

Lajtos Luca,¹ Vég Róbert²

Litofán technológia 3D-nyomtatással történő alkalmazása és annak lehetséges katonai vonatkozásai

Lithophane Technology 3D Printing and Its Possible Military Implications

A 3D-nyomtatás ma már széles körben elterjedt additív gyártástechnológia, amelyet a hobbi célú felhasználás mellett az iparban is széleskörűen alkalmaznak. Számos különböző technológia alkalmazásával széles körű anyagfelhasználással elő lehet állítani a 3D-nyomtatott termékeket. Az elmúlt évszázadokban már készítettek litofán termékeket, de a 3D-nyomtatás új lendületet adott ennek a technológiának, amellyel esztétikus tárgyakat lehet előállítani. A cikk feldolgozza a litofánok történetét és a 3D-nyomtatással történő előállításának lehetőségeit. Kísérletek végzésével tesz javaslatot egyes nyomtatóbeállítási paraméterekre, és megvizsgálja a technika katonai alkalmazásának lehetőségeit.

Kulcsszavak: kitöltési minta, kitöltési tényező, 3D-nyomtatás, litofán

3D printing is now a widespread additive manufacturing technology, widely used in industry as well as for hobby purposes. A wide variety of technologies can be used to produce 3D printed products using a wide range of materials. Lithophane products have been made in centuries past, but 3D printing has given a new impetus to this technology, which can be used to create aesthetic objects. The article discusses the history of lithophanes and the possibilities of producing them using 3D printing. It will carry out experiments to propose specific printer settings and investigate the potential military applications of the technique.

Keywords: filling pattern, filling factor, 3D printing, Lithophane

¹ Honvéd tisztjelölt, e-mail: lajtos.luc@gmail.com

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: vegh.robort@uni-nke.hu

Bevezetés

A 3D-nyomtatás olyan additív gyártási folyamat, amelynek során egyedi, akár igen bonyolult geometriájú szilárd tárgyakat vagy termékeket állítanak elő egy előre megtervezett (CAD³-) fájlból. A gyártási folyamatot mindig megelőzi egy digitális modell létrehozása. A kívánt alakot úgy hozzák létre, hogy fokozatosan egymásra épülnek az anyagrétegek, ahol minden egyes réteg a végtermék virtuális szűk keresztmetszetének tekinthető.⁴ Az alapján, hogy milyen fizikai eljárással kivitelezik az adott munkadarabot, ma már számos technológia (például szálolvasztás, sztereolitográfia vagy szelektív lézeres szinterezés elvét alkalmazó), illetve az egyes technológiák során felhasználható alapanyag (például műanyagok, kompozitok, fémek, félvezetők, építőipari vagy akár szerves anyagok, élő szövetek) áll a kutatók és fejlesztők rendelkezésére. Ezek felhasználásával változatos, akár bonyolult geometriájú testek, struktúrák, különböző mechanikai, villamos, termikus vagy vegyi tulajdonságokkal rendelkező mozgó gépek, elektronikai eszközök vagy komplex rendszerek is készíthetők, amelyek polgári és katonai felhasználása egyaránt lehetséges.⁵ A 3D-nyomtatással létrehozott tárgyak gyakran könnyűek és erősek, valamint lehetővé teszik az anyagok optimalizált felhasználását. Környezetvédelmi szempontból előnyös, hogy ez a gyártástechnológia lehetővé teszi az anyagfelhasználás minimalizálását, ezzel a keletkező hulladék mennyiségének a csökkentését. A nyomtatott termék felületi minősége nagyban függ a lerakott rétegek vastagságától, a nyomtatási sebességtől, valamint a munkadarab tájolásától. Fontos figyelembe venni a termék geometriáját, mivel a nyomtatandó alkatrész méretének figyelembevételével szükség lehet alátámasztások alkalmazására. A nyomtatás rétegekialakítása meghatározza a mechanikai tulajdonságokat és a késztermék méretpontosságát, valamint hogy a nyomtató milyen gyorsan tudja előállítani az alkatrészt, és mennyi utómunkára van szükség. Az ipari alkalmazások mellett (például orvostudomány, járműipar, építőipar, űrkutatás) a 3D-nyomtatás jelentős szerepet játszik a kutatás és fejlesztés területén is, ezzel elősegítve az új anyagok és termékek gyors prototípusgyártását. A kompozit alapanyagok és a szálerősítéses nyomtatás átmenetet teremtenek a műanyagok és a fém alapanyagok között az anyagtulajdonsági szempontok alapján, ami kibővíti ennek a gyártási eljárásnak a felhasználási lehetőségeit.⁶ A 3D-nyomtatást már széleskörűen használják a nagy járműgyártó vállalatoknál, aminek következtében javul az ellátásbiztonságuk is. Hasonló elgondolások alapján, komoly erőfeszítések irányulnak a 3D-nyomtatás katonai alkalmazhatóságának vizsgálatára is.⁷ A litofán technikát a 3D-nyomtatás során alkalmazzák, de nagyrészt csak esztétikai elemek és ajándéktárgyak előállításánál, ezért célszerű megvizsgálni annak lehetőségét, hogy más, akár ipari alkalmazási területen is hasznos lehet-e.

³ CAD: *computer-aided design*, vagyis számítógépes tervezés.

⁴ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2022: 56–60.

⁵ GÁL–NÉMETH 2019.

⁶ GÁVAY 2023.

⁷ VÉGVÁRI 2023: 179.

A litofánok megjelenése

Franciaországban, Németországban és Poroszországban szinte egyidejűleg jelentek meg az európai litofánok, majd Angliában az 1820-as évek végén. Más vélemények szerint 1827-ben Paul de Bourgoing⁸ báró (1791–1864) találta fel a litofán eljárást, amelynek 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 Königlich Porzellan-Manufaktur és a Porzellanmanufaktur. Ez az oka annak, hogy a litofánokat néha berlini fóliának nevezik.⁹

Sok történész azonban úgy gondolja, hogy közel ezer évvel ezelőttről, a kínai Tang-dinasztia idejéből származott az ötlet inspirációja. R. L. Hobson¹⁰ 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, amely hasonlít 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 mádmotívumokkal mutatták be. A japán litofán teáskészleteket (1. ábra) *dragonware*-nek nevezik, és 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 Chine¹¹ kifejezést használták az erősen áttetsző kínai porcelánra.¹²

A 17. és 18. században a francia, német és angol porcelángyárak a kínai Blanc de Chine kifejezést utánozták. Ugyanezek a gyárak 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.¹³ A viaszt vékony és vastag rétegek váltakozásával vágták, így a vékony részeket a fény áthatolt, míg a vastag részek elzárták a fényt. Így a fénykülönbségek a kép részleteit mutatták meg. A litofánokat a 19. században Ausztriában, Belgiumban, a Cseh Köztársaságban, Dániában, Angliában, Franciaországban, Németországban, Írországban, 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.¹⁴

⁸ Paul-Charles-Amable de Bourgoing.

⁹ ROMULE 2024.

¹⁰ Robert Lockhart Hobson.

¹¹ Kínai fehér.

¹² MARCHANT 2024.

¹³ 3D moments.

¹⁴ CARNEY 2007.

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 felkeltették az érdeklődést az elektromosság előtti kor gyengén megvilágított otthonaiban, mert még halvány gyertyafényben is meg lehetett jeleníteni képeiket, a természeti jelenetektől kezdve a történelmi katonai vagy politikai személyiségeken át a romantikus érdeklődésű személyekig. Amikor a fényképezés és az elektromosság elterjedt, a litofánok iránti érdeklődés alábbhagyott, és a 20. századra már szinte nem is készültek.¹⁵

A litofánok mindenféle formátumban előfordultak akkoriban, az ablaktábláktól a gyertyatartókig, de megtalálhatók 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 (1. ábra).



1. ábra: Litofán kép és lámpa

Forrás: <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/>, www.catawiki.com/hu/l/38050169-schierholz-plaue-asztali-lampa-litofan-lapokkal-porcelan

Henry Barnard, Samuel Colt első életrajzírója szerint Colt több tucatnyi litofánt rendelt és helyezett el új otthonában (Armsmead) a connecticuti Hartfordban, amelyeket 1855-ben és 1856-ban vásárolt Berlinben. Humoros litofánok kerültek Colt új otthonának biliárszobája ablakaiba. A trafalgari csatát ábrázoló különösen érdekes volt. Barnard a litofánokat „igazi művészeti galériának” nevezte. Az 1857 és 1861 között az Armsmeadon készült képek több mint 100 litofánt ábrázoltak. Egy 1907-es fényképen Armsmead litofánjai még mindig a helyükön vannak. Colt számos fennmaradt litofánja ma a Wadsworth Atheneum Művészeti Múzeumban

¹⁵ OSSER 2022.

található. Samuel Coltnak 111 litofánja volt, ebből 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 (2. ábra).



2. ábra: Samuel Colt litofánja 1855-ben, előlről és hátulról megvilágítva

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

A litofánok elkészítési módja

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 játékával. 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.¹⁶

A 3D-nyomatott litofánoknak nem feltétlenül kell fehérnek lenniük, de a fény sokkal jobban áthatol a fehér filament szálon, ami jobb minőségű litofánokat eredményez. Természetesen lehetséges különböző színű litofánokat is nyomtatni, de ezek nem működnek olyan jól, mint a fehérek.

Sajnos nem lehetséges 3D-nyomatást készíteni képfájlból, pdf-ből vagy fényképből. Mindig szükség van egy 3D-modellre, mielőtt bármit is 3D-ben lehetne nyomtatni. A 3D-modell egy virtuális bemeneti adat, amelyre a 3D-nyomatónak szüksége van egy tárgy kinyomtatásához. Vannak ingyenes alkalmazások, például a lithophanemaker.com vagy itslitho.com, amelyek képesek a fényképeket 3D-modellé alakítani, amelyet utána a szeletelő programba kell illeszteni, majd következhet a nyomtatás.¹⁷

¹⁶ Lásd: www.schedel-gardens.org/what-is-a-lithophane.html

¹⁷ MILBURN 2024.

A litofánok vastagságát tekintve a 3-4 mm általában megfelelő, de mivel minden szál más-képp 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.

Nyomtatásukhoz a PLA tűnik az optimális anyagnak. A legvékonyabb részek nyomtatáskor 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 0,3 mm-es +/- mértpontossága miatt kedvező, az iparág egyik legjobbjá.

Amikor fényt helyezünk a litofán mögé, monokróm kép jön létre, ami azt jelenti, hogy csak egy szín fog megjelenni különböző intenzitással. Színes litofánok létrehozásához a fehér PLA-n áthaladó fényforrás fényét kell színeznünk 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, ami esztétikus eredményt produkál.

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 ideális a 45 mm/s sebességet választani, azonban a litofánoknál ez a nyomtatási sebesség már gyors lehet, igaz, ezzel a sebességgel is jó eredményeket lehet elérni anélkül, hogy túl sok részletet veszítenénk.¹⁸

Litofán képek nyomtatása

A litofán technológia alkalmazása során 3D-nyomtatással több képet is kinyomtatunk, az egyes paramétereket változtattuk. A kutatás során azt vizsgáltuk, hogy az előállított termék milyen tulajdonságokkal rendelkezik, és hogyan adja vissza a valós képet. A kapott eredményekből következtetéseket levonva meghatároztuk, hogy melyik a leghatékonyabb nyomtatási beállítás idő- és anyagtakarékosság szempontjából.

A kép felbontásának változtatása

Az első nyomtatási sorozat a kép felbontásának megváltoztatásával jött létre, amely során öt darab fotót készítettünk. Egy 3024 × 4032 képpont felbontású képet nyomtatunk egyre csökkenő képpontszámokkal. A cél az volt, hogy megvizsgáljuk, szükséges-e ilyen nagy felbontású képeket nyomtatni, vagy elegendő a gyengébb minőségű kép is ahhoz, hogy a valódi kép kivehető legyen. Ezeket a végtermékeket 50 × 35 mm nagyságban állítottuk elő, mivel nagyobb méretek esetén a magasabb felbontású képeknél a nyomtató nem tudta feldolgozni a fájlt, illetve nagyon magas volt a nyomtatási idő.

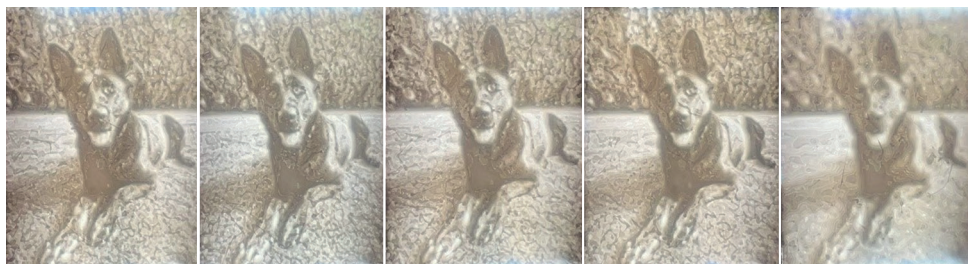
Az első kép 3024 × 4032 felbontású volt, és a következő nyomtatási paraméterekkel rendelkezett: minőségét tekintve a réteg magassága 0,1 mm, falvastagsága 1,2 mm és a falvonalak száma pedig 3 volt. Kitöltési sűrűsége 100%-os, kitöltése cikcakk mintával történt,

¹⁸ gobertpartners.com 2022.

valamint nyomtatási sebessége 70 mm/s volt, mivel nyomtatás során általában ez a nyomtatási sebesség jó kompromisszumos érték 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 60 °C. A továbbiakban még négy különböző felbontású képet nyomtattunk, amelyek 1701 × 2268, 756 × 1008, 189 × 252, valamint 60 × 81 képpontból álltak. A többi nyomtatási paramétert nem változtattuk annak érdekében, hogy látható eredmény jöjjön létre a képek elkészülése után.

A sorozat kinyomtatása után azt a következtetést vontuk le, hogy nem szükséges nagy felbontású képeket nyomtatni, mivel minél nagyobb a kép felbontása, annál több időt vesz igénybe a nyomtatás. Megállapítottuk, hogy 50 × 35 mm-es méretnél elegendő a 756 × 1008 képpontfelbontású képet nyomtatni, mivel így is megkapjuk a kívánt minőségű eredményt, így a továbbiakban ezt a felbontású képet alkalmazzuk. Azonban az ennél gyengébb felbontású képek nyomtatott változatának minősége jelentős mértékben csökken, mivel a 60 × 81-es képen szinte már alig volt kivehető a képen látható kutya pontos vonala.

Az alábbi képeken szemléltettük a nyomtatási eredményt: az előállított litofán termékeket egy LED-panel segítségével azonos fényerősséggel átvilágítottuk, így a képek láthatóvá váltak, aminek következtében szemmel látható különbségek fedezhetők fel a különböző felbontású képek között (3. ábra).



3. ábra: Nyomtatási eredmények szemléltetése (3024 × 4032, 1701 × 2268, 756 × 1008, 189 × 252, 60 × 81)
Forrás: a szerzők szerkesztése

Nyomtatott kép maximális vastagságának változtatása

A második sorozat nyomtatási kísérlet a kép maximális vastagságának változtatásával jött létre, ahol szintén öt eleme volt a sorozatnak. Itt már az előzőekben legalkalmasabbnak talált 759 × 1008 képpontfelbontású képet nyomtattunk a litofán technológia segítségével, a korábbiaktól eltérően 80 × 60 mm-es nagyságban. 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 eredményt lehessen elérni a különbségek tekintetében. Így minden egyes test előállítása azonos nyomtatási sebességgel, azaz 70 m/s gyorsasággal valósult meg, valamint a kitöltési érték is 100%-os maradt.

Az elkészült nyomtatott képeknél (4. ábra) azt tapasztaltuk, hogy szemmel látható jelentős különbség volt a képek között, mivel a 4 mm-es, valamint a 2 mm-es anyagvastagság sem adott vissza szép eredményt. A kép színárnyalatai eltorzultak, a vékonynál pedig túlságosan egybefolytak, ennek következtében az elkészült kép nem adta vissza a kívánt eredményt. Optimálisnak így a 3 mm-es maximális vastagságú kép tűnt, mivel ez a változat hozta az eredeti kép legszebb mását, valamint a nyomtatási idő és az anyaghasználat is megfelelő volt.

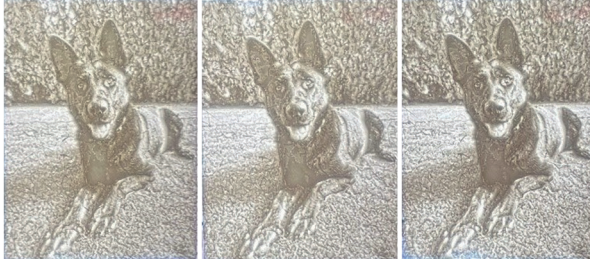


4. ábra: Különböző maximális vastagsággal elkészített litofán képek átvilágítva (4 mm, 3,5 mm, 3 mm, 2,5 mm, 2 mm)
Forrás: a szerzők szerkesztése

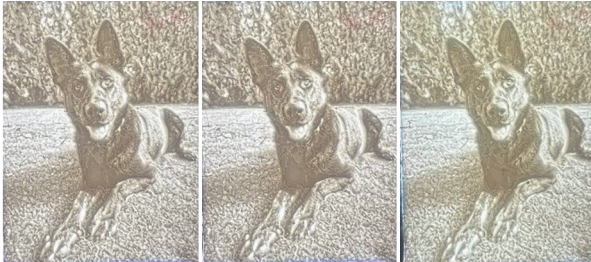
Nyomatott kép előállításának különböző nyomtatási sebességgel

A harmadik nyomtatási képsorozatot a nyomtatási sebesség növelésével, illetve csökkentésével állítottuk elő. Ezek a folyamatok hat különböző sebességgel valósultak meg, ahol a leggyorsabb 120 mm/s volt, majd ezt követően 20 egységgel folyamatosan csökkentve elértük a leglassabb nyomtatási sebességet, ami 20 mm/s volt. Tehát az értékek a következőképp alakultak: 120 mm/s, 100 mm/s, 80 mm/s, 60 mm/s, 40 mm/s és 20 mm/s. Kisebb nyomtatási sebességgel azért nem dolgoztunk, mert az már irreálisan hosszú nyomtatási időt vett volna igénybe a nagyobb méretű és felbontású képek esetében.

A nyomtatóval korábban készült testek esetében a nyomtatási sebesség mindig 70 mm/s volt, mivel ez az a sebesség, amivel az alkatrészek nyomtatása a legjobb eredményt hozza. Azonban szerettük volna megvizsgálni, hogy a litofánnymtatás esetében is szükséges-e ezt a sebességet használni, vagy a nyomtatási idő csökkentése érdekében alkalmazható gyorsabb nyomtatási sebesség. Az irodalmak a 45 mm/s gyorsaságú nyomtatást javasolják, vagy amennyiben lehetséges, a még ennél is lassabbat. Azonban a sorozat elkészülése során azt vettük észre, hogy szemmel láthatólag nincsenek nagy különbségek a képek minőségei között, ami abból adódhat, hogy ezeknek a képeknek a nagysága 80 × 60 mm; nagyobb méretben történő nyomtatásnál valószínűleg jobban szemügyre vehetők lennének az adódó különbségek (5. ábra, 6. ábra).



5. ábra: 120 mm/s, 100 mm/s, illetve 80 mm/s nyomtatási sebességgel készült litofán képek
Forrás: a szerzőszerkesztése

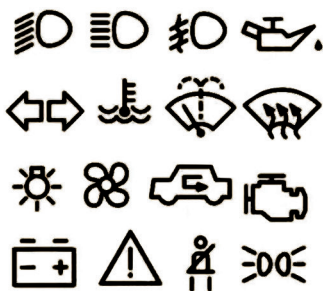


6. ábra: 60 mm/s, 40 mm/s, illetve 20 mm/s nyomtatási sebességgel készült litofán képek
Forrás: a szerzőszerkesztése

Litofán technika alkalmazása műszerfal-ellenőrző lámpák és lámpabúra előállítására

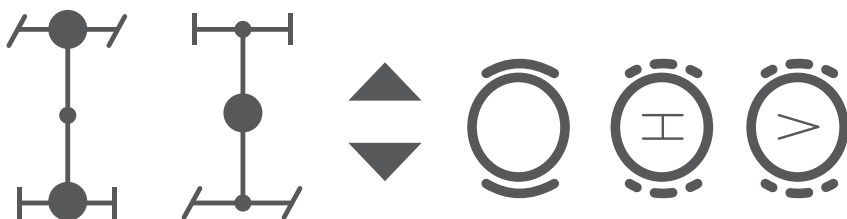
A litofán technika kikísérletezett paramétereinek beállításával nyomtattuk ki egy gépjármű-műszerfal visszajelző lámpáit (7. ábra). Az ábrákon jól láthatók és egyértelműen azonosíthatók a szimbólumok. A szimbólumok nyomtatásával azt szemléltetjük, hogy a litofán technológia lehetővé teszi e visszajelzők nyomtatását, így ezek alkalmazhatók lehetnek a katonai gépjárművekben is. Ahogyan az ábra mutatja, a fény megfelelő mértékben szűrődik át a fehér PLA-anyagon, emiatt a litofán technológia lehetővé teszi a Magyar Honvédségben rendszerített Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi egyes műszerfal-visszajelző szimbólumainak nyomtatással való helyettesítését (8. ábra).

STOP!



7. ábra: „STOP” felirat és műszerfal-ellenőrző lámpa szimbólumai

Forrás: a szerzők szerkesztése



8. ábra: A Mercedes-Benz Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi egyes műszerfal-visszajelző szimbólumai

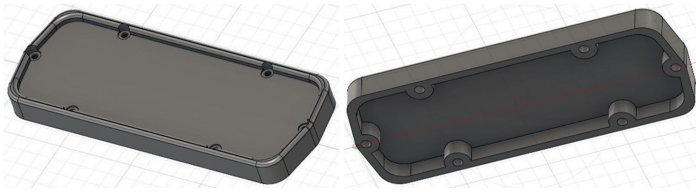
Forrás: a szerzők szerkesztése

Egy 3D műanyag nyomtatás legelső eleme a digitális modell létrehozása, ami többféleképpen is történhet.¹⁹ Az első lehetőség egy meglévő munkadarab modellezése 3D-szkennerek 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 Fusion360.²⁰ Munkánk során mi a Fusion 360 szoftverrel készítettük el a 3D-modelleket, az így kapott digitális modellt kellett átvinni stl-formátumban a szeletelő programba (Cura). A Cura program végezte el a munkadarab rétegekre bontását (szeletelését) és hozta létre a megfelelő szerszám pályákat.

A tervezés során az eredeti alkatrészről történt a méretfelvétel egyéni mérőeszközök segítségével, majd a 3D-modell megrajzolása (9. ábra).

¹⁹ HEGEDŰS 2023.

²⁰ GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022; GYARMATI 2023.



9. ábra: A Fusion 360 programban létrehozott lámpabúra 3D-modelljének felül- és alulnézete
Forrás: a szerzőszerkesztése

A lámpatestet PLA-ból nyomtattuk, a méretek pontosítása és javítása után a végleges méretben. A nyomtatás során PVA (vízzel oldható) támaszanyagot alkalmaztunk (a belső üreges részek megtámasztására), amely a nyomtatás után könnyen és roncsolásmentesen eltávolítható, ezáltal a kinyomtatott alkatrész nem sérül meg (10. ábra).



10. ábra: Az eredeti lámpabúra és annak nyomtatott változatai
Forrás: a szerzőszerkesztése

Utolsó lépés volt a test piros PLA-ból nyomtatása, ahol a test belső részét vékonyítottuk annak érdekében, hogy a fény kellő mértékben át tudjon haladni rajta, valamint a bal oldalon kivágtunk kettő különböző átmérőjű kört, ahol az anyag vastagsága is különböző mértékű volt. A nyomtatás után beszereltük a búrát a méretek ellenőrzése végett, majd megvizsgáltuk azt is, hogy milyen mértékben világítja át a nyomtatott testet a gépjármű lámpatestjében elhelyezett izzó (11. ábra).



11. ábra: Felszerelt lámpabúra világítás nélkül, illetve átvilágítva
Forrás: a szerzőszerkesztése

Összefoglalás

A cikk összefoglalta és bemutatta a litofánok fejlődéstörténetét, a különböző korokban alkalmazásának megvalósulásait, a 3D-nyomtatással megvalósított litofán képek elkészítési módját. Kísérleti nyomtatások által, ahol a kép felbontását, a kép maximális vastagságát és a nyomtatás különböző sebességeit változtattuk, meghatároztuk az optimális beállítási jellemzőket. A cikk megvizsgálta a litofán technika alkalmazását különböző gépjárműtechnikai alkatrészek előállítására. A litofán technika 3D-nyomtatással történő alkalmazásával előállítottuk a Mercedes-Benz Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi egyes műszerfal-visszajelző szimbólumait, valamint hátsó lámpaburáját. A nyomtatott elemeket átvilágítási próbával ellenőriztük és validáltuk.

Felhasznált irodalom

- 3D moments [é. n.]: *Litofán története*. Online: <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/>
- CARNEY, Margaret (2007): Lithophanes and Asia: Translucent Translations. *Ceramics Monthly*, 55(8). Online: <https://davefinneganceramics.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/lithophanes-and-asia.pdf>
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GÁVAY György Viktor (2023): Logisztikai járművek alkatrészpótlása 3D nyomtatási technológia alkalmazásával. *Katonai Logisztika*, 31(3–4), 208–232. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208>
- Gobertpartners.com (2022): *How Are Lithophanes Made?* Online: <https://gobertpartners.com/how-are-lithophanes-made>
- GYARMATI József (2023): Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D modellezése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 51–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.5>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- HEGEDŰS Ernő (2023): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.4.12>
- MILBURN, Sandra J. (2024): Do You Know What a Lithophane Is? Find out at a workshop at the Hutchinson library. *The Hutchinson News*. Online: <https://eu.hutchnews.com/story/news/2022/05/25/lithophane-workshop-librarys-makerspace-illuminates-photos-hutchinson-public-kansas/9713073002/>
- NILSSON, Jan-Erik (2023): *Anhua Secret or Hidden decoration on Chinese Porcelain*. Online: www.gotheborg.com/glossary/anhua.shtml
- Marchant (2024): *Blanc de Chine*. Online: www.marchantasianart.com/shop/porcelain-works-of-art/blanc-de-chine-porcelain/
- OSSER, Stephanie (2022): A New Path with Lithophanes. *Ceramics Monthly*, 2022. február. Online: <https://ceramicartsnetwork.org/ceramics-monthly/ceramics-monthly-article/a-new-path-with-lithophanes#>

- ROMULE, Ilona (2024): *Lithophane with Ilona Romule*. Online: www.icshu.org/lithophane.html
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 33(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei. 1. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–63. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>