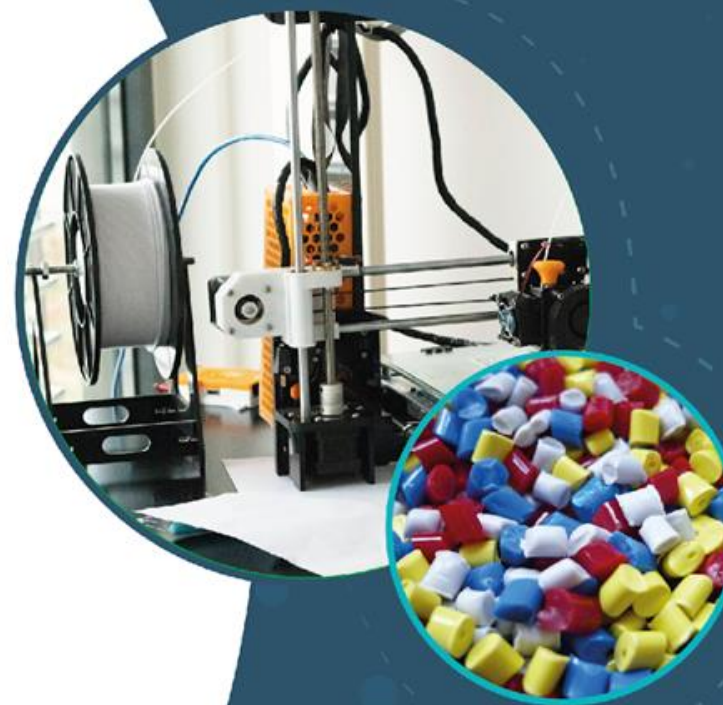




European 3D Printing  
Polymer Operators

# Anyagsugaras (MJT) eljárás

CU-D



A projektet az Európai Bizottság támogatásával finanszírozták. Ez a kiadvány kizárólag a szerző nézeteit tükrözi, és a Bizottság nem tehető felelőssé a benne foglalt információk bármilyen felhasználásáért. ERASMUS+: 2021-1-CZ01-KA220-VET-000033007.





# Célkitűzés és tanulási eredmények

<b>Modul célkitűzése:</b>	A tanulók alapvető ismerete az anyagsugaras (MJT) eljárásról.
<b>Javasolt kontaktórák:</b>	3,5 óra
<b>Terhelés:</b>	7 óra
<b>Tanulási eredmények</b>	
<b>Ismeretek</b>	<p>Alapvető tényszerű ismeretek:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anyagsugaras (MJT) eljárás és alapelvek</li><li>• Polimer anyagok és jellemzők, valamint ezek hatása az MJT additív gyártásra</li><li>• A polimer MJT anyagok lehetőségei és korlátai</li><li>• Minőségbiztosítás</li></ul>
<b>Képességek</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Az MJT előnyeinek és korlátainak felismerése más AM polimer eljárásokkal szemben, beleértve a folyamat jellemzőinek megfelelő alkalmazhatóságát is</li><li>• Az MJT berendezések fő összetevőinek azonosítása</li><li>• Az MJT alkalmazásokhoz használható polimer anyagok azonosítása</li><li>• Az MJT folyamatok minőségbiztosítási elveinek azonosítása</li></ul>



# Modul vázlat

Fejezet	Tartalom
4.1 Fejezet	MJT eljárás áttekintése
4.2 Fejezet	Polimer anyagok, tulajdonságaik és alkalmazásaik áttekintése
4.3 Fejezet	Minőségbiztosítás

## 4.1 Anyagsugaras (MJT) MJT eljárás áttekintése





## Folyamat alapjai

- Az anyagsugaras nyomtatás (MJT) hasonló módon hoz létre tárgyakat, mint egy kétdimenziós tintasugaras nyomtató.
- Az anyagot folyamatos vagy DOD (Drop on Demand) módszerrel juttatják a nyomtató lapra vagy platformra.
- Az MJT olyan fotopolimereket, fémeket vagy viaszt használ, amelyek fény vagy hő hatására megszilárdulnak (hasonlóan a sztereolitográfiához). Ez biztosítja, hogy a fizikai tárgyak rétegenként épülnek fel.
- Az MJT eljárást additív gyártásnak (AM) is nevezik.



## Eljárás meghatározása az ISO 17296-2 szabvány szerint

- Az ISO 17296 leírja az AM folyamat alapjait.
- Ez a szabvány elmagyarázza, hogy a különböző folyamat kategóriák hogyan használják a különböző típusú anyagokat a termék geometriájának kialakításához.
- A módszer meghatározza azokat a követelményeket, amelyek biztosítják az additív gyártási eljárásokon alapuló anyag-extrudálással létrehozott műanyag alkatrész integritását.
- Leírja továbbá a különböző folyamat kategóriákban használt anyag típusokat.
- Az ISO 17296-2 leírja a későbbi szabványok átfogó alapelveit.
- Áttekintést ad a meglévő folyamat kategóriákról, amelyek az új technológiák fejlődése miatt nem teljes körűek, és nem is lehetnek azok.



# MJT alkalmazások és ágazatok

Az MJT technológiát számos ágazatban alkalmazzák:

- **Tervezés:** MJT könnyűszerkezetes formaterveket hoz létre nehéz hegesztés, vágás vagy megmunkálás nélkül (szubtraktív technológia).
- **Autóipar:** MJT tartós koncepció modellek és prototípusok építésével összeszerelési segédeszközöket és végfelhasználási alkatrészeket készíthet.
- **Repülőgépipar:** MJT csökkenti a mechanizmusok gyártásához szükséges időt, miközben kevesebb hegesztést, vágást vagy megmunkálást igényel (szubtraktív technológia). Könnyűszerkezetek egyszerűen készíthetők.
- **Orvosi:** Az MJT lehetővé teszi az orvosi gyártók, orvosok és kutatók számára, hogy alkatrészeket hozzanak létre a betegellátáshoz vagy a fejlett kísérleti munkához.



## MJT alkalmazások és ágazatok

- **Oktatás:** A diákok kulcsfontosságú előnyre tesznek szert a munkaerőpiacon. Az MJT a képzésben is segít (logikus gondolkodás stb.).
- **Filmipar:** Az MJT egyedi tárgyakat vagy animációs filmeket készíthet; a karakterek tervezésében és fejlesztésében is segíthet.
- **Művészet és építészet:** Különböző formák létrehozására van lehetőség, amelyek új lehetőségeket nyitnak meg a művészek és építészek előtt.
- **Játékipar:** Az MJT forradalmasította ezt az iparágat; a gyártók egyre gyakrabban használják az MJT-t a prototípus gyártás során, mivel lehetővé teszi számukra, hogy egy folyamat során többféle anyagból készült alkatrészt és színt alkalmazzanak. Ez jelentős előny más 3D nyomtatási technológiákkal és hagyományos gyártási eljárásokkal szemben.



# Előnyök és korlátok

## ELŐNYÖK:



- Sebesség (bevezetés a termelésbe)
- A termék összetettsége
- Minden egyes nyomtatás testreszabása
- Költség (egyedi gyártás)
- Kiváló részletesség
- Nagy pontosság (mérettűrések)
- Sima felületképzés
- Több anyagból készült alkatrész és szín egy folyamat keretében

## KORLÁTOK:



- Magasabb eszköz költségek (más AM technológiákhoz, például az FDM-hez képest)
- Energiafogyasztás (nyersanyagok ára)
- Korlátozott anyagkészlet (vevő-szállítói láncok)
- Kibocsátás (ökológia, szénlábnyom)
- Fotopolimerektől való függőség
- Szerzői jogi jogsértések



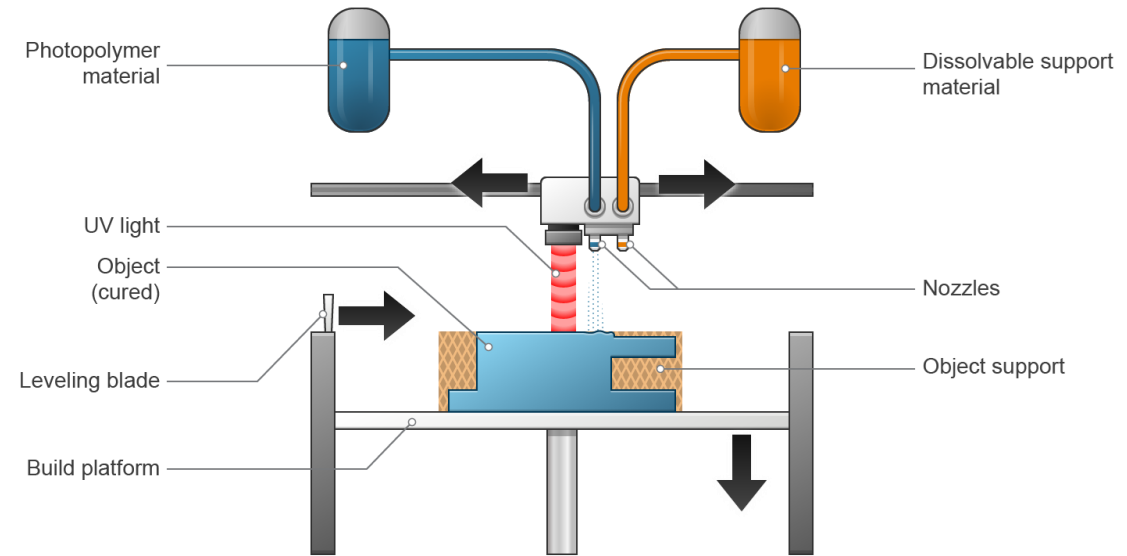
## Előnyök és korlátok a hagyományos és egyéb eljárásokkal szemben

- Egyes esetekben az MJT még nem váltotta fel a hagyományos vagy más 3D-s technológiákat.
- Ezt az egyes alkatrészek alkalmazása határozza meg előre, amelyek a következő mechanikai/fizikai tulajdonságokat igénylik.
- A hagyományos és más 3D-s eljárásokkal szembeni korlátok a következők lehetnek:
  - Feszültség
  - Nyomás
  - Hajlítás
  - Keménység
  - Dinamikus feszültség
  - Tribológiai tulajdonságok
  - Kémiai ellenállás
  - Üzemi hőmérséklet



## Berendezések és terminológia

- Az anyagsugárzás az alkatrészt rétegről rétegre építi fel úgy, hogy a fotopolimer anyagot fúvókákból juttatja a nyomtatófejbe.
- Ahogy az anyagcseppek az építőplatformra kerülnek, közvetlenül kikeményednek, és UV-fényre megszilárdulnak.
- Az MJT eljárásokhoz a nyomtatás során alátámasztásra van szükség, ezért a 3D nyomtatás során egyidejűleg oldható anyagot is nyomtatnak.
- A tartóanyagot az utófeldolgozás során távolítják el.



2018 © Dassault Systèmes

MJT, Berendezések és terminológia [1]



## Berendezés típusok és építési térfogatok

- Az MJT 3D nyomtatók építési térfogata változatos.
- Közepes méretek: 380 x 250 x 200 mm.
- Nagy méretek: 1000 x 800 x 500 mm.
- Az egyedi igényekhez igazítható, a nyomtatási pontosság veszélyeztetése nélkül.
- Bár nem az egyetlenek, a Stratasys és a 3D Systems a két fő Material Jetting 3D nyomtató gyártó.



3D Systems ProJet MJP 5600 3D nyomtató [2]



## Alapanyag: anyagok, tulajdonságok és jellemzők

- A két leggyakrabban használt anyag az anyagsugárzáshoz a következő:
  - Fotopolimerek (folyékony formában)
  - Öntőviasz
- Az ilyen anyagokkal előállított tárgyak gyengék és törékenyek.
- Vannak olyan anyagok is, amelyeket speciális alkalmazásokhoz optimalizáltak, mint például a szerszámozás és a beruházási öntés.
- Jelenleg kutatások folynak az MJT-vel használható anyagok (fémek, szilikonok és kerámiák) körének bővítésére.



## Feldolgozható anyagok: polimerek, kompozitok és fémmel kevert polimerek

- A Stratasys és a 3D Systems a két legismertebb Material Jetting gyártó a piacon.
- Ők kínálják a fényre keményedő műanyagok és kompozitok, például a PolyJet technológiában használt "digitális anyagok", széles választékát.
- Az izraeli Xjet cég a NanoParticle Jetting technológiáját fémek és kerámiák számára fejlesztette ki.
- Az anyagok terén egy másik mérföldkő a szilikon 3D nyomtatás, amelyet az ACEO (a német vegyipari óriás Wacker Chemie AG részlege) fejlesztett ki.



## Alapanyag formája

Az anyagsugaras eljárás polimereket és műanyagokat használ, mint például:

- **Polipropilén (PP)**: szívós, merev és kristályos hőre lágyuló polimer. Propén (vagy propilén) monomerből készül.
- **Nagy sűrűségű polietilén (HDPE)**, vagy **polietilén nagy sűrűségű (PEHD)**: etilén monomerből előállított hőre lágyuló polimer.
- **Polisztirol (PS)**: a sztírol aromás szénhidrogén monomerjeiből előállított szintetikus polimer.



## Alapanyag formája

Az anyagsugaras eljárás polimereket és műanyagokat használ, mint például:

- **Polimetil-metakrilát (PMMA):** átlátszó hőre lágyuló polimer, amely a műszaki műanyagoknak nevezett anyagcsoportba tartozik.
- **Polikarbonát (PC):** átlátszó hőre lágyuló polimer karbonát funkciós csoportokkal. Nagy szilárdsága miatt ütés- és törésálló.
- **Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS):** gyakori hőre lágyuló polimer, amelyet általában fröccsöntéshez használnak.
- **Nagy ütésállóságú polisztirol (HIPS),** más néven **Polisztirol (PS):** amorf hőre lágyuló polimer, amelyet alacsonyabb hőhatású alkalmazásokban használnak.



## A kész alkatrész mechanikai tulajdonságai

- Az alapvető mechanikai tulajdonságok ismerete nagyon fontos az alkalmazásukhoz.
- A 3D nyomtatás során számos változó befolyásolja a folyamatot: **anyag, rétegvastagság, nyomtatási/fúvóka-hőmérséklet, hűtés** stb.
- A polimereket általában viszkoelasztikus anyagoknak nevezik.
- Egy szilárd anyag ideális rugalmasságát a **Hooke-törvény** határozza meg: a deformáció arányos az alkalmazott feszültséggel.
- Az ideális viszkózus folyadékot **Newton törvénye** jellemzi: leírja a test mozgása és a testre ható erők közötti kapcsolatot.
- Az anyag mechanikai tulajdonságait **mechanikai vizsgálatokkal** határozzák meg.
- Az MJT technológiák hátrányát a rosszabb **mechanikai tulajdonságok** jelenthetik.
- A fotopolimereket **UV-fény aktiválja**. Idővel elvesztik mechanikai tulajdonságaikat, és **törékennyé válhatnak**.



# Folyamatlánc műveletek - áttekintés

1. 3D CAD modellezés

2. STL fájl előkészítése (szeletelés)

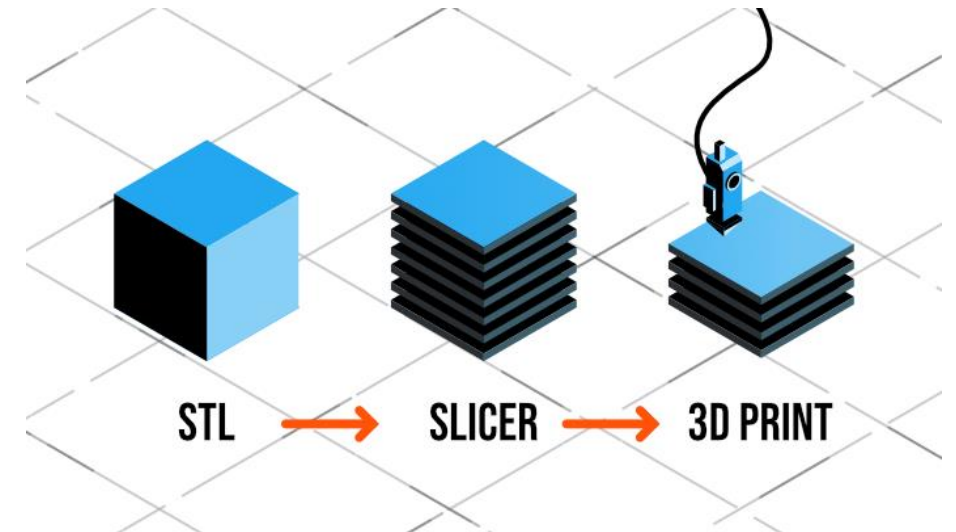
**Data preparation**

1. 3D nyomtatás

**Part building**

1. 3D nyomtatott alkatrészek  
tisztítása

**Post-processing**



Az STL-től a 3D nyomtatásig [3]



## Folyamatlánc műveletek - adatelőkészítés

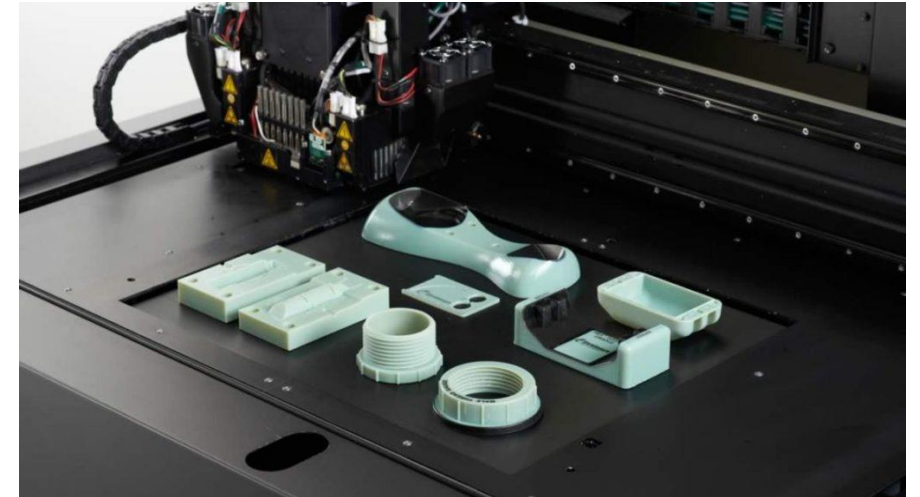
- Először is létre kell hozni a nyomtatott tárgy digitális modelljét (CAD modell).
- Ezután a modellt STL-be (Standard Triangle Language) kell exportálni.
- A háromszögek mérete (STL) az exportált felbontástól függ.
- A nagy felbontású STL modellek nagyobb fájlokat eredményeznek. A nagy felbontású STL fájl magasabb nyomtatási minőséget eredményez.
- A 3D nyomtatás előtt a CAD-modellt egy szeletelőszoftver segítségével vékony rétegekre alakítják át a 3D térben.



## Folyamatlánc műveletek - alkatrész nyomtatás

A nyomtatási folyamat több lépésből áll, amelyeket addig ismételnek, amíg a tárgy el nem készül:

- Az anyagcseppek a nyomtatófejből hő- vagy piezoelektromos módszerrel kerülnek a felületre.
- Az anyagcseppek megszilárdulnak és létrehozzák az első réteget.
- A további rétegek az előzőekre épülnek.
- A rétegeket hagyják kihűlni és megszilárdulni, vagy UV-fénnyel megszilárdítják.



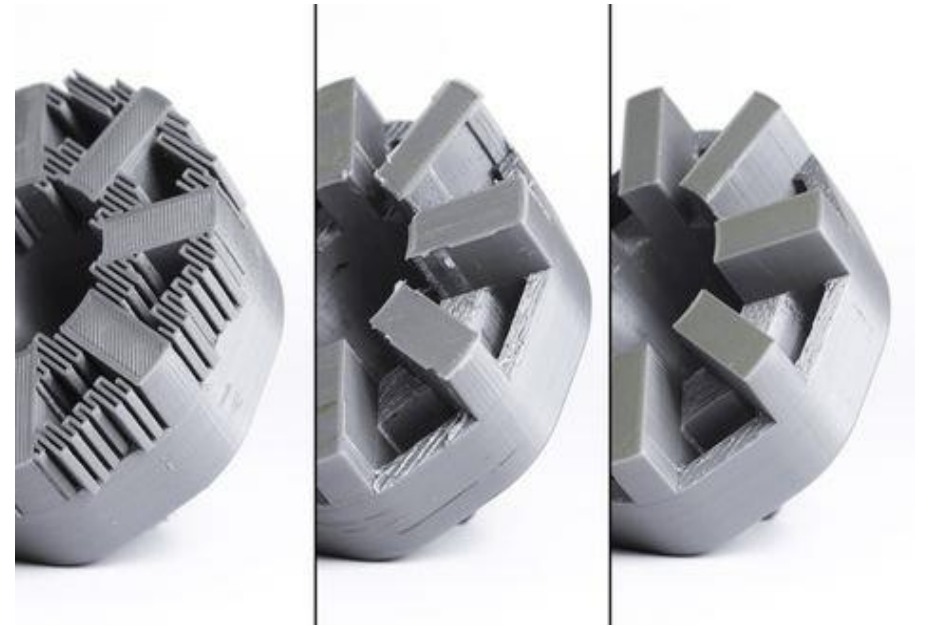
Material Jetting 3D nyomtatás [4]



## Folyamatlánc műveletek - utómunka

A 3D nyomtatás gyakran igényel utómunkálatokat; az alábbi műveletek utómunka műveletek:

- Alátámasztás eltávolítása, ha szükség volt rá
- Csiszolás
- Polírozás
- Acetonos simítás
- Festés
- Hidromártás
- Galvanizálás
- Ragasztás, stb.

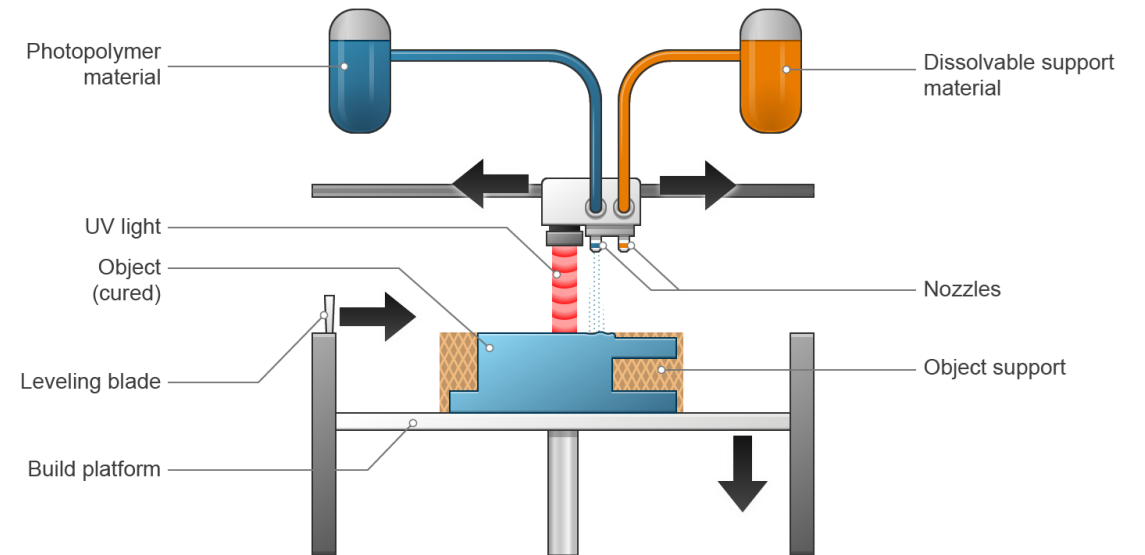


Példa három utómunka lépésre [5]



## Folyamat lépései

1. A nyomtatófej az építőplatform felett helyezkedik el.
2. Az anyagcseppek a nyomtatófejből hő- vagy piezoelektromos módszerrel kerülnek a felületre.
3. Az anyagcseppek megszilárdulnak és kialakítják az első réteget.
4. A további rétegek az előzőek tetejére épülnek.
5. A rétegeket hagyják kihűlni és megszilárdulni, vagy UV-fénnyel megszilárdítják.
6. Az utómunka magában foglalja a alátámasztás eltávolítását.



2018 © Dassault Systèmes

MJT technológia [1]



# Nyomtatási térfogat

- A különböző MJT 3D nyomtatók különböző építési méreteket kínálnak.
- Fontos, hogy a nyomtató típusának kiválasztásakor megértse, hogy mi a nyomtató legnagyobb nyomtatási térfogata.
- A közepes méretű MJT nyomtatók 380 x 250 x 200 mm-nél kezdődnek, a nagyok pedig elérik az 1000 x 800 x 500 mm-t.
- Ha a modellje nagyobb, mint a nyomtatási térfogat, akkor a modellt kisebb részekre oszthatja, és ezeket utólag összerakhatja.
- Ne feledje, hogy az alátámasztás növelheti a térfogatot.



# Anyagsugaras gépek

VIDEO	VIDEO	VIDEO
		
 <p>RAPID PROTOTYPING MACHINE J8 SERIES</p> <ul style="list-style-type: none"><li>ABS</li><li>PolyJet</li><li>medical</li></ul>	 <p>MULTI-MATERIAL 3D PRINTER J5 MEDIJET™</p> <ul style="list-style-type: none"><li>PolyJet</li><li>medical</li><li>desktop</li></ul>	 <p>ABS 3D PRINTER J35 PRO</p> <ul style="list-style-type: none"><li>resin</li><li>multi-material</li><li>PolyJet</li></ul>

Anyagsugaras gépek, 3D nyomtatók [6]



# Anyagsugaras gépek

VIDEO



**BOSSYSTEMS**

WAX 3D PRINTER  
PROJET MJP 2500W

- MJP
- high-performance
- high-speed

VIDEO



**hp**

METAL 3D PRINTER  
JET S100

- MJP
- industrial
- large-format



**VADER**

METAL 3D PRINTER  
POLARIS™

- MJP
- industrial
- high-speed

Anyagsugaras gépek, 3D nyomtatók [6]



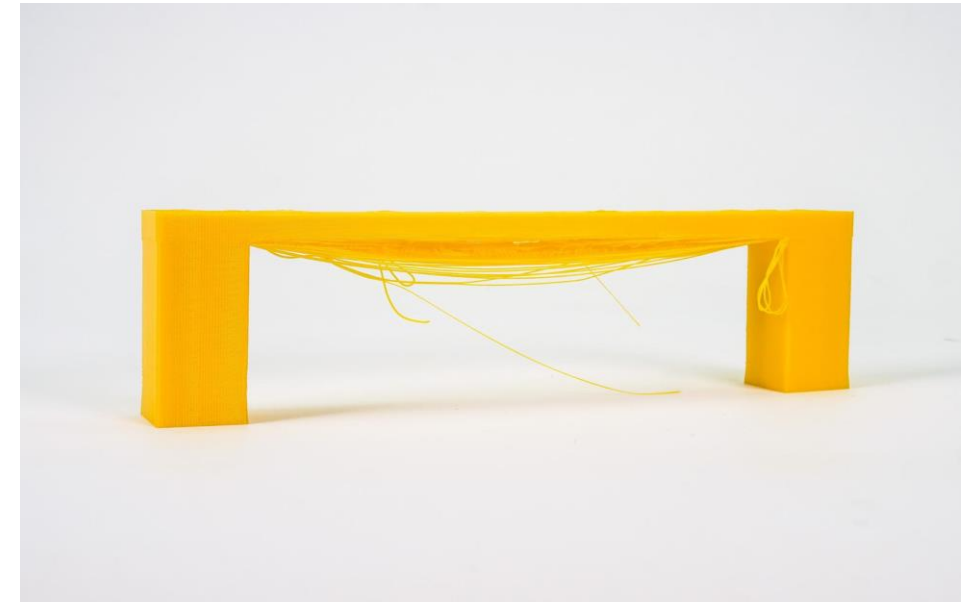
## Nyomtatási eljárást befolyásoló paraméterek

- Az egyes rétegek **vastagsága** (magassága) határozza meg a nyomtatás felbontását.
- A kis rétegmagasságú alkatrészek **simább felületet** eredményeznek, ami a **nyomtatási idő** és a költségek **növekedésével** jár.
- Sok hiba a **nyomtató beállításai** miatt következik be, például a **nyomtató fúvóka átmérője** (felső vagy alsó), a **tartálynymás**, a fúvóka és az **ágy közötti távolság**, a **hőmérséklet** és a **nyomtatóágy** mozgása miatt.
- A **szeletelőszoftver** paraméterei szintén befolyásolják a nyomtatott modellek minőségét.
- A **nyomtatási orientáció** és a **nyomtatás alakja** számos olyan következménnyel jár, amelyek befolyásolják a nyomtatási folyamatot.



## Alátámasztó szerkezetek, beleértve az áthidalást is

- Az olyan kiálló (túlnyúló) elemek megtartásához, amelyeknek nincs alapjuk, alátámasztó szerkezetre van szükség.
- A áthidalás a rétegek vékony levegőben történő nyomtatására utal, alátámasztás használata nélkül.
- Alátámasztó szerkezetre akkor van szükség, ha az alkatrész egyes részei kinyúlnak.
- Ezt a szeletelőszoftver határozza meg.
- A nyomtatási hibák elkerülése érdekében mindig ügyeljen a nagyobb alátámasztási sűrűség és a jó alátámasztási minta használatára.



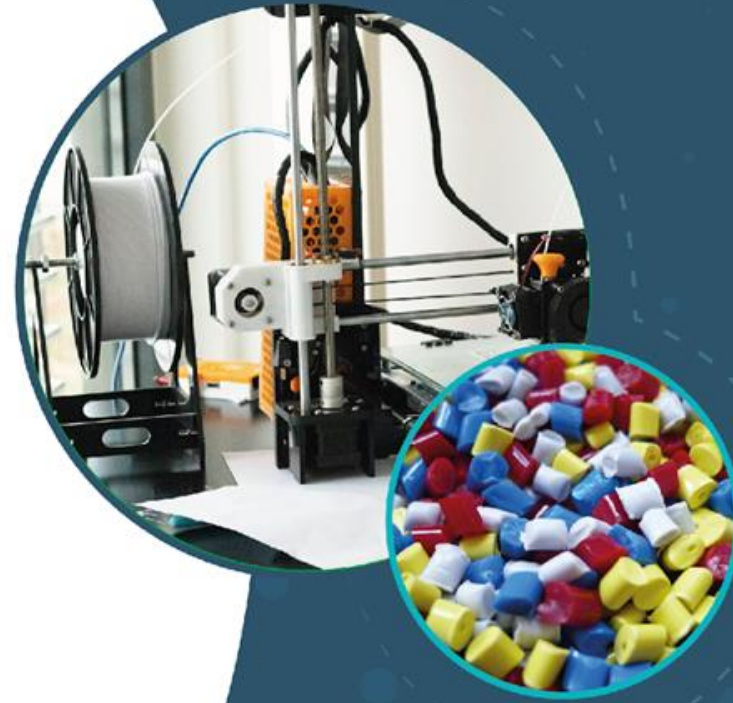
Példa áthidalásra [7]



## Folyamat megismételhetősége

- Az ágy és a fúvóka pontos kalibrálásának köszönhetően a nyomtatás könnyen megismételhető.
- Ez nagyon kényelmes az egyedi gyártásnál.
- Csak el kell kerülni a nem kívánt (hibákat okozó) hatásokat.
- Tisztán kell tartani a munkahelyet és tiszteletben kell tartani a szervizintervallumokat (3D nyomtató).

## 4.2 Polimer anyagok, tulajdonságaik és alkalmazásaik áttekintése





## Alapanyag formája

Az anyagsugaras eljárás polimereket és műanyagokat használ, mint például:

- **Polimetil-metakrilát (PMMA):** átlátszó hőre lágyuló polimer, amely a műszaki műanyagoknak nevezett anyagcsoportba tartozik.
- **Polikarbonát (PC):** átlátszó hőre lágyuló polimer karbonát funkciós csoportokkal. Nagy szilárdsága miatt ütés- és törésálló.
- **Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS):** gyakori hőre lágyuló polimer, amelyet általában fröccsöntéshez használnak.
- **Nagy ütésállóságú polisztirol (HIPS),** also known as **Polisztirol (PS):** amorf hőre lágyuló polimer, amelyet alacsonyabb hőhatású alkalmazásokban használnak.



## Alapanyag formája

Az anyagsugaras eljárás polimereket és műanyagokat használ, mint például:

- **Polimetil-metakrilát (PMMA):** átlátszó hőre lágyuló polimer, amely a műszaki műanyagoknak nevezett anyagcsoportba tartozik.
- **Polikarbonát (PC):** átlátszó hőre lágyuló polimer karbonát funkciós csoportokkal. Nagy szilárdsága miatt ütés- és törésálló.
- **Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS):** gyakori hőre lágyuló polimer, amelyet általában fröccsöntéshez használnak.
- **Nagy ütésállóságú polisztirol (HIPS),** más néven **Polisztirol (PS):** amorf hőre lágyuló polimer, amelyet alacsonyabb hőhatású alkalmazásokban használnak.



## A kész alkatrész mechanikai tulajdonságai

- A polimereket általában **viszkoelasztikus anyagoknak** nevezik.
- Egy szilárd anyag ideális rugalmasságát a **Hooke-törvény** határozza meg: a deformáció arányos az alkalmazott feszültséggel.
- Az ideális viszkózus folyadékot **Newton törvénye** jellemzi: leírja a test mozgása és a testre ható erők közötti kapcsolatot.
- Az MJT technológiák hátránya a rossz **mechanikai tulajdonságok** lehetnek.
- A fotopolimereket **UV-fény aktiválja**. Idővel elvesztik mechanikai tulajdonságaikat, és **törékennyé válhatnak**.
- Az anyag mechanikai tulajdonságait **mechanikai vizsgálatokkal** határozzák meg.

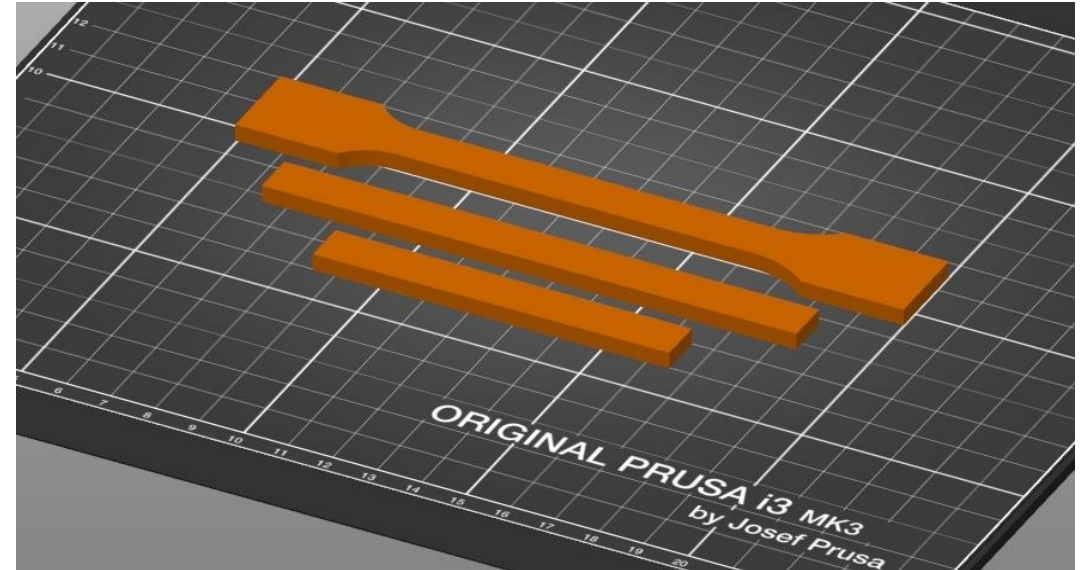


# Anyagjellemzők: mechanikai vizsgálatok

Az anyagjellemzőket mechanikai vizsgálatokkal határozzák meg:

- Szakítóvizsgálat
- Charpy ütészvizsgálat
- Hasító szakítóvizsgálat (nyomás)
- Hajlító vizsgálat
- Keménységvizsgálat

Az alábbi képen látható vizsgálati mintákon végzik a leírt mechanikai vizsgálatokat.



3D nyomtatott minták teszteléshez [8]



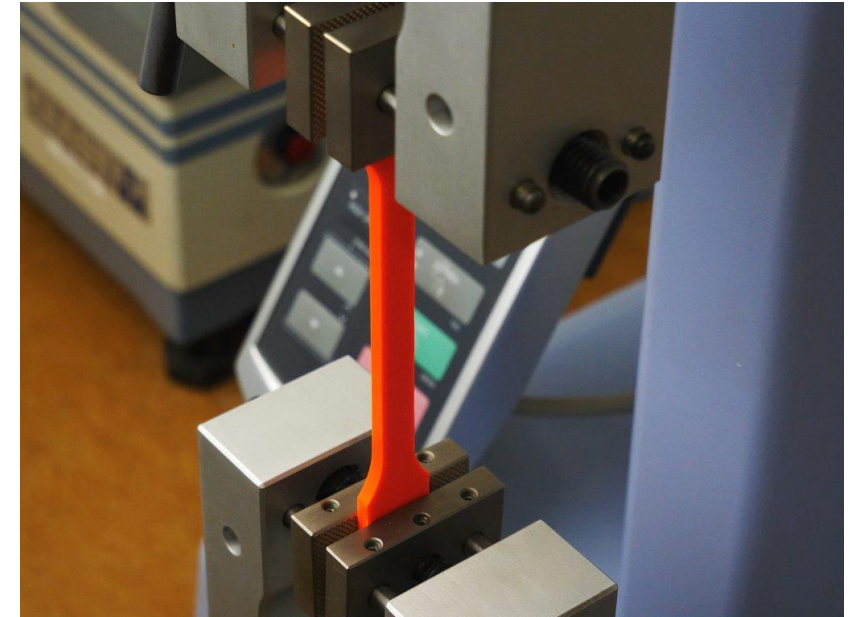
# Anyagjellemzők: szakítóvizsgálat

A szakítóvizsgálattal meghatározható a:

- Szilárdság
- folyáshatár
- Nyúlás
- A próbadarab összehúzódása

A minták szakító tulajdonságainak meghatározására szabványokat használnak.

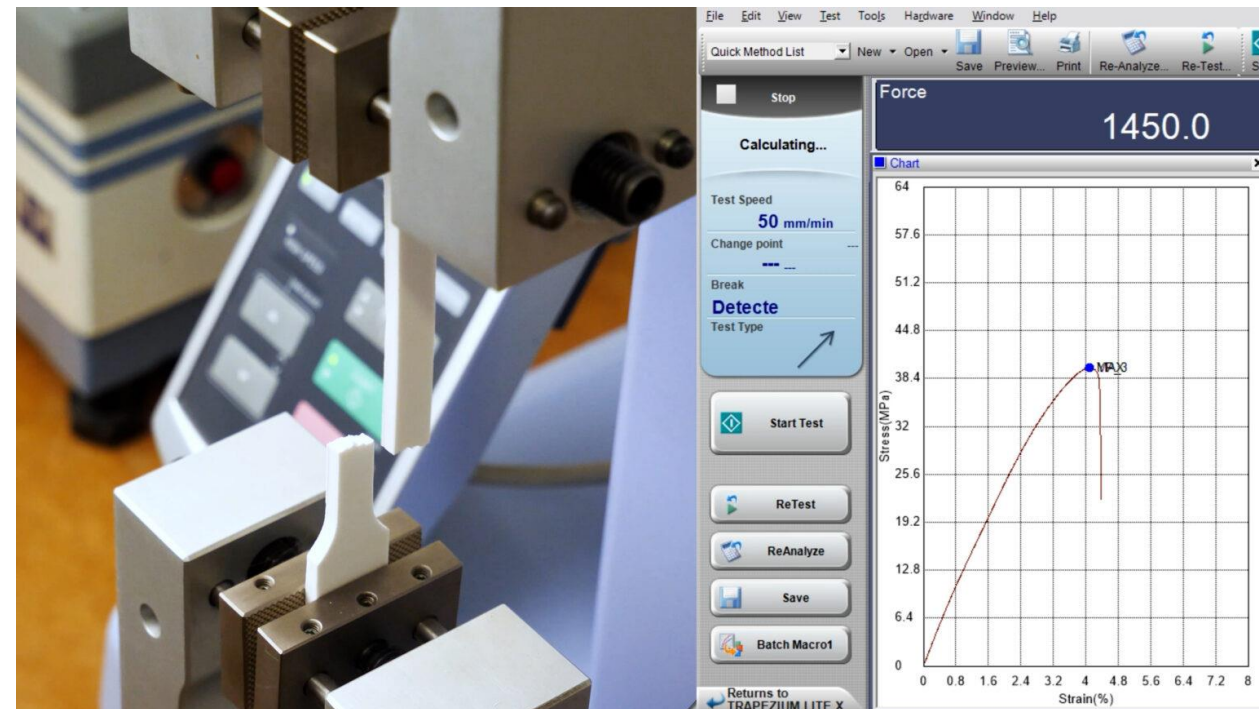
Az alábbi képen a szakítóvizsgálat során egy megfelelő méretű próbadarabot két részre törnek.



Szakítószilárdság vizsgálat (3D nyomtatás) [8]



# Anyagjellemzők: mechanikai vizsgálatok



Univerzális vizsgálógép a szakítószilárdság mérésére (3D nyomtatás) [9]



Charpy ütészívógép (3D nyomtatás) [9]



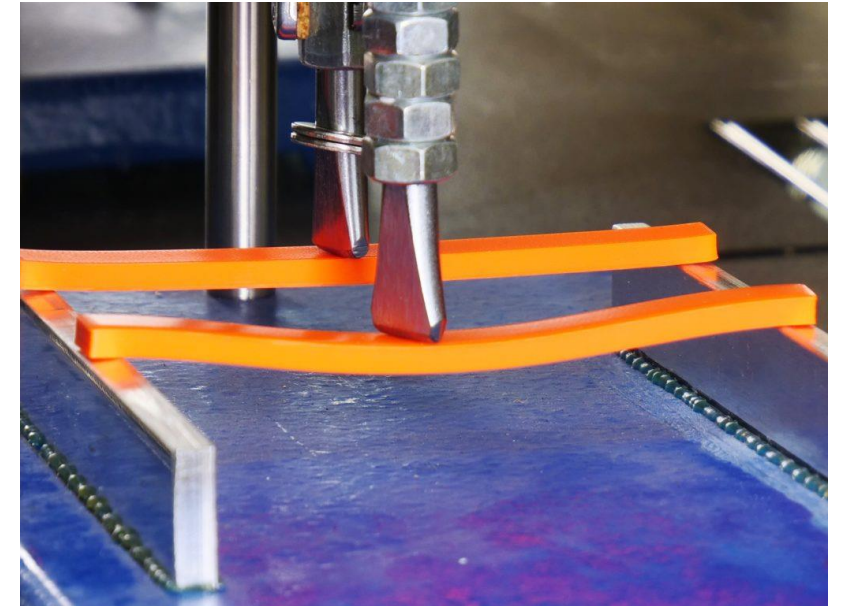
## Anyagjellemzők: hasító szakítópróba (nyomás)

- Ez a vizsgálati módszer az egytengelyű nyomófeszültségnek kitett műanyagok viselkedését határozza meg.
- Ebben a vizsgálatban az anyagra egymással szemben ható erők hatnak, és így összenyomják azt.
- A próbadarabot általában két tolólemez közé helyezik, amelyek a minta két ellentétes felületére ható terheléssel megtörik azt.
- A nyomólemezeket egy nyomógép segítségével nyomják össze.
- Az összenyomott minta általában az alkalmazott erő irányában rövidül, az alkalmazott erőre merőleges irányban pedig kitágul.
- A hasító szakítóvizsgálat a szakítóvizsgálat ellentéte.



# Anyagjellemzők: hajlítóvizsgálat

- A próbadarabot vízszintesen két érintkezési pont közé helyezik; a próbadarab felső részére egy vagy két érintkezési ponton keresztül erőt fejtenek ki.
- Az erőt addig kell kifejteni, amíg a minta el nem törik. A maximálisan felvett erő kifejezi a vizsgált anyag hajlítószilárdságát.
- A hajlítóvizsgálat leggyakoribb célja a következők meghatározása:
  - Rugalmassági modulus
  - Hajlítószilárdság
  - Hajlítási modulus
- A hajlítószilárdságot a próbatest külső szálán, a nyomott és húzott oldalon fellépő maximális feszültségként határozzuk meg.

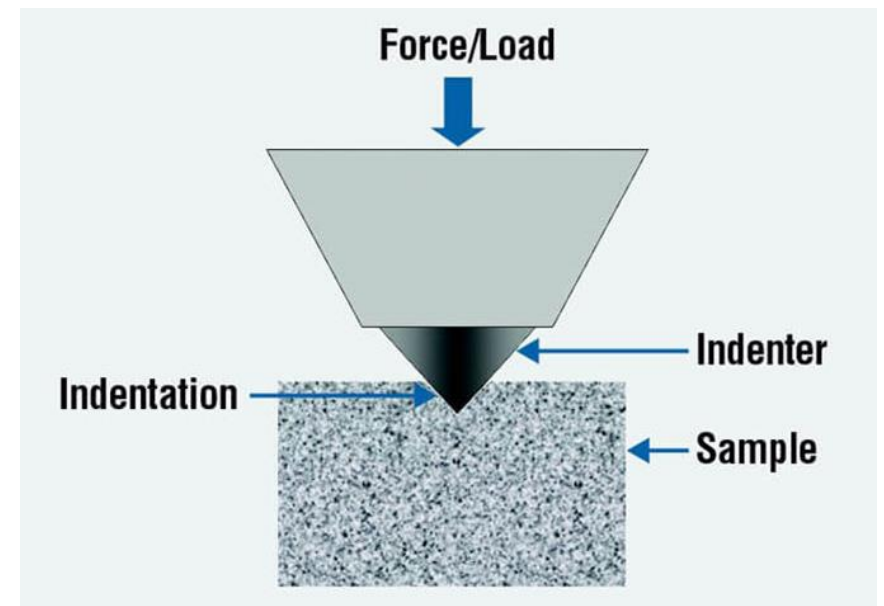


Hárompontos hajlítóvizsgálat (3D nyomtatás) [8]



# Anyagjellemzők: keménységvizsgálat

- Háromféle keménységvizsgálat létezik, mindegyiknek saját mérési skálája van:
  - Karc
  - Szűrő
  - Ejtő
- **Karc keménységmérés** – megmutatja, hogy a minta mennyire ellenálló.
  - A maradandó képlékeny deformációhoz éles tárgyat használnak.
  - A legelterjedtebb vizsgálat a Mohs-skála.
- **Szűrő keménységmérés** - az éles tárgyat állandó nyomóterhelés alatt a mintába nyomják. A leggyakoribb szűrő keménységi skálák a következők: Rockwell, Brinell, Vickers, Shore.



Example of hardness testing method [10]



# Anyagjellemzők: termikus tulajdonságok

A fent említett anyagok mindegyike rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal, beleértve a termikus tulajdonságokat is. Ezek az anyagok a következő okok miatt jelentősek:

- **ABS:** nagyon rugalmas anyag. Bár fő előnye a hőállóság (akár 100 °C-os hőmérsékletet is kibír), legnagyobb hátránya a hőtágulás. Nagyobb tárgyak nyomtatásakor deformálódik, sőt, néha meg is repedhet a nyomtatót körülvevő hőmérséklet-ingadozás miatt.
- **PLA:** ez az anyag kukoricakeményítőből készül. Nagyon alacsony hőtágulással rendelkezik, és könnyen nyomtatható. Alkalmas nagyobb tárgyak nyomtatására. Hátránya a törékenység és a kisebb hőállóság (60 °C körül).
- **HD PLA:** ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkezik, mint a PLA; könnyen és gyorsan nyomtat nagyméretű tárgyakat. Amikor azonban ez az anyag átesik a hőkezelési folyamaton, jobb hő- és szilárdsági tulajdonságokra tesz szert. Ezt a folyamatot követően a hőállósága 60 °C-ról 140 °C-ra nő (ezen a hőmérsékleten megpuhul, de megtartja az alakját). A lágyítási folyamat során az anyag belső szerkezete megváltozik, ennek következtében a teljes nyomat 1%-kal zsugorodik, ezért a modellt 1%-kal kell megnövelni.



## Anyagjellemzők: a 3D nyomtatási anyagok kémiai ellenállása

- A kémiai ellenállás az anyag azon képessége, hogy ellenálljon a kémiaileg agresszív környezetnek. Számos olyan polimer létezik, amely ellenáll a savaknak, oldószereknek, alkoholnak, forró víznek vagy más anyagoknak.
- A műanyagok kémiai ellenállása elsősorban a polimer fizikai és kémiai szerkezetétől és az anyag kémiai összetételétől függ.
- A 3D nyomtatáshoz használt polimerek láncai hűtés után amorf (rendezetlen) vagy félkristályos (részben rendezett) fázisba kerülnek. A félkristályos fázisban a rendezett szegmenseket rendezetlen láncklaszterek veszik körül. Ezeknek a szegmenseknek az aránya (az úgynevezett kristályosság) befolyásolja a polimer hőmérsékletállóságát, szilárdságát és szívósságát. Ez befolyásolja a polimer kémiai agresszivitással szembeni ellenállását is.
- Így egy kristályosabb polimer jobban ellenáll egy agresszív anyagnak, mint egy kevésbé kristályos polimer. A polimer kötések orientációja és a töltőanyagok jelenléte az anyagban szintén hatással lehet.
- Az, hogy egy anyag mennyire képes ellenállni a kémiaileg agresszív környezetnek, nem csak a kémiai ellenállástól függ, hanem a mechanikai igénybevételtől, az anyag felszívódásától vagy a hőmérséklettől is. Ezek a paraméterek befolyásolhatják az anyagválasztással szemben támasztott követelményeket.
- Ha az anyag kémiaileg nem ellenálló, fennáll a polimerkötések gyors lebomlásának veszélye, ha agresszív anyaggal érintkeznek. Ez alacsonyabb szakítószilárdsághoz, kisebb ütésállósághoz és rövidebb anyagélettartamhoz vezet: mindezek az alkatrész meghibásodásához vezethetnek.



## Anyagjellemzők: a 3D nyomtatási anyagok kémiai ellenállása

- Általában a műszaki anyagok a legellenállóbbak a vegyi anyagokkal szemben. A kiváló vegyszerállósággal rendelkező anyagok közé tartozik a **PP** (polipropilén), **PA** (poliamid, nylon), **PE** (polietilén), **PEEK** (poliéter-éter-keton), **PTFE** (politetrafluor-etilén, teflon), **PVC** (polivinil-klorid) vagy **PVDF** (polivinilidén-fluorid).
- A jó kémiai ellenállású anyagok a **PC** (polikarbonát), **TPU**, **PETG**, **ASA** vagy **ABS**. Ellenállásuk azonban függ a környezettől, a környezeti hőmérséklettől és más típusú igénybevételektől. Az ABS anyag például acetonban gyorsan lebomlik.
- A műszaki jellemzőkkel nem rendelkező anyagok, mint például a **PLA**, **PVB**, nem alkalmasak kémiaileg agresszív környezetben való használatra: savak, alkoholok stb.



A 3D nyomtatási anyagok kémiai ellenállása [9]



# Anyagjellemzők: a műanyagok kémiai ellenállósági táblázata a műanyagok kémiai kompatibilitásáról

## ÉRTÉKELÉS

- **A:** Jó ellenállóképesség
- **B:** Mérsékelt ellenállóképesség
- **C:** Gyenge ellenállóképesség
- **D:** Nem áll ellen

A vizsgálatokat 23 °C-on végezték.

**Kémiai kompatibilitási táblázat [9]**

	PLA	PVB	PETG	ASA	ABS	PC	PA	PP
Water (H <sub>2</sub> O)	A	A	A	A	B	A	A	A
IPA 75% (Isopropyl alcohol, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O)	C	D	A	B	B	B	A	A
IPA 99% (Isopropyl alcohol, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O)	C	D	B	B	B	B	A	A
Acetic acid 8% (vinegar, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )	B	C	A	A	B	A	C	A
Sodium chloride 10% (salt, NaCl)	B	B	A	B	A	A	A	A
Citric acid (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> )	B	B	A	A	-	A	B	A
Hydrochloric acid 37% (HCl)	C	-	A	C	C	A	D	A
Hydrogen peroxide 30% (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	B	-	A	A	A	A	D	A
Phosphoric acid 85% (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	C	-	C	-	A	A	D	A
Nitric acid 69% (HNO <sub>3</sub> )	D	-	D	-	A	D	D	A
Sulphuric acid 96% (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	D	-	D	-	-	D	D	A
Fridex * (Ethylene glycol, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> )	B	B	A	A	-	A	-	-
Savo ** 1:10 (NaClO)	B	B	A	A	-	B	A	A
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O)	C	D	B	B	A	B	A	A
Acetone (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)	D	D	C	D	D	C	A	A

\* A Fridex az autók fagyálló hűtőfolyadékaiban használt kémiai vegyület ipari neve. Ez egy etilén-glikol alapú, koncentrált hűtőfolyadék.

\*\* A Savo egy tisztító és fertőtlenítő szer. A fertőtlenítőszer nátrium-hipoklorit, 4,7 g/100 g.



# Anyagválasztás

- Fontos tényező a szervezet termelési profilja.
- A különböző gépek különböző anyagokkal tudnak dolgozni, ezért ez a premissza a legfontosabb (ha a beruházást nem vesszük figyelembe).
- A technológia által létrehozott tárgy hasznos funkciója alapvető hatással van az anyagválasztásra.
  - Statikus igénybevétel (az említett tesztek követően)
  - Dinamikus igénybevétel (az időbeli élettartamot figyelembe véve; ezen a tanfolyamon túl)
  - Üzemi hőmérséklet (rész vagy egész eszköz)
  - Kémiai ellenállás stb.

## 4.3 Minőségbiztosítás





## Berendezések minősítése/újraminősítése

- Felelős személy: mérnöki minőségellenőrzési technikus. Ő:
  - írja le a műszaki berendezések felülvizsgálatainak és képességvizsgálatainak végrehajtását a műszaki, szabványok és biztonsági előírásoknak megfelelően.
  - állítja ki az ellenőrzési jelentést, vezeti az előírt dokumentációt és az ellenőrzési jelentés napirendjét.
- E csapattag támogatására biztosítja az összes szükséges műszaki berendezést (az ágazatnak és a gyártási program összetettségének megfelelően).

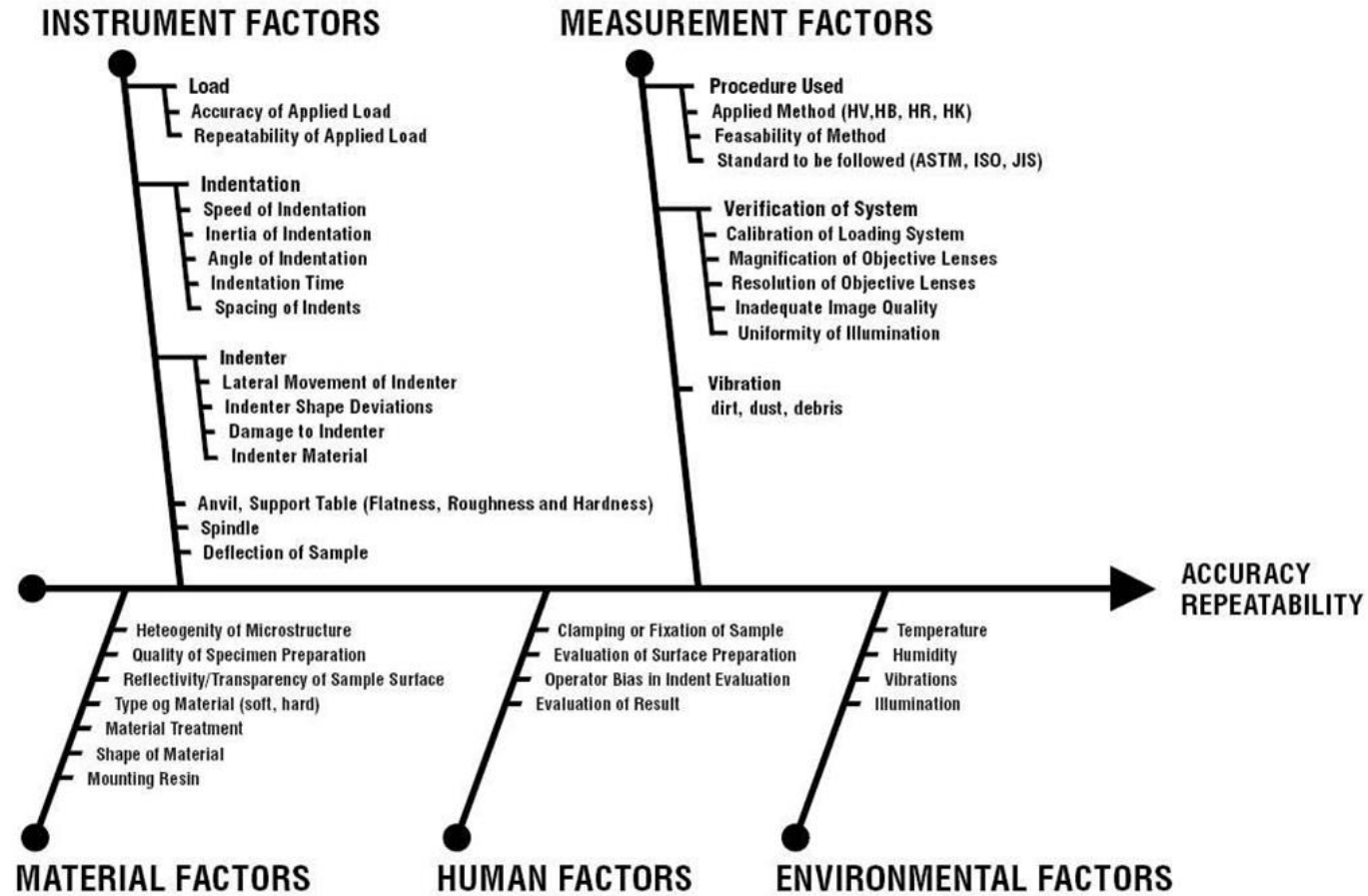


## Rendszer teljesítménye és megbízhatósága

- Íme néhány a legfontosabb tényezők közül, amelyek biztosítják a rendszer teljesítményét és megbízhatóságát. Ellenőrzött külső tényezők, mint például:
  - Fény
  - Szennyezettség
  - Rezgések
  - Hőmérséklet
  - Páratartalom
  - Szakképzett dolgozók



# Rendszer teljesítménye és megbízhatósága



Ishikawa-diagram, példa a rendszert károsító tényezőkre és annak megbízhatóságára [11]



# Kalibráció

- Két csoportra kell osztani:
  - MJT nyomtató kalibrálása
  - Mérőberendezés kalibrálása
- A nyomtató kalibrálását rendszeres időközönként (véletlenszerűen, szisztematikusan) biztosítani kell.
- Ezt az egyes szervezetek maguk dönthetik el, és belső irányelvek alapján kell meghatározni.
- A mérőeszközök kalibrálását (a Cseh Köztársaságban, de más országokban is) egy rendelet szabályozza (konkrétan a 262/2000 sz. rendelet), amely biztosítja a mérőeszközök és mérések egységességét és helyességét.



## Minőségbiztosítás skálázása

- A csapat bővítése teljes munkaidős minőségbiztosítási tesztelőkkel gyakran nem lehetséges (személyi béremelés).
- A kiszervezett tesztelési erőforrások megfelelő kombinációjának használata megfelelő eszköz lefedettséget, tempót és méretarányt biztosíthat a minőségbiztosítási folyamathoz.
- Ez felszabadíthatja a meglévő minőségbiztosítási erőforrást, hogy közelebbről dolgozhasson.
- A fejlesztési és kereskedelmi csapatokkal; segítve őket abban, hogy hosszú távon hatékonyabban tervezzék meg a stratégiákat, és a folyamatos optimalizálásra összpontosítsanak.



# Alkatrész minőségi követelmények

- A termékkel szemben támasztott minőségi követelmények meghatározása; változó és attributív elemek (méretek, szabályozási követelmények, tanúsítványok stb.).
- A kritikus elemek leírása és jelölése, beleértve a grafikus megjelenítési formátumot.
- Ezeket az elemeket például a következőkre használják:
  - Ellenőrzési terv
  - Importálás a mintavételbe
  - MSA
  - FMEA stb.



## Minőségi célkitűzések

- A **minőségcélok** meghatározása a felsővezetés egyik legfontosabb feladata. Ez magában foglalja a minőség javításának lehetőségeinek azonosítását a szükséges helyeken, és a szervezet stratégiai céljainak meghatározását.
- I.e. **Juran** a minőségcélok alapvető jellemzőit is felsorolja, és öt követelményben foglalja össze.
- A célok meghatározása a **SMART**: specifikus, mérhető, elérhető, reális és időhöz kötött célok segítségével.
- Fontos, hogy a kívánt minőséget a lehető legalacsonyabb költségekkel érjük el. Ezért nagyon fontos a megfelelő minőségirányítási rendszer kialakítása.
- Ezért figyelembe kell venni a minőség költségeit.



## Vizuális vizsgálat: mérőeszközök és technikák

- A méretellenőrzés, pontosabban a méretmérés egy olyan speciális terület, amelynek széleskörű alkalmazási területei vannak, többek között az anyagsugárzásban is.
- A frissen készült nyomtatást gyorsan ellenőrizni kell, miután kikerült a 3D nyomtatóból.
- Validáljuk az új geometriát a választott technológia tekintetében, vagy hasonlítsuk össze a prototípust a CAD modellel.
- Ha az egyes méretvizsgáló berendezés típusokat nézzük, három elsődleges típus létezik:
  - **Kézi szerszámok** (tolómérők, furat és belső átmérő mérőműszerek, rögzített mérőeszközök, mikrométerek stb.)
  - **Érintkező szenzorok** (koordináta mérőgépek, csuklós karok, forma- és kontúrkövetők)
  - **Érintésmentes vizuális szenzorok** (optikai komparátorok, látórendszerek, 3D szkennerek)



# Vizuális vizsgálat: alapvető minőségi követelmények

- A vizuális ellenőrzés legelterjedtebb csoportja precíziós kéziszerszámokat használ, mint például:
  - Tolómérő
  - Furat és belső átmérő mérőeszközök
  - Rögzített mérőeszközök
  - Mikrométerek
  - Szögmérők
  - Indikátorok és komparátorok
  - Gyűrűs mérőeszközök
  - Hosszmérők

## ELŐNYÖK:

- + Alacsony költség
- + Elérhetőség (azonnali használat)
- + Nagyfokú hordozhatóság

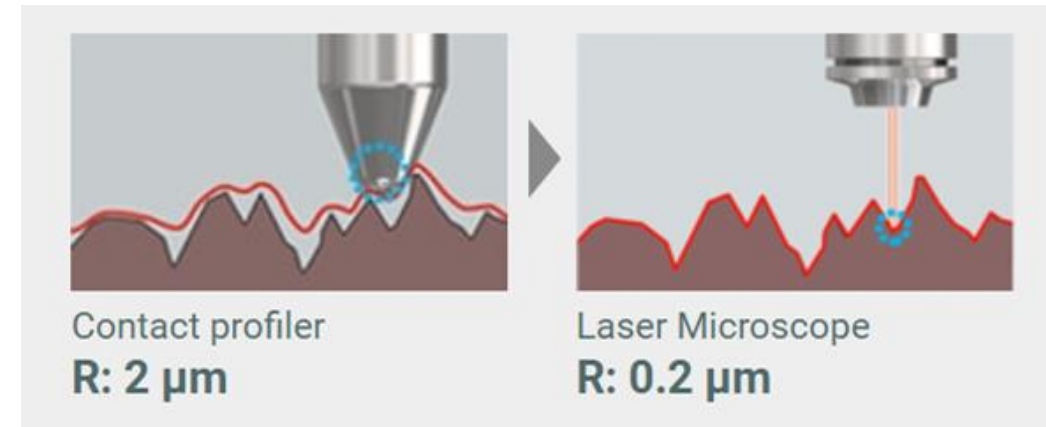
## KORLÁTOK:

- A leolvasás tovább tart (pontosság)
- A kézi eszközök nem használhatnak automatizált rendszereket
- A kezelő megbízhatósága (pontosság)



## Alak és érdesség

- Az alak mérhető:
  - Kézi szerszámokkal
  - Érintkező szenzorokkal
  - Érintésmentes vizuális szenzorokkal
- Érdesség érdességmérővel. A felületi érdességmérők olyan műszerek, amelyek a célfelület simaságát (érdességi fokát) mérik.
- A felületi érdességmérők fő típusai az alábbiakat használják:
  - Szondák
  - Lézerek



A érdességmérő elve [12]



# Hivatkozások

- [1] 3D PRINTING - ADDITIVE. *3DEXPERIENCE Marketplace | Make* [online]. 2022 [Hozzáférve: 2022-10-03]. Elérhetőség: <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/material-jetting>
- [2] A Comprehensive Guide to Material Jetting 3D Printing. *AMFG Autonomous Manufacturing* [online]. 2018 [Hozzáférve: 2022-10-05]. Elérhetőség: <https://amfg.ai/wp-content/uploads/2018/06/3D-Systems-ProJet-MJP-5600.jpg>
- [3] What is the role of Slicing in 3D printing? *fabheads* [online]. 2022 [Hozzáférve: 2022-10-04]. Elérhetőség: <https://fabheads.com/wp-content/uploads/2021/08/slicer13-1.png>
- [4] Material Jetting 3D Printing. *Beamer | Additive Manufacturing* [online]. 2022 [Hozzáférve: 2022-10-08]. Elérhetőség: <https://www.beamer.com/wp-content/uploads/2019/03/Material-Jetting-3D-Printing-Market-1024x573.jpg>
- [5] A Great Guide To 3D Print Post Processing. *Fabbaloo 3D PRINTING NEWS* [online]. [Hozzáférve: 2020-05-13]. Available: <http://www.fabbaloo.com/blog/2017/8/27/a-great-guide-to-3d-print-post-processing>
- [6] Material jetting 3D printer. *Direct INDUSTRY* [online]. 2022 [Hozzáférve: 2022-10-31]. Elérhetőség: <https://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/material-jetting-3d-printer-196219.html>
- [7] Poor bridging. *PRUSARESEARCH* [online]. 2021 [Accessed: 2022-10-12]. Elérhetőség: [https://help.prusa3d.com/article/poor-bridging\\_1802](https://help.prusa3d.com/article/poor-bridging_1802)
- [8] How to improve your 3D prints with annealing. *PRUSAPRINTERS BLOG* [online]. 2019 [Accessed: 2020-05-13]. Elérhetőség: <https://blog.prusaprinters.org/how-to-improve-your-3d-prints-with-annealing/>
- [9] Chemická odolnost materiálů pro 3D tisk. *PRUSAMENT* [online]. 2021 [Hozzáférve: 2022-10-13]. Elérhetőség: <https://prusament.com/cs/chemicka-odolnost-materialu-pro-3d-tisk/>
- [10] HARDNESS TESTING. *Struers Ensuring Certainty* [online]. 2022 [Hozzáférve: 2022-10-18]. Elérhetőség: <https://www.struers.com/-/media/Struers-media-library/Knowledge/Hardness-Testing/About-Hardness-Testing-1600x500px.jpg?h=500&w=1600&lm=20200203T142701Z&hash=AE19EC0780397A5D4259A207903A0D4E>
- [11] HARDNESS TESTING. *Struers Ensuring Certainty* [online]. 2022 [Hozzáférve: 2022-10-18]. Elérhetőség: <https://www.struers.com/en/Knowledge/Hardness-testing#hardnesstestinghowto>
- [12] Roughness Meters. *Measurement Fundamentals* [online]. 2022 [Hozzáférve: 2022-10-22]. Elérhetőség: <https://www.keyence.com/ss/products/measure-sys/measurement-selection/type/roughness.jsp>



Az Európai Unió  
társfinanszírozásával

A projektet az Európai Bizottság támogatásával finanszírozták. Ez a kiadvány kizárólag a szerző nézeteit tükrözi, és a Bizottság nem tehető felelőssé a benne foglalt információk bármilyen felhasználásáért. ERASMUS+: 2021-1-CZ01-KA220-VET-000033007.



LUDOR  
ENGINEERING