HADMÉRNÖK
KATONAI LOGISZTIKA

21. évfolyam (2026) 3. szám 165–183.
DOI: 10.32567/hm.2026.3.11

Szajkó Gyula,[1] Pap Andrea,[2] Vég Róbert László[3]

A 3D-nyomtatással készült üzemanyag-szaktechnikai eszköz felhasználása a katonai felsőoktatásban

Application of 3D-Printed Specialised Fuel Equipment in Military Higher Education

Absztrakt

A Magyar Honvédség (MH) számára kiemelten fontos, hogy küldetésorientált vezetőket, leendő tiszteket képezzenek a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar katonai alapképzési szakjain. Ez a követelmény megjelenik a katonai logisztika alapképzési szakon tanulmányokat folytató honvédtisztjelöltekkel szemben is, akiknek nem csupán elméleti ismeretekkel kell rendelkezniük, hanem magas szintű gyakorlati kompetenciákat is el kell sajátítaniuk. A modern hadviselés és a katonai logisztika komplexitása, valamint a technológiai fejlődés gyors üteme új kihívások elé állítja a katonai felsőoktatást, amelynek egyik kulcskérdése az innovatív oktatási módszerek és eszközök integrálása. Ehhez kapcsolódóan a tanulmány középpontjába egy 3D-nyomtatással készített üzemanyag-szaktechnikai eszköz oktatási célú alkalmazásának lehetősége kerül. Az additív gyártástechnológia az elmúlt évtizedben jelentős fejlődésen ment keresztül, és egyre szélesebb körben jelenik meg mind az ipari, mind az oktatási környezetben. A technológia egyik legfontosabb előnye a gyors prototípusgyártás, a költséghatékonyság, valamint az a képesség,

[1] Adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Logisztikai Intézet Hadtáp, Pénzügyi és Katonai Közlekedési Tanszék, e-mail: szajko.gyula@uni-nke.hu

[2] Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Logisztikai Intézet Hadtáp, Pénzügyi és Katonai Közlekedési Tanszék, e-mail: pap.andrea@uni-nke.hu

[3] Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Hadtáp, Pénzügyi és Katonai Közlekedési Tanszék; tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Hadtudományi Doktori Iskola, e-mail: vegh.robert@uni-nke.hu

hogy komplex geometriai formák is könnyen előállíthatók vele. Ezek a tulajdonságok különösen alkalmassá teszik a 3D-nyomtatást olyan speciális üzemanyag-szaktechnikai eszközök modelljeinek létrehozására, amelyek hagyományos módszerekkel nehezen, drágán vagy egyáltalán nem lennének hozzáférhetők az oktatás számára. A tanulmány ismerteti, hogy miként alkalmazhatók ezek az eszközök demonstrációs és magyarázó segédeszközként az oktatásban.

Kulcsszavak: 3D-nyomtatás, üzemanyag-szaktechnikai eszköz, átfolyásmérő, katonai felsőoktatás, alkalmazhatóság

Abstract

It is of paramount importance for the Hungarian Defence Forces (HDF) to train mission-oriented leaders and future officers across all undergraduate programmes at the Faculty of Military Science and Officer Training of the Ludovika University of Public Service. This requirement also applies to cadets enrolled in the Military Logistics Bachelor's programme, who are expected to acquire not only theoretical knowledge but also a high level of practical competencies. The complexity of modern warfare, the increasing sophistication of military logistics, and the rapid pace of technological development pose new challenges for military higher education. One of the key issues in this context is the integration of innovative teaching methods and tools into the educational process. This study focuses on the potential application of 3D-printed specialised fuel-handling equipment for educational purposes in military higher education. Additive manufacturing technology has undergone significant development in recent decades and is increasingly utilised in both industrial and educational environments. Its main advantages include rapid prototyping, cost-effectiveness, and the ability to produce complex geometrical structures with relative ease. These characteristics make 3D printing particularly suitable for producing models of specialised fuel-handling equipment that would otherwise be difficult, expensive, or impossible to access using traditional methods in an educational context. The study demonstrates how such tools can be effectively used as demonstrative and explanatory teaching aids in military higher education.

Keywords: 3D printing, specialised fuel-handling equipment, fuel flow meter, military higher education, application

Bevezetés

A 21. század biztonságpolitikai és védelmi ipari környezete jelentős változásokon megy keresztül, ami alapvetően új követelményeket támaszt a modern fegyveres erőkkel, valamint a katonai felsőoktatással szemben. A korszerű hadviselés egyik meghatározó jellemzője a technológiai fejlődés felgyorsulása, amely nemcsak a harceljárásokat vagy a műveletek intenzitását, hanem a logisztikai rendszerek működését és fejlesztését is nagymértékben befolyásolja. Ennek következtében a katonai felsőoktatási intézményeknek olyan korszerű oktatási módszereket és innovatív technológiai

megoldásokat kell alkalmazniuk, amelyek elősegítik a hallgatók gyakorlatorientált képzését és a haditechnikai rendszerek mélyebb megértését.

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar egyik kiemelt feladata olyan honvédtisztjelöltek képzése, akik képesek megfelelni a Magyar Honvédség előtt álló összetett szakmai és vezetői kihívásoknak. A katonai logisztika alapképzési szak honvédtisztjelöltjei számára különösen fontos a technikai eszközök működésének, alkalmazási lehetőségeinek megismerése és az üzemeltetésükkel kapcsolatos tapasztaltok feldolgozása. Az üzemanyag biztosítása és az ahhoz kapcsolódó szaktechnikai rendszerek a katonai logisztika, azon belül a hadtáptámogatás egyik meghatározó területét képezik, mivel a műveleti képességek fenntartásának alapvető feltétele a megfelelő mennyiségű és minőségű hajtóanyagkészletek biztosítása.[4] A technikai eszközök (például az üzemanyagtöltő gépjárművek, a motoros hajtóanyag-szivattyúk, az átfolyásmérő berendezések) azonban jellemzően olyan méretűek, valamint olyan magas beszerzési és fenntartási költséggel rendelkeznek, hogy csak korlátozottan állnak rendelkezésre az oktatási környezetben. A probléma kezelésének egyik lehetséges megoldását jelentheti az additív gyártástechnológia és azon belül a 3D-nyomtatás, amely az elmúlt években egyre jelentősebb szerepet kapott mind az ipari, mind az oktatási szektorban.[5]

A 3D-nyomtatás gyűjtőfogalma több, egymással párhuzamosan fejlődő additív gyártási eljárást foglal magában, amelyek sajátosságaik révén lehetővé teszik különféle alkatrészek, modellek és prototípusok[6] gyors, pontos és költséghatékony előállítását. Emellett a technológia komplex geometriai formák – például különleges töltetek[7] vagy pilóta nélküli légijárművek alkatrészeinek – gyártására is alkalmas.[8] Rugalmasságából és helyszíni alkalmazhatóságából adódóan a 3D-nyomtatás a műveleti logisztika területén is jelentős lehetőségeket kínál, különösen a gyors alkatrész-utánpótlás és a helyben történő gyártás támogatásában. A 3D-nyomtatási eljárás a munkadarabot nulla helyzetből kiindulva, rétegről rétegre állítja elő, azaz a munkadarab anyagának hozzáadása és a munkadarab kialakítása azonos időben történik. Lehetőséget biztosíthat továbbá az „alkatrész az alkatrészben" konstrukciók kivitelezésére, illetve megfelelő 3D-modellező szoftver alkalmazásával a generatív tervezésre.[9]

Ezzel párhuzamosan az ingyenesen hozzáférhetővé váló ismeretanyagok, a nyílt forráskódú mozgalom, valamint az *open-source* eszközök és az alapanyagok árának csökkenése megteremtette annak a feltételeit, hogy ezek a technológiák integrálódjanak a kreatív, projektközpontú oktatás és a problémaalapú tanulás módszertanába.[10] A 3D-nyomtatás egyik legnagyobb előnye az oktatásban, hogy segítségével olyan szemléltető modellek készíthetők, amelyek támogatják az elméleti ismeretek gyakorlati megértését, valamint lehetőséget teremtenek az interaktív oktatás és a kreatív tanulási módszerek megvalósítására.[11]

[4] Ált/217 Magyar Honvédség Összhaderőnemi Logisztikai Támogatás Doktrína 2015.
[5] Pap–Vég 2025: 59–83.
[6] Ember 2023: 7–9.
[7] Ember 2022: 64–66; Ember–Ádám 2022: 109.
[8] Gál–Németh 2019.
[9] Gávay 2024.
[10] Szabó–Németh 2019; Németh–Szabó 2022.
[11] Végvári 2023.

A katonai tiszképzésben alkalmazott hagyományos demonstrációs eszközök korlátozott funkcionalitással rendelkeznek, valamint nagyobb objektumok, infrastruktúrák alkalmazását, kiépítését teszik szükségessé (például javító műhelyek, üzemanyag-kiszolgáló állomások létesítését). Ezzel szemben a 3D-nyomtatással előállított modellek képesek szemléletesen bemutatni az egyes szaktechnikai eszközök szerkezeti felépítését, működési elvét és kapcsolatrendszerét. Az üzemanyag-szaktechnikai eszközök vonatkozásában ez különösen fontos, mivel a honvédtisztjelöltek számára nehézséget jelent a komplex rendszerek működésének pusztán elméleti alapú értelmezése. Egy oktatási célú modell kialakítása meghibásodott vagy tartalék alkatrészek felhasználásával is lehetséges, ugyanakkor a 20–40 éves eszközök alkatrész-utánpótlása nemzetközi szinten is jelentős logisztikai kihívást jelent.[12] Ennek megfelelően a tanulmány célja annak a vizsgálata, hogy 3D-nyomtatással előállítható-e olyan átfolyásmérő modell, amelyet alkalmazni lehet a katonai felsőoktatásban demonstrációs és oktatást támogató eszközként. A kutatás bemutatja az additív gyártástechnológia oktatási célú alkalmazhatóságát, valamint az átfolyásmérő modell tervezésének és előállításának folyamatát.

Az üzemanyag-kiszolgálás során alkalmazott átfolyásmérők és a PPO-25 típusú mérőberendezés

A haditechnikai eszközök működésének egyik alapvető feltétele az üzemanyagkészletek folyamatos biztosítása. A különböző harc- és gépjárműtechnikai eszközök üzemeltetése jelentős mennyiségű hajtóanyag felhasználását igényli, amelynek tárolása, szállítása és kiadása összetett ellátási feladatot jelent.[13] A hajtóanyag-ellátás során meghatározó jelentőségű a pontos mennyiségmérés, mivel általa lehet nyilvántartani a felhasznált készleteket, valamint ellenőrizni a tartályok közötti üzemanyag-átfejtések volumenét. A pontatlan mérés nemcsak a technikai eszközökbe kiadott mennyiség hibás nyilvántartásához vezethet, hanem a tároló tartályok feltöltésekor vagy lefejtésekor csökkentheti a feladatok végrehajtásának hatékonyságát is (például a tartályok túltöltésén keresztül).

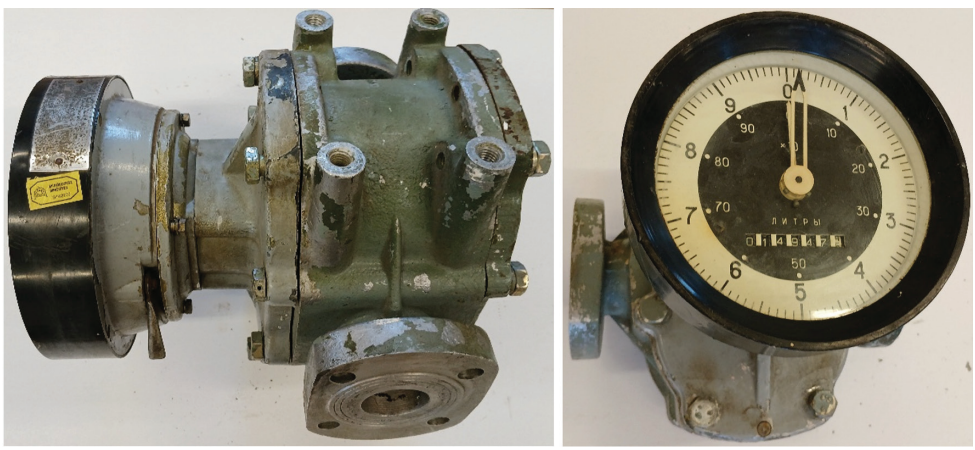
A hajtóanyagok kiadására szolgáló rendszerekben alkalmazott átfolyásmérőknek – az említett probléma elkerülése érdekében – az a legfontosabb feladata, hogy az átáramló folyadék mennyiségét pontosan meghatározza. A mérés történhet térfogat- vagy tömegáram alapján. A katonai üzemanyag-kiszolgáló rendszerekben leggyakrabban térfogatáram-mérőket alkalmaznak. Ennek oka, hogy ezek a rendszerek robusztus kialakításúak, egyszerűbb karbantartást igényelnek, valamint mobil környezetben is megbízhatóan üzemeltethetők. A mérőeszközöknek ugyanakkor meg kell felelniük a fokozott mechanikai és biztonságtechnikai követelményeknek, mivel a folyékony hajtóanyagok tűz- és robbanásveszélyes közeget képeznek.[14]

[12] Gávay 2023.
[13] Szajkó 2024.
[14] Miller 1996.

A hajtóanyagok kiadása során többféle mérési technológiát lehet használni. A legelterjedtebb megoldások közé tartoznak a térfogat-kiszorításos (*positive displacement,* PD), a turbinás, a Coriolis-elven működő, valamint az ultrahangos átfolyásmérők. A különböző technológiák eltérő pontossági, szerkezeti és üzemeltetési tulajdonságokkal rendelkeznek, ezért alkalmazásuk mindig az adott rendszer követelményeitől függ.

A katonai üzemanyag-kiszolgáló rendszerekben jellemzően a térfogat-kiszorításos átfolyásmérőket alkalmazzák. Ezeknek a működése azon alapul, hogy az átáramló folyadék mechanikusan elkülönített mérőkamrákat tölt meg, majd a kamrák ismétlődő térfogatváltozása alapján a rendszer meghatározza az átáramlott folyadék mennyiségét.[15] A technológia előnye, hogy már alacsony átfolyási sebesség mellett is nagy pontosságú, és kevésbé érzékeny a viszkozitás változására.

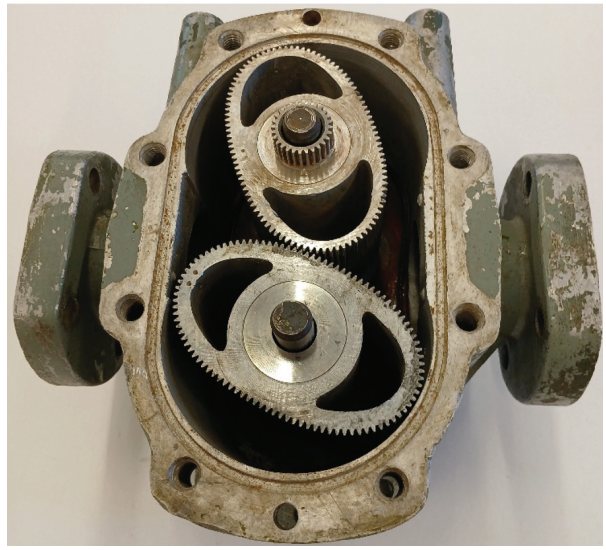
A tanulmányunkban vizsgált mérőberendezés egy PPO-25 típusú ovális fogaskerekes átfolyásmérő, amelyet az URAL–4320 alvázra épített üzemanyag-kiszolgáló rendszerekben is működtetnek (1. ábra).



1. ábra: PPO-25 típusú ovális fogaskerekes átfolyásmérő
Forrás: a szerzők felvétele

Az URAL–4320 katonai tehergépjármű-család a szovjet, majd később az orosz katonai rendszerek egyik meghatározó platformja, amelyet széles körben alkalmaztak üzemanyag-szállító és kiszolgáló járművek alapjaként is.[16] Az ilyen rendszerek feladata a különböző harc- és gépjárművek, valamint a technikai eszközök mobil módon történő hajtóanyag-kiszolgálása, amelynek végrehajtásakor elengedhetetlen a kiadott mennyiség pontos mérése. A PPO-25 típusú mérőberendezés működési elve a térfogat-kiszorításos mérők csoportjába tartozik. A mérő belsejében két egymással kapcsolatban álló ovális keresztmetszetű fogaskerék helyezkedik el (2. ábra).

[15] Overview of Positive Displacement Flow Meters 2023.
[16] Farkas 2026.



2. ábra: PPO-25 típusú ovális fogaskerekes átfolyásmérő ovális keresztmetszetű fogaskerekei a házban
Forrás: a szerzők felvétele

Az átáramló folyadék nyomása forgómozgást hoz létre, amelynek hatására a fogaskerekek és a mérőház közötti kamrák meghatározott térfogatú folyadékrészeket választanak le egymásról. A fogaskerekek minden teljes fordulata ismert mennyiségű folyadék továbbítását jelenti, így a forgási ciklusok száma alapján meghatározható az átáramlott teljes térfogat.

A térfogatáram az alábbi képlettel fejezhető ki:[17]

$$Q = n \cdot Vc$$

ahol:
Q – térfogatáram,
n – a mérőkamrák ciklusszáma időegység alatt,
Vc – az egy ciklus során továbbított térfogat.

Az ovális fogaskerekes kialakítás egyik legfontosabb előnye a magas mérési pontosság és ismételhetőség. A PPO-25 típusú mérők jellemző pontossága 0,25–0,5% közötti, amely megfelel az üzemanyag-kiszolgáló rendszerekkel szemben támasztott követelményeknek.[18] A rendszer további előnye, hogy mechanikus kijelzővel is üzemeltethető, így működése nem minden esetben igényel külső elektromosenergia-ellátást. Ez különösen lényeges szempont a katonai alkalmazási környezetben, ahol a villamosenergia-szolgáltatás korlátozott vagy egyáltalán nem biztosított.

[17] Daku–Vad 2024.
[18] Titan Enterprises Ltd. [é. n.].

A mérőberendezés robusztus szerkezeti kialakítása lehetővé teszi a hosszú távú üzemeltetést. A mérőház jellemzően öntött alumínium- vagy acélszerkezetből készül, amely ellenáll a mechanikai igénybevételeknek és az üzemanyagok kémiai hatásainak. A belső mozgó alkatrészek nagy pontosságú megmunkálása alapvető feltétele a megfelelő mérési pontosság fenntartásának. A fogaskerekek és a ház közötti minimális illesztési hézag biztosítja, hogy a szivárgási veszteség minimális maradjon, ezáltal javítva a mérési precizitást (3. ábra).[19]



3. ábra: A fogaskerék és a ház közötti minimális illesztési hézag
Forrás: a szerzők felvétele

A katonai felsőoktatásban ugyanakkor az ilyen eszközök működésének szemléltetése jelentős nehézségekbe ütközik. Az eredeti berendezések mérete, tömege és működtetési követelményei miatt azok oktatási célú alkalmazása viszonylag korlátozott. A valós hajtóanyag-kiszolgálás fokozott biztonságtechnikai előírásokat tesz szükségessé, amelyek hagyományos tantermi környezetben szintén nehezen biztosíthatók. E problémák kezelésére kínál korszerű megoldást a 3D-nyomtatási technológia.

A PPO-25 típusú mérőberendezés 3D-modellje

Az additív gyártástechnológia lehetőséget biztosít a PPO-25 típusú átfolyásmérő méretarányos vagy metszeti modelljének elkészítésére. A 3D-modell segítségével a honvédtisztjelöltek közvetlenül tanulmányozhatják a mérő belső szerkezeti felépítését, az ovális fogaskerekek kapcsolódását, valamint a térfogat-kiszorításos működési elvet. A szemléltető modell különösen előnyös lehet a katonai logisztikai képzés során, mivel lehetővé teszi az elméleti ismeretek és a gyakorlati bemutató összekapcsolását, és alkalmazásával a hallgatók könnyebben megérthetik az üzemanyag-kiadó rendszerek működését, miközben a demonstráció biztonságosan, valós hajtóanyag alkalmazása nélkül végezhető el.

A 3D-nyomtatott modell további előnye, hogy lehetőséget biztosít a szerkezeti elemek részleges átláthatóságára vagy metszeti kialakítására, amely hagyományos oktatási eszközökkel nehezen valósítható meg. Ez különösen fontos a belső mechanikai

[19] Magyar Honvédség 1985.

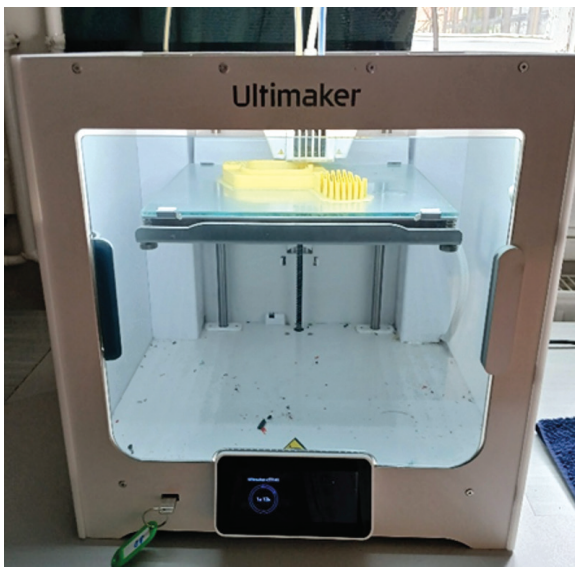
folyamatok szemléltetése során, hiszen az eredeti mérőberendezés működése zárt házban történik, így annak belső mozgásai normál üzemi körülmények között nem figyelhetők meg.

A 3D-nyomtatási technológia alkalmazása nemcsak az oktatási szemléltetés hatékonyságát növeli, hanem lehetőséget biztosít a komplex műszaki rendszerek költséghatékony reprodukálására is. A PPO-25 típusú átfolyásmérő modelljének gyártása során különösen fontos szempont volt, hogy az megőrizze az eredeti szerkezeti kialakítás főbb geometriai jellemzőit, miközben alkalmas legyen az oktatási célú demonstrációra. A tervezés során figyelembe kellett venni a 3D-nyomtatási technológia sajátosságait, valamint azokat a szerkezeti módosításokat, amelyek lehetővé tették a belső mechanikai elemek láthatóvá tételét. Az oktatási célú modell kialakításának egyik legfontosabb követelménye az volt, hogy a honvédtisztjelöltek számára szemléletes módon mutassa be az ovális fogaskerekek mozgását és a térfogat-kiszorításos mérési elv működését. Emellett lényeges szempontként jelentkezett a megfelelő mechanikai stabilitás és a nyomtatási idő optimalizálása is, mivel ezek jelentősen befolyásolják az additív gyártási folyamat gazdaságosságát. A tervezési folyamat során ezért szükségessé vált az eredeti mérőberendezés szerkezeti elemzése, a méretarány meghatározása, valamint a nyomtatható alkatrészekre történő bontás. A digitális modell elkészítését követően megkezdődhetett a megfelelő nyomtatási paraméterek kiválasztása és a prototípus gyártása. Mivel az NKE HHK Katonai Logisztikai Intézetének Haditechnikai Tanszéke rendelkezik olyan 3D-nyomtatókkal, amelyekkel műanyag, szálerősítéses műanyag és fém alkatrészek nyomtatását is el lehet végezni, adódott a lehetőség, hogy ezen technológiákat felhasználjuk az oktatást segítő makett előállítására.[20] A kivitelezésre elegendőnek találtuk a műanyagnyomtató alkalmazását, mert a cél az volt, hogy az eredetivel megegyező, de attól méretben kisebb és lényegesen könnyebb oktatási segédeszköz készüljön el. A fémnyomtatás jelentős idő- és költségráfordítással jár, valamint az elkészült végtermék tömege lényegében megegyezik az eredeti munkadarabbal, így annak a használatát kizártuk. A Markforged kompozitnyomtatót az Onyx nyomtatószállal, amelyhez még folyamatos húzású üvegszál-erősítést is lehet alkalmazni, oktatási makett előállítására nem célszerű felhasználni – bár az ebből készült tárgyak felülete különösen sima és egyenletes, és a hőállóságuk is kiemelkedő –, mert a nyomtatószál jelentős költséggel jár (110 414 Ft / tekercs, ami 800 cm^3).[21] A tanszéken meglévő Ultimaker S3 nyomtató (4. ábra) is alkalmas arra, hogy különféle olcsóbb műanyagokból előállíthassuk a makettet.

Természetesen a nyomtató tálcájának mérete nem teszi lehetővé a pontos méretarányos alkatrész kinyomtatását, de nem is ez volt cél, ezért megfelelőnek bizonyult a 60%-os méretben történő nyomtatás. Ebben a nagyságban még kellően pontos és részletgazdag a végtermék, ugyanakkor a mérete még nem túlságosan nagy, így az oktató könnyen el tudja vinni magával a megfelelő tanórára. A produktum felhasználási célja egyértelműen meghatározta az alkalmazandó alapanyagot is. Mivel az eszköz oktatási célra készült, aminek nincs semmilyen speciális szilárdsági

[20] Gyarmati et al. 2026.
[21] Admasys.

követelménye, így elegendő olyan mértékű erősséget biztosítani, hogy az emberi kézben – miközben a hallgatók forgatják, adogatják egymásnak – ne roppanjon össze, vagy ne törjön el.

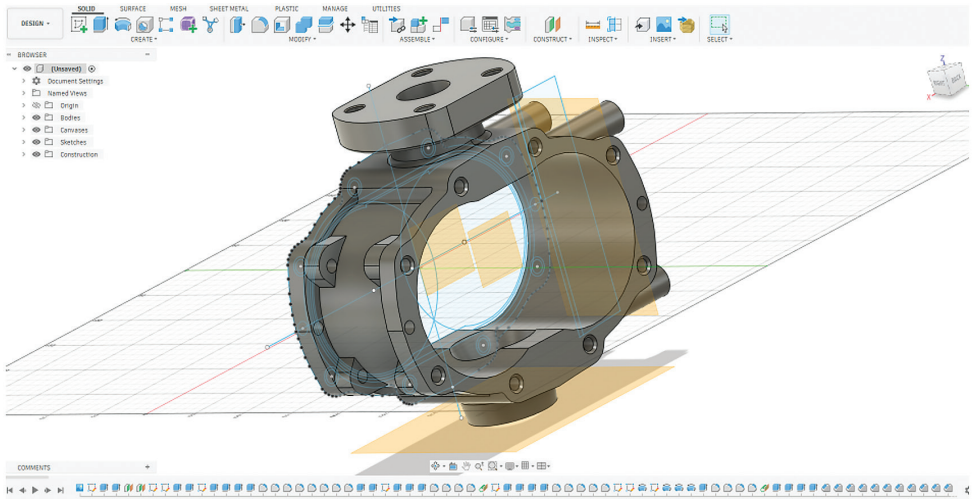


4. ábra: Ultimaker S3 nyomtató nyomtatás közben
Forrás: a szerzők felvétele

Az anyagnak nem kell hő- vagy időjárásállónak lennie, így elsőbbséget élveztek azok a filamentek, amelyek könnyen kezelhetők, viszonylag alacsony olvadási hőmérséklettel rendelkeznek, és nem utolsósorban csekély költségvonzattal bírnak. Az oktatási makett előállításához megfelelőnek találtuk a PLA-t (*polylactic acid* – politejsav), mert ez alacsonyabb hőmérsékleten is feldolgozható és a többi műanyaghoz képest kevésbé hajlamos a vetemedésre. Hátránya, hogy a levegőből való párafelvétele magas, ami a nyomtatásnál hibát okozhat, ez főként akkor fordul elő, ha már régebben felbontottuk a filamenttekercset. A PLA jó UV-állósággal és rétegtapadással rendelkező, merev és erős műanyag, amit magas keményítőtartalmú gabonafélékből állítanak elő. Biológiailag lebomló polimer, vagyis kijelenthetjük, hogy a többi műanyaghoz képest a környezetet kevésbé károsítjuk vele.[22] A színválasztás viszont számos lehetőséget biztosít a jobb megértésre, mivel a különböző részeket más és más színű filamentből lehet előállítani. Azért, hogy az egyes részek jól elkülönüljenek egymástól, a fogaskerekeket sárga, a házat pedig fekete alapanyagból nyomtattuk.

Az oktatási makett megtervezése és a 3D-modell megrajzolása az AutoDesk Fusion 360 szoftver segítségével történt (5. ábra).

[22] Faidallah–Szakál–Oldal 2021; Vég 2024.



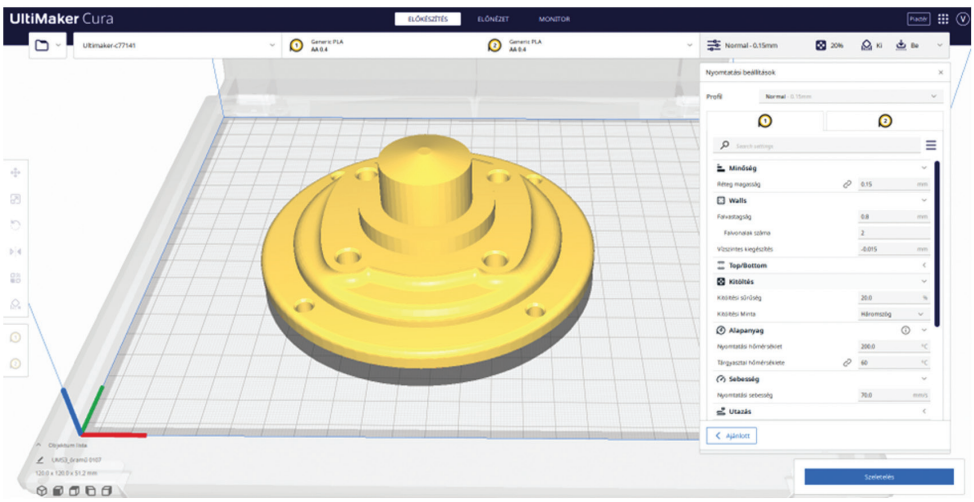
5. ábra: 3D-modell készítése AutoDesk Fusion 360 szoftverben
Forrás: a szerzők felvétele

A program felhasználóbarát felületet és sokoldalú eszközkészletet kínál, támogatja az összetett geometriák és szerkezetek könnyű kialakítását, ami nagyobb precizitást tesz lehetővé. Emellett az integrált szimulációs és elemzési funkciói segítenek a tervek tesztelésében és optimalizálásában, így időt és költséget takarít meg. A Fusion 360 felhőalapú működése megkönnyíti az együttműködést és a fájlok kezelését több felhasználó között. A rendszeres frissítések és a közösségi támogatás révén folyamatosan fejleszthető, és nem utolsósorban a jogtiszta verzió rendelkezésre áll a munkához a Haditechnikai Tanszéken.

A modell létrehozása az eredeti alkatrész geometria-méreteinek a meghatározásával kezdődött. A mérési folyamat során tolómérőt, különböző hosszúságú vonalzókat és szögmérő eszközöket használtunk, amelyekkel meghatározhatók voltak az alkatrész különböző átmérői, hosszméretei, falvastagsága, valamint az egyes szakaszok egymáshoz viszonyított dőlésszögei. A felmérés eredményeként az alkatrész minden lényeges geometriai méretét meghatároztuk. A modellezés célja nem a fizikai alkatrész teljes, mérethű lemásolása volt, hanem annak szerkezeti és funkcionális jellemzőinek megőrzése. Ennek megfelelően a fő méreteket, valamint a furatok elhelyezkedését és méreteit pontosan átvettük, így a modell konstrukciós szempontból pontosan megegyezik az eredeti alkatrésszel. A rajzolás során figyelembe kellett venni a 3D-nyomtatás sajátosságait is, vagyis a könnyebb nyomtathatóság érdekében bizonyos módosításokat, egyszerűsítéseket kellett elvégezni.

A digitális modell kialakítása referenciasíkokra készített vázlatok alapján, fokozatosan valósult meg. A modellezés során többféle módszert alkalmaztunk: egyrészt síkban megrajzolva és ebből elkészítve a térbeli modellt, valamint közvetlenül úgynevezett testprimitívek felhasználásával építettük fel az egyes alkatrészeket. A tervezés alatt figyelembe kellett venni a használt anyag tulajdonságait, a nyomtatási módszert és a késztermék felhasználási célját.

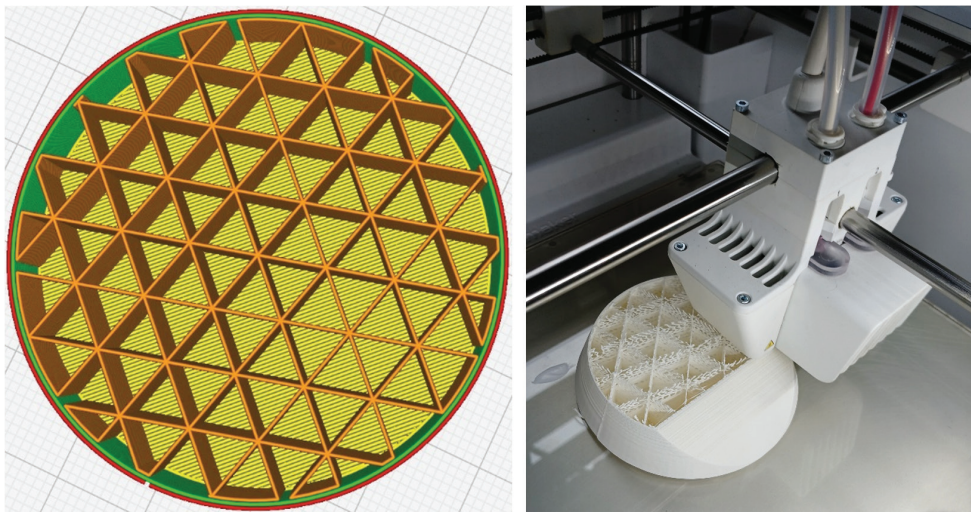
Természetesen a digitális modell (STL, vagyis *standard triangle language* formátum, amely tartalmazza a 3D-nyomtatáshoz szükséges geometriai adatokat) önmagában még nem alkalmas a nyomtatásra, ezért azt előzetesen fel kell dolgozni egy szeletelőprogram segítségével. A szeletelés során a modellt rétegekre bontjuk, vagyis elkészítjük a szerszámpályákat, jelen esetben a nyomtatófej mozgáspályáját. Ehhez több program áll rendelkezésre, általában vannak gyári szeletelőprogramok a különböző 3D-nyomtatókhoz, de használhatók univerzális, ingyenesen elérhető online verziók is, mint például az Ultimaker Cura, amelyet mi is használtunk (6. ábra).



6. ábra: Alkatrész szeletelése Ultimaker Cura programmal
Forrás: a szerzők felvétele

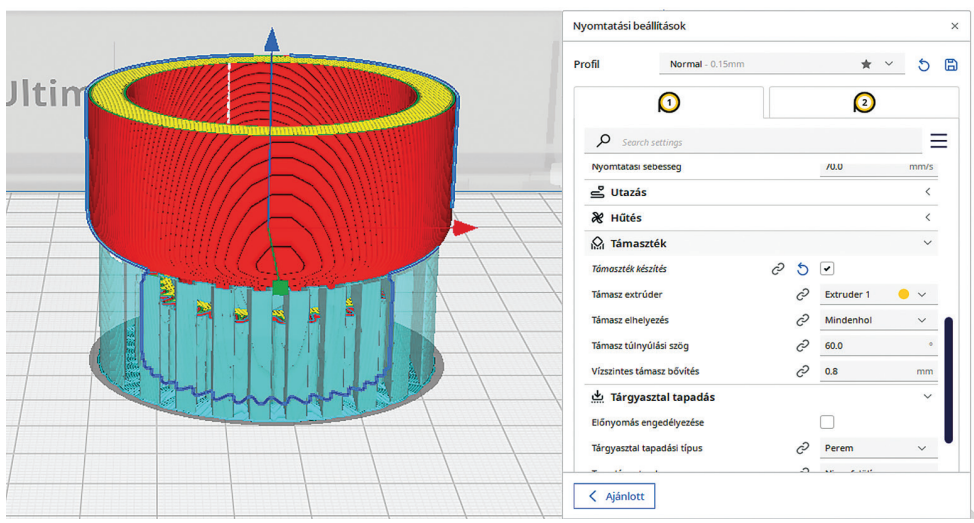
A nyomtatáshoz számos paraméter beállítható, mint például a rétegvastagság, a támasztékok használata, a kitöltési minta és sűrűség, a nyomtatási és tálcahőmérséklet, a nyomtatási sebesség, a tárgyasztal tapadási jellemzői stb. Rétegvastagságként a 0,1 mm-est alkalmaztuk, mivel ez biztosítja a legjobb felbontást az adott nyomtató esetében, és kiváló minőségű sima felületet eredményez. Természetesen a 0,2 mm is megfelelő lenne a gyártási feladatok végrehajtásához és elfogadható minőséget is adna, ugyanakkor most nem volt szempont a rövidebb nyomtatási idő.

A kitöltési minta és a kitöltési sűrűség meghatározó szerepet játszik a nyomtatott modell belső szerkezetének kialakításában, ezáltal jelentősen befolyásolja annak mechanikai szilárdságát, valamint a felhasznált alapanyag mennyiségét. Mivel a készített modell elsődlegesen oktatási és szemléltetési célokat szolgál, nem volt szükség a maximális szilárdság biztosítására. Ennek megfelelően egy egyszerűbb, háromszög alakú kitöltési mintát alkalmaztunk, míg a kitöltési sűrűséget viszonylag alacsony, 40%-os értékre állítottuk. A 7. ábrán a háromszög kitöltési minta képe és a kitöltési sűrűség nagysága látható.



7. ábra: Háromszög kitöltési minta nézete és nyomtatása
Forrás: a szerzők felvétele

Bizonyos esetekben szükséges a nyomtatás során támasztékok alkalmazása. A síkfelületek nyomtatásával általában nincs probléma, és adott meredekségű, általában 45°-os szögeket is problémamentesen fel tud építeni a nyomtató (gyakorlati tapasztalatból adódóan tudjuk, hogy akár 70–80°-os szögeket is be lehet állítani, és úgy is megfelelő lesz a kész darab minősége), ugyanakkor a levegőben nem tud nyomtatni. A kiugró részeket csak úgy képes felépíteni, ha alatta olyan támasztékokat épít be, amelyek a későbbiek során eltávolíthatók (8. ábra).



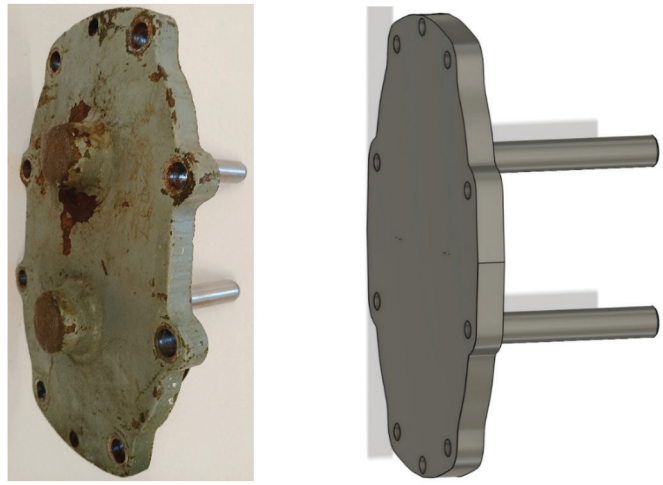
8. ábra: Nyomtatási támaszték nézete és beállítási paraméterei
Forrás: a szerzők felvétele

Az ábrán a Cura program kék színnel jelöli a támasztékot, amelynek paraméterei széles skálában beállíthatók az adott modell és a nyomtatási igények függvényében. A kétfejes nyomtató esetében lehetőség van arra, hogy a támasztékot más alapanyagból vagy színből nyomtassuk ki, így könnyebben megkülönböztethetők, hogy mi az eredeti vagy a támasz, de akár oldható támaszanyagot is lehet (az oktatási makett készítéséhez nem volt szükség rá) alkalmazni. A felhasznált PLA anyagról az utólagos megmunkálás során tökéletesen, kézzel is el lehetett távolítani a támasztékot, ezért ezt a megoldást választottuk.

A nyomtatási hőmérséklet beállítására lehetőség van, de ezt meghatározza az alkalmazott filament anyaga és a gyári ajánlások, amelyek többnyire elfogadhatók. A nyomtatások során előfordul, hogy célszerű változtatni az ajánlásokon a tökéletesebb végeredmény érdekében, de most erre nem volt szükség. A tárgyasztal tapadása viszont mindig problémás egy új anyag alkalmazása esetén, illetve nagymértékben meghatározza, hogy milyen a nyomtatandó tárgy felfekvése. Több sikertelen nyomtatásunk adódott az alkatrészek előállításánál, mire kialakult az a tapasztalat, hogy mekkora legyen a tárgyasztal hőmérséklete, és hogy milyen mértékben alkalmazzunk ragasztást is.

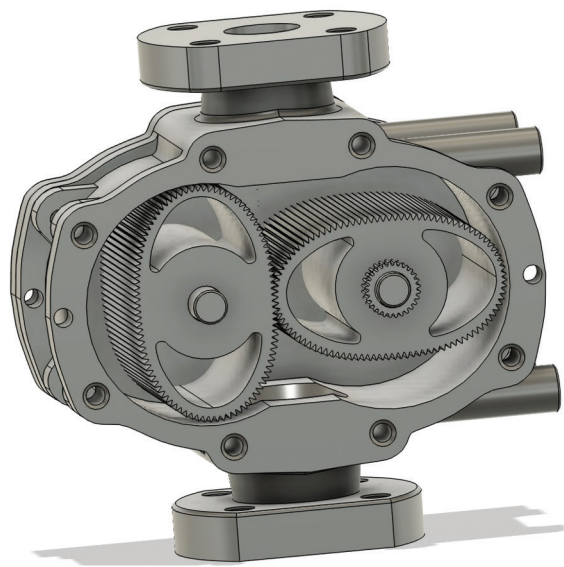
A nyomtatási sebességre nem állandó értéket állítottuk be, hanem azt az egyes alkatrészek tulajdonságaihoz igazítottuk. Az olyan elemek esetében, amelyek precízebb kivitelezést igényeltek – például a kis méretű fogakkal rendelkező fogaskerekeknél –, 50 mm/s nyomtatási sebességet alkalmaztunk. A nagyobb méretű, egyszerűbb geometriájú alkatrészeknél, mint például a ház, 70 mm/s sebességet használtunk. Az egyes darabok nyomtatási ideje igen változó volt, a mérő középrészének nyomtatása közel két napig tartott. A nagyobb nyomtatási sebesség minőségromlással járhat, ezért nem emeltük 70 mm/s fölé, és nem is volt rá szükség, mivel nem volt számunkra fontos tényező az elkészülési idő.

A tervezés során több esetben egyszerűsítésekkel kellett élnünk, amelyek a makett gyakorlati használhatóságát nem érintették, viszont a 3D-nyomtatásnál jelentős előnyöket lehetett elérni vele. Jó példa erre a 9. ábra bal oldalán látható eredeti alkatrész, amelynek fedelén két kiemelkedés figyelhető meg. Az első 3D-modell elkészítésénél ezeket ugyanígy megterveztük, de nyomtatáskor – mivel a síkfelületet kellett bázisnak felhasználni – ez jelentős támaszanyag-felhasználással járt, ugyanakkor a támaszanyag feletti síkfelület minősége erősen megkérdőjelezhető volt. A módosítás utáni (9. ábra jobb képe) változatnál viszont a bázisfelületet teljesen síkra alakítottuk, így nem volt szükség támasztékra, ezáltal csökkent a nyomtatási idő és a felhasznált anyag mennyisége, ugyanakkor a felülete kifogástalan minőségű lett.



9. ábra: Eredeti alkatrész (bal oldali) és az áttervezett (egyszerűsített) modell (jobb oldali)
Forrás: a szerzők felvétele

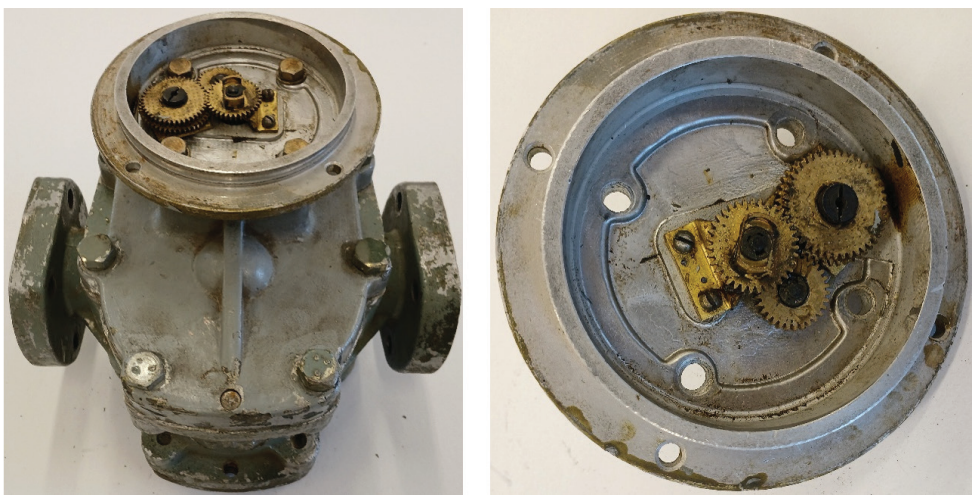
A tervezés és a nyomtatás legproblémásabb része a ház, a fedlap és a fogaskerekek elkészítése (fogaskerekes hajtómű) volt (10. ábra).



10. ábra: Az üzemanyagmérő fogaskerekes hajtóműve
Forrás: a szerzők felvétele

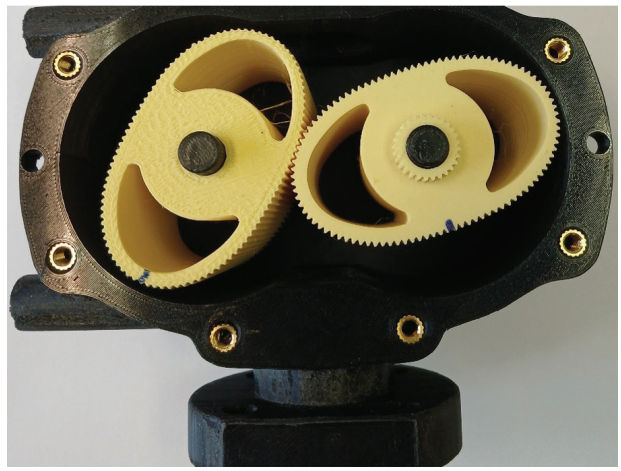
A fogaskerekek kialakítása különösen nagy kihívást jelentett, mivel nagyon kicsi fogakkal rendelkeztek, amit nehéz volt közvetlenül mérni, ezáltal többszöri módosítás (és nyomtatás) vált szükségessé, hogy a végleges méret kialakuljon, valamint a makett működőképes legyen, vagyis a fogaskerekek kis ellenállással kapcsolódjanak egymáshoz és végig legördüljenek egymáson, miközben a fogaskerekek és a ház közötti hézag is minimális maradt.

Az üzemanyagmérő mérőrészének maketten történő kialakítása – a kisméretű fogaskerekek miatt – nem volt megvalósítható. Az alkatrész eredeti méretben elkészítve sem lett volna működőképes, a 60%-os kicsinyítés alkalmazásával pedig a geometriai méretek olyan mértékben csökkentek volna, hogy azok a rendelkezésre álló 3D-nyomtatási technológiával műanyagból már nem voltak legyárthatók (11. ábra). Az óra számlapjánál szintén egyszerűsítést kellett elvégezni, mivel nincs olyan fogaskerekes hajtóműve, ami a mutatót és a számlálót meghajtaná, ezért elegendőnek bizonyult 3D-nyomtatással az óra házának az elkészítése és fénykép alapján a számlap.

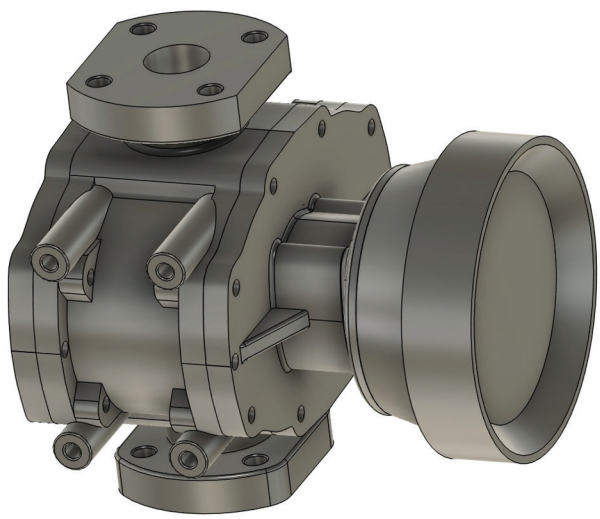


11. ábra: Az üzemanyagmérő óraműrésze
Forrás: a szerzők felvétele

Mivel az üzemanyagmérő több alkatrészből épül fel, ezért fontos volt annak a biztosítása, hogy a teljes makett könnyen szerelhető legyen. Ennek érdekében menetbetéteket építettünk be, amelyek lehetővé tették az alkatrészek csavaros rögzítését. Ez a megoldás nemcsak a szerelési folyamatot teszi megbízhatóvá és többször ismételhetővé, hanem az eredeti berendezés szerkezeti kialakítását is hűen tükrözi. Mindezek mellett a szerelési műveletek tanórán is egyszerűen és gyorsan végrehajthatók, ezáltal segítve a tanagyag könnyebb és pontosabb elsajátítását és az oktatási célok elérését. A 12. ábrán láthatók a házba beültetett menetbetétek, a 13. ábrán pedig az elkészült modell rajza.



12. ábra: Menetbetétek beültetése a maketten
Forrás: a szerzők felvétele



13. ábra: Üzemanyagmérő oktatási makettjének rajza
Forrás: a szerzők felvétele

A PPO-25 típusú átfolyásmérőről készített makett sikeresen alkalmazható volt szemléltető eszközként a Hadtáp szaktechnikai eszközök kurzus oktatása során. A késztermék lehetővé tette, hogy a honvédtisztjelöltek első alkalommal közvetlenül, „testközelből" is megismerhessenek egy olyan üzemanyag-szaktechnikai eszközt, amelynek működését korábban jellemzően csak elméleti formában tanulmányozhatták. Az eszköz különösen hasznosnak bizonyult az átfolyásmérő működési elvének bemutatásában, mivel a belső szerkezeti elemek és azok kapcsolatai jól láthatóvá váltak a hallgatók

számára. Az alkalmazott szemléltető makett jelentősen megkönnyítette az oktató magyarázó tevékenységét, miközben hozzájárult az összetett műszaki folyamatok könnyebb megértéséhez is.

Összegzés

A katonai felsőoktatás egyik fontos feladata, hogy a honvédtisztjelöltek számára az elméleti ismeretek mellett megfelelő gyakorlati tapasztalatokat és szemléltetési lehetőségeket is biztosítson. Az üzemanyag-szaktechnikai eszközök oktatása során ugyanakkor számos nehézség merül fel, mivel az alkalmazott berendezések méretükből, tömegükből, valamint speciális üzemeltetési és biztonságtechnikai követelményeikből adódóan csak korlátozott mértékben vonhatók be a „tantermi" oktatásba. Ezeknek a problémáknak a kezelésére kínál korszerű és költséghatékony megoldást a 3D-nyomtatási technológia.

A tanulmány célja annak vizsgálata volt, hogy a PPO-25 típusú ovális fogaskerekes átfolyásmérő alapján előállítható-e olyan 3D-nyomtatott modell, amely demonstrációs és oktatástámogató eszközként alkalmazható a katonai felsőoktatásban. A cikkben bemutattuk az eredeti berendezés működési elvét, a digitális modell elkészítésének folyamatát, valamint a nyomtatási paraméterek és technológiai megoldások kiválasztásának szempontjait. A modellezés és a gyártás során több esetben egyszerűsítések alkalmazására volt szükség, amelyek nem befolyásolták a működési elv bemutathatóságát, ugyanakkor jelentősen javították a nyomtathatóságot, csökkentették az anyagfelhasználást és a gyártási időt.

A gyakorlati tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a rendelkezésre álló FDM-technológiával és PLA alapanyag alkalmazásával olyan oktatási célú makett állítható elő, amely megfelelően szemlélteti az átfolyásmérő szerkezeti felépítését és működési elvét. A modell külön előnye, hogy lehetőséget biztosít a belső szerkezeti elemek és azok kapcsolatainak megfigyelésére, ami az eredeti berendezés esetében a zárt kialakítás miatt nem, vagy csak korlátozottan valósítható meg.

Az eredmények rámutattak arra is, hogy a 3D-nyomtatási technológia alkalmazása nem csupán az oktatási segédeszközök előállításában, hanem a régebbi hadtápszaktechnikai eszközök dokumentálásában és digitális megőrzésében is jelentős lehetőségeket kínál. A digitális modellek létrehozása hozzájárulhat olyan eszközök műszaki adatainak megőrzéséhez, amelyek a jövőben egyre nehezebben lesznek hozzáférhetők. A modellezési folyamat során szerzett tapasztalatok azt mutatták, hogy a hagyományos műszaki ismeretek és a korszerű additív gyártástechnológiák hatékonyan kombinálhatók egymással. A cikkben bemutatott eljárás igazolta, hogy megfelelő tervezési és gyártási paraméterek alkalmazásával a 3D-nyomtatott modellek alkalmasak lehetnek összetett műszaki rendszerek szerkezeti és működési sajátosságainak szemléltetésére. A létrehozott digitális állományok további módosítások és fejlesztések alapjául is szolgálhatnak, így újabb oktatási célú változatok gyorsan és költséghatékonyan készíthetők el. A módszer egyik legnagyobb előnye, hogy az elkészült modellek szükség esetén egyszerűen reprodukálhatók. A cikk eredményei alapján megállapítható, hogy a technológia alkalmazása lehetőséget teremt

a hadtápszaktechnikai eszközök és berendezések oktatási modelljeinek elkészítésére, ezáltal hozzájárulva a gyakorlatorientált tisztképzés fejlesztéséhez és a honvédtisztjelöltek szakmai felkészítésének hatékonyságához. Emellett a 3D-nyomtatás lehetőséget biztosít arra is, hogy a hallgatók már képzésük során megismerkedjenek a modern digitális tervezési és gyártási eljárások alapjaival is.

Felhasznált irodalom

Ált/217 Magyar Honvédség Összhaderőnemi Logisztikai Támogatás Doktrína (2015). Budapest: Magyar Honvédség.

Az Ural-4320 tehergépkocsi és típusváltozatai, anyagismereti és igénybevételi szakutasítás (1985). Szekszárd: Honvédelmi Minisztérium.

Daku Gábor – Vad János (2024): *Áramlástan*. Budapest: Akadémiai Kiadó. Online: https://doi.org/10.1556/9789636640163

Ember István – Ádám Balázs (2022): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. *Műszaki Katonai Közlöny,* 32(3), 101–111. Online: https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6

Ember István (2022): 3D nyomtatott lyukasztó töltetek hatásvizsgálata. *Hadmérnök,* 17(4), 63–73. Online: https://doi.org/10.32567/hm.2022.4.5

Ember István (2023): Additív eljárással készült lineáris vágótöltetek működésének vizsgálata. *Hadmérnök,* 18(3), 5–17. Online: https://doi.org/10.32567/hm.2023.3.1

Faidallah, Rawabe Fatima – Szakál, Zoltán – Oldal, István (2021): Introduction to 3D Printing. Techniques, Materials and Agricultural Applications. *Hungarian Agricultural Engineering,* (40), 47–58. Online: https://doi.org/10.17676/HAE.2021.40.47

Farkas Zoltán (2026): Logisztikai szaktechnikai eszközök egykor és napjainkban V. rész. Üzemanyag-szállító és -töltő gépkocsik. *Haditechnika,* 60(1), 13–20. Online: https://doi.org/10.23713/HT.60.1.02

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. https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208

Gávay György Viktor (2024): Honvédségi járművek kezelőszerveinek pótlása, módosítása 3D-nyomtatási technológia alkalmazásával. *Műszaki Katonai Közlöny,* 34(3), 25–38. Online: https://doi.org/10.32562/mkk.2024.3.3

Gyarmati, József – Gávay, György– Hegedűs, Ernő (2026): Potential Applications of Different 3D Printing Technologies In Military Logistics. In *VojNa 2025. International Scientific Conference on Military Sciences.* Belgrade: Military Academy, University of Defence, 938–946. Online: www.researchgate.net/publication/399444603_Potential_applications_of_different_3D_printing_technologies_in_military_logistics

Miller, Richard W. (1996): *Flow Measurement Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Németh András – Szabó András (2022): Zrínyi-Újvár hadszíntérkutatási eredményeinek hasznosulása a katonai műszaki oktatásban. In Hausner Gábor (szerk.): *Zrínyi Miklós és öröksége*. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, 149–178. Online: https://openaccess.ludovika.hu/nke/catalog/view/152/1338/3267

Overview of Positive Displacement Flow Meters (2023). Online: https://instrumentationtools.com/positive-displacement-flowmeters/

Pap Andrea – Vég Róbert László (2025): Térszemlélet fejlesztése a katonai logisztikában 3D-nyomtatás és számítógéppel támogatott műszaki modellezés (CAD) által – 1. rész. *Műszaki Katonai Közlöny,* 35(3–4), 69–83. Online: https://doi.org/10.32562/mkk.2025.3-4.5

Szabó András – Németh András (2019): A katonai műszaki képzés rendszerének kihívásai és lehetséges fejlesztési irányai. *Hadtudományi Szemle,* 12(ksz.), 261–288. Online: https://doi.org/10.32563/hsz.2019.1.ksz.19

Szajkó Gyula (2024): A béketámogató műveletek üzemanyagszükséglet-tervezéséhez használt számvetési módszerek. In Gőcze István – Padányi József (szerk.): *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből IV.: Hallgatói kötet*. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, 183–203. Online: https://doi.org/10.36250/01202_10

Titan Enterprises Ltd. [é. n.]: *Oval Gear Flow Meters Overview – Technical Product Data Sheet*. Online: https://flowmeters.co.uk/wp-content/uploads/pdfs/tech-data/data-sheet-oval-gear-meters-overview-06-25.pdf

Vég Róbert László (2024): Forgó dugattyús befecskendezőszivattyúk a harc- és gépjárműtechnikában 2. Befecskendező szivattyú tehermentesítő szelep oktatási célú modell kialakítása 3D-nyomtatási technológiával. *Műszaki Katonai Közlöny,* 34(ksz.), 115–128. Online: https://doi.org/10.32562/mkk.2024.ksz.10

Végvári Zsolt (2023): A 3D-nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika,* 31(1–2), 177–198. Online: https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177