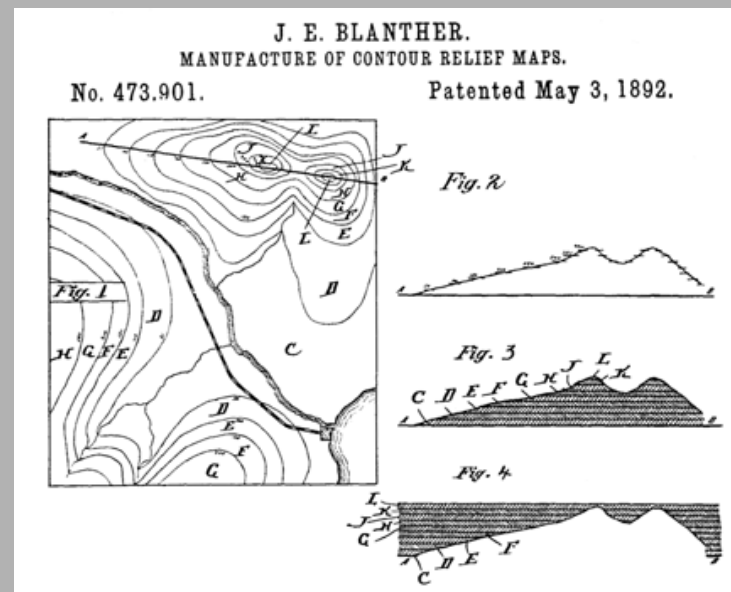




Rapid prototyping történeti előzmények, RPT berendezések és technológiák.

Történeti előzmények

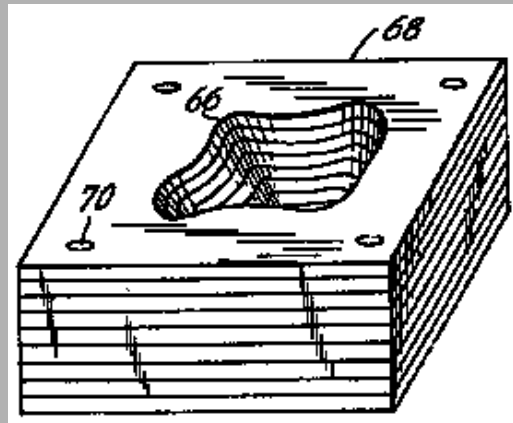
Az 1890-es évek elején J.E. Blather (1892) javasolt egy 3D-s formázó eljárást domborzati térképek öntéséhez. Vékony viaszlapokból a szintvonalas térképeken ábrázolt, az egyes magassági szinteknek megfelelő területeket kivágták, és a kivágott rétegeket a megfelelő pozícióban egymásra ragasztották (olvasztották). Ezzel az eljárással mind a pozitív mind a negatív feleket elő tudták állítani. A két fél közé nedves papírlapot helyezve elő lehetett állítani a dombornyomású háromdimenziós térképeket



Történeti előzmények

Perera (1937) is egy hasonló eljárást tervezett a térképek előállítására, de a rétegeket papír karton lapból vágta ki és ezeket ragasztotta össze.

1976-ban DiMatteo felismerte, hogy a rétegző eljárásokkal olyan bonyolultságú alkatrészeket is elő lehet állítani, melyeket a szokásos gépi megmunkálások alkalmazása esetén lehetetlen. Például ő tett javaslatot propellerek, szárnyszelvények, háromdimenziós bütykök, és egyes prés szerszámok ilyen módszerrel történő gyártására. Fémlemezbe marással alakították ki a megfelelő kontúrvonalakat, a marás után csavarokkal és tájoló rudakkal összefogják a megfelelő sorrendben összeállított lemezeket





Történeti előzmények

1979-ben Nakagawa a Tokiói Egyetem tanára kezdte el a rétegformázó eljárást tudatosan szerszámok előállítására használni. Kunieda és Nakagawa 1984-ben prés szerszámokat, Nakagawa, Kunieda és Liu 1985-ben fröccsöntő szerszámokat készített fémlemez kötegből. Ekkoriban Nakagawa említi meg először, hogy fröccsöntő szerszámban egyszerű furatokból álló hűtőcsatornák helyett bonyolult formájú hűtő üregeket is lehet alkalmazni a rétegző technikánál.

Összességében, az a rétegtechnika, melyet először Blather alkalmazott, számos mai megvalósulási formában újra megjelenik, és mint azt később látni fogjuk, a legtöbb mai RP berendezés működési elve is a rétegeképzésen alapszik. Tehát a 3D-s modelleket, a mai legkorszerűbb RP berendezések is 2D-s alakzatok rétegzett sorozatából állítják elő.

Történeti előzmények

A 19. században nagy igény jelentkezett az iparszerűen olcsón előállított, de igényesen kialakított művészeti alkotások iránt. Azt az eljárást, mely az abban az időben fejlődő fotográfiát hívta segítségül foto-szobrászatnak nevezik, és 3D-s viszonylag pontos másolatokat készítettek segítségével szobrokról és élő emberi alakokról. Az első használható eljárást 1860-ban Frenchman Francois Willéme fejlesztett ki. A lemásolandó objektumot egy kör alakú szoba közepén helyezték el. A szobát 24 egyforma részre osztották és minden szektorban a tárgytól azonos távolságban egy-egy fényképezőgépet állítottak fel. Ezután a fényképezőgépeket egyszerre exponálva túlexponált nagykontrasztú fényképeket készítettek a tárgyról.



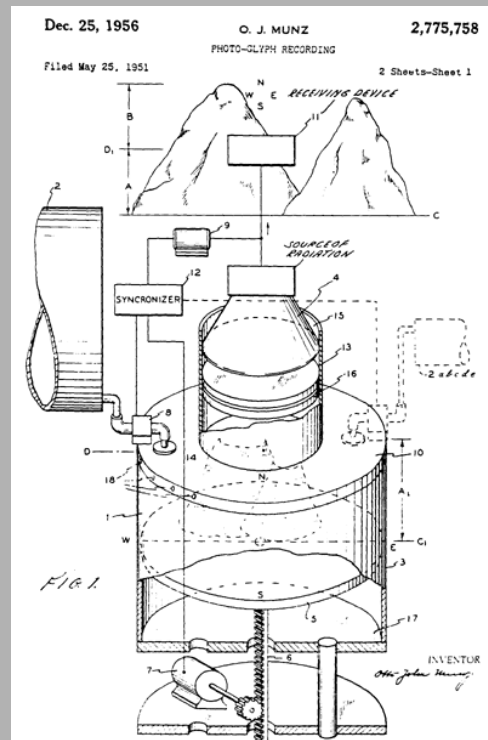


Történeti előzmények

Baese (1904), kisebb modellek lemásolására fényérzékeny zselatint javasolt, a munka és időigényes faragás elkerülése érdekében. A modellt Willéme módszeréhez hasonlóan fényképezték le, és a különféle irányokból felvett túlexponált negatívokat a megfelelő irányokból a foto-zselatin tömbre vetítették. Ezáltal a fényérzékeny tömb kontúron belüli részei exponálódtak és kikeményedtek, majd a kontúron kívüli felesleges részeket megfelelő oldószerrel feloldottál és lemosták. Egy hasonló eljárást fejlesztett ki Monteah is (1924).

Történeti előzmények

Az 1951-ben Munz által tervezett berendezésben már a mai sztereolitográfias eljárás sok tulajdonsága megtalálható. A közétett megoldásban a fotoemulzió rétegenként lett a berendezésbe töltve, miközben a tárgyasztal dugattyúja lefelé mozdult. A fotoemulzió exponálása is rétegenként történt. Az expozíció és a szilárdulás csak a megfelelő keresztmetszetben jön létre. Az eljárás végén egy átlátszó hengert keletkezett, ami tartalmazza a térbeli modellt. A testet oldószeres marással szabadították ki a hengerből.





RP technológiák csoportosítása

Az RP eljárások sokféleképpen csoportosíthatók. Számos irodalom – tévesen – csak azokat az megoldásokat tekintik valódi RP eljárásnak, amelyek CAD adatbázisból közvetlenül felépítik a modellt. Ugyanakkor, főleg az öntészeti, és a másoló célú faminták helyettesítésére gyakran használnak olyan technikákat is amelyek valamilyen előgyártmányból lebontó módszerrel hozzák létre a kívánt modellt.

Lebontó technológiák:

- **HSC** (*High Speed Cutting*) Nagysebességű forgácsolás
- **LOM** (*Laminated Object Manufacturing*) Rétegelt darabgyártás

Felépítő technológiák:

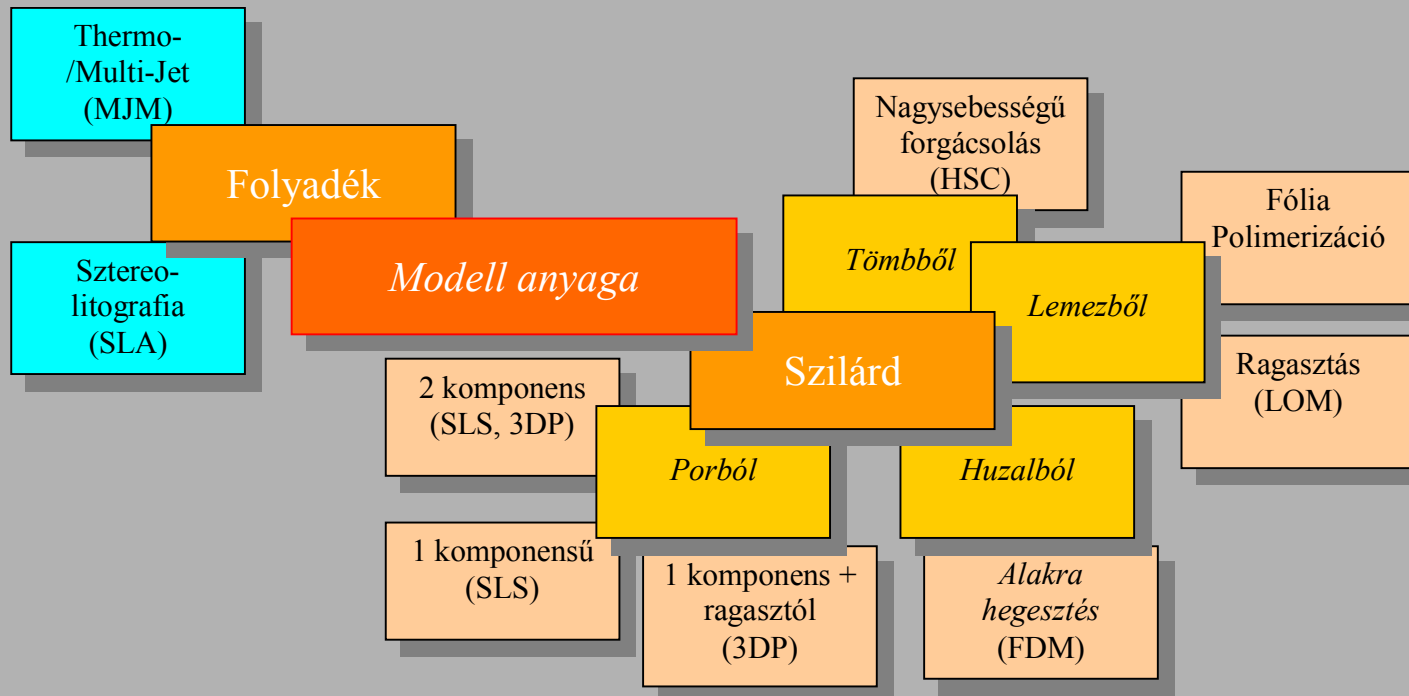
- **FDM** (*Fused Deposition Modelling*) Alakra hegesztés
- **3DP** (*3D Printing*) 3D-s nyomtatás
- **SLS** (*Selektive Laser Sintering*)
- **SLA** (*Stereo LithograpiA*)
- **MJM** (*Multi Jet Modelling*)



Rapid prototyping definíciója

Az előzőek szerint az RP fogalmát a következőképpen definiáljuk. *A gyors-prototípus olyan anyagi modell, mely **CAD állományból közvetlenül**, a modellezett valódi alkatrész gyártási idejétől **rövidebb idő** alatt készül el. A modellezett **valódi alkatrész geometriájával teljes mértékben**, az alkatrész **többi tulajdonságával csak részlegesen arányos**. Az RP feladata, a tervezési folyamat **minőségének javítása és a tervezéshez szükséges idő lerövidítése**. Emiatt az RP legfőképpen a **tervezőmérnökök eszköztárszere***

RP eljárások felosztása a felhasznált alapanyag szerint





HSC: Nagy sebességű forgácsolás (*High Speed Cutting*)

Alapösszefüggés:

$$P = M \cdot \omega$$

ahol:

M- a marógép főorsójáról levehető nyomaték

ω - a főorsó szögsebessége

Alumínium prösszerszám nagyolása Ø10mm-es 2-élű keményfém szármaróval		
	<i>Hagyományos megmunkálás</i>	<i>HSC</i>
<i>Fordulatszám</i>	3000 [1/min]	40000 [1/min]
<i>Előtolás</i>	800 [mm/min]	6000 [mm/min]
<i>Fogásmélység</i>	3 [mm]	2 [mm]
<i>Fogásszélesség</i>	1 [mm]	1 [mm]
<i>Marási idő</i>	2800 [min]	522 [min]

HSC: Nagy sebességű forgácsolás (*High Speed Cutting*)

A nagysebességű marást akkor tekintjük RP technológiának, ha nem a valódi munkadarab előállítása a cél, hanem valamilyen modellvizsgálat céljára állítunk elő a tervezett alkatrész geometriájával arányos vagy azonos tárgyat.

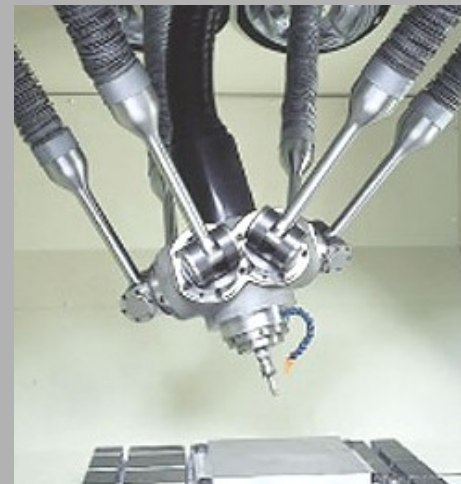


MIKRON HSM 400 típusú gyorsmarógép jellemző műszaki adatai

<i>Munkatér</i>	400x450x350 [mm]
<i>Főorsó fordulatszám</i>	60000 [1/min]
<i>Szán sebességek</i>	80 [m/min]
<i>Szán gyorsulások</i>	25 [m/s^2] (~2.5g)
<i>Munkadarab legnagyobb tömege</i>	200 [kg]

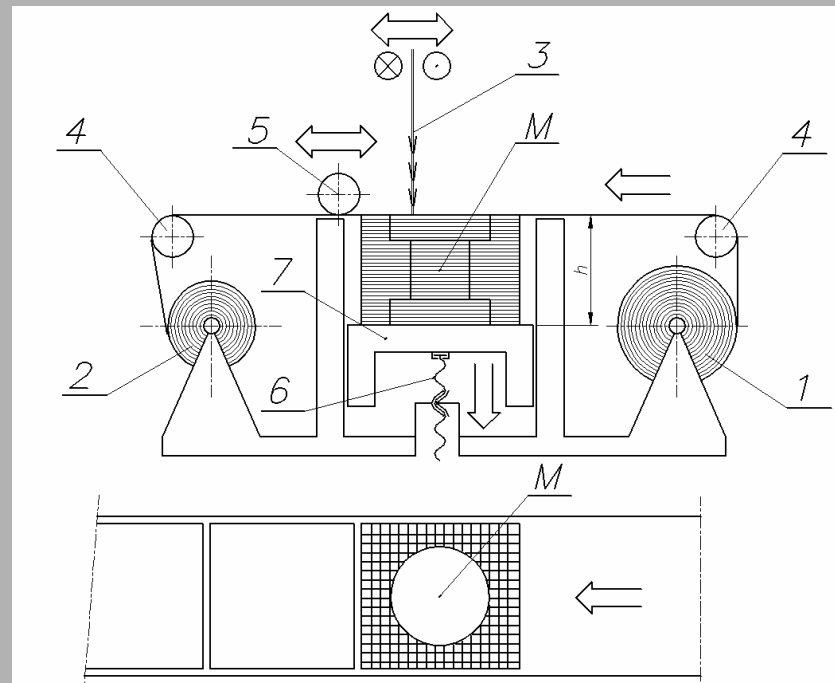
HSC: Nagy sebességű forgácsolás (*High Speed Cutting*)

A nagy megmunkálási sebességek iránti igények az 1990-es években egy újszerű szerszámgépfajlesztési irányzatot indítottak el, és soros kinematikai láncú szerszámgépek mellett megjelentek a párhuzamos kinematikai felépítésű szerszámgépek is. A PKM marógépek esetében a hagyományos szánok elmaradnak, és az NC vezérlő által összehangolt mozgású aktuátorok közvetlenül mozgatják a nagyfordulatú direkt hajtású főorsóházat a munkadarabhoz képest. A kép japán OKUMA cég *COSMO CENTER PM-600* típusú függőleges tengelyű nagysebességű marógépét ábrázolja.



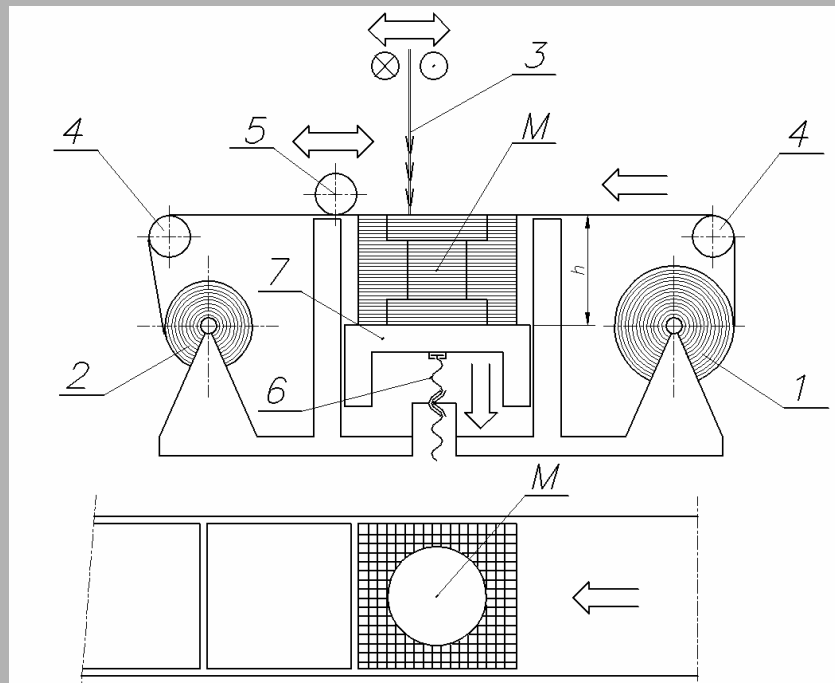
LOM: Rétegelt darabgyártás (*Laminated Object Manufacturing*)

A papír az 1 jelű leadócsévéről a 4 vezetőgörgőkön keresztül a 2 jelű hulladékfelvevő csévére szakaszos mozgással csévélődik át a munkafolyamat során. A modell (M) a 7 jelű asztalon épül fel a papírtekercsből kivágott rétegek egymásra történő ragasztásával. A ragasztó, az alapanyagként használt papír hátoldalára egyenletes rétegben van felhordva. Olyan speciális ragasztót használnak erre a célra, mely hidegen nem ragad, így a ragasztóréteggel ellátott alapanyag tekercsekbe csévélve szállítható, tárolható.



LOM: Rétegetl darabgyártás (*Laminated Object Manufacturing*)

A ragasztó kötését az 5 jelű lamináló hengerrel érik el. A berendezéshez tartozó vezérlő számítógép a különféle CAD rendszerektől STL formátumú (és *kiterjesztésű*) fájlok formájában veszi át a geometriai információt. A számítógépen futó program az STL formátumú fájlból visszaállítja a tárgy 3D-s felületét, és a rétegetl modell építése közben minden aktuális h magasságnál kiszámítja egy sík és a 3D-s alakzat áthatási görbéit (*síkmetszeteit*).



LOM: Rétegelt darabgyártás (*Laminated Object Manufacturing*)

Technológia fő jellemzői:

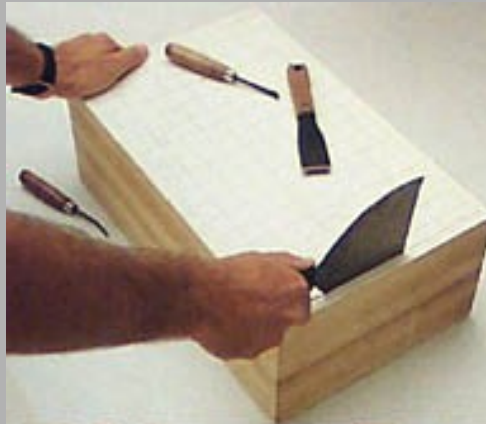
- *a berendezés a vágáshoz (25-50W) CO₂ lézert használ*
- *a réteg vastagsága minimum: 0.05-0.1 mm*
- *az építés sebessége: 100 réteg/h \approx 10mm/h*
- *az eljárás gyors*
- *az alapanyag olcsó*
- *a modell nem vetemedik, pontossága nem függvénye a geometriai bonyolultságnak*



Helisys LOM-2030 E berendezés (*munkatér: 813 x 559 x 508 mm*)

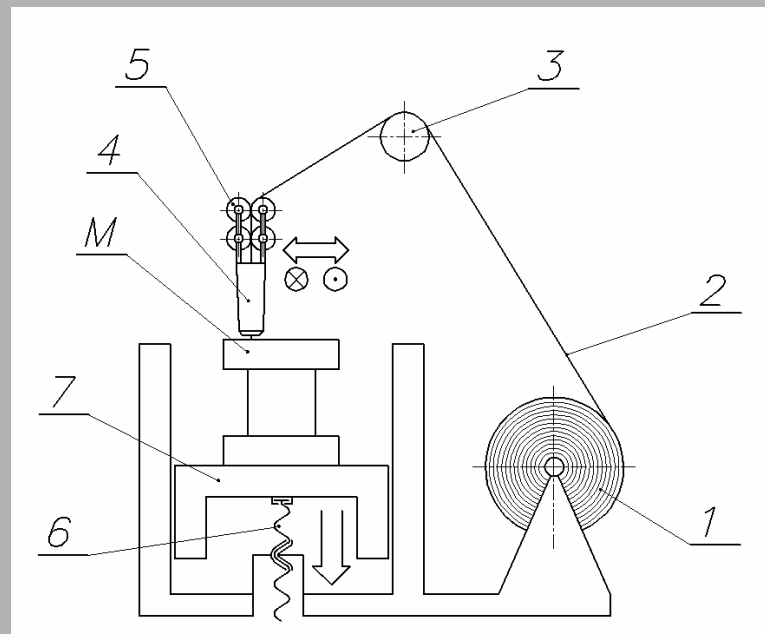
LOM: Réteget darabgyártás (*Laminated Object Manufacturing*)

Példák LOM alkalmazásra:



FDM: Ömledékrétegezés (Fused Deposition Modelling)

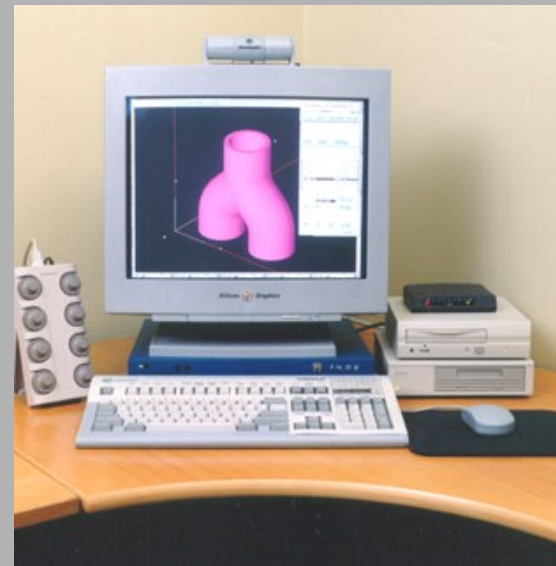
Az FDM eljárás általában műanyag huzallal (2) dolgozik, mely 1 jelű leadódobról a munkatér szimmetria síkjában álló központi vezetőgörgőre (3) jut. Az alapanyagot az 5 jelű huzalelőtoló görgők húzzák le a leadódobról és a 4 jelű melegített fúvókába továbbítják, ahol a huzal elektromos impulzusok hatására megolvad és apró folyékony cseppekké alakul. A modellt (M) itt is rétegenként építi fel a berendezés, úgy hogy a fúvóka 2 tengely mentén síkban mozogva lerak egy réteget, majd a 6-os jelű orsó forgatásával az asztal (7) egy rétegvastagságnyi értékkel lefelé mozdul el.



FDM: Ömledékrétegezés (Fused Deposition Modelling)

A technológiára jellemző átlagos adatok:

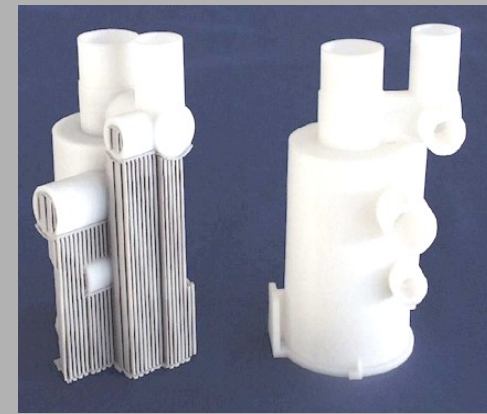
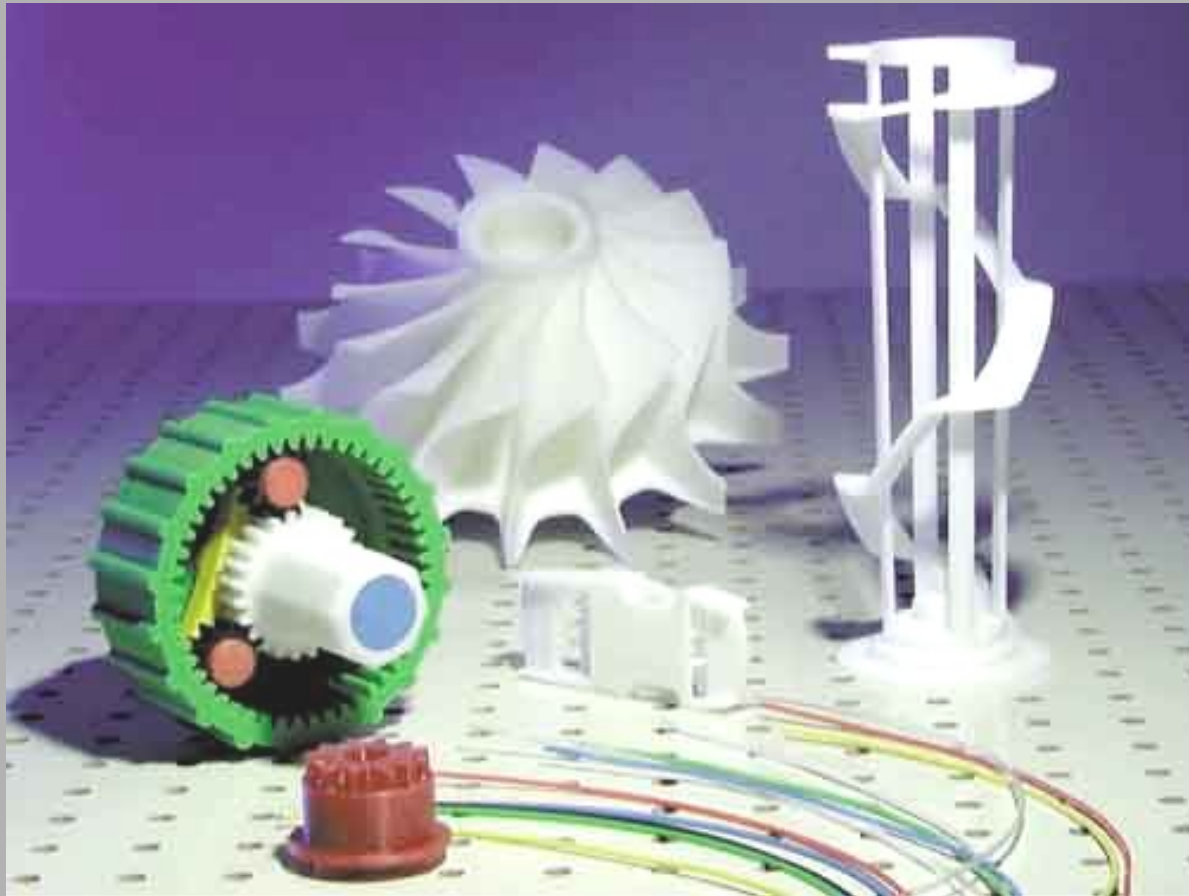
- rétegvastagság: 0,025-1,25mm
- ömledéksugár sebessége: 380mm/s
- berendezés pontossága: 0,125mm
- maximális méret: 300mm x 300mm x 300mm



Stratasys FDM 1600 típusú berendezés

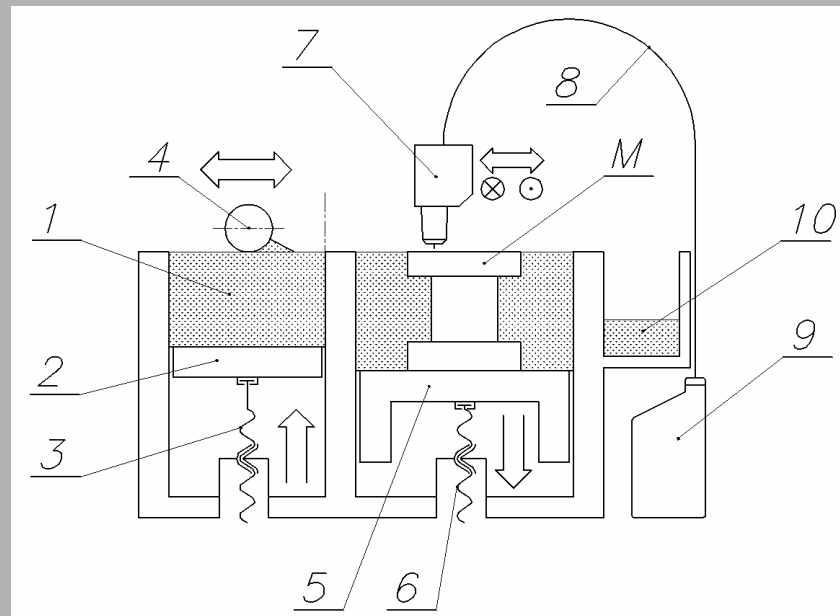
FDM: Ömledékrétegezés (Fused Deposition Modelling)

Példák FDM alkalmazásokra:

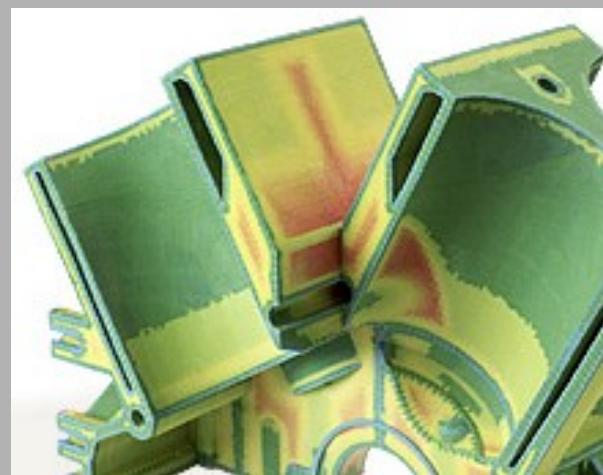
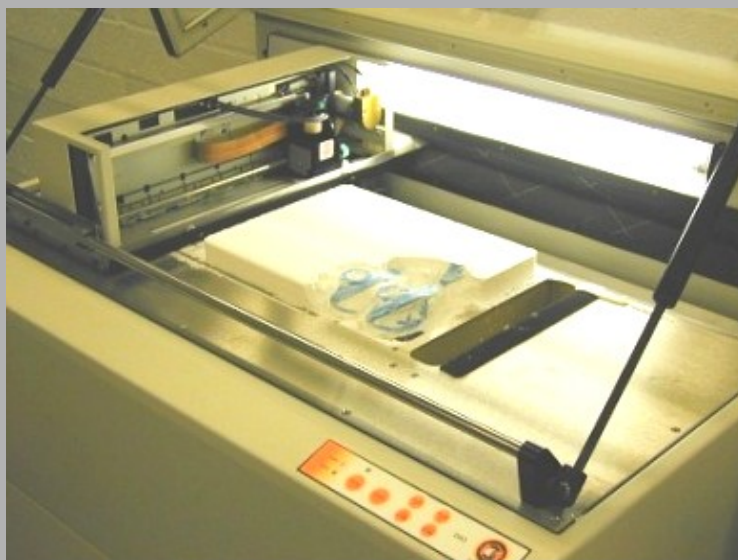


3DP: Térbeli nyomtatás (3D Printing)

A tartályból kitolt pormennyiséget a terítőgörgő (4) maga előtt tolva viszi a munkatérbe, ahol azt elteríti, és tömör réteggé hengerli. A felesleges por a 10-es jelű portartályban gyűlik össze. A nyomtatófej (7) 2D-s mozgást végez, miközben a 9-es tartályból a 8-as tápvezetéken keresztül felszívja és a megfelelő helyeken a porrétegre löveli a folyékony ragasztót. A munkafolyamat ciklikusan addig ismétlődik, amíg a modell el nem készül. Az elkészült modellt a porágy megbontásával a porból kell kiemelni.



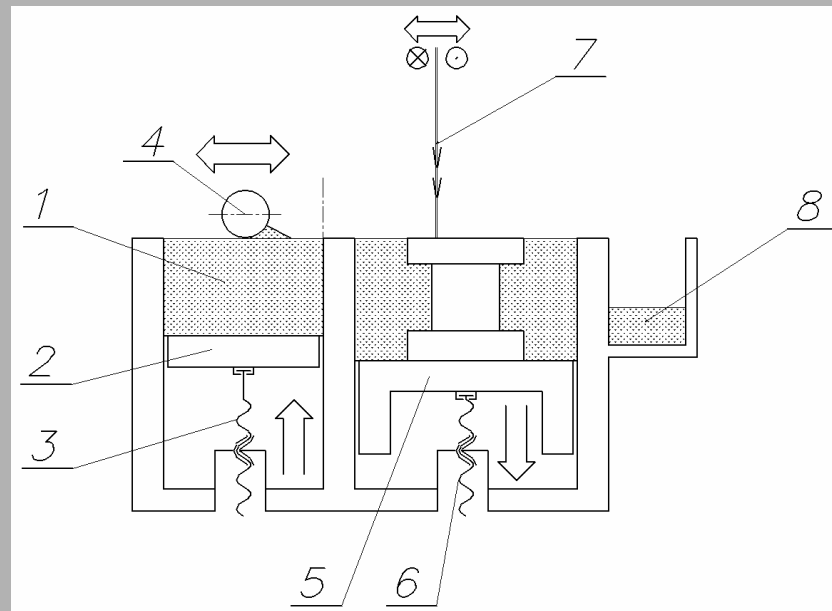
3DP: Térbeli nyomtatás (3D Printing)



A Z-Corporation Z406 3DP berendezése

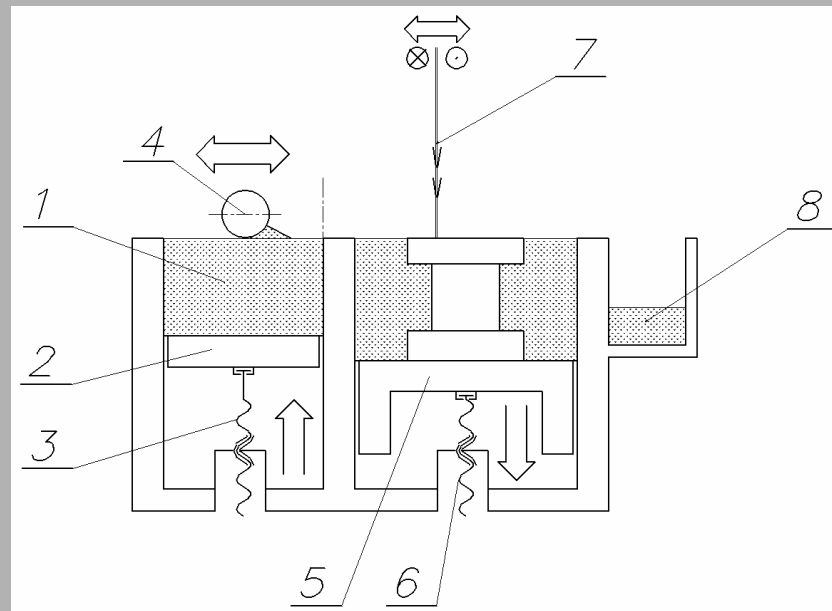
SLS: Szelektív Lézer Szinterézis

A modellépítési folyamat úgy indul, hogy a 6-os orsó által mozgatott tárgyasztalon (5) annak felső helyzetében a 4-es jelű terítőhengerrel létrehozunk egy sík porréteget, majd a 7-es jelű lézersugárral az XY síkban a modell (M) első síkmetszetének megfelelő képet a por felületére rajzoljuk. Ezután a tárgyasztal (5) egy rétegvastagságnyi osztással lefelé mozdul, így hely keletkezik a következő porréteg számára. Az 1-es jelű portartály tetején úgy alakul ki a következő réteg számára elegendő pormennyiség, hogy a 2-es poradagoló dugattyú a 3-as orsó mozgatásával felfelé mozdul el.



SLS: Szelektív Lézer Szinterézis

A tartályból kitolt pormennyiséget a terítögörgő (4) maga előtt tolva viszi a munkatérbe, ahol azt elteríti, és tömör réteggé hengerli. A felesleges por a 8-as jelű portartályban gyűlik össze. A lézerfény (7) 2D-s mozgást végez, miközben az elterített porrétteget annyira megmelegíti, hogy a szemcsék egymáshoz és az előző réteghez is hozzá tapadnak.



SLS: Szelektív Lézer Szinterézis

A **DTM Corporation Sinterstation 2500** jellemző technológiai adatai:

- A berendezés alapanyaga hőre lágyuló műanyag por, fémpor, vagy hőre lágyuló kötőanyaggal bevont kerámia por.
- 50W teljesítményű CO₂ lézer
- Építő rétegvastagság: 0,05 – 0,25mm
- Lézersugár sebessége: 1000mm/s
- Munkatér mérete 350mm x 250mm x 500mm
- Nem kellnek tartólábak, mert a modellt megtartja a por.
- Prototípus mérettűrés pontossága ~0,1mm.



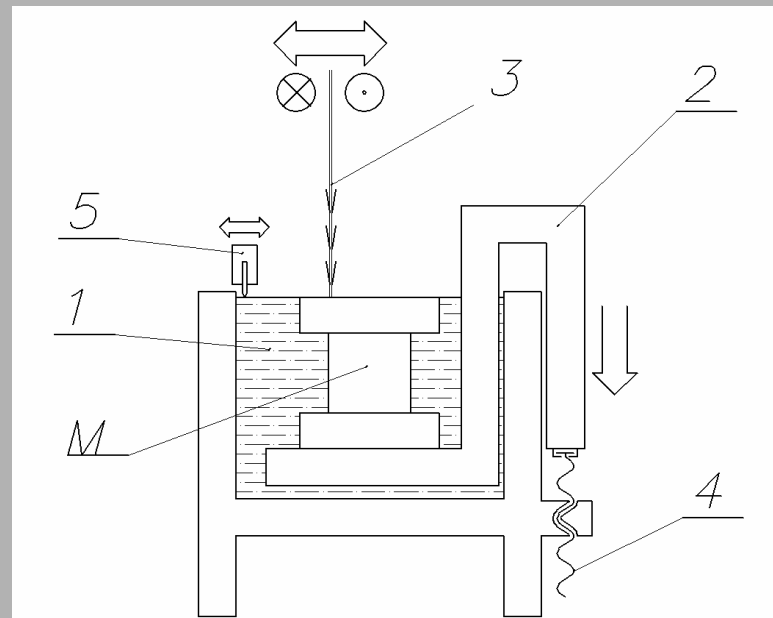
SLS: Szelektív Lézer Szinterézis

Példák SLS alkalmazásokra:



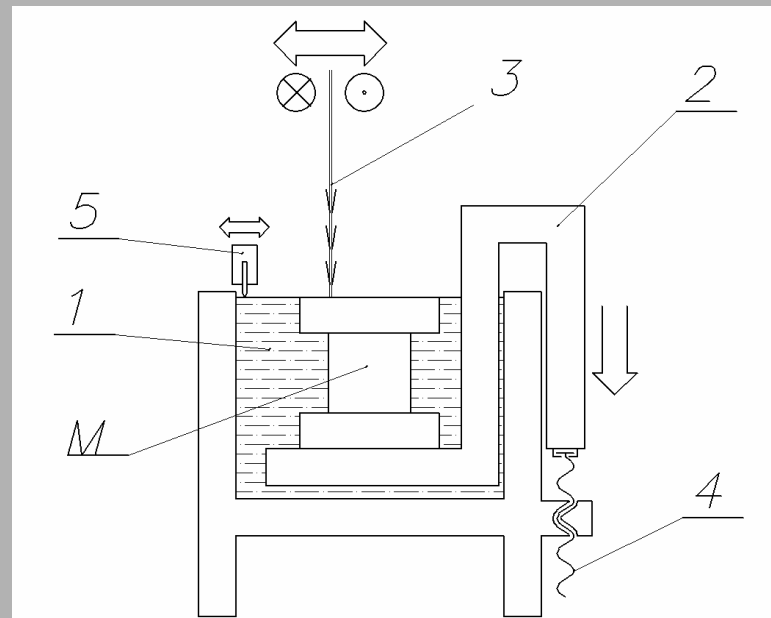
SLA: Sztereolitografia

Az SLA módszer alapanyaga fényérzékeny folyékony műgyanta, melyet lézervény segítségével keményítenek ki. A módszert az USA-ban fejlesztették ki, az első laborbemutatót 1984-ben tartották, majd 1988-ban a **3D Systems Inc.** (California) már kereskedelmi forgalom is hozta a berendezést. A lézer helyett alkalmazható UV fény is, de ezt az SLA módszer nagyteljesítményű változatánál a *foto-maszkolásnál* használják. Ennél a megoldásnál a számítógéppel vezérelt lézersugár (3) nagy pontossággal rajzolja a folyadék (1) felszínére az egyes metszetek rajzolatát, és a fény hatására beindul a polimergyanta rétegenkénti térhálósodása.



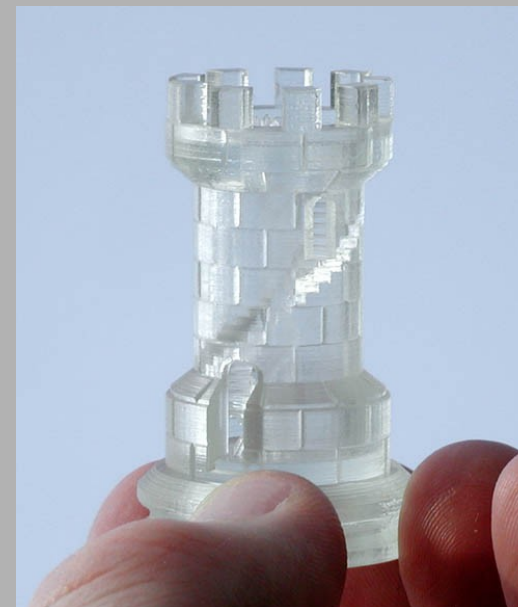
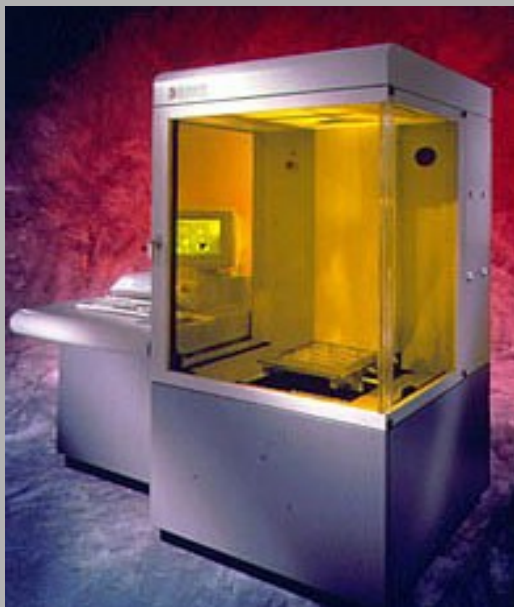
SLA: Sztereolitografia

A 3D-s modell (M) itt is, mint a legtöbb RP módszernél 2D-s kisvastagságú rétegek egymásra épülő sorozatából alakul ki. Az egyes rétegek úgy alakulnak ki, hogy a tárgyasztal (2) egy rétegvastagságnyi értékkel lejjebb süllyed és az előbbi réteg fölé folyékony gyanta kerül. A tárgyasztalt a 4-es jelű orsó mozgatja. A rétegek vastagsága 0.1-0.3mm. A folyadék saját belső feszültsége miatt nem tud vékony rétegben elterülni, emiatt az 5-ös terítőlapát hordja fel és teríti szét a friss gyantát a készülő modell felszínén



SLA: Sztereolitografia

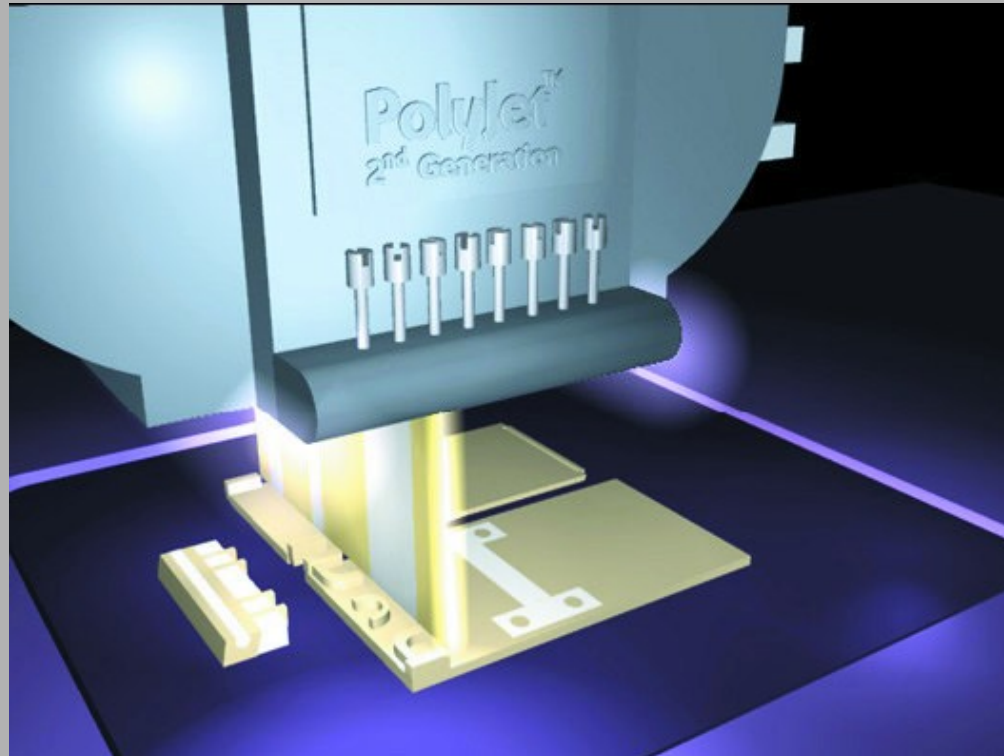
Példák SLA alkalmazásokra:



MJM: Multi Jet Modelling (PolyJet, ThermoJet)

Az eljárás egyfelől ötvözi a már jól ismert sztereolitográfiai eljárás (*SLA*) kiváló anyagait, illetve a *3D Printing* építkezési módszerét.

Az alapanyag fényérzékeny műgyanta (fotopolimer, mint az *SLA* eljárásnál), amelynek szilárdítását lézer helyett egy UV tartományban sugárzó fényforrással oldanak meg.



MJM: Multi Jet Modelling (PolyJet, ThermoJet)

A *PolyJet* eljárás talán legfontosabb jellemzője az alkalmazható rétegvastagság, amely ultravékony, pontosan $16\ \mu\text{m}$ ($0,016\ \text{mm}$).

Az ismert eljárások szokásos rétegvastagságainak értéke:

- *SLA* $150\text{--}200\ \mu\text{m}$,
- *LOM* $120\text{--}200\ \mu\text{m}$,
- *SLS* $150\ \mu\text{m}$,
- *FDM* $254\text{--}400\ \mu\text{m}$.

Az eljárás pontosságára utal az is, hogy a legvékonyabb, függőlegesen építhető falvastagság $0,6\ \text{mm}$.





Köszönöm a figyelmet!