36. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2023. április 18-20.
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Rendészettudományi Kar

A 3D NYOMTATÁS KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS EGÉSZSÉGÜGYI ASPEKTUSAI

Jelige: *A tudás hatalom*

Pályamunka lezárásának időpontja: 2022. november

2023.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS 3

2. GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK 4

2.1 Gyártástechnológia folyamatai 4

2.2 Előgyártási folyamatok 4

2.3 Az alkatrész gyártás folyamata 6

2.4 Az összeszerelés fázisai 7

3. A 3D NYOMTATÁS 8

3.1 A 3D nyomtatás gyártástechnológiái 8

3.1.1 Gyors prototípus gyártás története (RPT- Rapid Prototyping Technology) 8

3.1.2 SLA 11

3.1.3 FDM 12

3.1.4 SLS 14

3.2 CAD tervező programok 16

3.2.1 Solid Egde 16

3.2.2 Autodesk: Fusion 360 17

4. 3D NYOMTATÁS ELEMZÉSE KÖRNYEZETVÉDELMI SZEMPONTBÓL 19

4.1 Additív gyártástechnológia előnyei 19

4.1.1 Káros anyag kibocsátás 19

4.1.2 Digitalizáció kiaknázása a környezetszennyezés csökkentéséért 21

4.1.3 Additív gyártástechnológia népszerűsítése 22

5. 3D NYOMTATÁS ELEMZÉSE EGÉSZSÉGÜGYI SZEMPONTBÓL 23

6.1 Felhasználási területek 23

6.1.1 Fogászati felhasználás 23

6.1.2 Fogtechnikai eszközök gyártása 25

6.1.3 Orvostudományi felhasználás 31

6.1.4 Orvostudományi eszközök gyártása 33

6.1.5 Egészségügyi veszélyek 38

6. ÖSSZEGZÉS: MENNYIRE HASZNOS A 3D NYOMTATÁS EGYRE BŐVÜLŐ SKÁLÁN TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLÁSA? CSÖKKENTHETŐ A KÁROSANYAG KIBOCSÁTÁS MÉRTÉKE? 40

7. IRODALOMJEGYZÉK 42

1. BEVEZETÉS

A mai modern világban a folyamatos technológiai fejlődéssel lépést tartani nehéz feladat, ugyanakkor kötelességünk. Feltűnnek újabb és újabb anyagok és eszközök, melyek nagyban hozzájárulnak a gyorsabb és nagyobb léptékű termeléshez, valamint több esetben jobb minőséget is eredményeznek.

Az iparosodás kezdete óta számos körülmény megváltozott a gyártási folyamatok során. Kezdetben csak a mennyiségi termelést vették figyelembe, később kezdett fontossá válni, hogy nem csak mennyiségileg, de minőségileg is jobban teljesítsenek a gyárak, ugyanis minél magasabb minőséggel rendelkeztek a gyár által készített termékek annál magasabbak voltak az eladási mutatók. A technológiai fejlődés mellett ügyelnünk kell, hogy környezetünket és egészségünket megőrizzük ugyanis az újabb és újabb technológiai vívmányok mindig rejtenek magukban megoldandó problémát is. Ezek az új eszközök kihívásokat tartogatnak a kutatók és a fejlesztők számára, melyeket számos tesztelés és fejlesztési kísérlet árán sikerül kiküszöbölni.

Mára eljutott a tudomány és a technológia arra a szintre, hogy számítógépek és szoftverek segítségével tervezni tudunk, valamint ezt le is tudjuk gyártani. Vannak olyan munkafolyamatok amelyek nem igényelnek emberi beavatkozást, ugyanakkor számos előírásnak és szabványnak kell megfelelnie egy ilyen eszköznek ahhoz, hogy biztonságosan használható legyen. Munkavégzés során előfordulnak balesetek, melyek végkimenetele eltérő súlyosságú, ezek elkerülése érdekében elengedhetetlen, hogy szabályokhoz kössük ezen eszközök használatát így minimalizálni tudjuk az esetlegesen keletkező sérüléseket.

A 3D nyomtatás kérdésköre nem ismeretlen fogalom a tudományos körökben, ugyanakkor folyamatos kutatás sorozatoknak és fejlesztéseknek lehetünk szemtanúi. A háromdimenziós nyomtatás létrejötte sok tudományág számára kívánt kedvező megoldást az alkatrész és modellgyártás terén, ugyanis egyfajta 3D nyomtató segítségével számos modellt készíthetünk, melyek felhasználása sokrétű.

A hirtelen fellendült iparág ma már nem csak vállaltok számára készít termékeket, hanem otthoni felhasználásra is azon személyek számára akik hobbi szinten érdeklődést mutatnak a technológiával szemben. Ezért is kiemelten fontos, hogy tisztában legyünk azzal, hogy mire képesek ezek az eszközök. Ismernünk kell az eszközök működési elvét, valamint azt hogy milyen anyagokat bocsát ki melyek esetleg környezetünkre és egészségünkre is károsak lehetnek.

2. GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK

A XXI. századra elértünk odáig, hogy a tudományterületek elkezdtek összemosódni. Bizonyos szakágak számára elengedhetetlen, hogy egy másik tudományterületet ne hívjanak segítségül mindennapi munkájuk során. Ilyen például az orvostudományok valamint a gépészeti tudományok. Az orvostechnikai anyagok valamint eszközök mind gépészeti gyártástechnológiai folyamatok eredményei, így elengedhetetlen hogy a két szakterület ne vegyüljön bizonyos szintig.

2.1 GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA FOLYAMATAI[1]

Gyártástechnológia egy összetett folyamat, ugyanis alapanyagokból kell kész termékeket előállítani, melyek keresztülmennek számos munkafolyamaton. Első lépésként elkészítenek egy előgyártmányt, ami kiindulási pontot szolgáltat, majd utána kezdődik meg az alkatrészgyártás. A legyártott alkatrészeket pedig összeszerelik így előállítva a kész terméket. Minden új termék egy prototípussal indul. Kezdetben a fő cél, hogy elkészüljön, megvizsgáljuk használható-e, megvizsgáljuk a hibáit, valamint, hogy hogyan lehetne rajta tökéletesíteni. Számos kísérlet és megfigyelés az alapja annak a hosszú folyamatnak mely során eljuthatunk odáig, hogy a termékünk megfelelővé válik sorozatgyártásra vagy akár tömeggyártásra is. Természetesen a későbbiekben is felfedezhetünk benne hibákat, valamint később is lehet rajta alakítani, javítani, hogy még tökéletesebb legyen, mivel használat során derülnek ki a termék igazi hibái.

2.2 ELŐGYÁRTÁSI FOLYAMATOK[2]

Az előgyártási folyamat több különféle műveletből tevődik össze, így készítjük elő az elkészíteni kívánt termékhez szükséges alkatrészeket. Az előgyártás egyik legfontosabb lépcsője például az acél öntése. Az öntés folyékony halmazállapotban történő alakítási eljárás, melynek köszönhetően forgácsolás nélkül is megmunkálható az anyag. A folyamat során olvasztókemencében felhevítik az anyagot, a már folyékony halmazállapotú fémet vagy

[1] Kis Dávid – Szente László: Előgyártási technológiák. Fémelőállítás. Kecskemét. Neumann János Egyetem. 2019. Letöltve: 2022.09.09.
[2] Cseh Béla: Anyag- és gyártásismeret I. Hőkezelés, hegesztés, forgácsolás nélküli alakító eljárások, öntéstechnológia. Bolyai János Katonai Műszaki Főiskola. 1993.

ötvöztet pedig egyenletes sebességgel a forma beöntő nyílásába töltik. Ügyelni kell arra, hogy a beöntés sebessége mindig egyenletes maradjon, nem lehet túl gyorsan önteni mert az tönkre teheti az öntőforma gyengébb részeit, valamint nem lehet túl lassan sem önteni, mert az anyag egy része megszilárdul míg a többi még folyékony halmazállapotú marad. Ez egy réteges szerkezetet eredményez, mely az öntvény szilárdsági tulajdonságait rontja. A folyékony fém vagy ötvözet beöntését addig végzik, amig a felöntő nyílásban ki nem bukik az anyag, mivel ez jelzi a teljes telítettséget. Az öntést akkor alkalmazzák, ha más módon nem érhető el a kívánt alak. Az öntőminták előállítása költséges, ugyanakkor ha sorozatgyártás a cél akkor ez a legköltséghatékonyabb megoldás.

Következő lépésként hengereléssel, valamint kovácsolással dolgozzák fel az acélt kohászati féltermékekké. Hengerelés közben két ellentétes irányban forgó henger között vezetjük át a formálni kívánt anyagot. Először egyenletesen átízzítják az anyagot egy mélykemencében, ez után blokk- vagy hengerlemezműben hengertuskóvá, lemezbugává alakítják. Ezt követően pedig a szükséges hengerelési hőmérsékleten a kívánt formára alakítják.

A következő fontos mozzanat a hegesztés. A hegesztés során a munkadarabot hővel vagy nyomással, esetenként mindkettővel egyesítjük. A munkadarabok között nem oldható fémes kötés alakul ki. Különféle hegesztési technikák léteznek, mivel minden anyagnak eltérőek a tulajdonságai, így anyagtól függően választhatunk hegesztési technikát. Hegesztéshez elő kell készíteni a munkadarabot, ez nagyban meghatározza a hegesztés minőségét. Fontos a szennyeződések eltávolítása, melyek ronthatják a hegesztés és a termék minőségét. A tisztitás mechanikusan valamint vegyi úton is történhet. A hegesztett kötésnek több fajtája létezik, ezeket az összekötendő munkadarabok egymáshoz viszonított helyzete szerint csoportosíthatjuk. Van tompa kötés, mely esetben az elemek egy síkban találhatóak, van merőleges kötés, ahol a munkadarabok merőlegesen helyezkednek el. Párhuzamos kötés esetén a munkadarabok egymással párhuzamos síkban helyezkednek el, valamint létezik ferde kötés, mely esetben a munkadarabok egymással bezárt szögét tetszőlegesen határozhatjuk meg. Hegesztett kötéseket varratokkal létesítenek. Ennek főbb fajtái a tompavarrat, a sarokvarrat, az élvarrat, a háromlemez-varrat valamint a lyuk- és horonyvarrat.

Hegesztési fázis után következik a sajtolás. Ez egy feldolgozási folyamat, mely során előmelegített vagy előképlékenyített anyagokat egy nyitott szerszámba öntünk, majd előírt hőmérsékleten nagy nyomás hatására az anyag térhálósodik. A műveletet több csoportba oszthatjuk szét, aszerint, hogy hogyan végezzük a sajtolást és milyen eszközzel. A sajtolási

folyamat legfontosabb mozzanata a megfelelő szemcseméretű és összetételű porkeverék előállítása, melyhez speciális adalékanyagot is adagolnak. A művelet kiterjed egészen az esetleges hőkezelésig, valamint a szemcsenagyság szerinti osztályozásra. Fontos lépés a porok gáztalanítása, oxigén- és vízeltávolítás elvégzése.

Az előgyártási folyamatok következő része a forgácsolás nélküli hidegalakítás. Ez alatt azokat a hőhatás nélküli megmunkálásokat értjük melyek során a szilárd test alakját valamilyen módon megváltoztatjuk. Az alkalmazott eljárások közül a legfontosabb a darabolás, amelyet tovább oszthatunk nyírásra, vágásra, lyukasztásra, valamint termikus vágásra. Nyírás során két egymás mentén mozgó vágóéllel megterhelik az anyagot majd mikor eléri a nyírószilárdsági határt az anyag szétválik. Többfajta eszköz alkalmazható nyírásra, kézi ollók, gépi lemezollók, elektromos kézi lemezvágógép. A legfontosabb nyírás során, hogy a munkavédelmi előírásokat betartsuk, ugyanis baleset veszélyes munkafolyamat.

2.3 AZ ALKATRÉSZ GYÁRTÁS FOLYAMATA[3]

Az előgyártási folyamatok végeztével az anyagok készen állnak arra, hogy alkatrészekké alakítsák őket. Alkatrészek előállításához szükségünk van munkagépekre. A legelterjedtebb szerszámgépek közé taroznak az esztergagépek, fúrók, gyaluk, vésőgépek, marógépek, köszörűk, fűrészek, lemezhajlítók és lemezvágók. Minden szerszámgép használata komoly odafigyelést igényel, ugyanis nem megfelelő használat esetén balesetveszélyesek. Az alkatrészek előállítását megelőzi a tervezési folyamat. Ennek során meghatározzák pontosan milyen felhasználásra készül az alkatrész, meghatározzak milyen anyagból milyen türésre kell alakítani. A termelés célja mindig egy olyan termék, a kész termék létrehozása, amely a gyártási folyamat végeredményeként beszerelhető egy gépbe. Egy alkatrész gyártási folyamata általában összetett és ezért az érthetőség kedvéért a legjobb, ha szakaszokra bontjuk, tehát műveletekre bontjuk, és a működési elemeket külön vizsgáluk. A művelet egy műszaki folyamatnak a munkahelyen végrehajtott befejezett része. Működési elem alatt egy adott gépen, adott szerszámmal és berendezéssel, adott munkadarab befogáshoz végrehajtott művelet részét értjük. Ez a legkisebb tervezhető lépése egy műszaki folyamatnak, mellyel tervezett változtatásokat érhetünk el a feldolgozott anyag tulajdonságaiban

[3] Adolf Frischherz – Paul Skop: Fémtechnológia alapismeretek 2. Magyar kiadás: B+V Lap- és Könyvkiadó. Budapest. 19.

2.4 AZ ÖSSZESZERELÉS FÁZISAI

A szerelés a technológiai folyamat azon befejező szakasza, amelyben a megelőző termelési területeken végzett tevékenységek eredményeit kész termékekké egyesítik. Itt az alkatrészeket meghatározott sorrendben és szempontok szerint egymáshoz rendeljük azzal a céllal, hogy olyan gyártmányt hozzunk létre, amely a követelményeknek mindenben eleget tesz. A szerelés folyamata a következő tevékenységekkel jellemezhető: összeállítás, felépítés, beillesztés, hozzáadás, beszabályozás, beigazítás stb. A szerelésben a tulajdonképpeni munkafolyamatot három főtevékenységre lehet felosztani: anyagkezelés; egyesítés illetve összeépítés; ellenőrzés-beszabályozás. Gyakran van szükség egyes alkatrészek összeillesztésénél, beszabályozásánál forgácsolási (pl. fúrás) folyamatokat végezni.

3. A 3D NYOMTATÁS

3D nyomtatás során digitális modellekből állítunk elő háromdimenziós tárgyakat. Jelenleg leggyakoribb felhasználása az otthoni hobbi szintű modellkészítés mellett a gyors prototípus készítés. Kompozit anyagok nap mint nap kerülnek felhasználásra, tudomány területeket ível át és köt össze. Jelenleg a 3D fém nyomtatókat a fogászatban is aktívan használják, a technológiák folyamatos fejlődésének köszönhetően az orvostudomány többi ága is használhatja a későbbiekben.

3.1 A 3D NYOMTATÁS GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁI

Több eljárás ismert 3D nyomtatással kapcsolatosan, ezek alkalmazása sokrétű, és a technológia fejlődésével egyre szélesebb körben terjed. Felhasználási területeik egyre bővülnek.

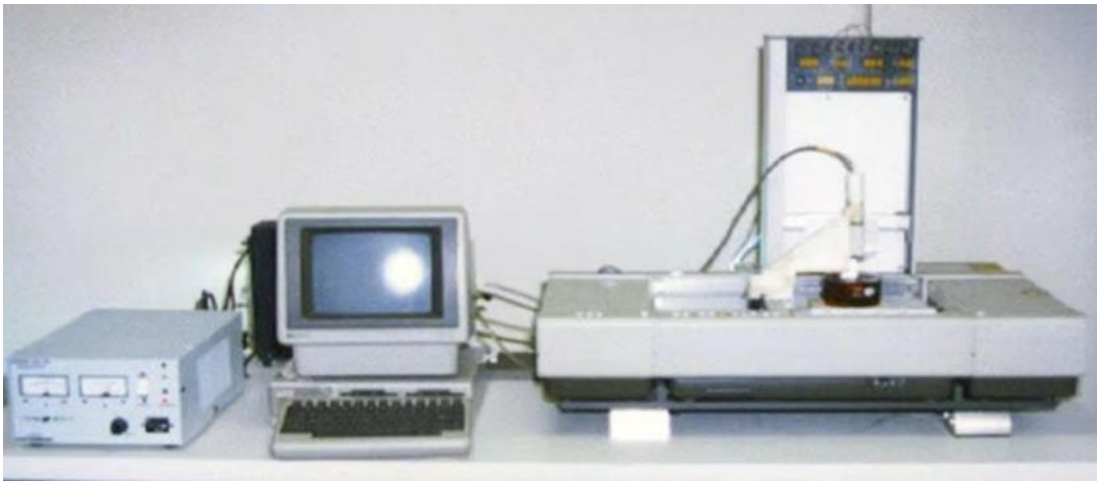
3.1.1 Gyors prototípus gyártás története (RPT- Rapid Prototyping Technology)[4]

A gyors prototípus gyártás egy tetszőlegesen választott háromdimenziós fizikai test numerikus leírásából történő előállítását jelenti. Az előállítás teljesen automatizált, az elkészült modell nagy rugalmasságú, sokféle igénybevételnek ellenálló lesz. A modelleket általában tervező programokkal készítik el, például CAD, Fusion 360.

A 3D nyomtatás ötlete egészen 1945-ig nyúlik vissza, amikor a sci-fi író, Murray Leinster először írta le meglepő pontossággal a technológiát „Things Pass By” című novellájában. Egy olyan gépet képzelt el, mely a rajzait egy mozgó kar segítségével újra alkothatja, olvasztott műanyagból. Időbe telt, amíg ezek az ötletek túlléptek a fikción, de 1971-ben áttörést értünk el, amikor Johannes F. Gottwald szabadalmat nyújtott be egy folyékony fémextruderre. Úgy képzelte el, hogy ez az extruder olyan, mint egy irodai nyomtató, csak fémmel nyomtat 3D-s tárgyakat, nem pedig tintával. Sajnos nem sikerült elkészíteni a gépet mielőtt lejárt volna a szabadalma. Az 1980-as években a 3D nyomtatási ötletek valósággá váltak. Az évtized első fele tele volt ígéretes szabadalmakkal olyan befektetőktől, akik vagy kifogytak a pénzükből, vagy olyan csoportok finanszírozták őket, amelyek nem láttak semmilyen kereskedelmi alkalmazást, amely megtéríthette volna befektetésüket. Az évtizedben az első kiemelkedő szabadalmat Dr. Hideo Kodama japán feltaláló nyújtotta be 1981-ben. A találmányát „gyors

[4] Letöltve: 2022.10.15. https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/

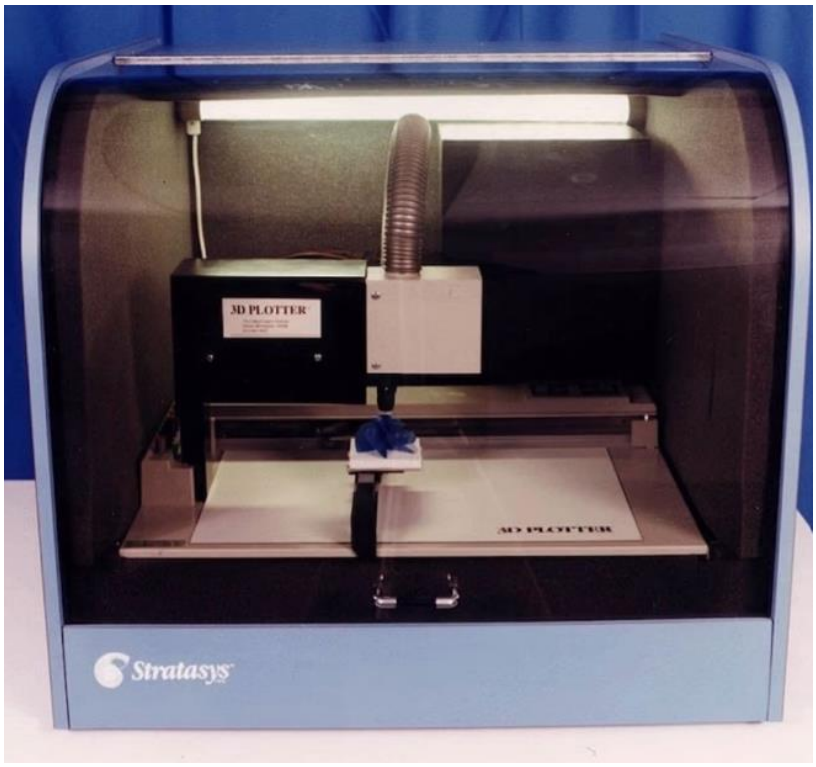
prototípus-készítő eszközként” nevezte meg. Az ő szabadalma volt az első amely lézersugaras kikeményítési eljárást tárgyal. Sajnálatos módon szabadalma soha nem ment át, mivel egy évvel a bejelentés után lemondott a szabadalom finanszírozásával. A következő beérkező szabadalom három francia feltalálótól érkezett 1984-ben. Jean-Claude André, Olivier de Witte és Alain le Méhauté a Francia Nemzeti Tudományos Kutatási Központ, valamint az Alcatel munkatársai voltak. Sajnos az Alcatelnél és a CNRS-nél dolgozó munkaadóikat nem érdekelte a technológia, és a kutatók nem tudták finanszírozni a projektjüket a szabadalom iránti kérelmet követően, ezért kénytelen volt feladni az ötletet. 1984-ben megszületett az első nagy áttörés, amely felülmúlta a várakozásokat. A francia feltalálókkal párhuzamosan az Egyesült Államok Szabadalmi Hivatala megadta Bill Mastersnek az első olyan szabadalmat, amely a 3D-nyomtatás széles skálája alá tartozik. Ekkor vált ismertté Charles „Chuck” Hull, aki a 3D nyomtatás atyjának tekinthető. 1984-ben szabadalmat nyújtott be egy sztereolitográfiai rendszerre három héttel azután, hogy a franciák által benyújtásra került sajátjuk. UV-lámpa segítségével rétegről rétegre kikeményítette a fényérzékeny gyantát, így állította elő az egyedi alkatrészeket. 1986-ban hagyták jóvá a szabadalmát, és megalapította saját cégét amely a 3D Systems nevet viselte. Mindössze két évvel a cég indítása után, 1988-ban kiadták az úttörő, első kereskedelmi forgalomban kapható 3D nyomtatót – az SLA-1-et. Hull fejlesztette ki az STL fájlformátumot a modellek könnyű elkészítése érdekében, valamint azt a digitális szeletelési eljárást, amelyet a mai napig használunk 3D nyomtatás során.



1. ábra: *SLA-1, az első 3D nyomtató*[5]

[5] 1.ábra letöltve: https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/ 2022.10.20.

Az SLA-1 volt az első olyan 3D nyomtató gép amely kereskedelmi forgalomba került, ugyanakkor az FDM (Fused Deposition Modeling) és az SLS (Selective laser sintering) eljárások nem sokkal később szintén piacra törtek. A szelektív lézeres szinterezést először egy texasi egyetemi hallgató, Carl Deckard találta fel. A kezdetleges nyomtatóval csak alapvető műanyagdarabokat tudott készíteni, az ötlet viszont már akkor is az volt, ami alapján később az SLS nyomtatás készült. 1988-ban érkezett még egy szabadalmi ötlet Scott Crumptól, aki a Stratasys társalapítója volt. Egy olvasztott lerakódású modellezőgépet akart készíteni, ugyanakkor a Startasys a piac élére tört az akkor modernnek számító FDM nyomtatóival.



2. ábra: *FDM 3D nyomtató*[6]

1993-ban az MTA professzora először alkalmazta a 3D nyomtatást mint fogalmat lexikonokban, ekkortól kezdve az iparág már ezt a nevet viselte. A Zcorp nevű vállalat 2000-ben bevezette az első többszínnel nyomtatni képes 3D nyomtatót, amely nem vált szabvánnyá ugyanakkor sokak számára közkedvelt volt. 2004-ben elindult a RepRap mozgalom, melynek célja az volt, hogy 3D nyomtatók segítségével állítsanak elő még több 3D nyomtatót. 2006-ban került bemutatásra az Objet által az első kereskedelmi forgalomban árusított asztali 3D

[6] 2.ábra Letöltve: https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/exclusive-stratasys-scott-crump-3d-printing-legacy/ 2022.10.20.

nyomtató, amely lehetővé tette az otthoni modellezést, mint hobbit. A 2000-es években lejártak azok a szabadalmak amelyek az első 3D nyomtató gépek gyártását engedélyezte, ezt követően hatalmas piaci versengés indult be a különböző technológiák és gépek előállítására vonatkozólag. 2014-ben lezárult az utolsó szabadalom is, azt követően szabad felhasználásúvá váltak az eszközök, a 3D nyomtatás három fő formája szabaddá vált kísérletezésre.

3.1.2 SLA[7]

Az SLA teljes nevén sztereolitográfia a kádas polimerizációs nyomtatás egyik ismert formája. A kádas polimerizációhoz folyékony fotopolimer gyantából készült kádat használnak, amelyből rétegről rétegre építik fel a modellt. Szükség esetén ultraibolya fényt használnak a gyanta kikeményítésére, minden új réteg kikeményítése után egy platform lefelé mozgatja a készülő modellt. Rengeteg tulajdonsága ismert a gyantának, az egyik legfontosabb az, hogy ultraibolya fényre érzékenyek. Ennek a tulajdonságnak köszönhetően a 3D nyomtatók speciális lézert alkalmaznak melyen a modellek formázása közben külön keményíthetők ki az adott területek. Ez a technológia nem csak a gyanta használatban különbözik az ismert FDM módszertől, hanem a felbontásban is. Míg az FDM eljárás során a rétegek több száz mikron vastagok, addig a SLA technológiával készített modellek átlagosan 50 mikron vastagságú rétegekből épülnek fel.

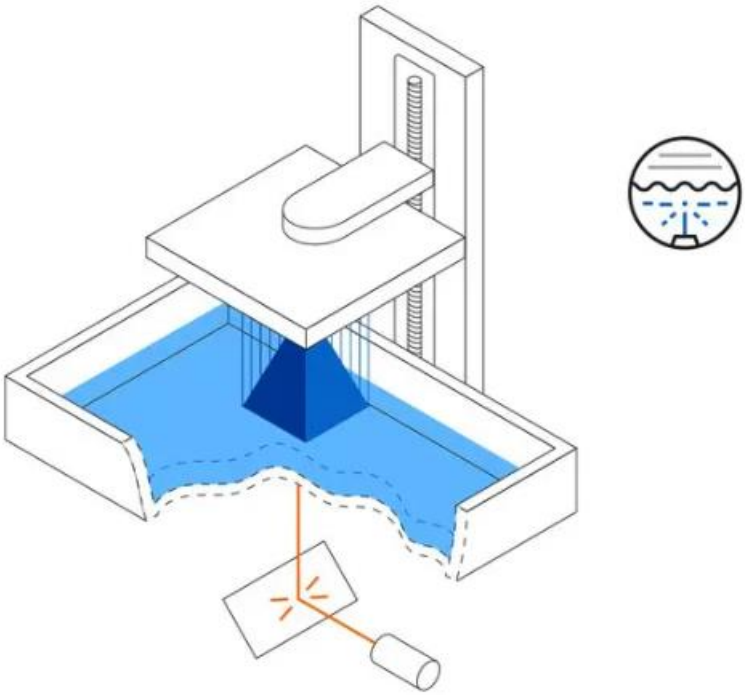
Az SLA nyomtatók általában egy gyantatartályból, egy építőlemezből, egy lézerből és két galvanométerből épülnek fel. A galvanométerek olyan tükörrel ellátott szervók, melyek a tükrök segítségével a lézert pontosan és precízen irányítják. A szilárdtestek lézer hullámhossza 405 nm tartományban van. Ez a 405 nm-es fény, ha rávilágít a gyantára, megkeményíti azt. Kétféleképpen építhetik fel a modell rétegeit, alulról felfele vagy fentről lefele. Az alulról felfelé irányuló építési technikában az építőlemezt leengedik a gyantatartályba, addig ott tartják amíg egy vékony gyantaréteg marad csak közötte és egy átlátszó film vagy membrán a tartály alján. A lézert a fejek pontosan rányomják a film másik oldalára, megadott minta alapján pedig kikeményítik a gyantát. Ezt követően az építőlemezt felemelik, ezzel leválasztják a már megkeményedett réteget a fóliáról, majd megadott értékkel lejjebb engedik így a következő réteg lejjebb fog készülni. Ezt a folyamatot akár több százszor ismételve elkészül a modellünk.

Az iparban használt nyomtatók esetén gyakoribb a fentről lefele történő modellezés, ez esetben az építőlemezt a tartály aljából emelik fel a tetejére, a lézert ráhúzzák a folyékony gyantarétegre, majd kikeményítik a felső néhány mikrométert az építőlemezen. Ezt követően az építőlemezt

[7] Letöltve: 2022.10.19.: https://all3dp.com/1/sla-3d-printing-guide/

lejjebb engedik a kádban, egészen addig ismételve ezeket a lépéseket amíg el nem készült a tervezett alkatrész.

Léteznek olyan technológiák, melyek hasonlóak az SLA technológiához, de találhatóan benne eltérések. A DLP eljárás abban tér el az SLA-tól, hogy nem lézert használ egy nagy felbontású kivetítőt és digitális mikrotükröt. Ugyan az a hatása, mint a lézernek, azzal a különbséggel, hogy egyszerre több réteg kikeményíthető, ezzel lerövidítve a nyomtatás idejét.



3. ábra: *SLA nyomtató ábrája*[8]

3.1.3 FDM[9]

A fused deposition modeling, rövidített nevén FDM egy anyagextrudálási módszer az additív gyártástechnológiák közül, ahol az anyagokat egy fúvókán keresztül extrudálják, és összeillesztik, hogy így hozzanak létre 3D objektumokat. A standard FDM eljárás eltér a többi anyagextrudálási eljárástól, hőre lágyuló műanyagokat alkalmaznak alapanyagként filamentek vagy pelletek formájában. A filamentet egy felfűtött fúvókán nyomja át a nyomtató, így az megolvad majd ezeket kétdimenziós rétegben lefekteti az építési felületre. Míg melegek a rétegek összeolvadnak, így létrehozva háromdimenziós réteget. Az FDM a 3D nyomtatás

[8] 3.ábra: Letöltve: 2022.11.11. https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/
[9] Letöltve: 2022.10.19.: https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/

legegyszerűbb technológiai, felhasználóbarát és széles körben elterjedt. Otthoni felhasználásra sokkal egyszerűbb ez a módszer, mint a gyantás 3D nyomtatási módszerek, és olcsóbbak mint a por alapú eljárások.

Az FDM eljárás viszonylag egyszerű. Fő funkcióit két rendszer látja el, az egyik rendszer felel az extrudálásért[10], valamint az anyag lerakásáért, a másik rendszer pedig a nyomtatófej mozgásáért felel. Az eljáráshoz használt hőre lágyuló műanyagok filamentorsókban kaphatóak. A nyomató „hideg vége" felel azért, hogy az anyag a nyomtatóba be legyen táplálva az orsóról. Itt kerül szabályozásra a sebesség is amivel a nyomtató lerakja az anyagot. A nyomtató „forró vége" pedig azért felel, hogy az anyagot megfelelő szintre melegítse fel, hogy azt a fúvókákon keresztül lehessen extrudálni. Ez a rendszer tartalmaz fűtőpatronokat, hűtőbordákat és fúvókákat. A két fő rendszernek, azaz a hideg és forró végnek szinergikusan[11] kell működnie ahhoz, hogy a megfelelő mennyiségű anyagot megfelelő hőmérsékleten és fizikai állapotban lehessen rétegezni.

Az extrudálási folyamat szempontjából kétféleképpen lehet beállítani a nyomtatót. A hideg és a forró vég elhelyezhető egymás mellett, így közvetlen lesz az extrudálás, a másik megoldás pedig amikor a hideg vég a nyomtató keretéhez kerül rögzítése. Ebben az esetben szükség van egy összekötő csőre, mely segítségével az izzószálakat átvezetik a forró végbe. A forró végek több kialakításban kaphatóak, az egyik az All-Metal amely magasabb hőmérséklet elérését teszik lehetővé a fúvókákban. A másik kialakítás a PTFE[12] bevonatú forró vég amelyben rövidebb csövet használnak, ezzel csökkentve az izzószál súrlódását, ugyanakkor ez a típus korlátozza a hőmérsékletet maximum 240°C-ra.

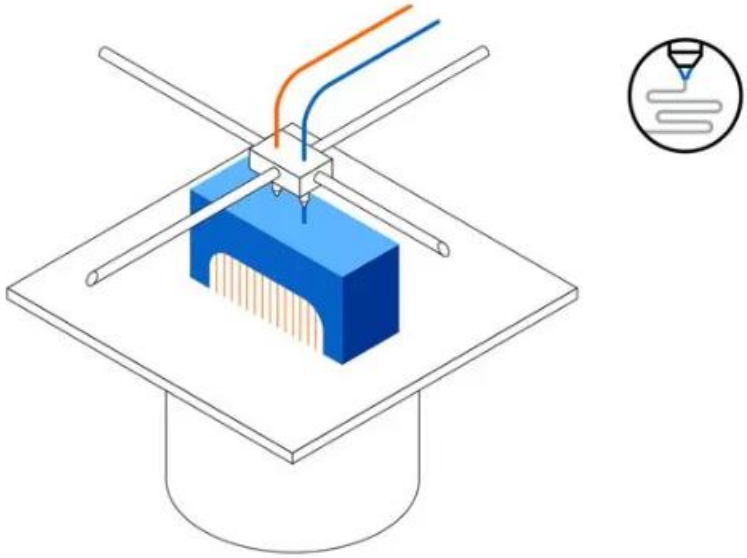
A legjelentősebb eltérés az FDM eljárás és a többi 3D nyomtatási eljárás között a tervezésben valamint a mozgásrendszerben található. Az FDM 3D nyomtatók mozgásrendszere felelős azért, hogy a melegvég-szerelvényt a háromdimenziós térben mozgassa az olvadt anyag megfelelő lerakásához. Többféleképpen is megvalósítható a forró vég mozgatása, ugyanakkor ehhez ismernünk kell a különböző beállításokhoz szükséges koordináta rendszereket. 3D nyomtatók esetén a leggyakrabban a derékszögű koordináta rendszereket alkalmazzák, ahol az X, Y és Z lineáris tengelyek adják meg a pontos pozíciót. Azonban van az FDM nyomtatóknak

[10] extrudálás: Képlékeny anyagok sajtolása felmelegített formanyiláson keresztül. Az anyag felveszi a formanyílás alakját és így hűl ki.

[11] szinergia: Együttműködő

[12] PTFE: Politetrafluoretilén, ismertebb nevén teflon.

egy kis csoportja melyek poláris koordináta rendszert alkalmaznak. A poláris koordináta rendszer lineáris és szögértéket is alkalmaznak, ezzel előállítva a fizikai pozíciót. A derékszögű koordináta rendszert alkalmazó gépek további csoportokra oszthatóak. A Delta 3D nyomtatók függőleges síneket és három, egymástól függetlenül vezérelt kart alkalmaznak, melyek a forró véghez vannak rögzítve, amelyek együtt mozognak, így megfelelően pozicionálják a forró véget. A SCARA nyomtatók a derékszögű gépek másik alkategóriája, amelyek vízszintesen mozgatott karokat használnak a síkmozgások elvégzéséhez. Nemrégiben egy új típusú FDM nyomtató jelent meg, a szalagos 3D nyomtatók. Az építő platform folyamatosan mozgásban van, működési elve olyan, mint a futószalagé, ez lehetővé teszi hosszú alkatrészek előállítását.



4. ábra: *FDM nyomtató ábrája*[13]

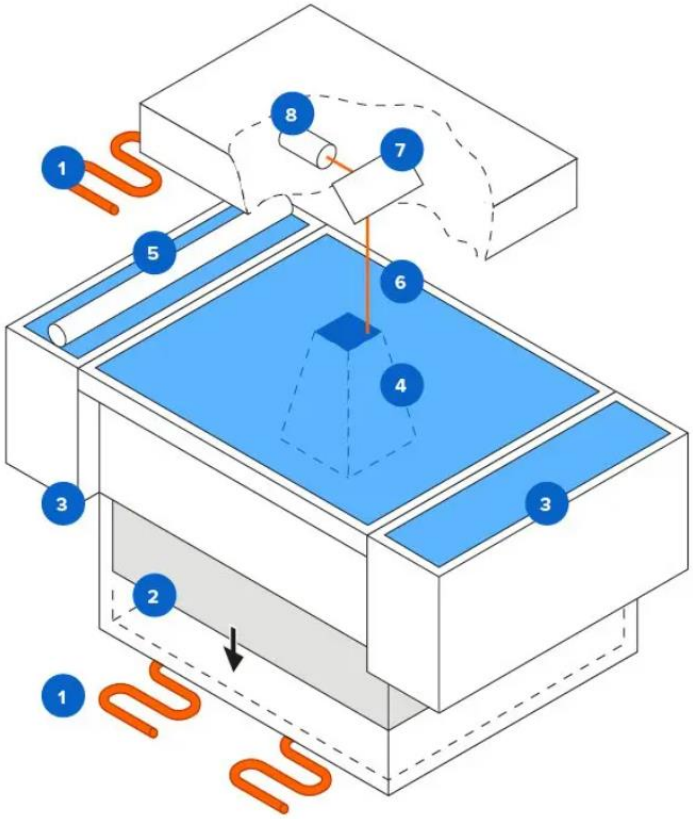
3.1.4 SLS

Az SLS a szelektív lézeres szinterezés rövidítése, a 3D nyomtatás leggyakrabban használt technológiája ipari környezetben. Az SLS gépekben a lézert egy por olvasztására, olvasztására vagy szinterelésére használják, hogy végül egy tárgyat alkossanak.

Az SLS nyomtatókban található lézerek teljesítményei eltérőek, ez határozza meg milyen anyagokat képes kinyomtatni a gép. A műanyag nyomtatás mellett gyakran használják fémek és kerámia nyomtatására is. Ugyanakkor a fém és kerámia modellekben nem alakul ki megfelelő szilárdságú kötés, ezért kemencében kell hevíteni, hogy utána elérjük a kívánt

[13] 4.ábra Letöltve: 2022.11.11. https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/

szilárdságot. A nyomtatókban alkalmazott anyagokat por állagúként helyezik a nyomtatóba, ezeket egy görgős eszköz segítségével rétegezik egymásra. Ezzel a módszerrel nincs szükség támasztékokra a nyomtatott modellhez, így sokkal bonyolultabb felépítésű alkatrészeket és modelleket készíthetünk. A legtöbb ma kereskedelmi forgalomban elérhető SLS nyomtató rendkívül fejlett technológiailag a 3D nyomtatók között, ezért drága.



5. ábra: *SLS nyomtató ábrája*[14]

1. Fűtőkészülékek
2. Építő kamra
3. Porszállító rendszer
4. Nyomtatott elem
5. Újrafestő
6. Lézersugár
7. X-Y letapogató rendszer
8. Lézer

[14] 5.ábra Letöltve: 2022.11.05. https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/

3.2 CAD TERVEZŐ PROGRAMOK[15]

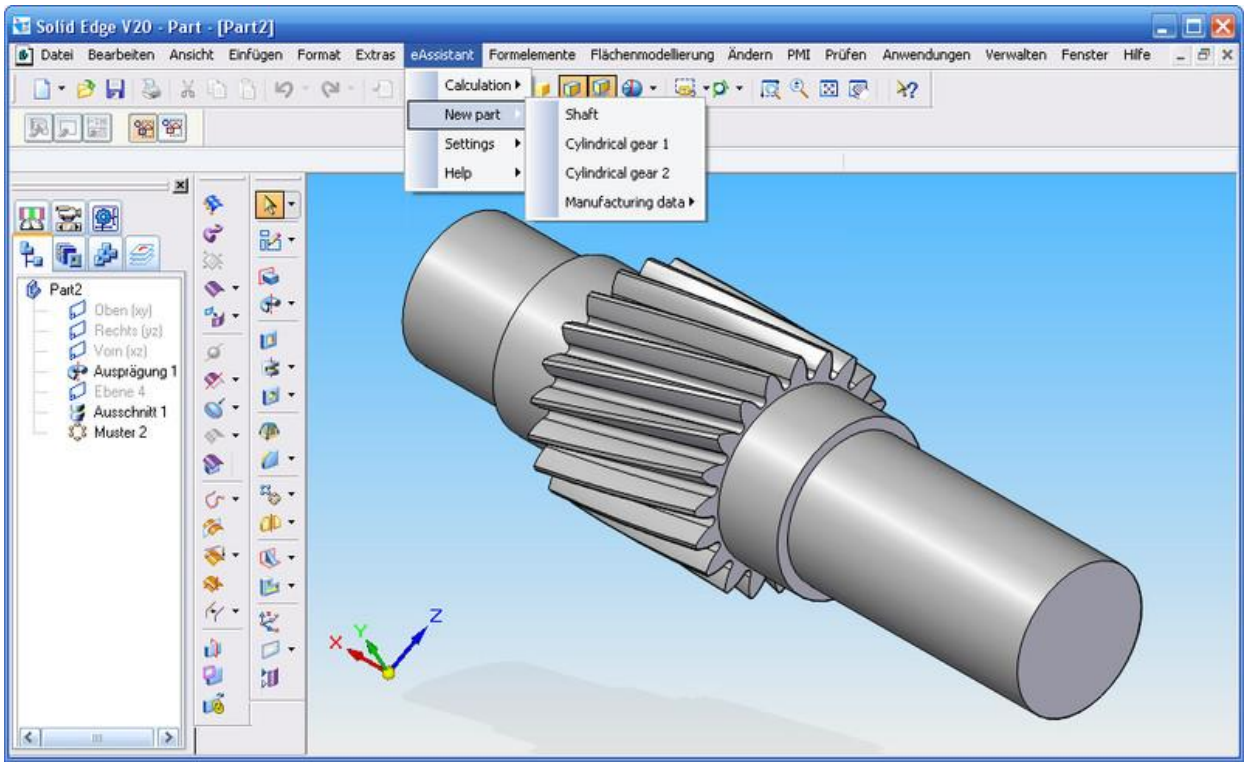
A 3D nyomtatás fontos része a tervezés. Az 1960-as évek óta léteznek számítógépes tervező programok, melyek a személyi számítógépek elterjedésével egyre ütemesebben fejlődtek. A CAD rövidítés egy angol mozaikszó, melynek jelentése Computer Aided Design, azaz számítógéppel segített tervezés. Számos előnnyel rendelkeznek a CAD tervező programok a hagyományos kézi rajzolásos tervezéssel szemben. Jelentősen gyorsabban elkészíthetőek a tervek, mint kézi rajzolás esetén. A tervező programokban lehetőség van különböző szimulációk elvégzésére, valamint gyors módosításokat hajthatunk végre a modellen. A jelenleg használatban lévő tervező programok alkalmazhatóak 2D, azaz síkbeli ábrázolásra, valamint 3D, azaz térbeli ábrázolásra is.

3.2.1 Solid Egde

A Solid Edge az egyik legelterjedtebb CAD tervező program a gépipar számára. A kezdetektől fogva lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy egyedi paraméterekkel rendelkező alkatrészeket és modelleket tervezzenek. A program sajátossága, hogy a modellel kapcsolatosan minden paraméter módosítható, ugyanakkor hátrányként ismert, hogy a modell módosításához minden paramétert ismerni kell. A program szinkron modellezési funkciója 2008-ban került bemutatásra, azóta is folyamatos fejlesztések alatt áll.

A Solid Edge Illustrations segítségével kiváló minőségű 3D modellekről készült PDF dokumentumokat és felhőkompatibilis illusztrációkat lehet létre hozni Solid Edge fájljaiból és más 3D CAD formátumokból. A Solid Edge segítségével 3D-s nézeteket készíthetünk, a közzététel előtt hozzá adhatunk funkciókat, jelöléseket. A Solid Edge Illustrations teljes kép-, animáció- és sablonalapú 3D PDF-készítő csomagot biztosít, amely megkönnyíti a kiváló minőségű kommunikáció létrehozását 3D modellekről.

[15] Kiss Sándor: Számítógépes tervezői környezet- CAD szoftverek használatának alapjai. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. Letöltve: 2022.10.26.



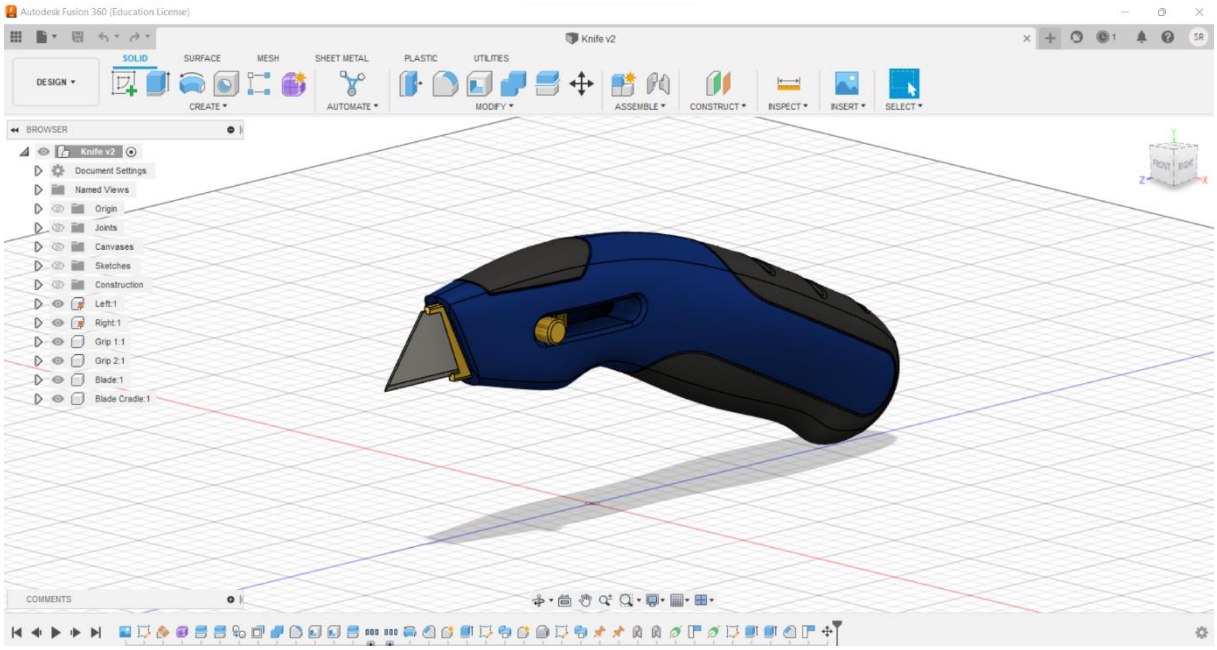
6. ábra: *Solid Edge tervező program kezelői felülete*[16]

3.2.2 Autodesk: Fusion 360

A Fusion 360 egyetlen, jól integrált szoftverben egyesíti a CAD és CAM[17] alkalmazásokat és előnyeiket. Tartalmazza az összes olyan eszközt, amelynek segítségével a felhasználó eljut a tervezéstől a gyártásig anélkül, hogy el kellene hagynia a tervezői felületet. Lehetősége van a tervezőnek prototípust készíteni az alkatrészekről akár összeszerelt állapotban is, és ezt meganimálhatja, valamint különböző szimulációkat futtathat le amely bemutatja adott terhelésekkel szemben mennyire lesz ellenálló a modell. A Fusion 360 program 50 különböző fájltípust tud készíteni, így a fájlok importálhatóak, valamint a programban található könyvtárból importálhatunk más tervezők és a gyártók által készített minta modelleket. A Fusion 360 közvetlen, felületi, parametrikus, hálós és szabad formájú modellezést, valamint lemezalkatrész-készítést, esztergálást és maróesztergálást, valamint interaktív összeszerelést kínál. A közvetlen modellezés előzményalapú és nem előzményalapú módban egyaránt támogatott. A program lehetővé teszi, hogy a modellt úgy készítsük el a tervezői felületen hogy

[16] 6.ábra Letöltve: 2022.11.02. https://www.eassistant.eu/en/cad-plugins/solid-edge.html
[17] CAM: Computer Aided Manufacturing, azaz számítógéppel elősegített gyártás

azt után CNC gépben létre is hozhassuk. A Fusion 360 vázlatos kialakításának, PCB[18]-elrendezésének és útválasztási képességeinek használatával elektronikus intelligenciát adhat hozzá. A Fusion 360 lehetővé teszi, hogy az ECAD és MCAD tervezők együttműködjenek ugyanazon a tervezési felületen. Nincs szükség külön szoftvert használatára STEP, XDF vagy IDF fájlok konvertálásához, cseréjéhez vagy exportálásához. A Fusion 360 a következő szimulációs típusokra használható: alakváltozás- és feszültségelemzés, beleértve a lineáris és nemlineáris anyagjellemzőket is. Az eredmények feltárják a gyakori meghibásodási feltételeket, valamint a stresszszinteket. A Fusion 360 egy felhő alapú modellező eszköz, ami azt jelenti, hogy projekt biztonságosan megosztható bárkivel. Ez megkönnyíti az érdekelt felek számára, hogy szükség szerint felülvizsgálják a tervet, és valós időben kommunikáljanak, valamint módosításokat hajtsanak végre rajta.



7. ábra: *Fusion 360 kezelői felülete (Modellt készítette: Rákosi Sára hallgató főtörzsőrmester)*[19]

[18] PCB: Printed Circuit Board. A nyomtatott áramköri kártya (PCB) kialakítása fizikai formában kelti életre az elektronikus áramköröket. Az elrendezési szoftver használatával a NYÁK tervezési folyamata egyesíti az alkatrészek elhelyezését és az útválasztást, hogy meghatározza az elektromos csatlakozást a gyártott áramköri lapon.

[19] 7.ábra. Készítette: Rákosi Sára hallgató főtörzsőrmester. 2022.10.30.

4. 3D NYOMTATÁS ELEMZÉSE KÖRNYEZETVÉDELMI SZEMPONTBÓL

A mai modern világban a hatalmas technológiai fejlődés mellett kiemelkedően fontos a környezetvédelmi aspektusokat is figyelembe venni. A legtöbb gyártástechnológiai folyamat valamilyen melléktermékkel jár amely nem újrahasznosítható, bizonyosak pedig emellett károsak akár a környezetre, akár az emberi egészségre is. Ezzel szemben a 3D nyomtatási technológiák nagy része kevés, vagy semennyi káros anyag kibocsátással sem jár.

4.1 ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA ELŐNYEI

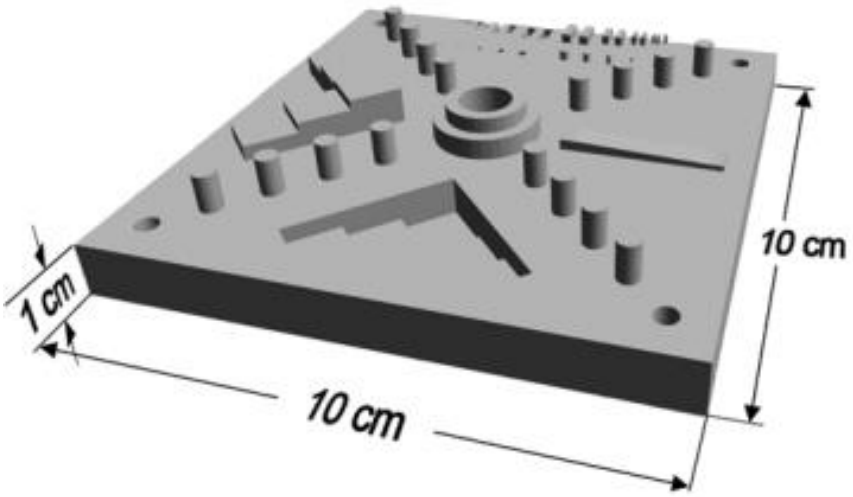
A 3D nyomtatási technológiák legnagyobb környezetvédelmi „előnye" működésükben rejlik. A gyártástechnológiai módszerek legtöbb esetben szilárd anyaggal dolgoznak, például fémmel vagy műanyaggal, ezt különböző munkafolyamatoknak vetik alá, és leválasztják a felesleges anyagot. Az így termelődött hulladékot hulladéklerakókban helyezik el, ezzel növelve a veszélyét a környezetszennyezésnek akár a talajon akár a természetes vizeken keresztül.

4.1.1 Káros anyag kibocsátás

Az asztali háromdimenziós nyomtatók egyre népszerűbbek. A kereskedelemben kapható, fogyasztói piacra tervezett asztali 3D nyomtatók többsége a FDM technológiával működik, azaz olvadt polimer leválasztással. Az otthon használatos 3D nyomtatókban sokféle izzószálat alkalmaznak. Ezek közé tartozik az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), a politejsav (PLA), a polivinil-alkohol (PVA), a polikarbonát (PC), a nagy teljesítményű és sűrűségű polietilén (HDPE), nagy ütésálló polisztirol (HIPS), nejlon és sok más polimer, fém, kerámia és egyéb anyagok. A jelenleg legelterjedtebb két anyag az ABS és a PLA, ugyanakkor az előbb felsorolt anyagok közül több is egyre nagyobb népszerűségnek örvend.

A hőre lágyuló anyagok termikus feldolgozása során részecskék és gázok kibocsátása elkerülhetetlen. A 3D nyomtatók fellendülése után szükség volt mérési vizsgálatokra. A vizsgálat célja az volt, hogy adatokkal alátámasztva igazolható legyen a pontos károsanyag kibocsátás mennyisége, amely a 3D nyomtatási folyamatokhoz köthető. 3D nyomtatók üzem közben 1 és 100 nanométer közötti részecskéket bocsátanak ki, melyeket ultrafinom részecskéknek nevezünk.

Egy publikált vizsgálati kutatásról van ismeretünk, amikor is azt vizsgálták, hogy az otthon alkalmazható asztali 3D nyomtatók az alkalmazott anyag függvényében mennyi káros anyagot bocsátanak ki üzem közben. A káros anyag kibocsátás mennyisége függ az anyag típusától, valamint az alkalmazott filament vastagságától. A kísérletben egy FDM technológiájú 3D nyomtatót üzemeltettek egy kis kamrában, egyszer ABS filamentet alkalmazva, utána pedig PLA filamentet. A méréseket 3,6 m^3-es rozsdamentes acél kamrában végezték, amely egy rozsdamentes acél keverőventilátorral volt ellátva. Mindkét esetben egy kamrán kívül található számítógéphez volt csatlakoztatva a nyomtató. A nyomtatások megkezdése előtt mindkét alkalommal szűrt levegőt juttattak a kamrába állandó sebességgel legalább nyolc órán keresztül, hogy elérjék a kísérlet eredményességéhez szükséges levegőtisztaságot és nyomást. Nyomtatás előtt a nyomtatóágyakat izo-propil alkohollal kezelték, vagy pedig a gyártó által előírt kis mennyiségű ragasztót vittek fel a nyomtatóágyra. Ezután a kamra lezárásra került és megkezdték a nyomtatást. Egy 10x10x1 cm-es kisméretű tárgy készült mindkét esetben, melyet a National Institute of Standards and Technology (NIST) tervei alapján gyártottak.



8. ábra: *A kísérlet során elkészített modell digitális mintája*[20]

A kísérleti eredmények azt mutatták, hogy a hőre lágyuló műanyagok hőbomlásából származó emissziónak való folytonos közvetlen kitettség mérgező hatással van mind az állatokra, mind pedig az emberekre.

[20] 8.ábra: Parham Azimi-Dan Zha-Claire Pouzet-Neil E. Crain-Brent Stephens: Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments. Enviromental Science&Technology. 2016.01.07. 2.oldal. Letöltve: 2022.11.11.

A kísérlet során megmérték a illékony szerves vegyületek (VOC[21]) kibocsátásának mértékét, számos aldehid, ftalát, benzol, toluol, etilbenzol és m-, p-xilol esetében. A mérési eredmények azt mutatták, hogy az ABS filamenteket használó nyomtatók részecskekibocsátása sokkal magasabb, mint a PLA filamentet alkalmazó nyomtatóké. A kísérleti eredmények ellenére még nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű adat a 3D nyomtatók károsanyag kibocsátásáról, mivel nem készült mérési vizsgálat az összes típusú 3D nyomtatóról, sem pedig az összes felhasznált anyaggal kapcsolatosan.

4.1.2 Digitalizáció kiaknázása a környezetszennyezés csökkentéséért

1971 óta évente megrendezésre kerül Svájc Davos városában a Genfben megalapított Világgazdasági Fórum csúcstalálkozója, melyen a világ legnagyobb politikai vezetői, elismert tudósok, közgazdászok és üzletemberek is részt vesznek. A 2019-es csúcstalálkozó egyik legfontosabb érintett témája az ipar környezetre gyakorolt hatása volt.

Napjainkban szinte nincsen olyan tudományterület, amelyet ne hálózna be a digitális világ. Ennek számos előnye és ugyanakkor számos hátránya is ismert. A digitalizációnak köszönhetően számos munkafolyamat sokkal gyorsabban elvégezhető, valamint rengeteg olyan eszközt köszönhetünk ennek mely egyszerűbbé tette mindennapjainkat. A digitalizációhoz köthető számos olyan iparág, melyek meggondolatlan fejlesztései és terjeszkedése nagy mértékben szennyezik a környezetet. Az infokommunikációs technológia, azaz a mobiltelefonok világa az idő előrehaladtával egyre csak fejlődik megállás nélkül. A mobiltelefonok alkatrészei nehezen hasznosíthatóak újra, valamint némely alkatrész káros anyagokat is tartalmaz. A felhasználók között számos olyan egyén van, aki idejekorán lecseréli telekommunikációs eszközeit, ezzel hatalmas plusz terhet róva környezetünkre. Ugyanakkor a környezetszennyezés mértéke csökkenthető, és ennek kulcsa a fogyasztók kezében van.

Annak érdekében, hogy a fenntartható termelés és a további technológiai fejlesztések kisebb környezetszennyezéssel járjanak a fogyasztói társadalomban szükség van szemléletváltásra. Ahhoz, hogy a 3D nyomtatás környezetbarát módon elérhető legyen közösségi felhasználásra szükség van bizonyos lépésekre. Szükség van egy egységes, mindenki számára elérhető és felhasználható adatbázisra, melyben az összes eddig tervezett digitális alkatrész és minta

[21] VOC: Volatile Organis Compounds. Olyan szerves vegyületek csoportja, melyek nagy nyomással és alacsony vízoldhatósággal rendelkeznek, azaz illékonyak és nem oldódnak fel vízben. Gáz halmazállapotban fordulnak elő, így szennyezve a levegőt.

megtalálható, ugyanis ez csökkenti a tervezéssel töltött időt, ami kevesebb károsanyag kibocsátást eredményez.

4.1.3 Additív gyártástechnológia népszerűsítése

A hagyományos gyártástechnológiák napjainkban is számos területen előfordulnak, főleg a gépiparban és az gépjárműgyártásban, ugyanakkor számos területen egyre nagyobb népszerűségnek örvend a háromdimenziós nyomtatás és kezdi felváltani a hagyományos technológiákat.

A hagyományos gyártástechnológiák több munkafolyamatot öleltek fel, összefoglaló néven „elvevéses gyártásnak”, azaz subtractive manufacturingnek nevezik, ugyanis a gyártási folyamat összes fázisa során keletkezik hulladék anyag melyet nem használunk fel és újra felhasználása sem lehetséges. Ezzel szemben a 3D nyomtatás során minimális a hulladék anyagok keletkezése, valamint ezek nagy része újra felhasználható ezzel is költséghatékonyabbá és környezetkímélőbbé téve az eljárást. Az egyre fejlődő technológia lehetővé teszi, hogy egyfajta nyomtatóval több anyagot is felhasználhassunk, ezzel a termékek előállítása is sokrétűbbé válik. Világszerte számos olyan nagyvállalat van, melyek a hagyományos gyártástechnológiákról kezdenek áttérni a 3D nyomtatásra. 3D nyomtatással mindössze pár óra alatt egy kész modell állítható elő amely készen áll a tesztelésre, ennek köszönhetően sokkal gyorsabban, sokkal nagyobb mennyiségű alkatrészt képesek eladásra gyártani rövid időn belül.

Több nagyvállalat tulajdonosa terelte át cégét a 3D nyomtatás hangsúlyos alkalmazására, és igyekeznek ezt a számot növelni a közeljövőben.

5. 3D NYOMTATÁS ELEMZÉSE EGÉSZSÉGÜGYI SZEMPONTBÓL

3D nyomtatás egészségügyi kockázataival kapcsolatos kutatások és vizsgálatok jelenleg is folyamatosan zajlanak és fejlesztés alatt állnak a 3D nyomtatóeszközök közelmúltbeli gyors elterjedése miatt. 2017-ben az Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség által kiadásra került egy tanulmány a 3D nyomtatás folyamatairól és anyagairól, a technológia lehetséges következményeiről a munkahelyi biztonságra és egészségvédelemre, valamint a lehetséges veszélyek ellenőrzésének módjairól.

6.1 FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEK

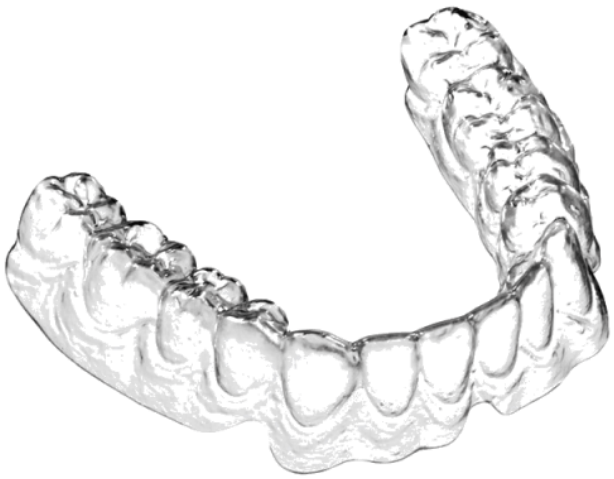
Az additív gyártástechnológiák elterjedése óta folyamatosan bővülnek azok a szakterületek melyek használják a 3D nyomtató eszközöket. A gépjárműipar, a repülőgépipar, a fogászat és fogtechnika rendkívül széles skálán alkalmazza a gyártástechnológiában alkalmazott eszközöket. A technológiák folyamatos fejlődése egyre több lehetőséget biztosít más iparágak és szakterületek számára is, hogy fejlesszék saját szakterületüket, valamint kihasználják a 3D technológiák által biztosított előnyöket.

6.1.1 Fogászati felhasználás

Napjainkban a fogpótlás túlnyomórészt még mindig a hagyományos módszerekkel történik. A fogsorról lenyomatot vesznek, amelynek segítségével elkészítik a fogsor modelljét. A fogtechnikus az öntvények alapján elkészíti a beültetendő betétet, melynek több fajtája ismert. Ez mérettől függően lehet inlay, onlay, overlay, részleges korona vagy teljes korona. Ez a folyamat pontos méretvételt és odafigyelést igényel.

3D-nyomtatást alkalmazó fogászati rendelőkben teljesen másképp történik a fogkoronapótlás. Ehhez is szükség van mintavételre a páciens fogsoráról, de eltérően a hagyományos módszerektől itt nem fizikai mintáról van szó, hanem egy digitális lenyomatról. Ezt egy 3D szkennerrel készítik el. A szkennerhez csatlakoztatott számítógépen azonnal megjelenik a fogsor teljes 3D-s modellje, CAD tervezőprogram segítségével elkészíthető a páciens fogsorához tökéletesen illeszkedő fogpótlás. A tervezést követően 3D nyomtató segítségével elkészítik a személyre szabott modellt.

A fogászati nyomtatók pontosabbak más műszaki területeken üzemelő nyomtatókhoz képest, akár 16 mikrométeres rétegeket is képesek nyomtatni, ami rendkívül pontos, bonyolult és egyedi formák gyártását is lehetővé teszi. A nyomtatási folyamat során egy kiindulási modell készül el, további folyamatok során a pontos méretek kialakítása is megtörténik. Az elkészült koronát ezután a hagyományos módszerekhez hasonlóan ültetik be. 3D nyomtatók segítségével nem csak fogpótlásokat készíthetünk, hanem fogszabályozókat is. Ezeket átlátszó kompozit[22] anyagokból készítik. Jelen állás szerint 3D nyomtatók segítségével az egyszerűbb fogászati pótlások, illetve fogszabályozók gyorsan és egyszerűen elkészíthetőek lesznek fogászati rendelőkben, csak a bonyolultabb modellek elkészítéséhez lesz szükség fogtechnikus alkalmazására.



9. ábra: *3D nyomtatással készített átlátszó fogszabályozó*[23]

A fogtechnikában a 3D nyomtatási technológiák fém nyomtatási ágát alkalmazzák. A legismertebb eljárás a Laser Metal Fusion (LMF, lézeres fémfúzió), melyet Selective Laser Melting (SLM, szelektív lézeres olvasztás) és Powder Bed Fusion (PBD, porágyús fúzió) néven is neveznek. Ezen eljárás során lézer segítségével a nyomtató fém porból rétegről rétegre állítja elő a modellt. Rendkívül pontos munkadarab készíthető ezzel az eljárással, a fogászati implantátumok elkészítéséhez alkalmazzák. Az eljárás során a fogsormodellen a hídelemek között nincsen elkülönített rész, így nincs szükség marási eljárásra vagy egyéb korrekcióra. Az LMF technológiának köszönhetően számos egyedi modell egyszerűen megvalósítható. A fogászati 3D nyomtató a fogpótlást jelentősen gyorsabban gyártja, mint a hagyományos eljárás, valamint a marótechnika. De nemcsak a gyártási folyamatban van a fém 3D nyomtatónak

[22] Kompozit anyagok: Olyan szerkezeti anyagok, amelyeket kettő vagy több különböző anyag egyesítésével kerül előállításra, az anyagok közti kapcsolat terhelés hatására is megmarad.
[23] 9.ábra Letöltve: 2022.11.07. https://www.odosdental.com/ortodoncia-invisible-madrid/

számos előnye, hanem az előkészítő folyamat is gyorsabb a digitális tervezésnek és mintavételnek köszönhetően. A digitális formázás révén nincs szükség gipszmodellekre és szilikon lenyomatokra sem. A TruPrint berendezések digitálisan csatlakoztathatóak marógépekhez, ezzel lehetővé téve fogászati pótlások hibrid gyártástechnológiáját. A 3D nyomtató csak annyi fémport dolgoz fel, amennyire valóban szüksége van a modell elkészítéséhez, a felhasználók anyagot és pénzt takaríthatnak meg. Ezzel egy időben a környezet is profitál az olyan anyagok fenntartható kezeléséből, mint a kobalt-króm. A kobalt-króm ötvözetet jellemzően fogászati célokra alkalmazzák, ugyanis rendkívül nagy szilárdsági tényezőkkel rendelkezik. Az előállítás közben feleslegként levált port a nyomtatási folyamat után újból fel lehet használni.

6.1.2 Fogtechnikai eszközök gyártása[24]

Számos olyan cég létezik, amely a 3D nyomtatókkal, illetve az ahhoz szükséges anyagokkal foglalkozik. Az egyik legismertebb cég a Formlabs, mely kezdetekben csak a 3D nyomtatók gyártásával foglalkozott, később három dimenziós nyomtatáshoz szükséges szoftvert is kifejlesztettek, jelenleg pedig SLA és SLS nyomtatókhoz használható anyagokat is gyártanak, melyek alkalmazhatóak a fogtechnikában valamint az orvostudományban is.

A fogászati modell gyantát úgy fejlesztették ki, hogy megfeleljen a helyreállító fogászati beavatkozások precizitási, megbízhatósági és teljesítménykövetelményeinek.

10. ábra: *Formlabs fogászati modell gyanta* [25]

[24] https://dental.formlabs.com/materials/

[25] 10.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

A fogászati tervező gyanta a leggyorsabban kinyomtatható gyantafajta melyet fogászati célokra forgalmaznak. Rendkívül pontos modell készíthető vele, melynek sima felülete ideális illesztők és rögzítők készítéséhez.

11. ábra: *Formlabs fogászati tervező gyanta*[26]

A sebészeti gyanta egy biokompatibilis anyag, fogorvosi implantátumok behelyezésének ismertetéséhez szükséges modell készíthető belőle. Formlabs nyomtatókhoz fejlesztett anyag számos teszten esett át, ellenáll az oldószereknek, és különböző implantátumokkal összehasonlítva anyagában tekintve időtállóbb. Kifejezetten fogászati célokra fejlesztették, hogy az alkatrészek minősége és pontossága felülmúlja a kereskedelmi forgalomban kapható hasonló anyagokat.

12. ábra: *Formlabs sebészeti gyanta*[27]

[26] 11.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/
[27] 12.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

A fogászati LT átlátszó gyanta segítségével gyorsan készíthetünk rendkívül jó minőségű okkluzális síneket[28], melyek rendkívül tartósak és törésállóak. Az anyag színkorrekción esett át, átlátszó modellt nyomtathatunk vele, melynek optikai átlátszósága magas, és idő múlásával sem fog elszíneződni.

13. ábra: *Formlabs fogászati LT gyanta*[29]

Az önthető viaszgyanta fogászok és fogtechnikusok által tesztelt biokompatibilis anyag. Pontos modell készíthető belőle, mely zárt margókat biztosít, 20% viaszt tartalmaz a pontos öntéshez és tiszta kiégetést eredményez. Az elkészített minták utókezelés nélkül is behelyezhetőek lesznek, igy egyszerűsítve a munkafolyamatot.

14. ábra: *Formlabs önthető viaszgyanta*[30]

[28] Okkluzális sín: Egy átlátszó műanyag sín, melyet a felső vagy alsó fogsorra helyeznek. Fogászati értelemben az okklúzió a két fogsor közti érintkezést jelenti, a sín feladata ennek megakadályozása.
[29] 13.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/
[30] 14.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

A Formlabsnak köszönhetően digitális mintavétellel és 3D nyomtatással is készíthetőek műfogsorok, melyek pontosabbak, ezáltal a pácienshez tökéletesen illeszkedően készíthetőek. Hosszútávon is biokompatibilis anyag, lehetővé teszi hogy időtálló műfogsor készüljön.

15. ábra: *Formlabs által digitálisan tervezett 3D nyomtatott műfogsor*[31]

Személyre szabható fogászati lenyomattálca készíthető a Formlabs egyik gyantatípusával, mely közvetlenül nyomtat lenyomattálcákat implantátumokhoz, fogászati hidakhoz, koronákhoz, valamint fogsorokhoz és egyéb fogászati eszközökhöz. Egyenletes és pontos mintát állíthatunk vele elő, mely minősége kimagasló.

16. ábra: *3D nyomtatott fogászati lenyomattálca*[32]

[31] 15.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/
[32] 16.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

Az ideiglenes CB gyanta maximum 7 egységből álló hidak elkészítéséhez alkalmazható, négy különböző színárnyalatban kapható. Kiváló lapszéli illeszkedést biztosít, szilárd és esztétikus a kialakítása. A fogászatban használatban lévő cementtel együtt alkalmazható, hosszútávú érintkezést biztosít a nyálkahártyával, akár 12 hónapig is.

17. ábra: *3D nyomtatott fogászati híd*[33]

Az állandó használatra tervezett korona gyanta nagy szilárdságú hosszú távon alkalmazható fogpótlást biztosít pontos és precíz illeszkedéssel. Négy különböző színárnyalatban kapható. Az anyag alacsony vízfelvételének köszönhetően időtálló, kevésbé hajlamos az elöregedésre, valamint az elszíneződésre, illetve lepedék felhalmozódására.

18. ábra: *3D nyomtatott fog koronák*[34]

[33] 17.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

[34] 18.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

A 3D-nyomtatott közvetett kötőtálcák csökkentik a fogászati kezelés idejét, ugyanis az összes fogszabályozóhoz tartozó zár egyszerre helyezhető fel vele. A IBT gyanta magas szakítószilárdsággal rendelkezik, áttetsző és rugalmas, könnyen felhelyezhető és eltávolítható.

19. ábra: *IBT gyantából készített fogászati kötőtálca*[35]

A Formlabs lágyszövet készítő csomagjának köszönhetően rugalmas fogínymaszkot készíthetünk fogászati modellel kiegészítve. Eltávolítható lágyrész-komponenseket ad a nyomtatott modellhez ami kiegészíti a implantátumot. A modell színe személyre szabható háromféle rózsaszín árnyalatban.

20. ábra: *Lágyszövet pótlásra készített 3D modell*[36]

[35] 19.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

[36] 20.ábra Letöltve: 2022.11.10 https://dental.formlabs.com/materials/

6.1.3 Orvostudományi felhasználás

A 3D nyomtatást nem csak a fogászatban alkalmazzák, megjelent az orvostudományok egyéb területein is. Emberi szervek modellezésére is alkalmazható egy-egy műtét előtt, így a sebész pontosan fel tud készülni az adott műtétre, ez elősegíti a megfelelő bemetszési pont és a megfelelő eljárás megválasztásában, valamint bizonyos mértékig lehetőség van a műtét megtervezésére. Különféle szkennelési módszerekkel digitális képet alkotnak a páciensek szerveiről, így pontos méretüket és alakjukat is megismerik az orvosok beavatkozás előtt. Az orvostudományban a 3D szkennelést diagnosztikai célokra régóta alkalmazzák. Szükség volt olyan módszerre amellyel roncsolásmentes módon megvizsgálható volt az emberi test belülről is.

A röntgen a mai napig alkalmazott módszer a csontozat megvizsgálására, ugyanakkor a röntgen csak kétdimenziós képet tud alkotni, csak a sugárzás vetületi pontjából volt vizsgálható a csontozat. Ilyen kétdimenziós képalkotási módszerekkel ha több irányból vizsgáljuk az adott szervet vagy csontot akkor a számítógépes tervezőprogram segítségével megalkothatjuk a háromdimenziós modellt. Egy ilyen 3D modell nagyban hozzájárul a sebészi beavatkozások közbeni komplikációk minimalizálásához, ha a sebész előre eltervezi a műtétet a modell segítségével az lerövidíti a műtéti időt is, így a páciensnek kevesebb időt kell altatásban töltenie és nagyban csökken a fertőzésveszély kockázata is. Két egészséges ember esetén is előfordulnak belső szervi eltérések, méretbeli különbségek. Egy genetikai rendellenességgel született ember, vagy akár egy balesetet szenvedett személy esetében is előfordulhatnak eltérések, amelyek 3D szkenneléssel gyorsan és roncsolásmentesen feltérképezhetőek. A modern kori orvostudományban már olyan korszerű képalkotó eljárások segítik az orvosokat, amelyek kontrasztanyag befecskendezésével az érrendszert vagy a lágyszöveteket is láthatóvá teszik, sőt azokról háromdimenziós digitális modelleket készítenek. Az orvosok beszámolói alapján a komplexebb, több órás operációk sikeres kimenetelét összetettségükből adódóan a műtéti beavatkozás alapos megtervezésével érhetik csak el, ebben nyújt segítséget a 3D képalkotás és 3D nyomtatás.

A betegekről CT vagy MR technológiával készült felvételeket felhasználva a 3D nyomtatókkal tökéletes, akár életnagyságú és élethű modelleket is alkothatnak, amely lehetővé teszi a műtétre való alapos felkészülést, jelentősen növelve az orvos magabiztosságát és csökkentve a váratlan

helyzetek kialakulásának valószínűségét. Az orvostudományban használt DICOM[37] fájlok konvertálhatóak STL fájlokká, így 3D nyomtatóval elkészíthető a kívánt modell. CT vagy MR felvételek megfelelő szűrésével beállítható például, hogy a csontszerű, kemény anyagok kontúrja látszódjon élesen, de akár lágy szövetekre is optimalizálhatjuk a felvételeket. Egy szoftver ezen szeletek összefűzésével, majd megfelelő távolságban a Z tengely mentén egymásra helyezve őket, 3D nyomtatásra alkalmas modell készíthető.

21. ábra: *CT felvételek*[38]

Nem csak diagnosztikai és tervezési célra alkalmazhatóak a 3D szkennerek és nyomtatók. Csontpótlások is készíthetőek ezzel az eljárással. Az FDM technológia lehetővé teszi, hogy pontosan illeszkedő pótlást készítsenek a páciensnek személyre szabottan. A probléma abban rejlik, hogy a 3D nyomtatók nem biokompatibilis anyagokkal dolgoznak, hanem biológiailag lebomló műanyagokkal, így a modell emberi szervezetbe történő beültetésre nem alkalmas. Ugyanakkor az elkészült modell szolgálhat mintának további munkafolyamathoz, például a modellt szilikonnal bevonva létrehozhatunk egy öntőformát amelybe ha csontcementet helyezünk is kiköttetjük akkor beültetésre alkalmas csontpótlást készíthetünk. 3D fémnyomtatók bizonyos fajtái orvosi titánnal is képesek nyomtatni, amely hatékonyabb és sterilebb mint a forgácsolási módszereken alapuló eljárások. Sokkal pontosabb pótlások készíthetőek 3D fém nyomtatással amelyek könnyebben beépülnek a páciens csontszövetébe, ezzel csökkentve a kilökődés és a fertőzés veszélyét. A speciálisan készített titán

[37] DICOM: Digital Imagining and Communication in Medicine. Orvosi információk, mint például az ultrahang, CT és MR felvételek, valamint a páciens információi egy fájlban tárolhatóak. A formátum biztosítja, hogy az összes adat és kép egy fájlban maradjon.
[38] 21.ábra Letöltve: 2022.10.08. https://www.medicalnewstoday.com/articles/153201#uses

csontpótlásokat bevonják egy biokerámia réteggel, így egy beültethető, és anatómiailag megfelelő implantátumot elkészíthetünk 3D nyomtatással teljes egészében.

22. ábra: *3D nyomtatott csontpótlás*[39]

6.1.4 Orvostudományi eszközök gyártása

A Formlabs cég nem csak fogászati felhasználásra gyártanak 3D nyomtatóhoz készült anyagokat, orvostudományi felhasználásra alkalmas anyagokat is forgalmaznak. Ezen anyagok gyártásánál fontos figyelembe venni, hogy biokompatibilisek legyenek, vagyis hogy az emberi szervezettel érintkezve ne okozzanak a gazdatestnek reakciót.

ISO 13485 szabvány egy minőség tanúsításra szolgáló szabvány. Orvostechnikai eszközök és anyagok tervezésénél, fejlesztésénél, gyártásánál kell alkalmazni ezt a szabványt. A szabvány alkalmazható minden orvostechnikai eszközöket gyártó vagy orvostechnikai szolgáltatásokat végző vállalkozás esetében, függetlenül annak típusától és méretétől.

A BioMed fehér gyanta egy olyan átlátszatlan fehér anyag, amely biokompatibilis termékek gyártásához készült, melyek hosszabb időintervallumban érintkeznek bőrrel, vagy rövid ideig nyálkahártyával. USP 151-es toxicitás tesztelt anyag, orvosi felhasználásra készült. Kompatibilisek szövet-, csont-, és fogászati felhasználásra a megadott sterilizálási feltételek mellett. Emellett alkalmas gyógyszerészeti és gyógyszerszállítási felhasználásra is.

[39] 22.ábra: Letöltve: 2022.11.08. https://3dakademia.freedee.hu/3dtech-az-iskolakban/blog/hogyan-keszul-3d-nyomtathato-modell-ct-es-mri-felvetelekbol-desktop-3d-nyomtatok-az-egeszsegugyi-3d-nyomtatas-szolgalataban/

23. ábra: *BioMed fehér gyantából készült orvosi eszközök*[40]

A BioMed fekete gyanta egy matt felületű, átlátszatlan anyag biokompatibilis alkalmazásokhoz hosszú távú bőrrel való érintkezésre vagy rövid távú nyálkahártya érintkezésre alkalmas. Alkalmazás előtt az anyagból készült modellt alá kell vetni a megadott sterilizációs folyamatoknak.

24. ábra: *BioMed fekete gyantából készült eszközök és modellek*[41]

BioMed átlátszó gyanta fotopolimer gyanta Formlabs által gyártott SLA nyomtatókhoz. A BioMed átlátszó gyanta egy merev anyag biokompatibilis alkalmazásokhoz, amelyek hosszú távú bőrrel való érintkezést igényelnek, vagy rövid távú érintkezést nyálkahártyával. Ez az USP VI-ös osztályú tanúsítvánnyal rendelkező anyag alkalmas idővel alacsony vízfelvételt igénylő

[40] 23.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/

[41] 24.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/

alkalmazásokhoz. A BioMed átlátszó gyantával nyomtatott részek alkalmazása megköveteli az előírt sterilizációt.

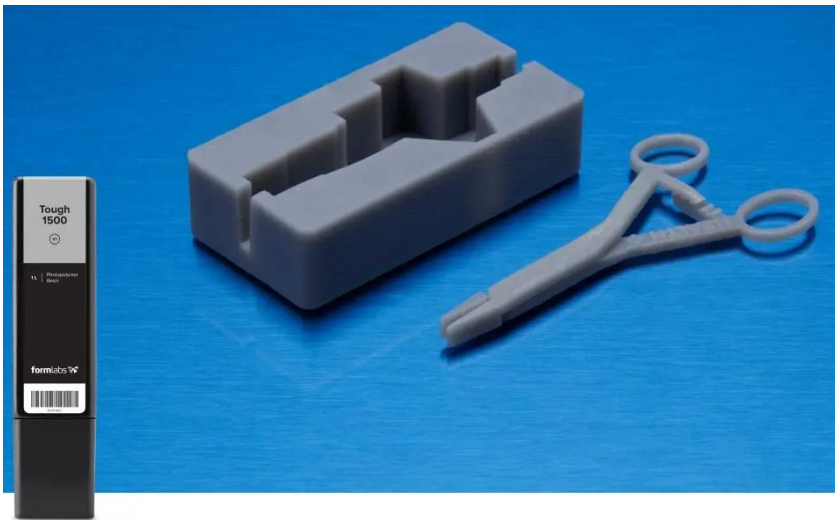
25. ábra: *BioMed átlátszó gyantából készült eszközök*[42]

A BioMed borostyán gyantát biokompatibilis 3D nyomtatott anyagok gyártására tervezték nagy méretpontossággal, merevséggel és szilárdsággal rendelkező alkatrészek gyártásához.

26. ábra: *BioMed borostyán gyantából készült eszközök*[43]

A Tough 1500 megnevezésű gyanta a legrugalmasabb anyag a Formlabs termékcsaládban, melyet hosszútávú bőrrel való érintkezésre terveztek. Kemény és tartós gyanta, ami merev és hajlékony alkatrészeket hoz létre ciklikus terhelés hatására.

[42] 25.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/
[43] 26.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/



27. ábra: *3D nyomtatott orvosi eszközök*[44]

A PU Rigid 650 gyanta egy kemény és hajlékony poliuretán anyag, amely ellenáll extrém hatásoknak, miközben hosszú távon megőrzi a valódi formáját.

A PU Rigid 1000 gyanta egy félmerev poliuretán anyag, amely nagy tűrőképességgel rendelkezik, és ellenáll az ismételt nagy erőhatásoknak is. Biokompatibilis, hosszútávú bőrrel való érintkezésre kifejlesztett.

28. ábra: *PU Rigid gyanta modellek*[45]

[44] 27.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/
[45] 28.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/

Az elasztikus 50A gyanta a legpuhább műszaki gyanta melyet a Formlabs gyárt, az anyag alkalmas prototípusok gyártására melyeket hagyományosan szilikonból készítettek. Ebből a gyantatípusból készült prototípusok szakadás nélkül nyúlnak, hajlanak és összenyomhatóak, ellenáll az ismételt terhelésnek és visszanyeri eredeti alakját.

29. ábra: *Elasztikus gyantából előállított orvosi modellek* [46]

A Rigid 10k gyanta üvegtöltésű, a legmerevebb anyag a Formlabs termékcsaládban. Precíz és pontos ipari alkatrészek előállításához javasolt a felhasználása, jelentős terhelésnek tud ellenállíni meghajlás nélkül. Ellenáll a magas hőterhelésnek és a vegyszereknek is.

30. ábra: *Formlabs Rigid 10k gyantából készített 3D modellek*[47]

[46] 29.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/
[47] 30.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/

A Durable (tartós) gyanta a leginkább hajlékony, ütésálló anyag. Olyan eszközök készítéséhez ajánlott amelyeknél követelmény az összenyomhatóság, ugyanakkor visszanyeri alakját.

31. ábra: *Formlabs tartós gyantából készített modellek*[48]

6.1.5 Egészségügyi veszélyek

A hirtelen fellendült 3D nyomtató iparág számos előnnyel rendelkezik, ugyanakkor számos veszélyt is rejt. A Georgia Műszaki Egyetem kutatói azt tanulmányozták, hogy a háztartásokban is alkalmazott 3D nyomtatók veszélyesek-e az egészségre, és ha igen milyen mértékben. A 3D nyomtatáshoz alkalmazott anyag fajtájától eltekintve minden típusú 3D nyomtató bocsát ki gázokat és finom porokat. Ezek belélegezve bekerülnek az emberi tüdőbe, ahol a mindössze néhány mikronnyi szemcsék lerakódnak. Ezek a tüdő teljes területén képesek lerakódni, különféle gyulladásokat okozva. Nagy dózisban ezek az anyagok mérgezési tüneteket okoznak az érintett személyeknél.

A legkárosabbak a műanyagokból származó anyagok, ugyanis háztartásban ritkán található 3D fémnyomtató, háztartásokban inkább a 3D műanyag nyomtatókat alkalmazzák. Az egyik ilyen káros anyag az ABS, azaz akrilnitril-butadién-sztirol. Az ABS egy ütésálló, nagy keménységgel és szilárdsággal rendelkező, vegyszerálló hőre lágyuló műanyag. Három fő alkotóelemből áll, az akrilnitrintnek köszönhetően az anyag rendkívül nagy keménységgel rendelkezik, a sztirol biztosítja a feldolgozhatóságot, a butadiénnek köszönhetően pedig alacsony hőmérsékleten keményedik az anyag. Felhasználása sokrétű, mindennapi használatú háztartási cikkekben is

[48] 31.ábra Letöltve: 2022.11.10. https://formlabs.com/materials/medical/

fellelhető. A mobiltelefonok külső burkolata, biztonsági sisakok és gyermek játékok alapanyaga.

A másik káros anyag a PLA, ami politejsav néven ismert. Ez egy biológiai úton lebomló hőre lágyuló műanyag. Magas keményítőtartalmú gabonafélékből állítják elő, mint például a kukorica, a rizs vagy a búza. Ezen növények tejsavas erjesztésével és polikondenzációval nyerhető ki a politejsav. Leggyakoribb felhasználási területe az egyszer használatos műanyagok előállítása, vagy hétköznapi használatra gyártott egyszerűbb háztartási kellékek, például tálca, virágcserép. Kompozit anyagok alapanyagaként is szolgálhat, valamint alkalmas implantátumok készítéséhez is. Számos fejlesztés köthető a politejsavhoz, kísérletek folynak a politejsav szálasanyagkénti gyártására, ugyanis ezek széles körben felhasználhatóak lennének a textil- és ruházati, valamint egészségügyi anyagok gyártásánál, ugyanakkor biológiailag lebomló hulladékot eredményeznének.

3D nyomtatók beltéri használata csak megfelelő szűrőberendezések mellett javasolt. A károsanyag kibocsátás így sem kerülhető el teljes mértékben, ugyanakkor csökkenthető a mennyisége. A 3D nyomtatók által kibocsátott káros anyagokkal történő nagy mértékű és gyakori érintkezés eredményeképpen felléphetnek tüdő-, vér-, és idegrendszeri betegségek, súlyosabb esetben vagy a kialakult betegségek kezelésének hiányában halálhoz is vezethet.

6. ÖSSZEGZÉS: MENNYIRE HASZNOS A 3D NYOMTATÁS EGYRE BŐVÜLŐ SKÁLÁN TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLÁSA? CSÖKKENTHETŐ A KÁROSANYAG KIBOCSÁTÁS MÉRTÉKE?

A modernkori technológiai vívmányokat számos szempontból elemezhetjük. Mindegyik elemzési szempont fontos számunkra ahhoz, hogy tovább fejleszthessük a már meglévő technológiákat, valamint ahhoz hogy újakat hozhassunk létre.

Dolgozatomban a környezetvédelmi és egészségügyi szempontok szerinti elemzést választottam, ugyanis számomra ezek jelentették a legérdekesebb kutatási témát. Napjainkban a környezetszennyezés hatalmas mértékeket öltött, melyek visszafordítása igen nehéz és költséges folyamatok árán lehetséges, valamint szükség van hozzá a társadalom együttes összefogására. Minden alkalommal mikor megjelenik egy új technológiai eszköz vagy fejlesztés az kutatások hosszú sorozatát eredményezi annak érdekében, hogy felfedezzük a technológiához köthető hibákat, melyeket később kiküszöbölhetünk a későbbi hatékony működés érdekében. A világon számos környezetvédelmi szabvány és törvény van érvényben napjainkban, ugyanis a károsanyag kibocsátásának mérséklése nélkül jelentősen romlanának az életkörülmények a Földön, vélhetően visszafordíthatatlan módon. A 3D nyomtatáshoz köthetően jelenleg még nincsen megfelelő számú kísérlet ahhoz, hogy biztosan megállapíthassuk a károsanyag kibocsátás mértékét és ütemét. A 3D nyomtatók minden típusának, valamint minden ezekhez alkalmazott anyag tesztelésére lenne szükség, hogy pontos adatokat közölhessünk, melyeknek köszönhetően megtalálnák a fő fejlesztési irányvonalat, aminek köszönhetően csökkenthetjük a háromdimenziós nyomtatás közben keletkező káros anyagok mennyiségét.

Az egészségügyi aspektus elemzése szintén fontos kutatási terület a 3D nyomtatás kapcsán. A folyamatosan fejlődő orvostudomány rengeteg alkalmazási lehetőséget biztosít a háromdimenziós nyomtatás számára. A kulcs jelen esetben a nyomtatóhoz alkalmazott anyagokban rejlik. Fontos szempont, hogy biokompatibilis anyaggal dolgozzunk, ugyanis ennek hiányában orvosilag alkalmazhatatlan lenne a készített modell. A modern kori orvostudomány rengeteg olyan eljárást fejlesztett ki melynek köszönhetően a korábban kezelhetetlen deformitások, és számos új műtéti eljárás kezelhetővé és kivitelezhetővé válik. A háromdimenziós nyomtatók otthoni felhasználása számos egészségügyi

veszélyforrást rejt magában, ugyanis nem megfelelő körülmények között a hosszútávú alkalmazása az egészségre káros.

A jelenlegi háromdimenziós nyomtatókra számos további technológiai fejlesztések várnak. Széles körben elterjedt a használatuk, ugyanakkor még nem annyira költséghatékony a fenntartásuk. A 3D nyomtatáshoz alkalmazható anyagok skálája széles, ugyanakkor ezek megvásárlása költséges, nem áll rendelkezésre mindenki számára, és legtöbbjük káros a környezetre. Első fejlesztési lépésként a 3D nyomtatáshoz alkalmazott anyagok javítása, valamint kiterjesztése a cél. Fontos szempont az anyagok kombinálhatósága, valamint szélesebb körben történő alkalmazása.

A következő fontos fejlesztési szempont a nyomtatók működéséhez köthető. Alapvető funkcionális tulajdonságra lenne szükség, mint az automatikus hibakeresés és hibajavítás, valamint a munkafolyamatok önálló pontosítása. Ennek köszönhetően kiküszöbölhetőek lennének az elő- és az utómunkálatok, mellyel még kevesebb hulladékanyag keletkezne, ezzel költséghatékonyabbá téve a folyamatot.

Véleményem szerint a 3D nyomtatás alkalmazási területeinek skálája folyamatosan bővülő tendenciát mutat, mivel egyre több anyag válik alkalmassá háromdimenziós nyomtatásra, ezzel szélesítve a lehetséges felhasználási területeket. Valamint a már használatban lévő anyagok folyamatos fejlesztésnek vannak alávetve a környezetkímélő megoldások elérése érdekében. Számos olyan tudományterület van, melynél a 3D nyomtatás alkalmazása új fejlesztéseknek törne utat, ilyen például a katonai felhasználás. Eszközök és alkatrészek egyedi, személyre szabott gyártását tenné lehetővé, melynek köszönhetően egyedülálló technológiai vívmányokat hozhatnánk létre katonai felhasználás céljából. Számos kérdést vet fel, hogy katonai területen belül pontosan mire alkalmazhatnánk a 3D nyomtatást, nagy eséllyel az ehhez köthető kutatások és kísérletek a közeljövőben növekedést mutatnak majd.

7. IRODALOMJEGYZÉK

Kis Dávid – Szente László: Előgyártási technológiák. Fémelőállítás. Kecskemét. Neumann János Egyetem. 2019. Letöltve: 2022.09.09. Online: https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/03/17/33/dd/1/07_Kiss_Szente_El__gy__rt__si_technol__gi__k_f__mel____ll__t__s.pdf

Cseh Béla: Anyag- és gyártásismeret I. Hőkezelés, hegesztés, forgácsolás nélküli alakító eljárások, öntéstechnológia. Bolyai János Katonai Műszaki Főiskola. 1993.

Adolf Frischherz – Paul Skop: Fémtechnológia alapismeretek 1. Alapismeretek. Magyar kiadás: B+V Lap- és Könyvkiadó. Budapest. 1997.

Justin Haines: History of 3D printing: When was 3D printing invented? 2022.04.29.

Online: https://all3dp.com/2/history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/ Letöltve: 2022.10.28.

Lucas Carolo: What is FDM 3D printing? – Simply explained. 2022.06.08.

Online: https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/ Letöltve: 2022.10.28.

Emmett Grames: SLA vs SLS: The differences- Simply explained. 2019.05.01.

Online: https://all3dp.com/2/sla-vs-sls-3d-printing-technology-shootout/ Letöltve: 2022.10.28.

All3DP: Resin 3D printing- The ultimate guide. 2022.11.01.

Online: https://all3dp.com/1/sla-resin-3d-printing-guide/ Letöltve: 2022.10.28.

Kiss Sándor: Számítógépes tervezői környezet- CAD szoftverek használatának alapjai. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. Letöltve: 2022.10.26.

International Organization for Standardization (ISO): Additive manufacturing — General principles — Terminology. Geneva, Svájc: ISO/ASTM, 2015

Campbell, T., C. Williams, O. Ivanova, and B. Garrett: Could 3-D printing change the world? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Washington, DC (2011).

NIOSH. 3D printing with filaments: Health and safety questions to ask. By Glassford E, Dunn KL, Dunn KH, Hammond D, Tyrawski J. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication

Online: https://www.cdc.gov/niosh/docs/2020-115/ Letöltve: 2022.10.26.

Kevin L Dunn, MS, CIH; Duane Hammond, MS, PE; Jennifer Tyrawski, PhD; and Matthew G. Duling, MS, REHS: Characterizing 3D Printing Emissions and Controls in an Office Environment. Centers for Disease Control and Prevention. 2018.08.16. Letöltve: 2022.10.19.

Online: https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2018/08/16/3d-printing/

Additiv Manufacturing: 3D printer safety. 2021.05.07.

Online: https://blink.ucsd.edu/safety/occupational/hazard-control/3d-printing.html Letöltve: 2022.10.26.

Parham Azimi-Dan Zha-Claire Pouzet-Neil E. Crain-Brent Stephens: Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments. Enviromental Science&Technology. 2016.01.07.

Online: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b04983 Letöltve: 2022.11.07

https://3dakademia.freedee.hu/3dtech-az-iskolakban/blog/hogyan-keszul-3d-nyomtathato-modell-ct-es-mri-felvetelekbol-desktop-3d-nyomtatok-az-egeszsegugyi-3d-nyomtatas-szolgalataban/ Letöltve: 2022.11.06.

Yvette Brazier: How does a CT or CAT scan work. 2018.07.24.

Online: https://www.medicalnewstoday.com/articles/153201#uses Letöltve: 2022.11.08.

Stratasys: 3D nyomtatás a fogászatban. Varinex. Letöltve: 2022.11.07.

Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing

Online: https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/ Letöltve: 2022.10.28.

Guide to 3D printing

Online: https://formlabs.com/3d-printers/ Letöltve: 2022.11.10.

Guide to Rapid Prototyping for Product Development

Online: https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-rapid-prototyping/ Letöltve: 2022.11.10.

Formlabs: 3D Printing Materials for Healthcare.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2201601-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2201600-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2001432-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2001403-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2001292-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2201647-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2201671-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2001420-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/2001479-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/1801084-TDS-ENUS-0P.pdf Letöltve: 2022.11.10.

Formlabs: High-Accuracy 3D Printing Materials for Dental Labs and Practices

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2101617-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2001477-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/1901234-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2001429-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/1801080-TDS-ENUS-1.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/Denture-Base-and-Teeth-DataSheet.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2001430-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2001431-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2002482-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2102519-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

https://dental-media.formlabs.com/datasheets/2001499-TDS-ENUS-0.pdf Letöltve: 2022.11.10.

3DHubs: Plastic 3D printing

Online: https://www.hubs.com/3d-printing/plastic/

CNC Media: Mennyire zöld a 3D nyomtatás?

Online: https://www.cnc.hu/2016/12/mennyire-zold-a-3d-nyomtatas/