

37. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2025. április 22–24.
Nemzeti Köszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

**LITOFÁN TECHNOLÓGIA 3D NYOMTATÁSSAL TÖRTÉNŐ
ALKALMAZÁSA, ÉS ANNAK LEHETSÉGES KATONAI
VONATKOZTATÁSAI**

Jelige: Litofán

Pályamunka lezárásának időpontja: 2024. április

2025.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. A 3D NYOMTATÁS	4
2.1. 3D nyomtatás története	4
2.2. A 3D nyomtatás általános bemutatása	6
2.3. A 3D nyomtatás fontosabb alapanyagai.....	8
2.3.1.PLA	10
2.3.2.ABS.....	10
2.3.3.Egyéb anyagok	11
2.4. A 3D nyomtatás tanszéki vonatkozása	12
2.4.1.Ultimaker S3 műanyag nyomtató.....	12
2.4.2.Markforged Onyx Pro kompozit nyomtató.....	14
2.4.3.Markforged MetalX (ADAM) fém nyomtató	15
2.5. A 3D nyomtatás szerepe a katonai logisztikában	16
2.6. A 3D nyomtatás alkalmazása műveleti területen.....	17
2.7. A 3D nyomtatás szerepe a gépjárműiparban.....	19
3. LITOFÁN TECHNOLOGIA	21
3.1. Litofánok megjelenése.....	21
3.2. Litofánok elkészítésének módja	24
4. 3D MŰANYAG NYOMTATÁS ALKALMAZÁSA	26
4.1. Litofán képek nyomtatása	26
4.1.1.Kép felbontásának változtatása	26
4.1.2.Nyomtatott kép maximális vastagságának változtatása	27
4.1.3.Nyomtatott kép előállítása különböző nyomtatási sebességgel.....	28
4.2. Műszerfal ellenőrző lámpái litofán technológiával előállítva	29
4.3. Lámpa búra 3D modell elkészítése	30
5. ÖSSZEGZÉS	34
FELHASZNÁLT IRODALMAK JEGYZÉKE.....	35

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológia, azaz a 3D nyomtatás forradalmasította a gyártási folyamatokat, ezzel lehetővé téve az egyedi, bonyolult geometriájú tárgyak gyors és hatékony létrehozását. Ez a technológia széles körben alkalmazható ipari prototípusok, orvosi implantátumok, ékszerek és még sok más területen egyaránt. A 3D nyomtatás segítségével létrehozott tárgyak gyakran könnyűek és erősek, valamint lehetővé teszik az anyagok optimalizált felhasználását. A környezetvédelmi előnyök is jelentősök, mivel ez a gyártástechnológia lehetővé teszi az anyagfelhasználás minimalizálását, ezzel a keletkező hulladék mennyiségének csökkentését. Az ipari alkalmazások mellett a 3D nyomtatás jelentős szerepet játszik a kutatás és fejlesztés területén is, ezzel elősegítve az új anyagok és termékek gyors prototípusgyártását. Alkalmazása az építőiparban lehetővé teszi az egyedi, komplex formájú építészeti elemek és szerkezetek előállítását, így ezzel fokozva a kreativitást és a hatékonyságot. Fontos szerepet játszik az űrkutatásban is, ahol a távoli űrutazásokhoz és az űrállomások fenntartásához szükséges alkatrészek gyártása válik egyre inkább lehetségessé. A fogyasztói piacon megjelent 3D nyomtatók széles körű elérhetőséggel rendelkeznek, valamint használatuk felhasználó barát, ami a fogyasztók számára könnyen lehetővé teszi a személyre szabott termékek otthoni gyártását.

Dolgozatom célja az additív gyártástechnológiával, 3D nyomtatott eljárással a Magyar honvédségben rendszeresített Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi hátsó lámpabúrájának nyomtatása litofán technológiával, mellyel az a célom, hogy könnyítsem a járművek rejtett menetben való közlekedését, a búra különböző pontjainak másfajta vastagsággal való nyomtatásával, mely hatására a nyomtatott anyag eltérően engedi át magán a fényt, így változtatva annak láthatóságát. Ezen eredmény elérése érdekében nyomtatási kísérleteket alkalmazok, litofán képek nyomtatása segítségével. A kísérlet három sorozatból fog állni, mely során ugyan azt a képet először különböző felbontással fogom nyomtatni, majd ezek vizsgálata után a legoptimálisabbnak tűnő felbontású képet alkalmazom a továbbiakban. A második sorozat során a nyomtatás maximális vastagságának változtatásával kerülnek nyomtatásra a képek. Ezt követően pedig a harmadik sorozatban hat különböző nyomtatási sebességgel fog történni a nyomtatás, mellyel azt szeretném vizsgálni, hogy a nyomtatási idő milyen mértékben csökkenthető, úgy, hogy a kép minősége és láthatósága nem romlik.

2. A 3D NYOMTATÁS

A 3D nyomtatás digitális modellekből háromdimenziós tárgyak létrehozására szolgál. Jelenleg elsősorban rövid idő alatti alkatrész készítésére és otthoni hobbi modellezés mellett a gyors prototípus gyártásra is használják. Ezeket az anyagokat napi szinten használják, átfogva és összekötve a tudomány különböző területeit. Jelenleg a 3D fémnyomtatókat aktívan használják a fogászatban, és a technológia folyamatos fejlődésének köszönhetően a jövőben más orvosi területeken is alkalmazhatják.

2.1. 3D nyomtatás története

A 3D-nyomtatás első dokumentált változatai az 1980-as évek elejére nyúlnak vissza Japánban. Hideo Kodama egy gyors prototípusgyártó rendszer kifejlesztésének módját kereste 1981-ben. Melynek következtében egy rétegről rétegre történő gyártást dolgozott ki, ahol egy UV-fénnyel keményített fényérzékeny gyantát használt. Azonban bár Kodama nem tudta szabadalmaztatni ezt a technológiát, azonban mégis őt tartják a gyártási rendszer első feltalálójának, amely a modern SLA gép egy korai változata. ¹

Néhány évvel később egy francia kutatókból álló csoport szintén megkísérelt egy gyors prototípusgyártó gépet kifejleszteni. A gyanta használata helyett olyan rendszert akartak kifejleszteni, ahol folyékony monomereket polimerizál szilárd anyagokká lézer segítségével, azonban a Japán Kodamához hasonlóan ezt a módszert sem sikerült szabadalmaztatni.

Ugyanebben az évben Charles Hull jelentette be a sztereolitográfia (SLA) első szabadalmát. A férfi egy amerikai bútorgyártó volt, akit frusztrált a kis méretű, egyedi darabok gyártásának lehetetlensége, így kifejlesztett egy olyan rendszert, amellyel rétegről rétegre polimerizálva a fényérzékeny gyanta segítségével 3D modelleket tudott készíteni. ²

1986-ban kérte a szabadalmat erre a technológiára, majd megalapította 1988-ban a 3D Systems Corporationt. Az első kereskedelmi SLA³ 3D nyomtatót (1. kép), az SLA-1-et az Charles Hull cége dobta piacra 1988-ban. Az SLA azonban nem az egyetlen additív gyártási eljárás volt, amelyet akkoriban kutattak. 1988-ban Carl Deckard, a Texasi Egyetem munkatársa szabadalmat kért az SLS (szelektív lézersinterezés) technológiára. Ez a rendszer folyadékok helyett porok megolvasztására használta a lézert. ⁴

¹ <https://www.bcn3d.com/the-history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>

² <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7273052>

³ SLA - Stereolithography – Sztereolitográfia

⁴ <http://hu.insta3dp.com/info/3d-printing-history-development-41307276.html>



1. *Kép Charles Hull által megtervezett sztereolitogram (SLA) gép*

Az olvasztott leválasztásos modellezést (FDM) ugyanebben az időben szabadalmaztatta Scott Crump. Az FDM⁶, más néven fused filament fabrication, abban különbözik az SLS-től és az SLA-tól, hogy a filamentet nem fény segítségével extrudálják, hanem közvetlenül egy fűtött fűvókából. Az FFF⁷ technológia napjainkban a 3D nyomtatás legnépszerűbb formájává vált. Ezen a három nyomtatási eljárason kívül még számos eljárás létezik, azonban ez a három technológia az alapja a 3D nyomtatás technológiájának jelentős mértékű elterjedésének.

Az 1990-es években számos olyan vállalat és startup vállalkozás jelent meg, amelyek különböző additív gyártási technológiákkal kísérleteztek. 2006-ban jelent meg az első kereskedelmi forgalomban kapható SLS⁸-nyomtató, amely változásokat idézett elő az ipari alkatrészek egyéni igény szerinti gyártása tekintetében.

Ebben az időszakban váltak elérhetővé a CAD⁹-eszközök is, amelyek lehetővé tették a 3D modellek saját számítógépen történő fejlesztését. Ez az egyik legfontosabb eszköz a 3D nyomtatás létrehozásának korai szakaszában. Ezek a gépek nagyon különbözőek voltak a maiaktól. Nehéz volt őket használni, drágák voltak, és sok kiterjedt utómunkálatokat igényeltek

⁵ <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/> (Letöltve 2024.03.03.)

⁶ FDM – Fused Deposition Modelling

⁷ FFF – Fused Filament Fabrication

⁸ SLS – Selective Laser Sintering

⁹ CAD- Computer-aided Design - Számítógépes tervezés

a 3D nyomtatott termékek. De minden nap voltak újítások, módszerek és eljárások, amelyeket tökéletesítettek.

A nyílt forráskód megváltoztatta a 3D nyomtatást 2005-ben, mert a forráskód segítségével nyílttá tette a technológia lehetőségét az emberek számára. Dr. Adrian Bowyer volt, aki elindította a RepRap projektet, mely során létrehozott egy nyílt forráskódú kezdeményezést egy olyan 3D nyomtató kifejlesztésére, amely képes egy másik 3D nyomtató és más 3D nyomtatott tárgyak építésére is egyaránt.¹⁰

2008-ban nyomtatták ki az első lábprotézist, amivel a 3D nyomtatás a figyelem középpontjába került, és világszerte emberek millióival ismertette meg a fogalmat. Ezt követően 2009-ben közzétették az 1980-as években benyújtott FDM szabadalmakat, ami megváltoztatta a 3D nyomtatás történetét. Ahogy a technológia elérhetőbbé vált az új vállalatok és versenytársak számára, a 3D nyomtatók árai csökkenni kezdtek, és a 3D nyomtatás jelentős mértékben megfizethetőbbé vált a 2010-es években, mellyel párhuzamosan a nyomtatás minősége és egyszerűsége egyaránt javult.

A nyomtatók által használt anyagok is fejlődtek. Ma már a műanyagok és fémek széles választéka áll rendelkezésre. Még az olyan anyagok is 3D nyomtathatók, mint a szénszál és az üvegszál. Néhány kreatív ember még olyan anyagok nyomtatásával is kísérletezik, mint a csokoládé vagy a tészta. Azonban a fém és műanyag nyomtatások az ipar különböző ágaiban használt 3D nyomtatási technológiák, más anyagokkal való nyomtatást ezen területen még nem alkalmaznak.

2019-ben elkészült a világ legnagyobb 3D nyomtatott funkcionális épülete. A 3D nyomtatást ma már következetesen használják a hallókészülékek és más egészségügyi alkalmazások fejlesztésében, és számos iparág és ágazat alkalmazza ezt a technológiát a mindennapi munkafolyamataiban.

2.2. A 3D nyomtatás általános bemutatása

Az additív gyártás egy hivatalos kifejezés arra, amit korábban gyors prototípusgyártásnak neveztek, ma pedig inkább 3D nyomtatásként ismert. Manapság ezt a technológiát egyre gyakrabban alkalmazzák a tömeggyártásban. Jelenleg a polimeralapú eljárások a legelterjedtebbek, de a gyors prototípusgyártás és a fémalapú tömeggyártás iránti igény gyorsan növekszik.

¹⁰ <https://addict3d.hu/?p=17885167>

A 3D nyomtatás egy olyan gyártási folyamat, amelynek során szilárd tárgyakat vagy termékeket állítanak elő egy előre megtervezett (CAD)¹¹-fájlból. A gyártási folyamatot mindig megelőzi egy digitális modell létrehozása. Ahogy a név is sugallja, a termék előállításához additív eljárásokat alkalmaznak. Ezekben az eljárásokban a kívánt alakzatot úgy hozzák létre, hogy fokozatosan egymásra épülnek az anyagrétegek, ahol minden egyes réteg a termék virtuális szűk keresztmetszetének tekinthető. A 3D szkennelés egyes késztermékek másolására is használható.

A gyors prototípusgyártás - „Rapid Prototyping” (RP)¹² számos iparágban használt kifejezés, amely olyan eljárást jelöl, amellyel egy termék vagy alkatrész gyorsan legyártható a végleges megjelenés vagy forgalmazás előtt. A kifejezést gyakran használják olyan technológiák leírására, amelyek képesek fizikai prototípusokat létrehozni előre elkészített digitális adatok alapján.

Ezért itt a hangsúly a prototípus vagy alapmodell gyors létrehozásán van, amelyből további, véglegesített modellek készülnek. Az ezen a területen dolgozó mérnökök a gyors prototípusgyártás kifejezést részesítik előnyben az üzleti és szoftverfejlesztési folyamatok leírására. A különböző szoftvereszközök lehetővé teszik, hogy az ügyfelek a fejlesztési folyamat során visszajelzést adjanak a fejlesztőknek, így segítve őket abban, hogy a lehető legpontosabb és leginkább felhasználóbarát szoftvert hozzák létre. Ennek eredményeképpen a technológia tervezési oldala robbanásszerűen fejlődik a különböző, de egyre jobb programok és szoftverek megjelenésével.

Sok esetben a manapság készülő termékek már aligha nevezhetők prototípusoknak, mivel a 3D nyomtatást egyre inkább a teljes alkatrészek nagy mennyiségben történő előállítására használják. Emiatt a gyors prototípusgyártás (RP) helyett az "additív gyártás" (Additive Manufacturing - AM)¹³ kifejezés honosodott meg.

Röviden összefoglalva, az additív gyártástechnológia olyan háromdimenziós modellt jelent, amely egy számítógépen megtervezett modellből folyamattervezés nélkül előállítható. Ez nagy előny más gyártási eljárásokkal szemben, mivel csak néhány alapadatra, méretre és a felhasználandó anyagok ismeretére van szükség.

Az additív gyártástechnológia sarokköve a rétegek (10 µm - 100 µm) lerakása a munkadarabra, ahol minden egyes réteg az alkatrész egy-egy vékony keresztmetszetét képviseli. A munkadarab

¹¹ CAD jelentése: Computer-aided design, magyarul számítógépes tervezés

¹² RP jelentése: Rapid Prototyping, magyarul gyors prototípusgyártás

¹³ Magyarul: Additív gyártástechnológia

felületi minősége nagymértékben függ a rétegek vastagságától, nyomtatási sebességétől és a munkadarab tájolásától. Nagyon fontos figyelembe venni a munkadarab geometriáját, mivel a nyomtatandó alkatrész méretének figyelembevételével szükség lehet alátámasztások alkalmazására.

Minden kereskedelmi forgalomban kapható 3D nyomtatógép rétegalapú gyártással dolgozik, így a legfontosabb, hogy az anyagok és a rétegek hogyan és hol illeszthetők össze. Ezek határozzák meg a mechanikai és anyagtulajdonságokat, valamint a kész alkatrész pontosságát. Ezek határozzák meg azt is, hogy a nyomtató milyen gyorsan tudja előállítani az alkatrészt, és mennyi utómunkára van szükség. Ezek az információk felhasználhatók a teljes gyártási költség kiszámításához, ami a versenyképesség egyik legfontosabb kulcsszáma lesz.¹⁴

A 3D fémnyomtatási technológiával bonyolultabb geometriák, furatrendszerek, csatornák, összetett rácsszerkezetek és eredeti alkatrészek nyomtathatók. A beépített alkatrészek olyan alkatrészek, amelyek csak tervrajz alapján gyárthatók, mert egy átgondolatlan tervezés vagy egy hibás műszaki rajz miatt hagyományos módszerekkel nem gyárthatók. A 3D nyomtatás egyik nagy előnye, hogy az alkatrész belső szerkezetét támaszokkal tudja létrehozni, amelyek a nyomtatást követően könnyedén eltávolíthatók a támaszok anyagának függvényében különféle eljárásokkal, valamint eszközökkel. Ez segít olyan belső szerkezetű alkatrészek előállításában, amelyek jelentősen csökkentik a járművek össztömegét, így gazdaságosabbá és könnyebb mozgathatóságát, valamint a jármű önálló dinamikusabb mozgását teszi lehetővé, ami hosszú távon nagy előnyt jelent. Ez különösen fontos a repülőgépiparban, ahol minden gramm mértékű súlycsökkenés is nagy előnyt jelent. A technológia jelentősebb elterjedését akadályozzák a magas költségek, valamint a 3D nyomtattal gyártott termékek szilárdságával adódó problémák, azonban a technológia további fejlődésével ezek a problémák könnyedén leküzdhetők lesznek a későbbiekben.

2.3. A 3D nyomtatás fontosabb alapanyagai

A 3D nyomtatás lehetőségével szinte bármilyen anyagokat tudunk nyomtatni, azonban ennek az anyagnak szilárd halmazállapotúnak kell lennie. Az ipar többféle felhasználási területre tud előállítani termékeket, ennek következtében az anyagok is sokfélék lehetnek, ezek leginkább kerámia, műanyag és fém. Az igény megvan ezekre, hogy az eszközök, tárgyak 3D nyomtathatók legyenek. Valamint érdemes megemlíteni az egészségügyben, vagy az

¹⁴ Additive Manufacturing Technologies - 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing - Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker, Department of Industrial Engineering, J B Speed, University of Louisville, Louisville, KY USA, 55.o - 61.o.

építőiparban használt különféle anyagokat. Az oktatási intézményekben, illetve a háztartásokban elterjedt asztali nyomtatók többsége az FDM technológiát alkalmazva olvasztott műanyagszálat, azaz filamentet használ a tárgy felépítésére. Ezen filament szó a latin filum szóból származik, amely magyarul fonalat vagy szálát jelent, így ebből ered a nyomtatószal elnevezés, amely a szakirodalomban használatos. A műanyagok sokféle kémiai, fizikai és mechanikai tulajdonságúak, amik ezen felül különféle adalékanyagokkal még tovább lehet bővíteni a választékot. Léteznek különböző színű vagy akár átlátszó, rugalmas, mágneses, sötétben világító valamint fa utánozó műanyag szálak, amelyeket könnyedén az asztali nyomtatóba tölthetünk. És ez a kínálat napról napra gazdagodik, bővül.¹⁵

A nyomtatószal kiválasztását két fontos tényező határozza meg. Az egyik, hogy a nyomtató melyik anyagot képes kezelni, valamint hogy miből kell előállítani a kívánt munkadarabot. Ezen információt több helyről is van lehetőség megtudni, a nyomtató kézikönyvéből, a terméket előállító cég honlapjáról, valamint az interneten is található többféle műszaki leírás, melyből meg lehet tudni ezt az információt. A nyomtató meghibásodása elkerülhető azzal, hogy a gyártó javaslatát alkalmazzuk a nyomtatás során.

A műanyagok többsége jól extrudálható, mely azt jelenti, hogy műanyag esetén granulátum, vagy műanyag por megolvasztása egy fűtött hengerben, majd annak kisajtolása egy csiga segítségével egy formázható nyíláson keresztül történik, amit elhagyva az anyag a hűlés miatt megszilárdul. Természetesen a technológia függvényében többféle kiindulási anyaggal találkozhatunk, melyek lehetnek folyadék, gyanta, por, szemcse, huzalszál, szalag vagy lemez alakúak, de számukra elegendő az általunk használt FDM technológiában jellemzően előforduló nyomtatószalaknak a közelebbi megismerése. Ezek közé tartozik a PLA, ABS, HIPS, TPU, PET rövidítéssel jelezett anyagok. Ezek általában orsóra tekert 1 kg-os kiszerezésben érhetők el, 1,75 mm átmérőjű nyomtatószalakkal, azonban ritkább esetekben 3 mm vagy 2,85 mm átmérő is elérhető. De ha csak tesztelés céljára vagy színminták kipróbálása a cél, akkor egyes helyeken kisebb adagokban, esetlegesen méterre is kaphatók a filamentek.¹⁶

A legelterjedtebbek a PLA, PET-G és az ABS, mivel a mindennapokban ezek a leghasználatosabbak a felhasználhatóság és megmunkálás miatt.

¹⁵ Huszár István – Tárgyasult ötletek, 3D nyomtatás és tervezés (2021) 40. oldal

¹⁶ Huszár István – Tárgyasult ötletek, 3D nyomtatás és tervezés (2021) 41. oldal

2.3.1. PLA

PLA. azaz polylactic acid. Viszonylag alacsony hőmérsékleten, 190-200°C-on lágyul, ezért jól extrudálható. Az FDM nyomtatók kedvelt alapanyaga, mivel ezt a hőmérsékletet könnyen elő tudjuk állítani. Előállítására nagyobb keményítő tartalmú növényekből történik, ezért környezetbarátnak mondhatók, például kukorica, rizs, búza illetve cukorrépa vagy cukornád szolgálhat alapanyagul. Ismert neve a polilaktosav és az előállítása során felhasznált anyagoknak köszönhetően környezetbarátnak mondható. De ez nem akadályozza a PLA-ból készült tárgyak készítését, mivel a szabadban használt darabok is évekig bírják az időjárást. A gyors bomláshoz azonban ipari körülmények kellenek, amik mellett komposztálható lesz az anyag. A nyomtatószálok könnyen törékennyé tudnak válni, valamint egyenetlen nyomtatott felület jöhet létre a felszabaduló hőhatás és a nedvszívó képesség következtében. A nyomtatás során különösebb óvintézkedésre nincsen szükség, mivel a nyomtatási folyamat során nem szabadulnak fel káros anyagok, a folyamat során érzékelhető karamellás illat sem káros az egészségre.

Ezen anyag többféle színben is megtalálható, a színtelen változatát egyes nyomtatók tudják színeztetni a nyomtatás során a tintasugaras nyomtatókhoz használt patronokhoz hasonlóan, így a nyomtatott termékeket több színben is elő lehet állítani. Kisebb igénybevételű tárgyak előállítására alkalmas, mivel gyengébb szilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik. Használata azonban olcsó, így alkalmas a kísérletezésekre valamilyen tárgy, alkatrész készítése során, tehát a prototípusgyártásra kiváló. ¹⁷

Gyakran üveglapra történik a nyomtatás, így ebben az esetben nem feltétlen igényel fűtött asztalt, azonban ha mégis, akkor elegendő a 60°C-os melegítés is. Ha a tárgyat a nyomtatást követően utólag felmelegítjük, akkor a felmelegített részen az anyag képlékennyé válik, így akár utólat is változtatható a test alakja kis mértékben. Hátrányai közé tartozik, hogy a hideg hatására könnyen törékennyé tud válni, ezzel befolyásolva a mechanikai tulajdonságait, valamint ragasztásra sem alkalmas, mivel oldószerekben nehezen oldódik.

2.3.2. ABS

Ez az anyag jelentősen erősebb mint a PLA, azonban rugalmasabb is. Sokféle műanyag termék ebből az anyagból készül, például a LEGO, autó karosszéria elemek, háztartási eszközök és játékok is. A nyomtatása emiatt nehezebb, mivel magasabb hőfok szükséges hozzá, 130-250°C között megy végbe a lágyulása, így 70-100°C-osasztalhőmérsékletet igényel. A nyomtatási

¹⁷ Huszár István – Tárgyasult ötletek, 3D nyomtatás és tervezés (2021) 42-43. oldal

folyamat során az egészségre káros gőzök szabadulnak fel, emiatt szükséges a szellőztetés, vagy elszívó berendezés használata. További nehézséget okoz, hogy a felmelegített asztalra könnyen le tud tapadni. Az aceton jól oldja, ami a körömlakk lemosó alapanyaga, így könnyen ragasztható, de a vegyszerállósága alapvetően jónak bizonyul. A felületi egyenlőtlenségek, mint például a rétegződés egyszerűen eltüntethetők, mivel acetongőzben a nyomtatott felület kisimul.¹⁸

2.3.3. Egyéb anyagok

PET-G¹⁹ nevű anyag, amelyből az üdítőüveges palackok is készülnek. Nyomtatás során könnyen alkalmazható, a PLA-tól jelentős mértékben rugalmasabb, valamint az asztalhoz is jobban tapad mint az ABS. Tárolásánál fontos figyelembe venni, hogy magas nedvszívó képességgel rendelkezik.

A polycarbonate nehezen nyomtatható, 240°C fölötti hőmérsékletet igényel, az asztalnak pedig 100°C felett kell lennie.

A nylon-polynamide lassú nyomtatási sebességet igényel, amely nem haladhatja meg a 40mm/s sebességet, alkalmanként célszerűbb még ennél is alacsonyabb sebességet választani a kívánt eredmény eléréséhez. A nyomtatás hőfoka magas, 250°C feletti érték. A hűtőventilátor kikapcsolása is célszerű, hogy növelni tudjuk a letapadást, amit még ragasztó tárgyasztalra való felvitel könnyíthet.

A FILAFLEX-TPE E műanyagok rendkívül rugalmasak, valamint további kedvező tulajdonságokkal is rendelkeznek, mint például, hogy szagtalan, jól tapad a tárgyasztalra és a vegyszerekkel szemben is ellenálló. Akár cipő is készíthető belőle, mivel alkalmas elastikus tárgyak készítésére.

A HIPS²⁰ nagyjából 230-250°C-on lágyul, asztalhőmérsékletnek pedig 100°C-ot igényel. Az ABS-hez hasonló szilárdsággal és hőállósággal rendelkezik, így kétféjes nyomtatóknál támaszként is használható, mivel jól tapad, de a nyomtatási folyamat után limolén nevű szerves vegyületben leoldhatóvá válik. Alkalmazása széleskörben megtalálható, alkalmazzák az élelmiszeriparban és csomagolóanyagként is.

¹⁸ Huszár István – Tárgyasult ötletek, 3D nyomtatás és tervezés (2021) 43. oldal

¹⁹ PET-G – Poly-Ethylene Terephthalate Glycol

²⁰ HIPS – High Impact Polystyrene

A PVA külön csoportba kategorizálnám, mivel ez a támaszanyag amit általában szoktak használni, mivel vízzel könnyedén oldható anyag így a szerkezeti anyag mellől eltávolítható. Nyomtatása 215-225°C között történik és 50-60°C-os asztal mellett jó a letapadása.²¹

2.4. A 3D nyomtatás tanszéki vonatkozása

2022-ben a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnika Tanszéke három darab 3D nyomtatót szerzett be. Az egyetem szerint a 3D nyomtatás mára megtalálta a helyét a védelmi iparban, valamint a katonai logisztikában és műveletekben is egyaránt. A Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar "3D nyomtatási alkalmazások a katonai logisztikában és iparban" című kutatásának kiemelt kutatási területe, ahol külön tanulmányt készítenek a 3D fémnyomtatók használatáról, hogy megállapítsák, a jövőben a 3D fémnyomtatókat fel lehet-e használni a katonai felszerelések alkatrészeinek gyártására. Ennek az új technológiának a használata lehetővé teszi az egyetem számára, hogy kihasználja a 3D nyomtatás előnyeit, például a személyre szabott alkatrészek gyártását, ami megkönnyíti az új termékek fejlesztését.

A 3D nyomtatók rendelkezésre állásának köszönhetően a Hadtudományi és Honvédtisztképző Karon tanuló tisztjelöltek a Magyar Honvédség számára kiemelten fontos technológia alkalmazásának ismeretével hagyhatják el az egyetemet. Ez különösen azért fontos, mert a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében létrehozott és megépített haditechnikai létesítmények már most is használják, illetve bizonyos mértékben fejlesztik ezeket a technológiákat. A 3D nyomtatást már tesztelik és alkalmazzák a ZalaZone járműipari tesztpályán, ahol az Ipar 4.0 előnyeit kívánják kihasználni. Ez azért is fontos, mert a Magyar Honvédség a ZalaZone-ban építi a harcjárművek katonai tesztpályáját, ahol a leendő tisztek az egyetemen megszerzett tudást hasznosíthatják, és segíthetik a fegyveres erők ipari hozzájárulásának javítását amennyiben karrierjük során lehetőség adódik erre.

2.4.1. Ultimaker S3 műanyag nyomtató

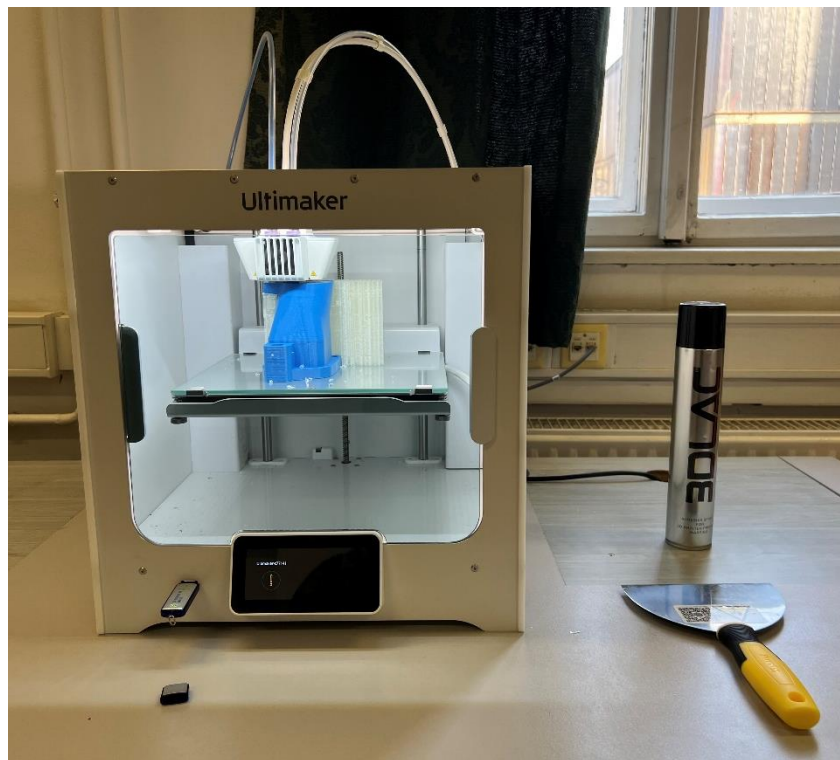
Tulajdonságai:²²

- Munkatér mérete, azaz nyomtatási térfogata: 230 x 190 x 200 mm,
- rétegvastagság: 20-600 µm, a 0,4 mm-es fűvókával 20-200 µm,
- nyomtatási pontosság: ±100 µm,

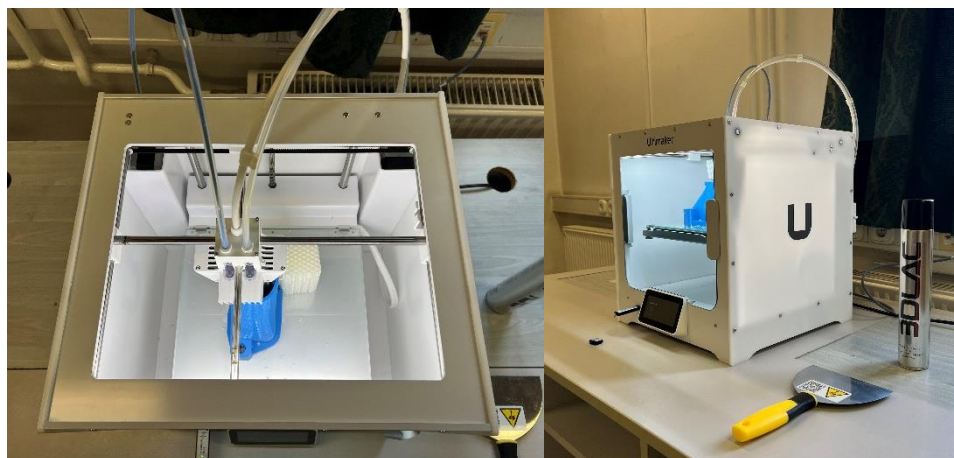
²¹ Huszár István – Tárgyasult ötletek, 3D nyomtatás és tervezés (2021) 44. oldal

²² <https://shop.freede.hu/Ultimaker-S3-ketfejes-3D-nyomtato> (Letöltés ideje: 2024.03.04.)

- az alkalmazott alapanyag: normál és kemény PLA, alapanyagtól függően 60-80 MPa szakítószilárdság jellemzi.
- fejlett érintőképernyős felület,
- széleskörű alapanyagrendszer,
- vízben oldható alátámasztás,
- automatikus és adaptív tálcaszintezés.



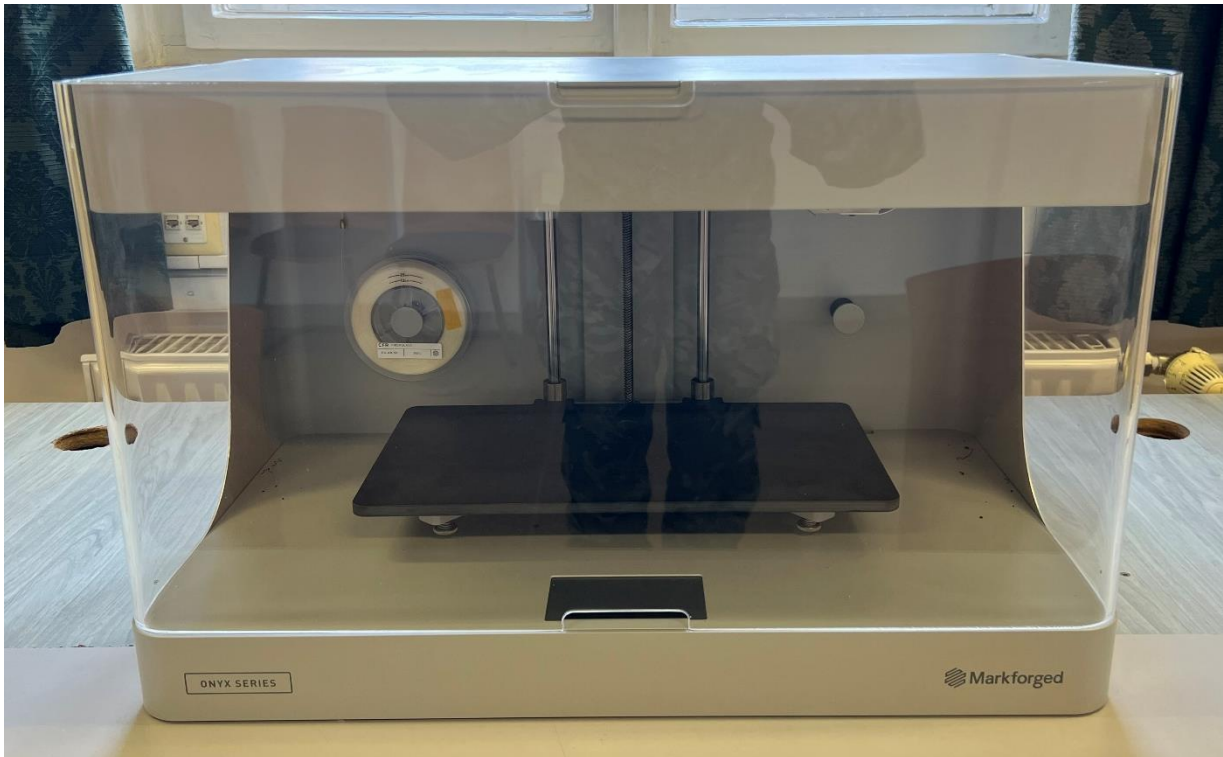
2. Kép Ultimaker S3 Műanyag 3D nyomtató szemből²³



²³ A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.06.)

3. *Kép Ultimaker S3 Műanyag 3D nyomtató felülről és oldalról*²⁴

2.4.2. Markforged Onyx Pro kompozit nyomtató²⁵



4. *Kép Markforged Onyx Pro kompozit 3D nyomtató*²⁶

Markforged Onyx Pro kompozit nyomtató nyomtatási technológiája FDM/FFF + CFF, műanyagszál-olvasztás + folyamatos szálerősítés.

Tulajdonságai:

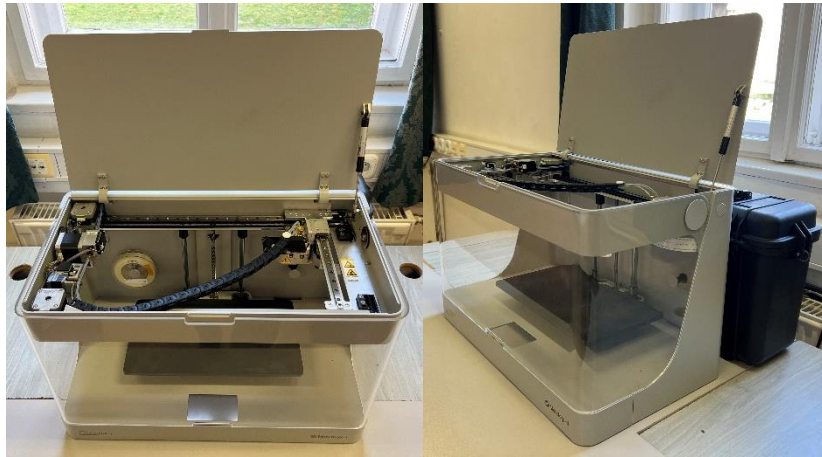
- Munkatere: 320 x 130 x 160 mm,
- rétegvastagsága: 100-200 µm,
- képes folyamatos szálerősítéses munkadarabok nyomtatására,
- az alkalmazott alapanyag: Onyx kompozitanyag: PA6 poliamid mátrixanyagban rövid, vágott szálú szénszálerősítéssel, melynek szakító szilárdsága 240 MPa. A mátrix-szállkompozitszerkezet maximális szilárdsága szálerősítésű anyaggal 400 MPa szakítószilárdságú termék, azonban csak x-y síkban,

²⁴ A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.06.)

²⁵ <https://shop.freedee.hu/Onyx-Pro-kompozit-3D-nyomtato>

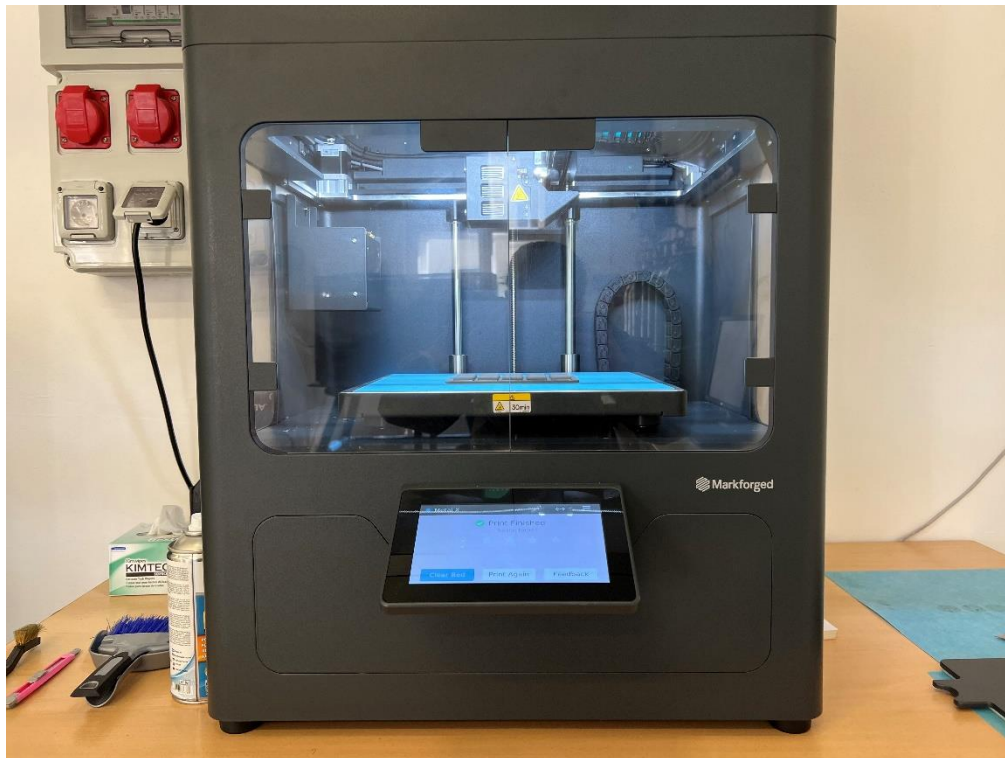
²⁶ A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.06.)

- zárt cellák létrehozására képes folyamatos szálerősítéssel.²⁷



5. Kép Markforged Onyx Pro kompozit 3D nyomtató felülről és oldalról²⁸

2.4.3. Markforged MetalX (ADAM) fém nyomtató²⁹



6. Kép Markforged MetalX Fém 3D nyomtató³⁰

²⁷ <https://shop.freedee.hu/Onyx-Pro-kompozit-3D-nyomtato>

²⁸ A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.06.)

²⁹ ADAM - Atomic Diffusion Additive Manufacturing

³⁰ A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.06.)

Tulajdonságai:³¹

- Munkatere: 300 x 220 x 180 mm
- legnagyobb gyártható alkatrész mérete: 250 x 180 x 150 mm, maximális tömege 10 kg,
- nyomtatási pontosság: $\pm 100 \mu\text{m}$ (0,1 mm); rétegfelbontás: 50 μm .
- Alkalmazott alapanyag: Szerszámacél A2 és D2: a szerszámacél jó ütésálló tulajdonsággal rendelkezik. A D2 szerszámacél nagy szén- és krómtartalma miatt kiemelkedő keménységet és kopásállóságot biztosít, de nem rendelkezik olyan keménységgel mint az A2. A D2-t gyakran használják vágószerszámok gyártásához. Továbbá jelen van a H13 acél is.
- Képes teljesen zárt, belső méhsejt és üreg, rácsos belső szerkezet folyamatos nyomtatására a fémgyártmány szerkezetén belül, illetve generatív tervezéssel előállított, optimalizált formájú rácsos tartók, továbbá komplex geometriájú hőcserélők, gépelemek, stb. gyártására.



7. Kép Markforged MetalX 3D nyomtatóhoz tartozó kemence és mosó³²

2.5.A 3D nyomtatás szerepe a katonai logisztikában

A hadsereg leginkább a prototípuskészítésre valamint az új berendezések elkészítésére használja a 3D nyomtatás technológiáját. Ez a technológia előnyös a hadsereg szempontjából több okból is, mivel a prototípusok gyorsabb elkészítését teszi lehetővé, a tervmódosítások gyorsabb átfutási idejéből kifolyólag, illetve ennek következtében felgyorsítja a fejlesztéseket is. Mindemellett ezen 3D nyomtatási eljárással készített alkatrészek, darabok testre szabva

³¹ <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/angus-3d-solutions-markforged-metal-x/>

³² A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.06.)

készíthetők el, amik javítják a munkafolyamatot és így megfelelnek az egyedi igényeknek, követelményeknek.

A 3D nyomtatás jelentette előnyöket a hadsereg különböző ágai kezdik ezeket felfedezni, mint mikor például egy már használatban lévő alkatrész megjavításához új alkatrészek szükségesek, azonban azok nem, vagy csak korlátozott számban állnak rendelkezésre bizonyos okokból kifolyólag, illetve ha a beszerelésükhöz speciális szerszámok és szerelvények lennének szükségesek.

A hadsereg a technológia élvonalában volt mindig is, így ez alól a 3D nyomtatás sem jelent kivételt. Az a képesség, hogy egyszerűen és gyorsan, akár néhány óra alatt, közben komplex eszközöket tudnak létrehozni, hatalmas előnyt jelent, főleg a harctéren, harctéri körülmények között, ahol az alkatrészek berendelése nem megoldható a hosszadalmasság miatt, az idő kifejezetten fontos, főleg ha mindeközben életek forognak kockán.

Lehetőséget teremt a technológia alkalmazása arra, hogy a korábban bonyolult szerkezetű, vagy nehezen legyártható alkatrészeket megbízhatóan, valamint könnyebben és technológiailag fejlettebb módon lehessen gyártani. Az egyszerűségekre való törekvés és a biztonság szempontja kerül előtérbe, míg a ár illetve költséghatékonyság háttérbe szorul. Ezen technológiát a katonai műveleti területen lehet a legjobban kihasználni, a logisztikai szempontokat nézve. Mivel ezt alkalmazva például nem szükséges Magyarországról más országba, vagy kontinensre szállítani az adott alkatrészeket, mivel ha egy katonai bázis feltéve rendelkezik egy 3D nyomtatóval, könnyedén le tudja gyártani a kívánt alkatrészt a meghibásodott gépjármű számára, amennyiben az alkatrész programban megrajzolt verziója elérhető. Így nem szükséges napokat, esetekben heteket várni, hogy a szükséges alkatrész megérkezzen a területre és a gépjármű javíthatóvá váljon. Az esetek nagy többségében ezen nyomtatott alkatrészek gyengébb minőségűek, nem rendelkeznek olyan nagy szakítószilárdsággal, mint a hagyományos módon készített alkatrészek, ám biztonságot és rendkívüli előnyt jelenthet, ha arra az adott időre, míg meg nem érkezik a pót alkatrész, addig egy 3D nyomtatással előállított verzióval pótoljuk azt.³³

2.6.A 3D nyomtatás alkalmazása műveleti területen

Az additív gyártástechnológia katonai alkalmazásának legoptimálisabb használata a helyszínen történő cserealkatrész utánpótlás biztosítása jelentős idő és szállítási költség elkerülésével.

³³ ³³<https://3duniverse.org/2022/09/16/the-military-turns-to-3d-printing/#:~:text=The%20use%20of%203D%20printing,to%20cut%20off%20supply%20lines> (Letöltés ideje: 2024.03.24)

Azonban ehhez arra van szükség, hogy a kinyomtatásra kerülő alkatrész 3D modelljével rendelkezünk, hogy a nyomtatás megvalósítható legyen. Amennyiben ezzel a modellel rendelkezünk, akkor a 3D nyomató gép méretbeli korlátjain belül képesek lehetünk a megfelelő alapanyag segítségével előállítani a kívánt alkatrészt. Ez lehetővé teszi azt, hogy a nehezen és időigényesen beszerezhető gépjárműalkatrészeket könnyedén pótolni lehessen műveleti területen. A nyomtatás alapanyagát szolgáló anyagot egy egységes rakományként tudjuk kezelni, ami hozzájárul a katonai logisztika jobb megszervezéséhez valamint az erőforrások kihasználásához, mivel így nem kell egész alkatrészeket szállítanunk. Ennek következtében nem okoz gondot a nehezen megközelíthető, különböző terepre történő utánpótlása szállítása, biztosítása. A hatékonyságot pedig növeli az a tény, hogy a gyártás során csak elenyésző mennyiségű hulladék fog keletkezni, mivel a műveleti területre kiszállított alapanyag szinte teljes egészében felhasználható a gyártás során.³⁴

A harcászat egyik legfontosabb eleme a katonai logisztika, mivel ez a terület foglalkozik azzal, hogy biztosítani illetve folytatni tudjuk a folyamatban levő harcot csapatainknál, valamint ezen alegységek ellátottságát. A feladat abszolválása jóval nehezebb, ha a nagyszámban jelen lévő technikai eszközökről is gondoskodnunk kell. Minden esetben meg kell tudni oldani a harctéren történő meghibásodott alkatrészek megfelelő utánpótlását. Azonban a haditechnikai eszközök javításához szükséges pótalkatrészek sok esetben nem pótolhatók, fellelhetők lokálisan, emiatt előfordulhat, hogy ezek biztosítása a hátszorból fog megvalósulni, ami esetlegesen gátolhatja azt, hogy az eszközeink újra hadrafogható állapotba kerüljenek. Ezen probléma könnyen kiküszöbölhető a 3D nyomtatás technológiájával.

Azonban a műveleti területen történő 3D nyomtatás alkalmazásának számos korlátozó tényezője van. Amennyiben képesek vagyunk pótalkatrészeket előállítani 3D nyomtatás segítségével, abban az esetben jelentősen növelhetjük a javítások hatékonyságát. Természetesen ez nem ilyen egyszerű, mivel a katonaság számára a fém 3D nyomtatás az, ami segítséget adhat, viszont a 3D fémnyomtató jelentős méretekkel rendelkezik. Elhelyezése, telepítése és üzembehelyezése időigényes, illetve a fémnyomtatóval előállított alkatrészek mérete korlátozott. Jelenleg nincsen információ arról, hogy egy jelentősebb konfliktus során használva lett volna a 3D nyomtató. Ez többnyire amiatt van, mert a katonaság által használt fémnyomtatás technológia színvonala jelentős mértékben elmarad az elvárt szinttől, továbbá a

³⁴ Kocsis Bence, Az additív és szubsztaktív technológia katonai vonatkozású alkalmazási lehetőségeinek összehasonlító vizsgálata, Katona Műszak Közlöny, 29. évfolyam (2019) 2. szám 95–104. • DOI: 10.32562/mkk.2019.2.8.

legkorszerűbb 3D műanyag nyomtatók képességeitől. A fémnyomtatás folyamatos fejlesztések alatt áll, azonban ennek a folyamatnak időre van szüksége, ameddig eléri a kívánt színvonalat. Ennek az eredménye az, hogy műveleti területen csak korlátozottan alkalmazhatók, de mindenképp megfontolásra érdemes ezek használata, mivel ez a technológia alkalmas lehet különféle alkatrészek elkészítésére is egyaránt. Azonban egy speciális alkatrész legyártása sokkal gyorsabb például egy CNC megmunkáló géppel, mint egy 3D nyomtatóval jelen állás szerint. A nyomtató akár órákig is dolgozik az adott alkatrészen, míg a CNC munkagép akár percek alatt is képes ezt elkészíteni. Ami a 3D nyomtatás sérülékenységet jelenthet az az, hogy az áramellátás nem megfelelő a műveleti területen, amelynek következtében a nyomtatás meg fog akadni, a gép leáll. Ilyen esetekben sokszor a nyomtatást nem tudjuk folytatni, így elvész a félbe szakadt munka.

Az alkatrészek az esetek nagy részében utólagos megmunkálásra szorulnak, ami idővesztést jelent. Ezeknél az utómunkálatoknál általában gépi, vagy kézi csiszolásra, polírozásra vagy magas nyomású levegővel történő tisztításra kell gondolni. Amennyiben az elkészített alkatrész alapanyaga edzhető acél, ebben az esetben szükséges a munkadarabon történő edzés elvégzése is.

2.7.A 3D nyomtatás szerepe a gépjárműiparban

Az összetett geometriával rendelkező alkatrészek legyártása sok esetben magas költségekkel rendelkezhet, illetve nehéz és bonyolult. Az additív gyártástechnológiával elkészíteni ezeket a kívánt alkatrészeket sokkal könnyebb lehet a hagyományos szubtraktív technológia helyett. Ez segítséget jelent mind a tervezésben, mind az előállításban egyaránt. Egy 3D-s tervező program segítségével könnyen elkészíthető az adott darab 3D-s digitális modellje, amit aztán kis darabszámban le lehet gyártani, majd ha ez nem lesz megfelelő az alkatrész irányába támasztott követelménynek, akkor a modellt újra lehet tervezni.³⁵

Az additív gyártástechnológia már használatos a nagy gépjárműgyártó vállalatoknál, így ezeknek a piaca és értéke exponenciálisan növekszik. Ennek oka, amellet, hogy az ilyen eljárásokkal készült gépjármű alkatrészek gyártása kisebb költségekkel rendelkezik, nagyobb mértékben környezet barát, mint a hagyományos eljárások, azonban itt sem beszélhetünk teljes mértékben klímasemlegességről, hiszen lényegében jelenleg bármi amit előállítunk a világon valamilyen mértékben, valamilyen formában és mértékben szennyezni fogja a környezetünket.

³⁵ <https://3dnyomtatás.varinex.hu/3d-nyomtatás-az-autoiparban/>

A vállalatok számára nagyon fontos az ellátásbiztonság, így ennek következtében nagy hangsúlyt fektetnek bele, melyben a 3D nyomtatás is hozzá tud járulni. Nem kell mindent kiszervezni, és más cégektől, illetve beszállítóktól beszerezni, hanem lehetőség van a cégen belüli akár bonyolultabb elemek, alkatrészek legyártására. Ehhez csak rendelkezni kell egy alkalmas digitális nyomtatóval és a megfelelő digitális tervekkel.³⁶

A korábbiakban az additív gyártástechnológia elterjedését és alkalmazását a gépjárműiparban az anyagtulajdonságok, mint kémiai, mechanikus és termikus tulajdonságai korlátozták. Az anyagok mechanikai tulajdonságainak növelése érdekében alkalmazható a szálerősítés, mely a szálak irányának függvényében növeli a szakítószilárdságát a nyomtatott testnek. a legújabb szénszál-erősítésű szálal anyagok terén elért eredmények és fejlesztések nagy versenylőny jelentenek az FDM nyomtatók számára.

³⁶ <https://autopro.hu/trend/3d-nyomtatás-az-autoiparban-mit-hoz-a-jovo/153818>

3. LITOFÁN TECHNOLÓGIA

3.1. Litofánok megjelenése³⁷

Franciaországban, Németországban és Poroszországban szinte egyidejűleg jelentek meg az európai litofánok, majd Angliában az 1820-as évek végén. számos történész véleménye szerint 1827-ben Paul de Bourging báró találta fel a litofán eljárást, melynek jogait 1828-ban szerezte meg Robert Griffith Jones brit férfi, majd engedélyt adott a litofánok gyártására az angol gyáraknak. Azonban vannak akik úgy gondolják, hogy a porosz Georg Friedrich Christoph volt az a személy, aki tökéletesítette a litofán folyamatot 1828-ban. Mások szerint a technikát Berlinben és Németország más részein olyan gyártók fejlesztették ki, mint a Königlichem Porzellan-Manufaktur és a Porzellanmanufaktur. Ez az oka annak, hogy a litofánokat néha "Berlin átlátszóságnak" nevezik.

Sok történész azonban úgy gondolja, hogy közel ezer évvel ezelőtt a Tang-dinasztia idején Kínából származott az ötlet inspirációja. R. L. Hobson tudós szerint a kínaiak a Ming-dinasztia idején készítettek egy "vékonyabb mint a papír" tálat titkos díszítéssel. W. Hodgson a kínai kekszporcelánt "kis képernyő tájkép domborművei" írta le, amelyek hasonlítanak a Svájcban gyártott fehér porcelánra. Az európai litofánok lehetséges elődei a Song-dinasztia idejéből származnak Kínából.

Ezeket a litofán termékeket (Qingbal asztali edények) vésett és formázott virág-, hal- és madármotívumokkal mutatták be. A japán litofán teáskészleteket (8. kép) Dragonware-nek nevezik, és a II. világháború alatt Japánban nagyon népszerűek voltak. A 20. század elején számos litofánkutató kereste és teremtett kapcsolatot a 18. és 19. századi európai kerámia és a kínai porcelán között. Franciaországban a 18. században a "Blanc de Chine" kifejezést használták az erősen áttetsző kínai porcelánra.³⁸

³⁷ <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/>

³⁸ The characteristics of Heat Transfer in Plate Phase Change Energy Storage Unit (2019)



8. kép Kínai és Japán litofán termékek³⁹

A 17. és 18. században a francia, német és angol porcelángyárok a kínai "Blanc de Chine" kifejezést utánozták (9. kép). Ugyan ezek a gyárok a 19. század elején kezdtek el litofánokat gyártani. Az európai litofánok technikai és esztétikai inspirációja a kínai munkákból származott, de a kettő közötti pontos kapcsolat ma is kérdéses. A hiányzó lánc egy biztosan ismert litofán, amelyet valahol Kínában gyártottak az 1800-as évek előtt. Az első európai litofánokat szakavatott mesteremberek készítették. A képeket forró viaszba vágták és egy hátulról megvilágított üveglapra helyezték.



9. kép Kínai porcelán⁴⁰

³⁹ <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/> (Letöltve 2024.03.25.)

⁴⁰ <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/> (Letöltve 2024.03.25.)

A viaszt vékony és vastag rétegek váltakozásával vágják, így a vékony részeken a fény áthatol, míg a vastag részek elzárják a fényt. Így a fénykülönbségek a kép részleteit mutatják meg. A litofánokat a 19. században Ausztriában, Belgiumban, a Cseh Köztársaságban, Dániában, Angliában, Franciaországban, Németországban, Írországon, Olaszországban, Norvégiában, Portugáliában, Oroszországban, Svédországban és Walesben készítették. A 18. század közepén több százezer litofánt készítettek olyan cégek, mint az angliai Wedgwood, a drezdai Meissen és az írországi Belleek.

Az Egyesült Államokban is gyártottak litofánokat abban az időben, akárcsak Európában. A litofánok népszerű témái vallási témák, portrék, irodalmi gondolatok, például a Biblia történetei és egyéb remekművek voltak. Egyes litofánok még olyan eseményekről is megemlékeztek, mint például az Eiffel-torony 1889-es megnyitása.

A litofánok mindenféle formátumban előfordultak akkoriban, az ablaktábláktól a gyertyatáblákig. De megtalálhatóak voltak kandallók előtt, éjjeli lámpákban, tealámpákban, gyertyatartókban, sörösüvegekben, korsókban és csészékben is. Néhány erotikus képekkel díszített ajándéktárgyat is kiállítottak, valamint olyan lámpákat, amelyek ritka miniatűr babaházi bútorok voltak.

Henry Barnard, Samuel Colt első életrajzírója szerint Colt több tucatnyi litofánt rendelt és helyezett el új otthonában ("Armsmear") a connecticuti Hartfordban, amelyet 1855-ben és 1856-ban vásárolt Berlinben. Humoros litofánok kerültek Colt új otthonának biliárdszobájának ablakaiba. A trafilgari csata különösen érdekes volt. Míg mások szerint a rajnai Stolzenfels vára és Koblenz volt különösen érdekes. Barnard a litofánokat "igazi művészeti galériának" nevezte. Az 1857 és 1861 között Armsmearról készült képek több mint 100 litofánt ábrázoltak. Egy 1907-es fényképen Armsmear litofánjai még mindig a helyükön vannak. Colt számos fennmaradt litofánja ma a Wadsworth Atheneum Művészeti Múzeumban található.⁴¹

Samuel Coltnak 111 litofánja volt egy 1855-ben róla készült, széles körben terjesztett fényképen. Ezen a litofán portrén egy kis íróasztal mögött ül, jobb kezében egy "övpisztolyt" (Colt), bal kezében pedig egy iránytűt tart. Az egyik ilyen képet elküldte Thomas J. Rusk szenátornak, aki a kép kézhezvételekor 1856. január 3-án kelt levelében válaszolt neki:

⁴¹ <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/> (Letöltve 2024.03.25.)

„Kedves Barátom, Őszinte örömmel fogadtam múlt hónap 28-i küldeményed az Adams Expressstől ma reggel a kíséredobozzal együtt. A hasonlóság valóban kiváló, és őszintén köszönöm szépen. Tisztelettel, *Thomas J. Rusk*”⁴²



10. kép Samuel Colt portré megvilágítva és Samuel Colt portré megvilágítás nélkül⁴³

3.2. Litofánok elkészítésének módja⁴⁴

A litofánnak vékony anyagból kell készülnie, régebben többnyire porcelánból készítették különböző vastagságban. A vastagabb részek több fényt blokkolnak, mint a vékonyabbak, így az anyagon áthaladó fény különböző intenzitásai befolyásolhatók az anyag vastagságának játékaival. Ezáltal különböző kontrasztok jönnek létre, amelyeket a szem a szürke különböző árnyalataként érzékelhet. Ha a mintát nagy részletességgel és pontossággal dolgozzák ki az anyagból, akkor valóság-hű képeket is létre lehet hozni.

A litofánoknak nem feltétlenül kell fehérnek lenniük, de a fény sokkal jobban áthatol a fehér PLA szálon, ami jobb minőségű litofánokat eredményez. Természetesen lehetséges különböző színű litofánokat is nyomtatni, de ezek nem működnek olyan jól, mint a fehér litofánok.

Sajnos nem lehetséges 3D nyomtatást készíteni képfájlból, PDF-ből vagy fényképből. Mindig szükség van egy 3D modellre, mielőtt bármi is 3D nyomtatásra kerülne. A 3D modell egy virtuális bemeneti adat, amelyre a 3D nyomtatónak szüksége van egy tárgy kinyomtatásához.

⁴² <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete>

⁴³ <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/> (2024.03.25.)

⁴⁴ <https://www.zaccord.com/blog?id=17>, <https://gobertpartners.com/how-are-lithophanes-made>

Vannak ingyenes alkalmazások, például a Qlone vagy a Smoothie 3D, amelyek képesek a fényképeket 3D modellé alakítani.

A képek létrehozása egy online Modell létrehozásával történik, mely során meg kell nyitni valamely böngészőn keresztül a „3DP Rocks”⁴⁵ nevű programot. Ezt követően a képek fölé kell kattintani, majd kiválasztani és feltölteni a kívánt képet. Miután visszatér a modell lapra, látható lesz, hogy a litofán már majdnem készen áll. Azonban a módosításokat addig kell változtatni, ameddig elégedett nem lesz a kapott végeredménnyel a programban. Végül a „Letöltés” gombra kattintva a Modell lapon lehetőség lesz tölteni az STL fájlt, amelyet utána a szeletelő programba kell illeszteni, majd ezt követően kerül végrehajtásra a nyomtatás.

A litofánok vastagságát tekintve 3-4 mm általában jó, de mivel minden szál másképp nyeli el a fényt, érdemes egy gyors tesztet végezni, mielőtt órákig nyomtatnánk egy teljes litofánt, hogy lássuk, nem túl sötét vagy túl világos-e ahhoz, hogy szép kontrasztot kapjunk.

Ezen képek nyomtatásához a PLA tűnik a legoptimálisabb anyagnak, ami így tökéletes lehetőség a litofánok előállításához. A legvékonyabb részek nyomtatásakor áttetszőnek tűnnek, és a vastagság növekedésével egyre sötétebbé válnak. Ez a hatás még hangsúlyosabbá válik, ha fehér PLA-t használunk. A litofánok számára a legjobb alapanyag, a már említett kiváló minőségű PLA, ezen belül pedig a Hatchbox White PLA-t 0,3 mm-es +/- mért pontossága miatt kedvező, ami az iparág legjobbja. A fény sokkal jobban áthalad a fehér szálakon. Ez az oka annak, hogy a fehér litofánok általában jobb minőségűek, mint a más színekből készültek.

Amikor fényt helyezünk a litofán mögé, akkor egy monokróm kép jön létre, ami azt jelenti, hogy csak egy szín fog megjelenni különböző intenzitással. Azonban színes litofánok létrehozásához a fehér PLA-n áthaladó fényforrás fényét kell színezni a képen. A különösen művészi beállítottsággal rendelkezők, akár a belső, akár a külső felületet is megfesthetik. Ez elzárja a fény egy részét, de a hagyományos litofánokat gyakran festik, és az eredmény gyönyörű.

A legjobb minőségű litofánok lassú nyomtatással készülnek, mivel általában minél lassabb a nyomtatás annál jobb lesz a litofánnál kapott nyomtatási eredmény. Ezért a legfontosabb az idő és a minőség megválasztása. Nyomtatásoknál szeretjük a 45 mm/s sebességet választani, azonban a litofánoknál már ez a nyomtatási sebesség gyors, azonban még ezzel a sebességgel is jó eredményeket lehet elérni anélkül, hogy túl sok részletet veszítenénk.

⁴⁵ <https://3dp.rocks/lithophane/>

4. 3D MŰANYAG NYOMTATÁS ALKALMAZÁSA

4.1.Litofán képek nyomtatása

Munkám során kutyaóról készített kép nyomtatására került sor a litofán technológia, 3D nyomtatással történő alkalmazásával. Mely során több változatban is elkészült a nyomtatás, azt vizsgálva, hogy az előállított termék milyen tulajdonságokkal rendelkezik, hogyan adja vissza a valós képet. Így ebből következtetéseket levonva, melyik ígérkezik a leghatékonyabbnak, mind idő és anyagtakarékosság szempontjából.

4.1.1. Kép felbontásának változtatása

Az első nyomtatási sorozat a kép felbontásának megváltoztatásával jöttek létre, mely során öt darab fotó került elkészítésre. Elgondolásom alapján egy 3024x4032 képpont felbontású képet nyomtattam egyre csökkenő képpont számokkal. Melynek az volt a célja, hogy megvizsgáljam, szükséges-e ilyen nagy felbontású képeket nyomtatni, vagy elegendő-e a gyengébb minőségű kép is ahhoz, hogy a valódi kép kivehető legyen. Ezen termékek 5x3,5 cm nagyságban lettek előállítva, mivel nagyobb méretek esetén a magasabb felbontású képek esetén a nyomtató nem tudta feldolgozni a fájlt, illetve nagyon magas nyomtatási idő jött létre.

Az első kép 3024x4032 felbontású volt, és a következő nyomtatási paraméterekkel rendelkezett. Minőségét tekintve a réteg magassága 0,1mm; falvastagsága 1,2mm és a falvonalak száma pedig 3 volt. Kitöltési sűrűsége 100%-os, kitöltése cikcakk mintával történt, valamint nyomtatási sebessége 70 mm/s volt, mivel nyomtatás során általában ez a nyomtatási sebesség a legoptimálisabb a kívánt termék jó minőségű elérése érdekében. Továbbá mindezek mellett a nyomtatás alatt álló tárgy hűtése 100%-ban engedélyezett, mivel a nyomtatás 200°C-on történik és a tárgyasztal hőmérséklete pedig a 60°C., azonban tárgyasztalapadás nincsen és az élönnyomás lehetősége sem engedélyezett. A továbbiakban még négy különböző felbontású kép került nyomtatásra, melyek 1701x2268, 756x1008, 189x252 valamint 60x81 képpontú minőséggel rendelkeztek. a többi nyomtatási paraméter nem került változtatásra annak érdekében, hogy látható eredmény jöjjön létre a képek elkészülése után, a minőségük változtatásának köszönhetően.

A sorozat elkészülte után azt a következtetést vontam le, hogy nem szükséges nagy felbontású képeket nyomtatni, mivel minél nagyobb a kép felbontása annál több időt vesz igénybe a nyomtatás. Megállapítottam, hogy elegendő a 756x1008 képpont felbontású képet nyomtatni, mivel így is megkapjuk a kívánt minőségű eredményt, így a továbbiakban ezen felbontású kép kerül alkalmazásra. Azonban az ennél gyengébb felbontású képek nyomtatott változatának

minősége jelentős mértékben csökken, mivel a 60x81 képen szinte már alig volt kivehető a pontos vonalai a képen látható kutyának.

Az alábbi képeken szemléltetem a nyomtatási eredményt, mely során az előállított litofán termékeket egy LED-panel segítségével azonos fényerősséggel átvilágítottam, így a kép láthatóvá váltak, melynek következtében szemmel látható különbségek láthatók a különböző felbontású képeknél.



11. kép Nyomtatási eredmények szemléltetése (3024x4032, 1701x2268, 756x1008, 189x252, 60x81)⁴⁶

4.1.2. Nyomtatott kép maximális vastagságának változtatása

A második sorozat nyomtatási kísérlet, a kép nyomtatásánál maximális vastagságának változtatásával jött létre, ahol szintén öt eleme volt a sorozatnak. Itt már az előzőekben legalkalmasabbnak talált 759x1008 képpont felbontású kép került nyomtatásra a litofán technológia segítségével, mely már a korábbiakhoz eltérően 8x6 cm-es nagyságban történt. Alapvetően 2 mm, 2,5 mm, 3 mm, 3,5 mm valamint 4 mm maximális rétegvastagsággal történt a nyomtatás. Azonban a többi beállítási tényezőn változtatás nem történt, hogy a lehető leglátványosabb eredmény lehessen elérni a különbségek tekintetében. Így minden egyes test előállítása azonos nyomtatási sebességgel, azaz 70 m/s gyorsasággal valósult meg, valamint a kiöltési érték is 100%-os maradt, és minden további érték maradt a korábbiakban felsorolt.

Az elkészült nyomtatott termékeknél azt tapasztaltam, hogy szemmel látható jelentős különbség volt a képek között, mivel a túlzottan vastag 4 mm-es anyagvastagság, valamint a túl vékony 2 mm-es sem ad vissza szép eredményt. A kép színárnyalatai eltorzulnak, a vékonyonál pedig túlságosan egybe folynak, ennek következtében az elkészült termék nem adja vissza a kívánt eredményt.. Emiatt a legoptimálisabbnak a 3 mm-es maximális vastagságú kép tűnt, mivel ez a

⁴⁶ A kép a szerző saját készítése (2024.03.28)

változat hozta az eredeti kép legszebb másást, valamint a nyomtatási idő és az anyaghasználat is megfelelő volt.



12. kép Különböző maximális vastagsággal elkészített litofán képek átvilágítva (4 mm, 3,5 mm, 3 mm, 2,5 mm, 2 mm)⁴⁷

4.1.3. Nyomtatott kép előállítása különböző nyomtatási sebességgel

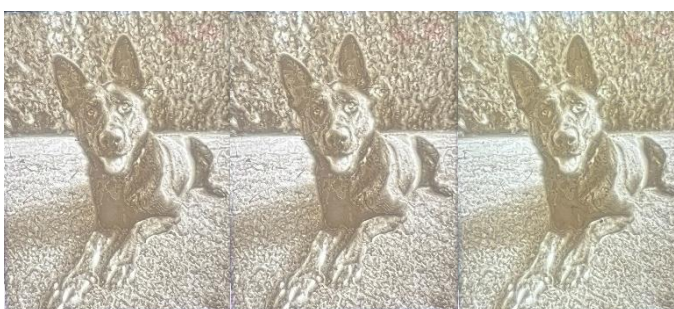
A harmadik nyomtatási képsorozat a nyomtatási sebesség növelésével, illetve csökkentésével történt. Ezek a folyamatok hat különböző sebességgel történtek, melyek a következők voltak. A leggyorsabb 120 mm/s volt, majd ezt követően 20 egységgel folyamatosan csökkentve elértem a leglassabb nyomtatási sebességet ami 20 mm/s. Tehát az értékek a következőképp alakultak, 120 mm/s, 100 mm/s, 80 mm/s, 60 mm/s, 40 mm/s, 20 mm/s. Kisebb nyomtatási sebességgel amiatt nem történt nyomtatás, mivel az már nagyon hosszú nyomtatási időt venne idénybe a nagyobb méretű és felbontású képek esetében.

A Munkám során idáig minden test nyomtatása 70 mm/s gyorsasággal történt, mivel ez az a sebesség, amivel az alkatrészek nyomtatása a legjobb eredmény hozza, a pontosságot tekintve. Azonban szerettem volna megvizsgálni, hogy a litofán nyomtatás esetében is szükséges-e ezt a sebességet használni, vagy a nyomtatási idő csökkentése érdekében alkalmazható gyorsabb nyomtatási sebesség. Azonban az irodalmak a 45 mm/s gyorsasággal történő nyomtatást javasolják, vagy amennyiben lehetséges a még ennél is lassabbat. Azonban a sorozat elkészülése során azt véltem észre venni, hogy szemmel láthatólag nincsenek nagy különbségek a képek minősége között. Ami abból adódhat, hogy ezek a képek nagysága 8x6 cm, azonban nagyobb méretben történő nyomtatásnál valószínű jobban szemügyre vehetők lennének a lehetséges különbségek.

⁴⁷ A kép a szerző saját készítése (2024.03.28)



13. kép 120 mm/s, 100 mm/s illetve 80 mm/s nyomtatási sebességgel készült litofán képek⁴⁸



14. kép 60 mm/s, 40 mm/s illetve 20 mm/s nyomtatási sebességgel készült litofán képek⁴⁹

4.2. Műszerfal ellenőrző lámpái litofán technológiával előállítva

Munkám során továbbá nyomtatásra került adott felirat (15. kép) szemléltetés céljából, illetve különböző műszerfal ellenőrző lámpák visszajelzői (16. kép). Ezekkel azt szeretném szemléltetni, hogy a litofán technológia lehetővé teszi ezen visszajelzők nyomtatását is a vezető fülkében. Így ezek alkalmazhatóak lehetnek a katonai gépjárművekben egyaránt. Ahogyan az ábra is mutatja, a fény megfelelő mértékben szűrődik át a fehér PLA anyagon, emiatt a litofán technológia lehetővé teszi a Magyar Honvédségben rendszeresített Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi egyes műszerfal visszajelző szimbólumainak nyomtatással való helyettesítését (17. kép).



15. kép „STOP” felirat nyomtatva, átvilágítva⁵⁰

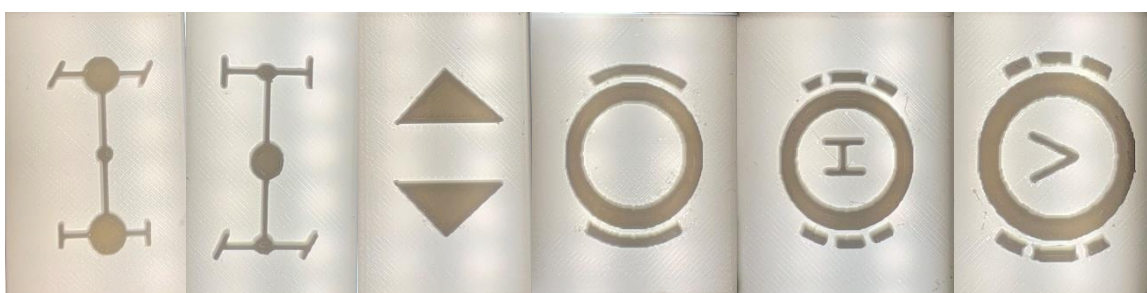
⁴⁸ A kép a szerző saját készítése (2024.03.28)

⁴⁹ A kép a szerző saját készítése (2024.03.28)

⁵⁰ A kép a szerző saját készítése (2024.04.12)



16. kép Műszerfal ellenőrző lámpa szimbólumok⁵¹



17. kép Magyar Honvédségben rendszeresített Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró
tehergépkocsi egyes műszerfal visszajelző szimbólumai ⁵²

4.3.Lámpa búra 3D modell elkészítése

A 3D műanyag nyomtatás legelső eleme a digitális modell létrehozása, amely többféleképpen is történhet. Az első lehetőség egy meglévő munkadarab modellezése 3D szkennel segítségével. A második lehetőség egy teljesen testre szabott modell létrehozása, amely a 3D modellezésre kifejlesztett számítógépes szoftver segítségével végezhető el. Erre a célra számos szoftver áll rendelkezésre, többek között az AutoCAD, a FreeCAD, az OpenSCAD, a TinkerCAD, az Inventor, a Solid Edge és a Fusion360. A munkám során én a Fusion 360 megnevezésű szoftverrel készítettem el a 3D modelleket. Miután e módszerek valamelyikét alkalmaztuk, az így kapott digitális modellt át kell vinni a 3D nyomtatási szoftverbe. Ezt úgy lehet megtenni, hogy a modellt STL formátumban hozzuk létre. Ez az STL formátum képes egy adott test felületét térben ábrázolni és elmenteni.

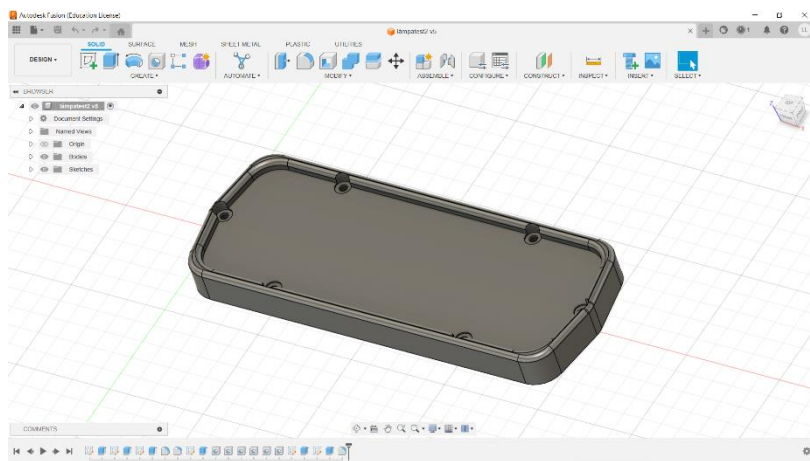
⁵¹ A kép a szerző saját készítése (2024.04.12)

⁵² A kép a szerző saját készítése (2024.04.12)

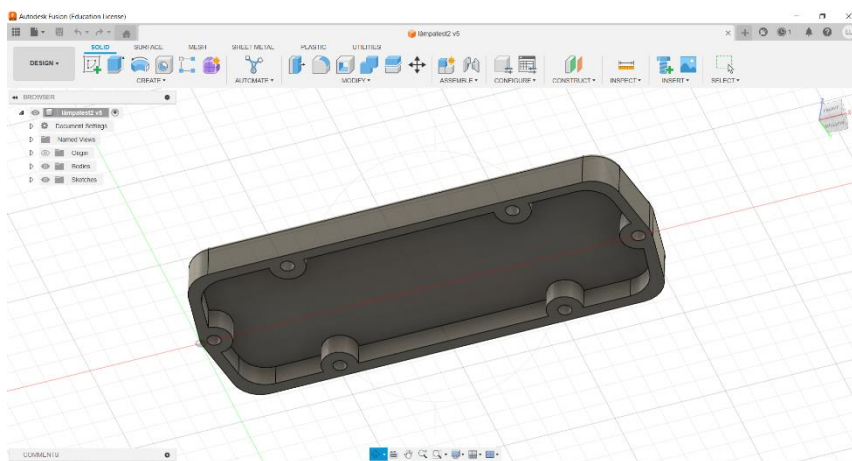
A nyomtatáshoz szükség van egy programra, egy úgynevezett szeletelőre, amelynek az a feladata, hogy létrehozza a kívánt nyomtatási fájlt. Ez az előzetesen beolvasott munkadarabot rétegekre, azaz szeletekre bontja, és létrehozza a megfelelő szerszámpályákat.

Néhány nagyobb vállalatnak saját szeletelőprogramja van, mivel saját formátumot használnak. A szeletelőprogramban kiválaszthatja, hogy a nyomtatandó alkatrésznek hátlapot vagy alapot kíván-e adni, valamint beállíthatja a nyomtatófej hőmérsékletét és sebességét. A paraméterek és utasítások beállítása után megkezdődhet a munkadarab gyártása.

A munkám során a fenti képeken látható 3D modelleket hoztam létre a fusion360 nevű programban (18, 19 kép), melyet tolómérő segítségével méreteztem le, majd vittem fel az adatokat a programba.



18. Kép Fusion360 programban létrehozott lámpabúra felülnézetben⁵³



19. Kép Fusion 360 programban létrehozott lámpabúra alulnézetben⁵⁴

⁵³ A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.03.)

⁵⁴ A kép a szerző saját készítése (Készítve: 2022.03.03.)

Ezt követően a Haditechnikai tanszéken megtalálható Ultimaker nyomtató segítségével nyomtatásra került a lámpabúra.

A test több alkalommal került nyomtatásra, melynek oka a nyomtató minimális pontatlansága, illetve a rajzoló hibák ejtése. Kezdetben a méretek nem egyeztek az eredeti alkatrészével a nyomtatást követően, így a kinyomtatott test nem volt alkalmas a helyére illesztésére. A második nyomtatás befejeztével a test külső méretei már egyeztek, így a búrát be lehetett tenni a helyére, azonban a nyomtató minimális pontatlansága miatt a furatok nem lettek a megfelelő méretűek. Így a csavarok helyei kisebb méretűek lettek, mint az eredeti testen, így változtatni kellett a digitális rajzon, hogy a csavarok bele tudjanak illeszkedni a furatokba.

Ezen hibák javítása után ismét nyomtatásra került a fekete PLA-ból, mely már minden szempontból a megfelelő méretekkel rendelkezett. Ahogyan az ábrán (20. kép) látható ez a búra méreteit tekintve azonos volt az eredetivel, azonban a helyettesítésére még nem volt alkalmas, mivel a gépjármű lámpája nem volt képes átvilágítani ezt az anyagot, illetve a színe sem volt megfelelő a hátsólámpa funkció betöltéséhez.

Ahhoz hogy a test kinyomtatásra tudjon kerülni a belső üreges részeket a nyomtató vízzel oldható támasszal készítette el, így a búra belső részét erre építette fel, melyet a folyamat befejeztével könnyedén el lehetett távolítani (20. kép).



20. kép Az eredeti lámpabúra és annak nyomtatott változatai⁵⁵

Munkám utolsó lépéseként nyomtatásra került a test nyomtatása piros PLA-ból, ahol a test belső része vékonyításra került, annak érdekében, hogy a fény kellő mértékben át tudjon haladni rajta, valamint a bal oldalán kivágásra került kettő különböző átmérőjű kör, ahol az anyag vastagsága is különböző mértékű volt. A nyomtatást követően a búra beszerelésre

⁵⁵ A kép a szerző saját készítése (2024.03.25)

került a méretek ellenőrzése végett, majd megvizsgáltam azt is, hogy milyen mértékben világítja át a nyomtatott testet a gépjármű lámpája. (21. kép)



21. kép Felszerelt lámpabúra világítás nélkül illetve átvilágítva⁵⁶

⁵⁶ A képe a szerző saját készítése (2024.04.12)

5. ÖSSZEGZÉS

Összefoglalva a pályamunkámat, arra a következtetésre jutottam, hogy a litofán technológia 3d nyomtatással történő alkalmazása sok lehetőséget rejt katonai vonatkozásban, azonban ezt a területet még fejleszteni kell. Segítséget tudna nyújtani a különböző gépjárművek műszerfalain található visszajelzők nyomtatásában, mivel alkalmasak a nyomtatott termékek az eredetiek lecserélésére, továbbá alkalmasak mind az első mind a hátsó lámpabúrák használatára, ahogyan ezt szemléltettem is. Ehhez csupán annyi szükséges, hogy elkészítsük az adott digitális modellt, majd megválasszuk a megfelelő anyagvastagságot a kívánt mértékű átvilágítás érdekében. Ezek után pedig már könnyedén létre lehet hozni ezeket a helyettesítő testeket. Munkámban részletesen ismertettem az additív gyártástechnológia fejlődését illetve történetét, főbb technológiáit, eljárásait, valamint a 3D nyomtatás során alkalmazható anyagok széleskörű választékát.

Ismertettem tanszéki vonatkozásban a Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karán megtalálható 3D műanyag-, kompozit- és fémnyomtatókat. Ismertettem fontosabb adataikat, paramétereiket és előnyeiket, illetve megállapítottam az előnyét az egyetemen folyó, és a Honvédség számára nagy fontossággal járó tisztképzéshez való hozzájárulását a technológiának. Ezt követően bemutattam a litofán technológiának történetét és ennek alkalmazásának módját

Pályamunkám utolsó részében pedig ismertettem, milyen kísérleteket végeztem annak érdekében, hogy a litofán technológia 3D nyomtatással történő alkalmazása hogyan lehetne alkalmazható a katonaságban. Ennek érdekében három fő nyomtatási kísérlet volt, mely keretein belül egy adott képet nyomtattam különböző értékekkel, adatokkal. Ezután pedig nyomtatásra került a Magyar Honvédségben rendszeresített Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi hátsó lámpájának búrája. Amely a méret tökéletesítése végett többször is nyomtatásra került, majd végső termékként piros PLA-ból is elő lett állítva, ahol kettő különböző átmérőjű kör került különböző mélységben kivágásra, azt szemléltetően, hogy az eltérő vastagság miatt hogyan engedi át a fényt a test.

FELHASZNÁLT IRODALMAK JEGYZÉKE

1. <https://shop.freedee.hu/Ultimaker-S3-ketfejes-3D-nyomtato>
2. <https://shop.freedee.hu/Onyx-Pro-kompozit-3D-nyomtato>
3. Horváth Ádám, Kurucz Attila - A 3D nyomtatás története és jövőbeli kérdései:
https://kgk.sze.hu/images/dokumentumok/kautzkiadvany2016/HorvathA_KuruczA.pdf
4. CNC média – Minden, amit a 3D nyomtatásról tudni kell (2020.05.11)
<https://www.cnc.hu/2020/05/minden-amit-a-3d-nyomtatasrol-tudni-kell/>
5. <https://people.inf.elte.hu/prbraai/szamalap/bead1/>
6. 3D moments – Litofán története
<https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/>
7. Frankli Márk – 3D nyomtatás Technológiák, Litofánok, Képek (2022.02.28)
<https://www.zaccord.com/blog?id=17>
8. <https://gobertpartners.com/how-are-lithophanes-made>
9. <https://3dp.rocks/lithophane/>
10. BNC3D – Mikor találták fel a 3D nyomtatást? A 3D nyomtatás története (2020.05.15)
<https://www.bcn3d.com/the-history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>
11. Laura Griffiths – Angus 3D Solutions to install Markforged Metal X 3D printer (2018.11.05)
<https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/angus-3d-solutions-markforged-metal-x/>
12. Elizabeth Matias, Bharat Rao – 3D printing: On its historical evolution and the implications for business (2015.08.)
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7273052>
13. Eda Hazal Tümer, Husunu Yildirim Erbil – Extrusion-Based 3D Printing Applications of PLA Composites: A Review (2021.03.21)
<https://www.mdpi.com/2079-6412/11/4/390>
14. <http://hu.insta3dp.com/info/3d-printing-history-development-41307276.html>

15. 3D nyomtatás története 3.rész - RepRap

<https://addict3d.hu/?p=17885167>

16. Kocsis Bence - Az additív és szubsztaktív technológia katonai vonatkozású alkalmazási lehetőségeinek összehasonlító vizsgálata, Katona Műszak Közlöny, 29. évfolyam (2019) 2. szám 95–104. • DOI: 10.32562/mkk.2019.2.8.

17. <https://3dnyomtatás.varinex.hu/3d-nyomtatás-az-autoiparban/>

18. <https://autopro.hu/trend/3d-nyomtatás-az-autoiparban-mit-hoz-a-jovo/153818>

19. Changnian Chen, Zhen Xu, Hongxia Zhao, Zeting Yu, Jitian Han, Tien-Chien Jen -The characteristics of Heat Transfer in Plate Phase Change Energy Storage Unit (SMPM 2019)

20. Huszár István – Tárgyasult ötletek, 3D nyomtatás és tervezés (2021)