

A 3D nyomtatás és alkalmazásai

Kutasi Csaba

Kulcsszavak: Additív eljárás, Digitális modell, Rétegmetszet, Lézer, Prototípus, Fotopolimerizáció, Polilaktid, Akrilnitril-butadién-sztirol, Implantátum, Divatipar

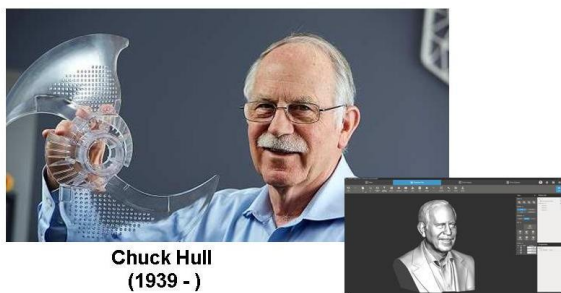
A 21. század forradalmian új technológiáinak egyike a 3D nyomtatás. Az ilyen célra megbízhatóan alkalmas berendezés 1990-re készült el. Egy tárgyról számítógépes tervezőprogrammal vagy szkennel segítségével készíthető digitális modell. A speciális nyomtató többek között folyékony halmazállapotú műanyag vagy fém – fűvókán átvezetett – vékony sugarából, vagy sztereolitográfias módszerrel, rétegfelépítéssel állítja elő a kívánt tárgyat. Az iparban főleg prototípusok gyors gyártására használják, az orvostechikail alkalmazások implantátumok készítésére, műtéttechikail előkészítésekhez, rekonstrukciós plasztikai eljárásokhoz és testre szabott gyógyászati segédeszközök előállítására terjednek ki. A ruházat területén előnyös, hogy gyorsan új struktúrákat lehet előállítani, így lehetőség nyílik bármilyen stílusú modellek kialakítására és a vizuális hatás kipróbálására.

A 3D-s nyomtatással digitális modellekből háromdimenziós tárgyakat lehet előállítani. Olyan additív (hozzáadott, összegző) gyártási eljárás, amely vékony rétegek egymásra helyezésével hoz létre tárgyakat. (A hagyományos – szubtraktív, azaz lebontó, kivonó – megmunkálás során ezzel szemben egy nagyobb nyers darabból választják le a felesleges anyagot, a megmaradó rész alkotja készterméket.) Egyelőre főleg a gyors prototípuskészítés céljából használják ezt az eljárást, azonban a technológia fejlődésével az ipari és orvostechikail alkalmazás is várhatóan egyre jobban elterjed.

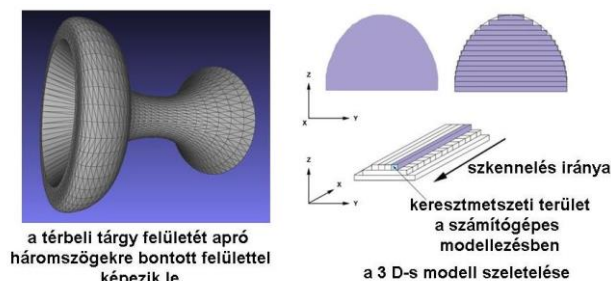
A 3D nyomtatást a 21. század forradalmian új technológiái egyikének említik. Az előállított tárgyak lehetnek bármilyen alakúak, belső szerkezetűek.

R. F. Housholder már 1979-ben szabadalmaztatott egy ilyen jellegű rendszert, de ennek gyakorlati alkalmazása elmaradt. Az 1980-as években kezdtek működni a korai additív berendezések, amelyek nagyméretűek és drágák voltak korlátozott felhasználási lehetőségekkel.

1987-ben Chuck Hull szabadalma nagy érdeklődésre tartott számot, ez a sztereolitográfia alapuló korábbi módszert hasznosította. Ennek alapján 1990-re készült el az első piacképes 3D nyomtató (1. ábra). A 3D-s nyomtatás fogalom arra vezethető vissza, hogy 1995-ben Jim Bredt és Tim Anderson doktoranduszok olyan tintasugaras nyomtatót hoztak létre, amely nem tintát



3D-s nyomtatás feltalálója és így készült mellszobra
1. ábra



Példák a digitális modell készítésére

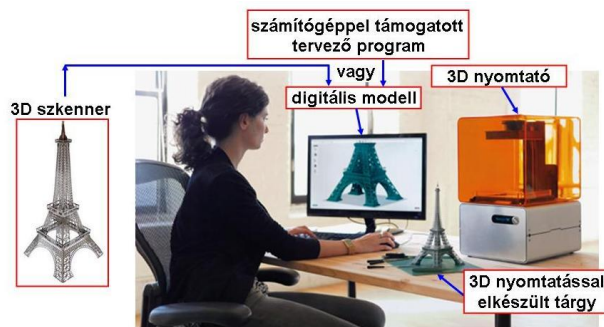
2. ábra

fecskendezett, hanem olvasztott polimerből egymásra rétegeket lövellt, amivel térbeli tárgyakat lehetett előállítani.

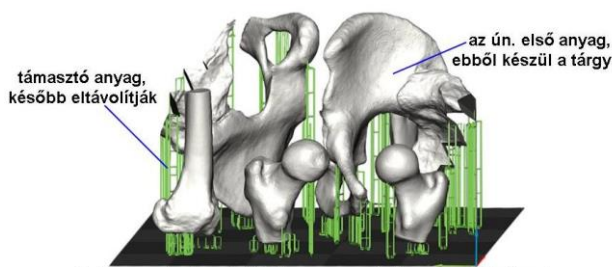
A 3D nyomtatás előkészítése és alkalmazása

Az additív gyártási eljárás előtt a gyártandó térbeli alakzatról digitális modellt kell készíteni (2. ábra). Ehhez számítógéppel támogatott tervező – pl. CAD (Computer-aided design) –, vagy egy 3D animációs szoftverre van szükség. Az adott testről digitális modell 3D szkennel segítségével is készíthető. A szoftverek a különböző térbeli alakzatú modelleket vékony, azonos vastagságú vízszintes virtuális rétegmetszetekre „szetelik”. A CAD szoftver és a 3D nyomtató kapcsolatában többek között olyan adatformátum az elterjedt, amely a térbeli tárgy felületét apró – közelítő – háromszögekre bontja és az ennek megfelelő adathalmazt rögzíti (egyértelmű, hogy minél kisebbek a háromszögek, annál pontosabb a leképezés). A színes 3D-s nyomtatás esetén a VRML (Virtual Reality Modeling Language) modellezőnyelvet használják, amely nemcsak a geometriai formát, hanem a színeket is tartalmazza (3. ábra).

A berendezés a nyomtatás során beolvasott adatok alapján egymásra illeszkedő rétegeket alakít ki a polimer vagy fém folyékony halmazállapotú változatából, így fokozatosan felépíti a testet a metszetjellegű rétegfelvételekből (egymáshoz kötötten vagy automatikusan egymáshoz tapadóan). A szokásos rétegvastagság kb. 100 µm, de ismertek olyan nyomtatók is, melyek 16 µm vas-



A 3D nyomtatás előkészítése és folyamata
3. ábra



3D nyomtatás kétféle anyag felhasználásával

4. ábra

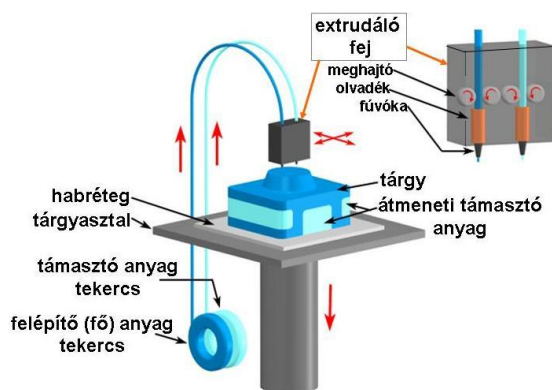
tag rétegekből végzik a felépítést. A képződő 3D pontok – mint részecskék – kb. 50–100 μm átmérővel jellemezhetők, a réteg síkjában történő felbontás a lézernyomtatókéhoz hasonlítható.

A 3D-s nyomtatási technológiával egy tárgy időbeni létrehozása az alkalmazott módszertől, továbbá a test méretétől és annak bonyolultságától függően változik. Egyértelmű, hogy polimer alkatrészek tömeggyártása esetén a hagyományos gyártási eljárások (pl. fröccsöntés) általában olcsóbbak, azonban kis szériaszám esetén a 3D nyomtatás gyorsabb és rugalmasabb.

Amennyiben igen pontos háromdimenziós alakzatra van igény, úgy a készítendő tárgyat a felbontásnak megfelelő ráhagyással kell kinyomtatni, majd a felesleges anyagrészeketől hagyományos módszerrel kell meg kell szabadítani. Vannak olyan additív gyártási technológiák, amelyek kétféle anyagot használnak fel. Az ún. első (fő) anyagból alakul ki a tárgy, a másik – átmenetileg szükséges felépítő – a nyomtatás során az egyes részeket alátámasztja (utóbbit végül leolvastással, vagy oldószeres módszerrel távolítják el). Ehhez kettős-extruderes 3D nyomtatóra és melegített tálcára van szükség (4. ábra).

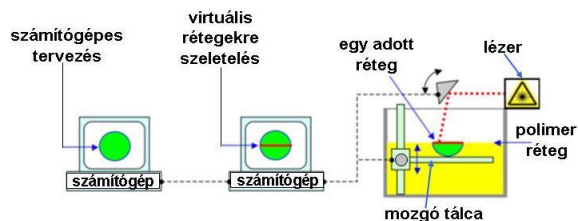
Nyomtatási eljárások

Az FDM (Fused Deposition Modelling) módszernél (5. ábra) a kisméretű gyöngyökből felépülő, ill. vastag szálszerű, hőre lágyuló anyagot melegítéssel fokozottan lágyítják vagy megolvastják. Ez lehet alkalmas műanyag, vagy akár fémhuzal, ami folyékony állapotban kerül az extrudáló végén levő fűvókaféjbe, amely egy numerikusan vezérelt mechanizmussal vízszintes és függőleges irányban mozog. A léptető- vagy szervomotorok főként X-Y-Z egyenes vonalú mozgást biztosítanak, ritkábban egyedi összetett pályán mozogva. A vezérlőegység be- és kikapcsolja az anyagáramlást, az előállítandó – alulról felépített – tárgy adott rétegmetszete



Az FDM eljárás elve

5. ábra



A sztereolitográfiai eljárás menetére példa

6. ábra

szerint. Előállítási módként a szelektív lézeres szinterezés (SLS – Selective laser sintering) is kínálkozik. (Szinterezés: elektrosztatikus rétegfelhordás.) A felvitt alapanyag-port nagy energiájú lézersugárral olvasztják meg, az így kialakuló tárgy a fémről hagyományosan gyártott tárgyakhoz hasonló tulajdonságú lesz. Az elektronsugaras olvasztásos technikánál (EBM – Electron Beam Melting) pl. a fémorréteget vákuumban elektronsugárral teszik folyékonnyá (többek között titán-ötvözet anyagú tárgyakat így állítanak elő).

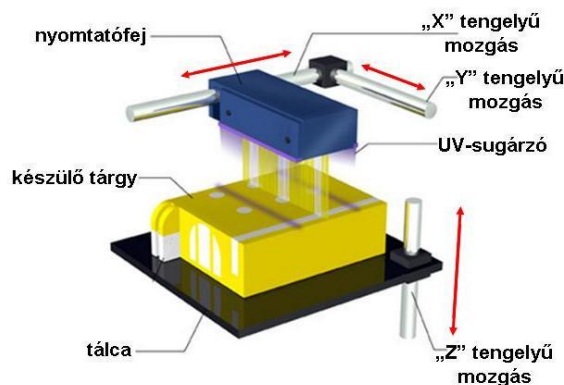
Az FDM eljárást általában a normál légtérben végzik, az olvadt polimert levegő hűti le. Az inert gáztérben (pl. nitrogén, argon) történő működtetés esetén jelentősen fokozódik a rétegtapadás.

Egy másik jellegzetes módszer a sztereolitográfia (SLA vagy SL – stereolithography apparatus) alkalmazása a 3D-s nyomtatáshoz. A folyékony anyag szilárdítását itt fotopolimerizációval végzik (6. ábra).

Az ún. építési tálcára a tintasugaras nyomtató vékony (16–30 μm) rétegben permetezi a fotopolimer anyagot, majd rétegenként UV-sugárzásos keményítés következik (a nem aktivált anyagrésszel mosással eltávolítható). A maszkkép-vetítéses sztereolitográfiában a 3D-s digitális modellt vízszintes síkok halmazával szeletelik (minden szeletből kétdimenziós maszkkép lesz). A készülék tárgylemeze egy UV-sugárzást áteresztő, átlátszó fenéklappal kialakított – a folyamatos rétegek kapcsolatának megfelelően lassan felemelkedő – tartályszerű tálca. Ide kerül a folyékony fotopolimer műgyanta alapvegyület, erre a felületre vetítik az adott maszkképet. A porlészívásos irányított lerakódás módszerénél a nagyteljesítményű, fókuszált lézersugár olvasztja meg a felületre továbbított fémport (7. ábra).

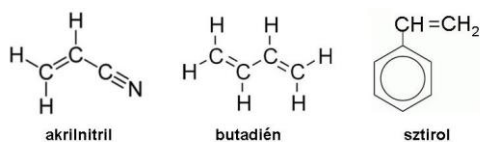
Nyomtató anyagok

A 3D nyomtatókban döntően műanyag-, vagy akár fémből készült monofilamenteket alkalmaznak. A gyakran használt műanyagok közé a polilaktid (PLA), és az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) tartozik (utóbbiból ké-

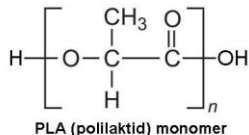


A 3D nyomtatás fotopolimerizációval

7. ábra



ABS: hosszú polibutadién láncok, rövidebb polimerizált akrilonitril-sztirol kopolimer keresztkötésekkel



PLA (polilaktid) monomer

Jellegzetes 3D-s nyomtatásra alkalmas műanyagok szerkezete

8. ábra

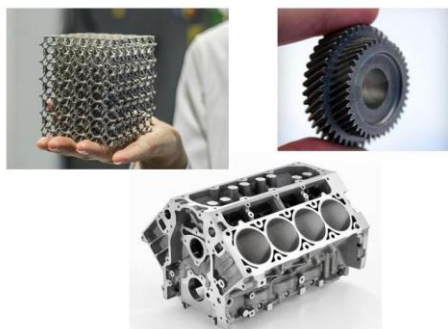
szülnek a közkedvelt LEGO elemek). A PLA azért kiemelten alkalmas, mert az egyik legalacsonyabb hőmérsékleten olvadó műanyag (a nyomtatás utáni hőmérsékletváltozásnál kismértékű az összehúzódása). Környezetkimélő polimer, miután gabonakeményítóből (pl. kukoricából) nyerik az alapanyagot, amiből fermentációval jön létre a biokompatibilis polimer. A kis sűrűségű, nagy szilárdságú és aránylag olcsó ABS nehezebben kezelhető műanyag, mert nagyobb hőmérsékleten olvad, mint a PLA (ezért a nyomtatáshoz melegített tálcát kell használni). A nyomtatás során kisebb erővel továbbítható az extruderen, ezért apróbb tárgyak nyomtatására is előnyös (8. ábra).

Használhatnak még polikarbonátot (PC), polisztirolt (PS), ill. polifenil-szulfont (PPSU). A kompozit filament típusok alapanyaga a PLA és az ABS, ezekhez más hozzáadékok adagolásával alakítanak ki egyedibb megjelenésű műanyagokat. Adalékanyag lehet bronz-, szénszál részecske, akár fereszék is. Az ütésálló polisztirolt (HIPS), valamint a polivinil-alkoholt (PVA) ideiglenes támasztóanyagként használják olyan geometriájú tárgyak nyomtatásánál, amelyekről a kiugró részek a nyomtatás közben leválnának. A polikondenzációs típusú speciális, biokompatibilis poliamidokat főleg orvostechnikai eszközök előállítására alkalmazzák.

A fémből történő nyomtatás (AM – Metal Additive Manufacturing ill. DMLS – Direct Metal Laser Sintering) során a nagy teljesítményű fémrétegeket lézer segítségével helyezik egymásra. Az így előállított alkatrészek nagy szilárdságúak és könnyűek, igény szerint komplex belső funkciókkal (belső üregek, csatornák stb.) rendelkeznek. Költséghatékony, gyors és pontos módszer prototípus gyártására és a kis sorozatú alkatrészek tesztelésére (9. ábra).

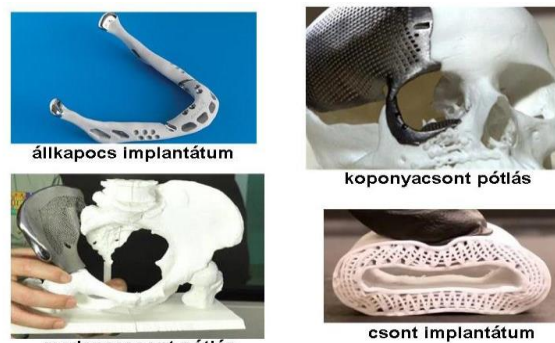
Orvostechnikai és egyéb egészségügyi alkalmazások

Az egészségügy területén számos lehetőség kínál-



Példák fémből készült 3D nyomtatású tárgyakra

9. ábra



3D nyomtatással készült implantátumok

10. ábra

kozik a 3D-s nyomtatásra (10. ábra). Az implantátumok készítésénél csökkennek a költségek, nincs szükség drága gyártósorok felépítésére és acélszerszámok legyártására, továbbá az esetleges hibák korrekciói is olcsóbban megoldhatók. Emellett az implantátumok előkészítése kevesebb időt vesz igénybe, ami szintén lényeges tényező. CT felvételek alapján tudják – hazánkban is – a koponya- és egyéb protézisek mintáit előkészíteni. 2012-ben Hollandiában 3D nyomtatóval előállított, titánötvözetből készült állkapcsot ültettek be, ez volt az első ilyen jellegű beavatkozás a világon. A 3D nyomtatóval létrehozott implantátum törött csontok gyógyítására és helyettesítésére gyors és olcsóbb megoldást kínál a sebészek számára. Az ilyen protézisek alapanyaga egy rugalmas polimer és a hidroxipatit $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$, az emberi csontokban előforduló, annak szilárdságáért felelős kalciumkristály. A beültetett anyag serkenti a csontok regenerálódását, így az implantátum már akár egy hónappal a műtét után el is távolítható.

Egyes nagyszilárdságú kompozitok azért előnyösek, mert a hagyományosan használt fémanyagokkal szemben biológiailag lebomlók. Így az emberi testben fokozatosan felszívódik az átmeneti céllal beépített anyag, a csont meggyógyulása után nincs szükség az invazív (a testbe behatoló) műtéti beavatkozásra. Számos traumatológiai végtag sérülésnél a külső rögzítéshez szintén 3D-s nyomtatású, testre szabott merevítő segédesszközök alkalmazhatók. A hallásjavító készülékek fülbe helyezett eszközeinek burkolata is így készíthető (11. ábra).

A rekonstrukciós plasztika területén is fontos szerepe van a 3D-s nyomtatásnak. Pl. daganattávolítás miatti arcrész veszteség után, digitális szkenneléssel lemodellezik az illető arcának ép felét, ennek alapján 3D nyomtató segítségével minta, majd viselhető szilikon-protézis készül. Amerikai kutatók élő sejtekből álló, különleges hidrogél al-



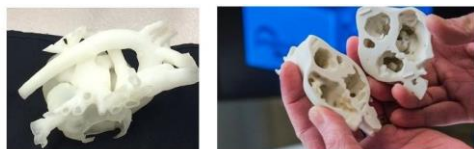
alkar rögzítésnél alkalmazott, 3D-s nyomtatású segédesszközök



hallásjavító készülékekhez szükséges műanyag házak (támasztó anyaggal)

3D nyomtatással készített orvostechnikai eszközökre példák

11. ábra



szív sebészeti beavatkozás előtt



ortopéd sebészeti beavatkozások előtt

3D-s modellezéssel műtétek előkészítésére példák

12. ábra

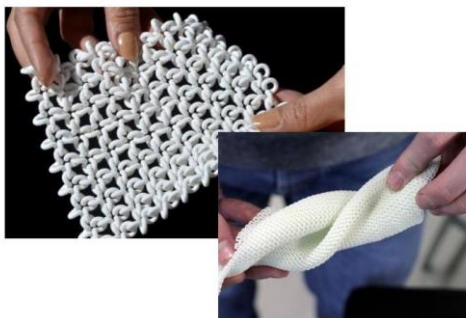
kalmazásával, mesterséges emberi fület állítottak elő 3D-s nyomtatás segítségével. A fülről készített, háromdimenziós felvételek alapján kinyomtatott öntőformákba borjúfülből vett élő sejteket tartalmazó kollagén-gélt juttattak (ezekből 3 hónap alatt erős porcokat sikerült növeszteni).

Kísérletek folynak a szervek 3D-s bionyomtatóval való elkészítésére (12. ábra). Sikeres eredmények után, a késői jövőben a páciensek saját sejtjei alapján elkészített szervek transzplantációjával elkerülhető lesz a kilökődés veszélye.

A sebészek és a fogorvosok számára nagy segítség a műtétek tervezésében a 3D-s nyomtatóval készíthető gyors prototípus. A „rapid prototyping technika” egyszerűíti és gyorsítja a komplex törések és deformitások műtéti korrekcióját, miután a rögzítésre szolgáló csavarok pozíciójára, hosszára és lefutásának irányára a 3D-modell segítségével előre fel tudnak készülni. A szív és az ebből induló nagy erek születési rendellenességeit korrigáló, optimális műtéti technika megválasztásában a 3D-modellek komoly segítséget nyújtanak a beavatkozási lehetőségek kivitelezhetőségének előzetes megítélésében, csökkentve a kockázatokat.

Divatipari alkalmazások

A 3D-s nyomtatás technikája a ruházat területén abban látszik előnyösnek, hogy gyorsan új struktúrákat lehet előállítani. Lehetőség van bármilyen stílusú modellek kialakítására és a vizuális hatás valódi nyomon követésére. Így a legfrissebb trendeknek megfelelő formák tesztelhetők a 3D nyomtatási technológiával. A divatipar számára fontos előzetes információk szerezhetők adott termék kereskedelmi és várható fogyasztói fogadtatásáról. A 3D-s technológia alapján sikeres ruházati megoldásokat a textil- és ruházati szakma optimális anyagok felhasználásával képes lesz legyártani. Széleskörű fejlesztések folynak annak érdekében, hogy egyes textilipari szálanyagot is képes műanyagok felhasználása megvalósuljon a 3D-s nyomtatással előállított ruházatok területén. Ilyen pl. a polilaktid (PLA), az ebből a szálanyagból készült termé-



3D nyomtatással készült textiljellegű szerkezetek

13. ábra



3D nyomtatással készült ruházatok

14. ábra



3D nyomtatással készült cipők

15. ábra

kek közismerten kevésbé szennyeződnek, bőrbarátok és életciklusuk végén biológiailag lebomlanak. Kedvező lehetőség, hogy a PLA nyomtatásra is kiválóan alkalmas műanyag (13., 14. ábra).

A cipő- és öltözköztetési-tervezők számára is értékes visszacsatolást nyújtanak a 3D nyomtatású termékek-re érkezett előzetes kereskedelmi vélemények (15. ábra).

A 3D nyomtatás alkalmazásainak összefoglalása

A jelenlegi helyzetben a funkcionális prototípuskészítés területén (28,0 %) legnagyobb az elterjedés, amit a mintadarab-előállítások (összesen 22,1 %, amelyből a prototípus szerszámokhoz szükséges minták 11,3 %-ban, a fémöntvények formamintái 10,8 %-ban) követnek. A különböző illesztéseknél és összeszereléseknél alkalmazott 3D nyomtatású tárgyak 17,5 %-ot, a szemléltető eszközök (ide tartoznak a sebészeti beavatkozások előtti szerv- és egyéb másolatok is) 10,4 %-ot tesznek ki. A bemutató modellek aránya (ahova egyelőre a textil-, ruházati- és cipőipari alkalmazásokat is lehet sorolni) 9,5 %, az oktatás és kutatás területén tapasztalható 6,4 %-os felhasználás egyaránt kedvező. A sort a szerszámalkatrész célú nyomtatott termékek 4,8 % részarányával zárják (az 1,3 %-ot kitevő egyéb kategória előtt) (16. ábra).



A 3D-s nyomtatás felhasználási területei

16. ábra

Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Sipos J., Apostol A., Molnár J: Gyors prototípusgyártás, fordított mérnöki tevékenység a fegyveralkatrész gyártásban, Repüléstudományi közlemények, 2010. április 16.
- [2] 3D nyomtatóanyagokat forgalmazók műszaki leírásai
- [3] 3D nyomtatókat gyártók prospektusai
- [4] Wikipédia szócikkek