Materiálové možnosti	ABS-Like White (Standard & High Res), ABS-Like Gray, ABS-Like Black, Rigid PC-Like (Standard & High Res), Durable PP-Like (Standard & High Res), Semi-Flexible, High-Impact ABS-Like, High-Temp ABS-Like, High-Temp PC-Like, Rigid, & Technician's Choice
Doporučená minimální velikost detailů	Vysoké rozlišení: 0.25 - 0.38 [mm] Standardní rozlišení: 0.64 - 0.89 [mm]

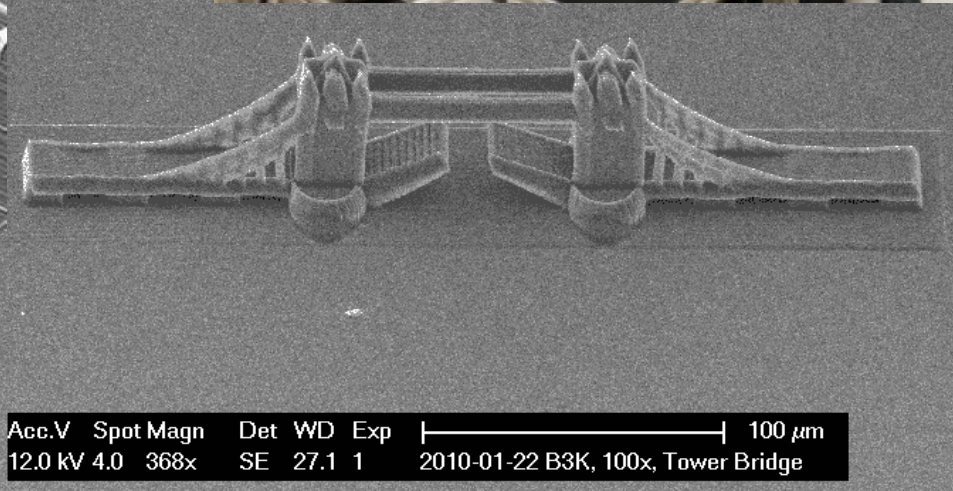
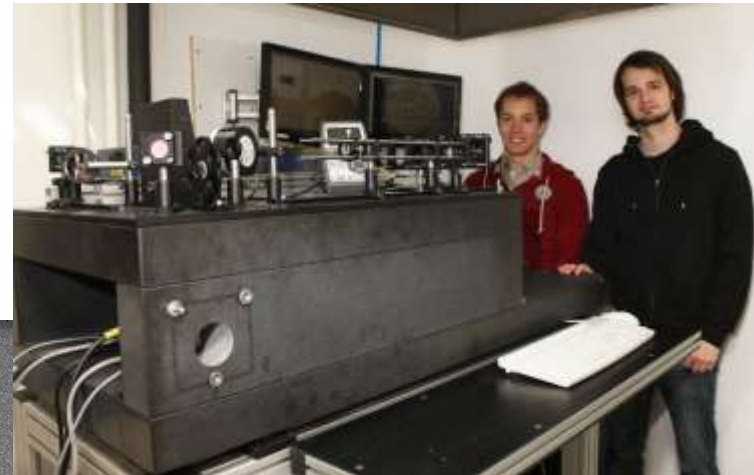
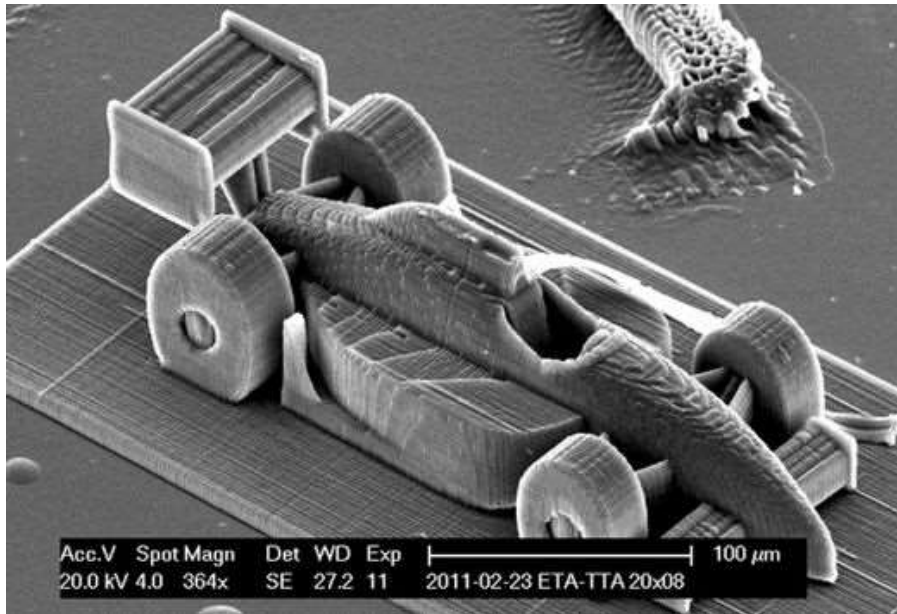
Výhody technologie SLA

- hladký povrch
- velké díly
- vysoká přesnost ($\pm 0.05 \text{ mm / m}$)
- jeden z nejlepších procesů pro nepřímou výrobu nástrojů



Výhody technologie SLA

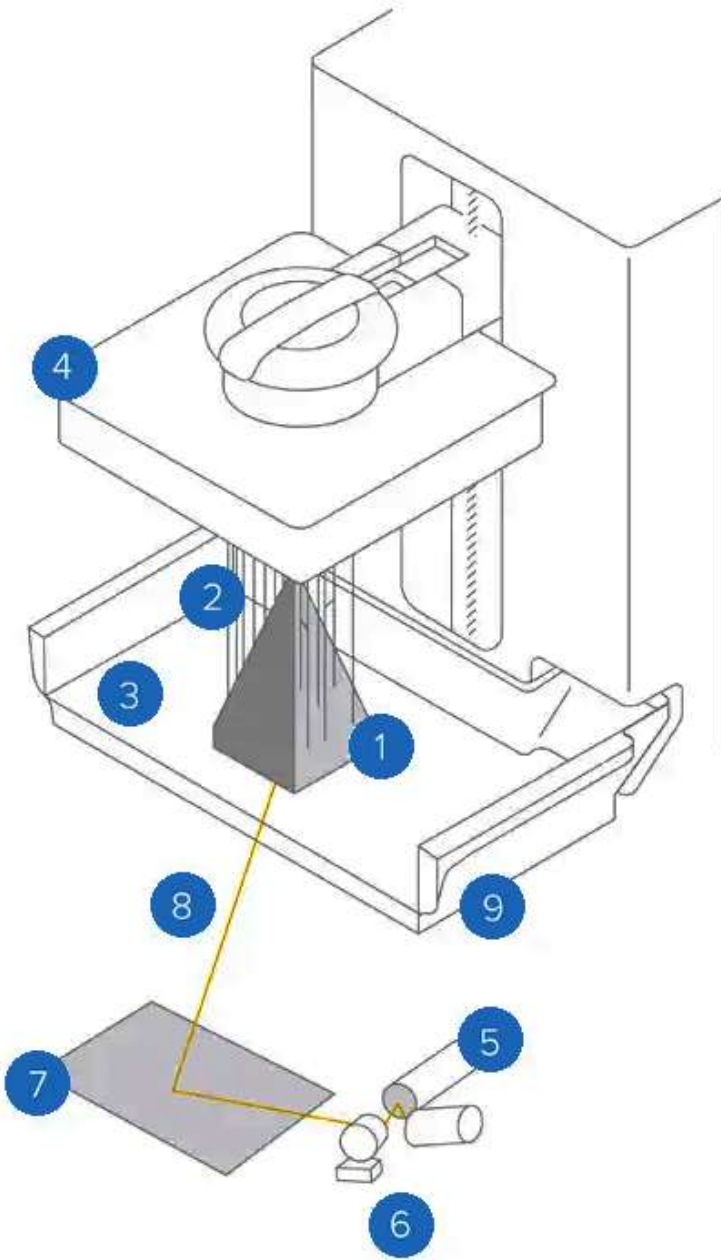
- mikro Stereolitografie pro velmi malé díly (mikro nebo milimetry) – stále ve vývoji



Nevýhody technologie SLA

- velký objem drahého fotopolymery
- malá tepelná a mechanická odolnost vzniklého modelu
- omezené množství materiálů
- tekutá pryskyřice je velmi hygroskopická
- tekutá pryskyřice je potenciální riziko pro životní prostředí
- je třeba časově náročný post-processing (dle velikosti dílu až několik hodin)

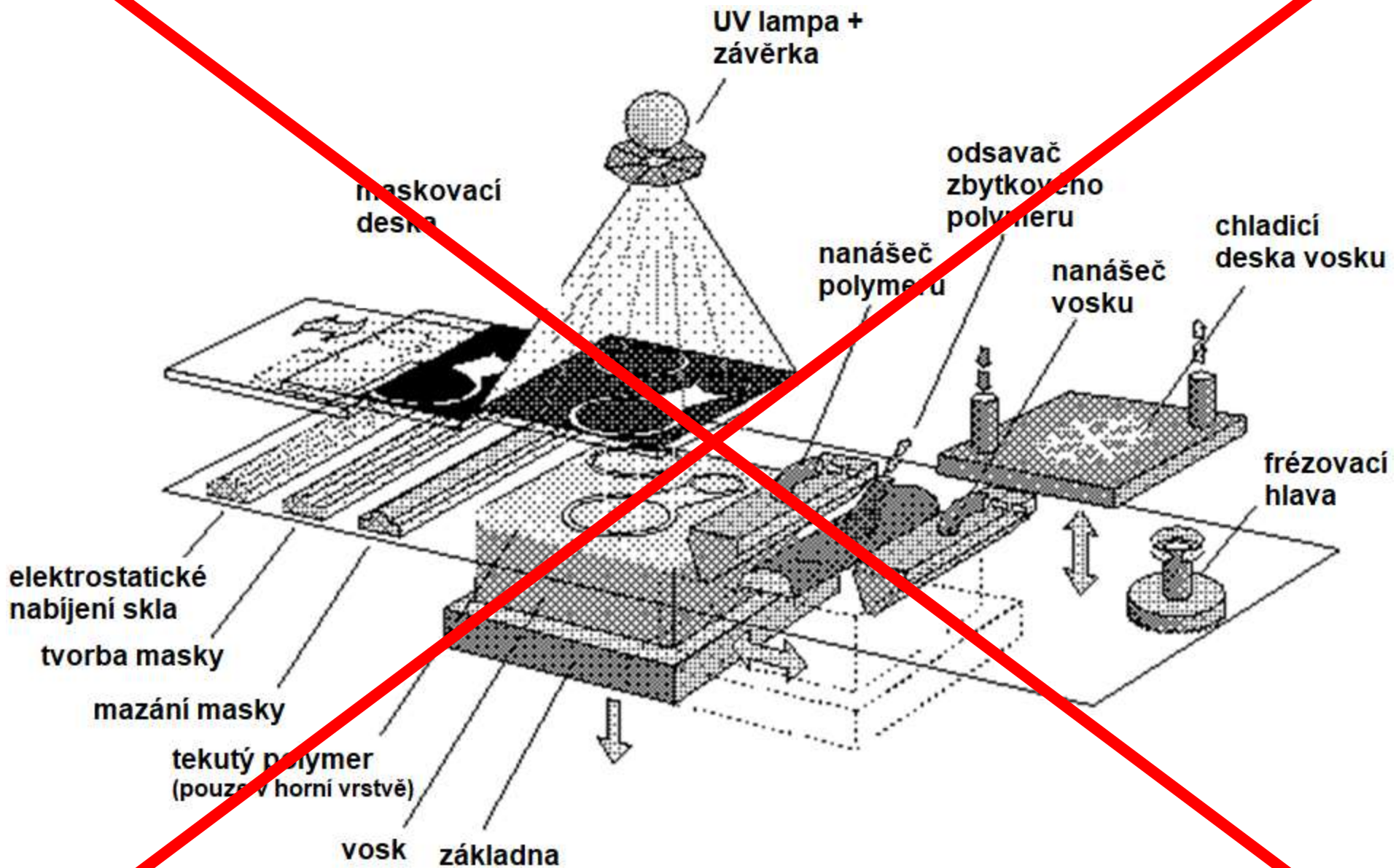
Inverted Stereolithography Apparatus



Upside-Down (Inverted) SLA

- 1 Printed Part
- 2 Supports
- 3 Resin
- 4 Build Platform
- 5 Laser
- 6 Galvanometers
- 7 X-Y Scanning Mirror
- 8 Laser Beam
- 9 Resin Tank

Solid Ground Curing



SGC: Solider



Stroj	Solider SGC 4600	Solider SGC 5600
Velikost pracovního prostoru [mm]	350 x 350 x 350	500 x 350 x 500
Přesnost [mm]	±0,084	±0,084
Rovinnost [mm]	0,15	0,15
Tl. vrstvy [mm]	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2
Rychlost	120 s / vrstvu	65 s / vrstvu
Cena [USD] (r.2000)	okolo 200 000	okolo 350 000

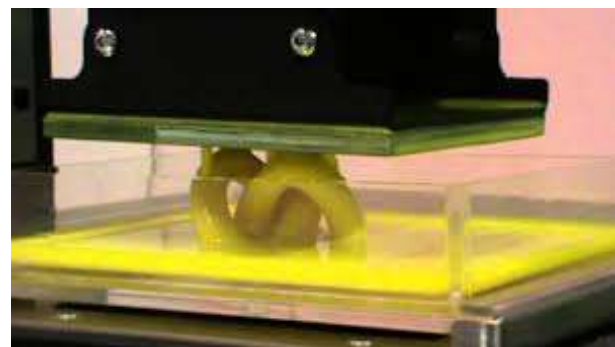
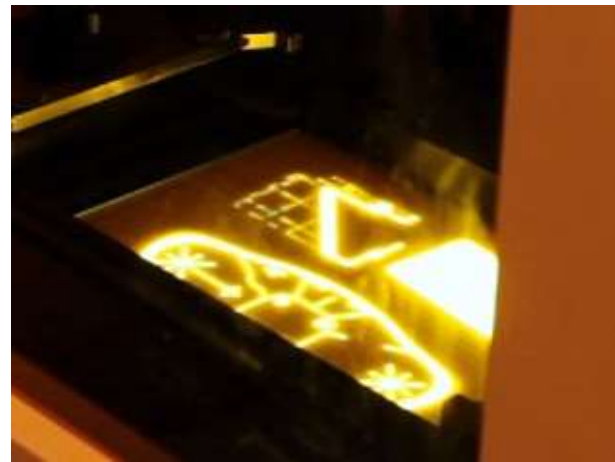
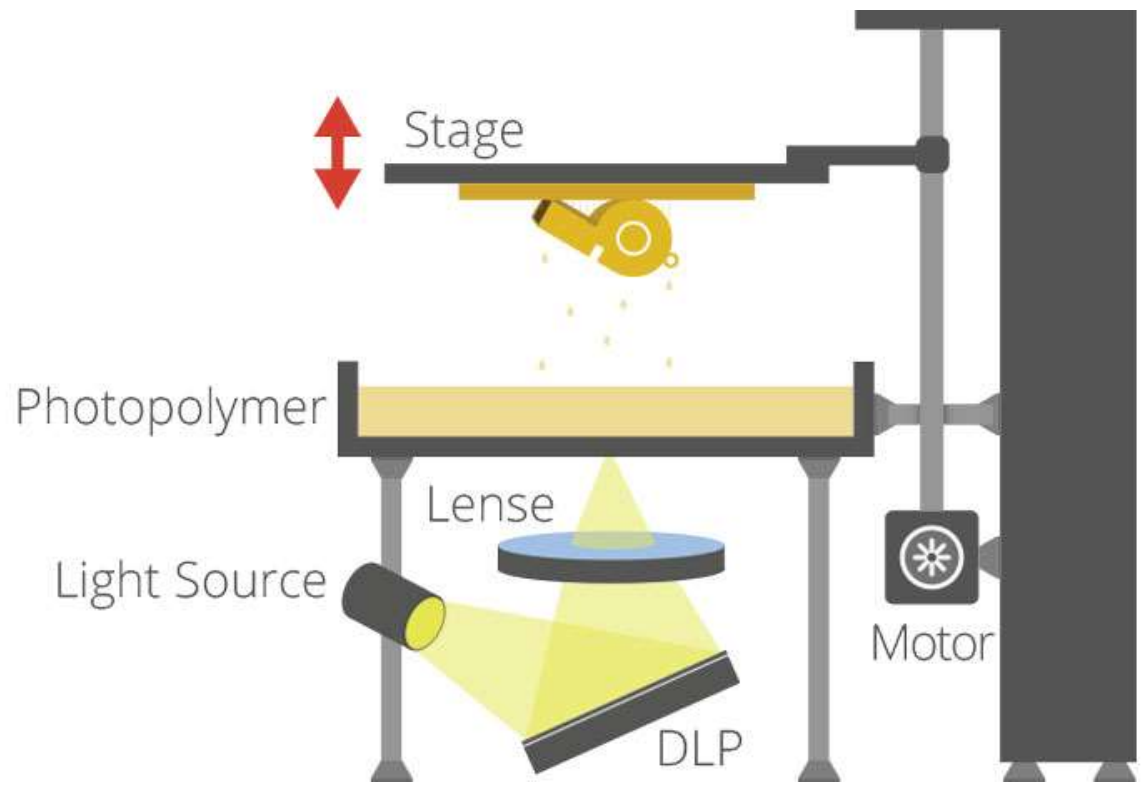
Výhody technologie SGC

- Konečné vytvrzení fotopolymery proběhne již v komoře technologického zařízení
- Malé vnitřní napětí a deformace ve vytvářené součásti
- Tvarová složitost vyráběných součástí nemá vliv na dobu výroby
- Poškozené vrstvy mohou být hned po jejich zjištění odfrézovány
- Výroba součástí nevyžaduje vygenerování podpor
- Dobrý povrch dílů – pouze s velmi nevýraznou schodovitou strukturou

Nevýhody technologie SGC

- Fotopolymerní pryskyřice vyžaduje hermeticky uzavřenou komoru
- Malý výběr použitelných materiálů pro prototypové součásti
- Dokončovací operace - nezbytné odstranění vosku, potřeba vymývacího zařízení

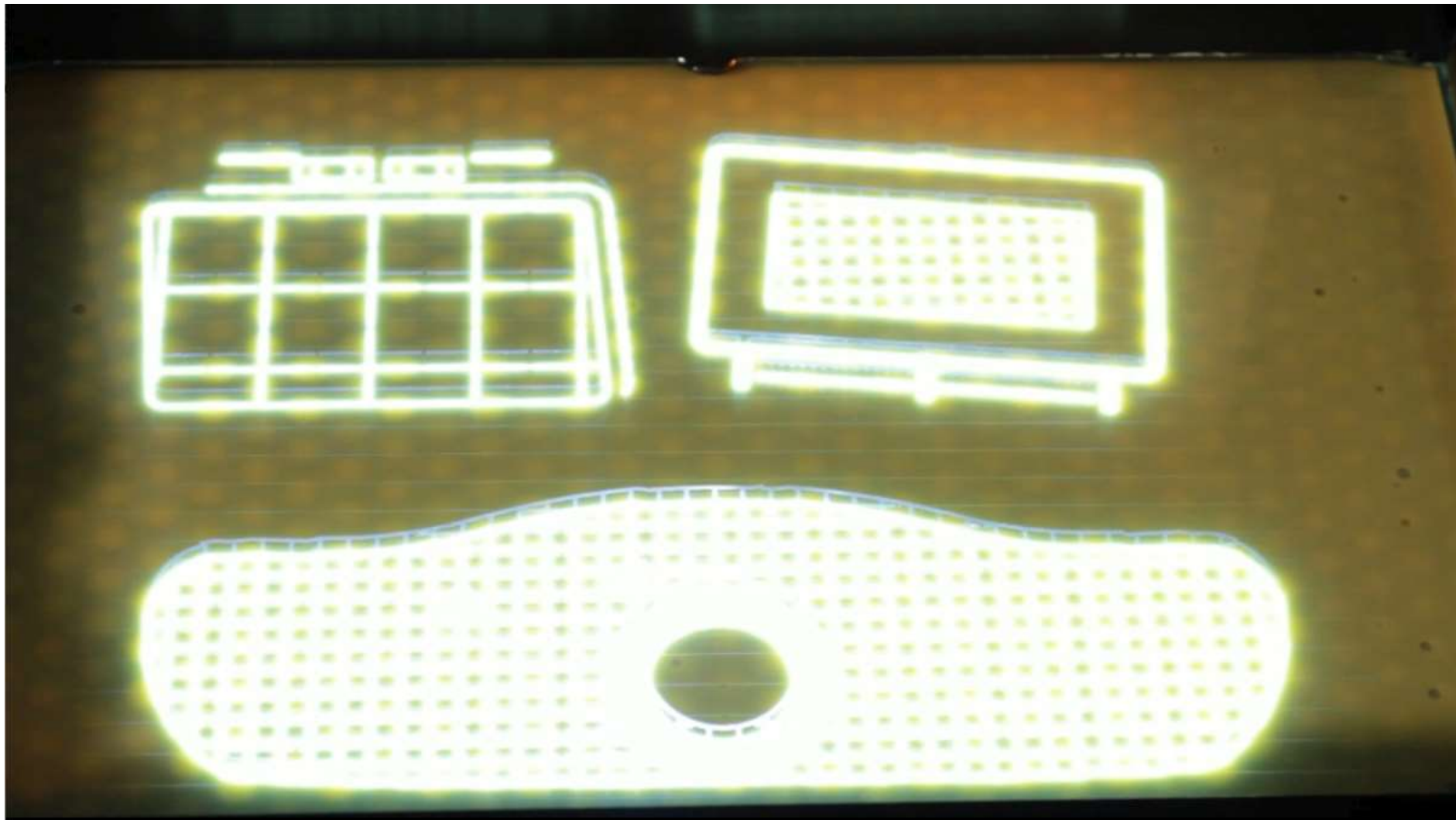
Digital Light Processing



Digital Light Processing



Digital Light Processing



Výhody Digital Light Processing

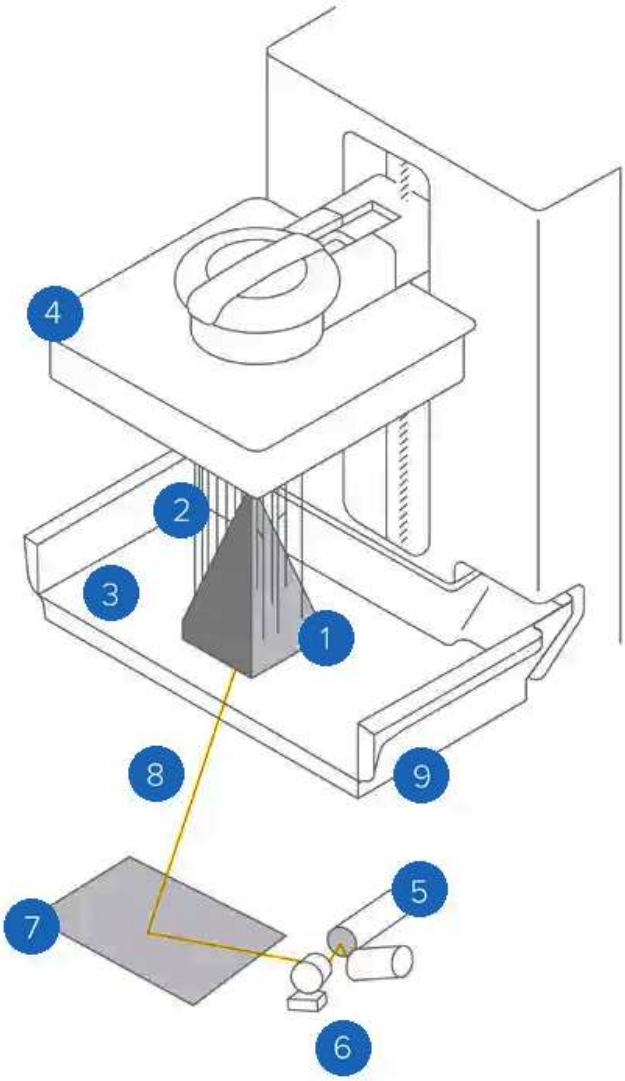
- **Relativně jednoduchý tisk s dobrou kvalitou povrchu**
- Reverzní princip – malá spotřeba fotopolymeru (stačí, když je hladina výš, než tloušťka vrstvy)
- Použití i pro hobby tisk
- Možnost kompozitního tisku (např. fotopolymer + keramika)

Nevýhody Digital Light Processing

- Materiály na bázi fotopolymerů – většinou mají horší mechanické vlastnosti, zejména jsou většinou křehké
- Relativně krátká životnost materiálů
- Horší rozměrová přesnost proti SLA

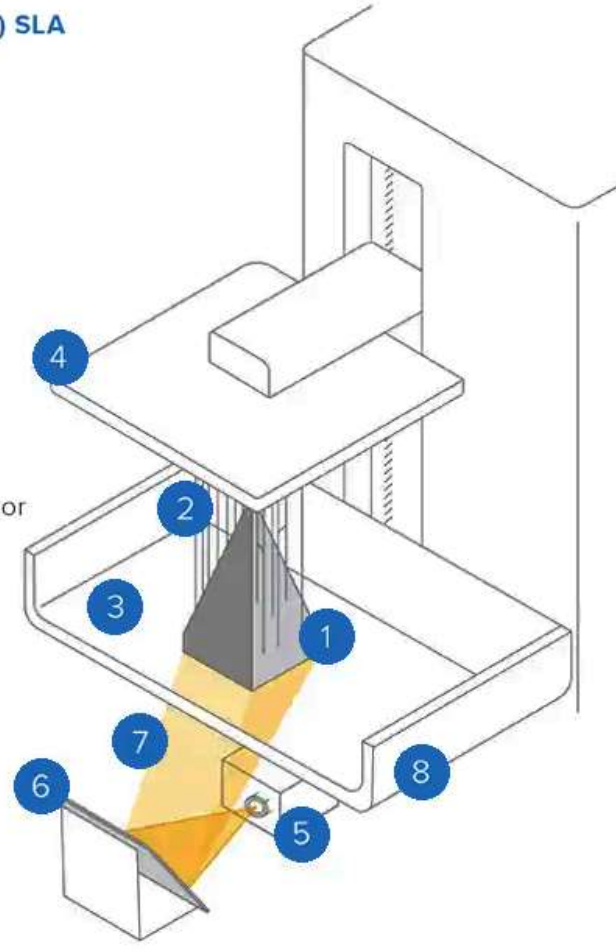
Fotopolymerizace ve vaně

Porovnání SLA a DLP



Upside-Down (Inverted) SLA

- 1 Printed Part
- 2 Supports
- 3 Resin
- 4 Build Platform
- 5 Laser
- 6 Galvanometers
- 7 X-Y Scanning Mirror
- 8 Laser Beam
- 9 Resin Tank



DLP

- 1 Printed Part
- 2 Supports
- 3 Resin
- 4 Build Platform
- 5 Projector
- 6 Mirror
- 7 Light
- 8 Resin Tank

Zdroj: formlabs.com/eu/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp

Fotopolymerizace ve vaně

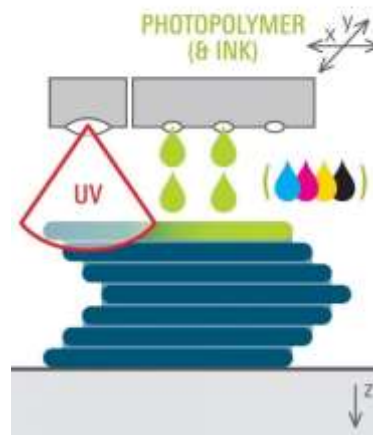
Porovnání SLA a DLP



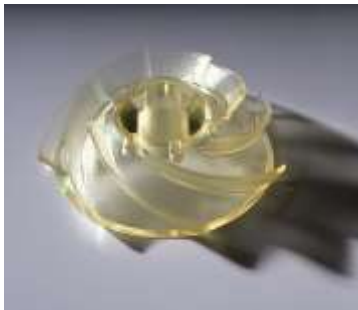
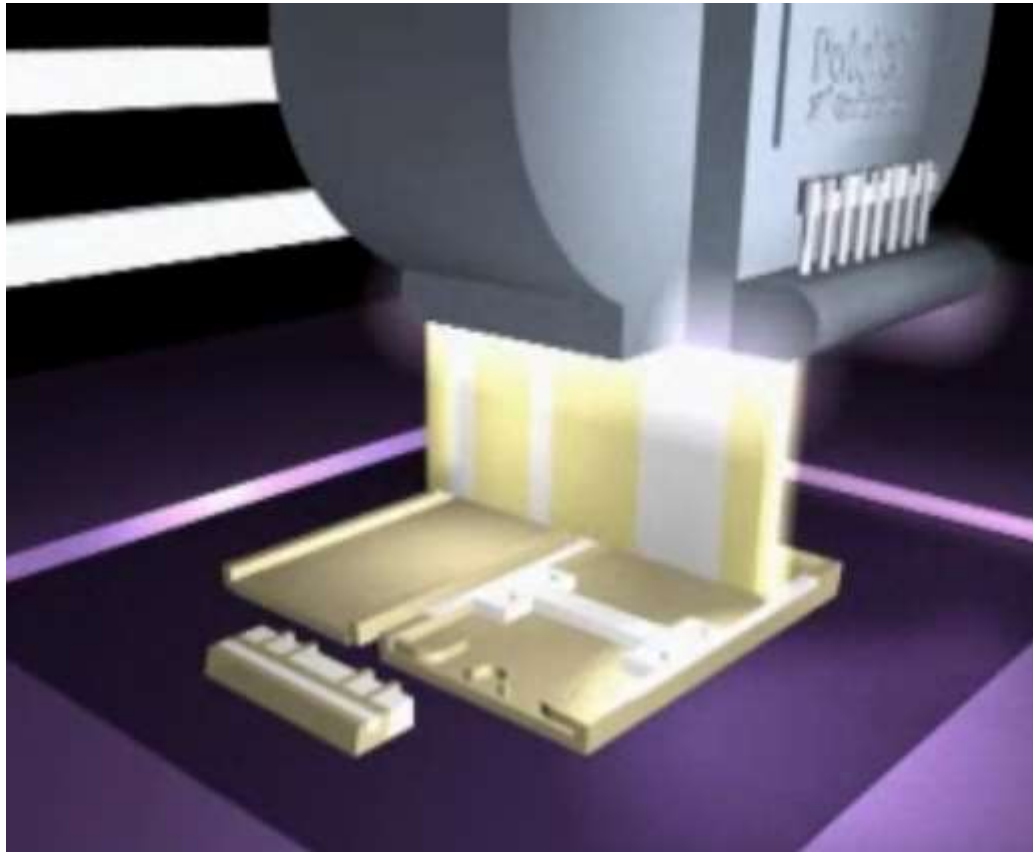
Zdroj: formlabs.com/eu/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp

Aditivní technologie – tryskání materiálu

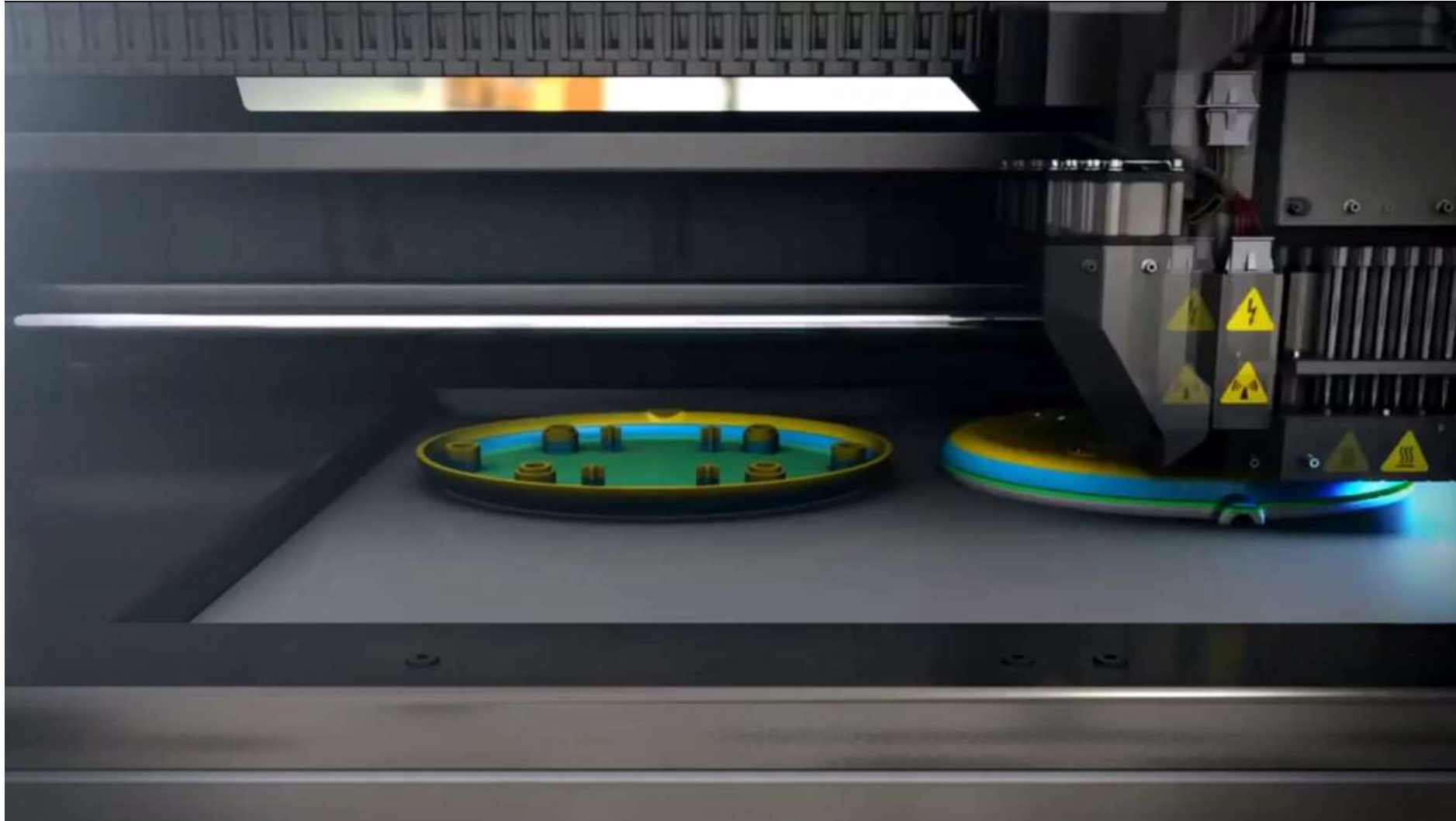
- tryskání materiálu – proces aditivní výroby, ve kterém jsou selektivně nanášeny kapičky stavěného materiálu
- material jetting – an additive manufacturing process in which droplets of build material are selectively deposited



Polyjet Printing



Polyjet Printing



Stratasys J750



Stratasys J750

Specifikace	
Modelové materiály	Vero™ - řada neprůhledných materiálů včetně neutrálních odstínů a živých barev Tango™ - řada pružných materiálů VeroClear™ a RGD720 – transparentní materiály
Digitální modelové materiály	Velký počet kompozitních materiálů zahrnující: - více než 360 000 barev - digitální ABS a digitální ABS2™ ve slonovinové a zelené barvě - gumové materiály v různých hodnotách Shore A - průsvitné barevné odstíny
Podpůrné materiály	SUP705 (odstranitelný proudem vody)
Pracovní prostor	490 x 390 x 200 mm
Tloušťka vrstvy	až 14 mikrometrů
Software	PolyJet Studio™ 3D printing software
Stavební režimy	High Speed: až 3 základní pryskyřice, 27 μm vrstva High Quality: až 6 základních pryskyřic, 14 μm vrstva High Mix: až 6 základních pryskyřic, 27μm vrstva
Přesnost	20-85 μm pro díly menší než 50 mm; až 200 μm pro plnou velikost modelu (pouze pro tuhé materiály)
Rozlišení	osa X: 600 dpi; osa Y: 600 dpi; osa Z: 1800 dpi

Výhody PolyJet Printing

- **Možnost kombinovat materiály**
- Plně barevný tisk
- Neznatelná tloušťka vrstev (14 μ m) – výborná kvalita povrchu
- Materiály lze kombinovat navzájem – modifikace vlastností

Nevýhody PolyJet Printing

- Materiály na bázi fotopolymerů – většinou mají horší mechanické vlastnosti, zejména jsou většinou křehké
- Relativně krátká životnost materiálů
- Bezprostředně po skončení tisku nutnost vyčistit hlavy tiskárny, jinak zaschnou