

# 3D NYOMTATÓ SZERKEZETI ANALÍZISE ÉS FEJLESZTÉSÉNEK IRÁNYAI

## 3D PRINTER STRUCTURE ANALYSIS AND IMPROVEMENT OPTIONS

Csehi Bálint, MSc géptervező hallgató, Miskolci Egyetem  
Bihari Zoltán, PhD egyetemi docens, Miskolci Egyetem

### ABSTRACT

3D printing is one of the fastest growing technologies of the 21st century. 3D printing started around the 1980s. This is when the first major patents for various technologies were filed. Most of them involve creating computer-designed parts and structures from plastic materials. Of course, it took a few decades for this technology to become widespread in practice, and for the level of computing sophistication to be adequate. The aim of this article is to present some types of advanced 3D printers and to outline a design concept for a rigid frame printer that allows development ideas to be tested and proven flexibly by simply replacing individual components.

### 1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás a XXI. század egyik legdinamikusabban fejlődő technológiája. A 3D nyomtatás az 1980-as évek környékén kezdődött. Ekkor nyújtották be az első komolyabb szabadalmakat különböző technológiákra. A legtöbbjükre jellemző, hogy műanyag alapanyagból hozták létre a számítógéppel megálmodott alkatrészeket, szerkezeteket.

Napjainkban a 3D nyomtatás térhódítása már valóban kézzel fogható, nemcsak az iparban, hanem egyre több háztartásban is. Tudomásul kell vennünk azonban, hogy a ma korszerűnek tekinthető eszközöket pár évtized múlva a 3D nyomtatás hőskoraként fogják emlegetni. Egymást követik a kreatívabbnál kreatívabb ötletek, amelyek nyomán egyre használhatóbb és egyre pontosabb eljárások jönnek létre és terjednek el.

A robotika és a CNC technológia előretérése, a működtető mechanikák, vezérlések árának drasztikus csökkenése elérhetővé tette ezen eszközök széleskörű elterjedését nemcsak az ipar, hanem a hobby célú érdeklődők számára is.

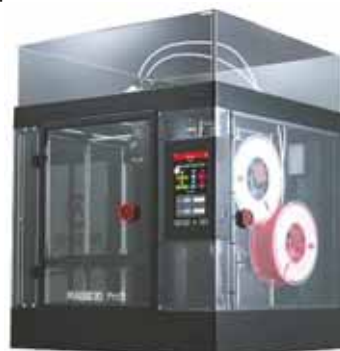
### 2. PIACKUTATÁS

Az FDM (Fused Deposition Modeling) 3D nyomtatók fejlesztése jelenleg is felfutó szakaszban van, gyakorlatilag hónapról hónapra jelennek meg az újítások, újabb és újabb műszaki megoldások, és ennek megfelelően a korábbiak gyorsan el is avulnak. Jó példa erre, hogy a 2014-ben, illetve 2016-ban megjelent, spanyol gyártású BQ Witbox 1 és Witbox 2 nyomtatók 2019-2020 környékére gyakorlatilag eladhatatlanná váltak, pedig a megjelenésükkor az egyik legnagyobb sikerű európai nyomtatókról volt szó.

A 3Dee Technologies kimutatása szerint három nyomtató iránt volt a legnagyobb a kereslet 2019 és 2020 években, ezek pedig népszerűség szerinti sorrendben a Raise3D Pro2, Raise3D E2 és a Zortrax M300 Dual típusok voltak. Mindhárom felsorolt eszköz az ipari nyomtatók kategóriájába sorolható.

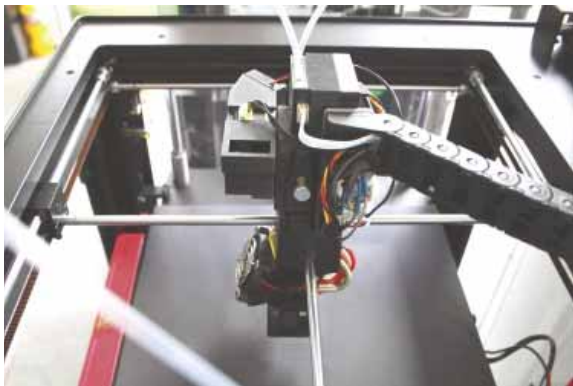
#### 2.1. Raise3D Pro2 típus

A Raise3D Pro2 fröccsöntött ABS vázszerkezetét rozsdamentes acél elemekkel merevítették, a külvilágtól pedig 4 mm vastag akril lapok szigetelik el a nyomtatóteret. A felső burkolati elem kézzel is eltávolítható, ahogy a nagy méretű ajtó is teljesen kihajtható, így a kisebb karbantartásokhoz nem szükséges teljesen szétszerelni a gépet.



1. ábra: Raise3D Pro2 3D nyomtató [3]

A kinematikai lánc típusa kockavázás cartesian, azaz a nyomtatófej X és Y tengely mentén mozog, a pontos mozgást 10 mm átmérőjű, köszörült acél körtengelyek és 6 mm széles, acél szállal erősített fogasszíjak biztosítják. A 2. ábrán látható, hogy a két tengely együtt mozgatja a nyomtatófejet. A függőleges tengely közvetlen hajtású, két független léptetőmotor szinkronban forog. A forgó mozgást 16 mm átmérőjű mángorolt golyósorsó alakítja át lineáris mozgássá. Emellett a pontos lineáris megvezetést négy darab, 12 mm átmérőjű köszörült köracél tengely biztosítja.



2. ábra: Raise3D Pro2 munkatere felülről [3]

Ennek az elrendezésnek előnye, hogy a kinematikai láncban az X és Y tengely teljesen egyenrangú, illetve egyforma tömegű is, így azonos motorra van szükségük, és ezáltal a maximális gyorsulásuk, illetve sebességük is azonos. Hátránya ugyanakkor, hogy a köracél tengelyek mellett, hogy a lineáris elmozdulást biztosítják, egyben forgó mozgást is végeznek, így a legkisebb ütés is jelentkezni fog a nyomtatás minőségében.

A gép két nyomtatófejjel rendelkezik, melyek között egy szervómotoros megoldás segítségével tud váltani. Az éppen használt nyomtatófejet lefelé, míg a másikat felfelé mozdítja, így biztosítva azt, hogy az inaktív fej ne zavarjon nyomtatás közben.

## 2.2. Raise3D E2 típus

A Pro2 és az M300 Dual nyomtatókhoz hasonlóan ez a gép is fröccsöntött ABS és rozsdamentes acél vázzal rendelkezik, azonban jelentős különbségeket is találhatunk. Egy előnyös megoldás, hogy a Pro2-höz hasonlóan a filamentet itt is zárt rekeszekben tudjuk elhelyezni, ezek a gép két oldalán kaptak helyet.

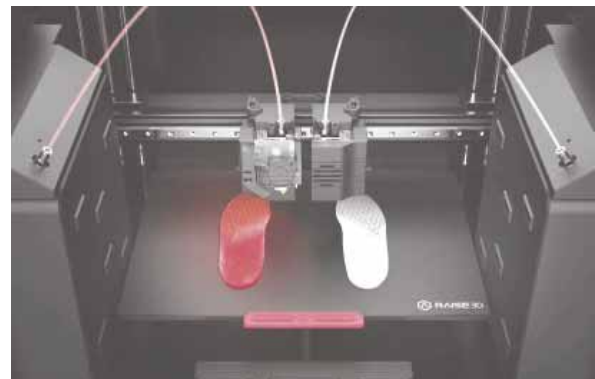
Ez a nyomtató IDEX (Independent Dual Extruder) rendszerű, azaz két független nyomtatófejjel szerelték. A gép Prusa típusú kinematikai

láncot kapott, ahol a nyomtatófejek az XZ síkon mozognak, és a tárgyasztal végzi az Y irányú mozgást. Így az IDEX rendszerért cserébe a gép térfogata jelentősen nagyobb a hasznos munkatérhez képest, illetve a nagy mozgó tömeg jelentős rezonanciát is képes okozni, így limitált a nyomtatási sebesség.



3. ábra: Raise3D E2 3D nyomtató [3]

Ugyanakkor megéri ez az áldozat, hiszen a két független nyomtatófejjel képes egy időben két azonos darabot, vagy egymás tükörképét előállítani, így kompenzálva az alacsonyabb sebességet.



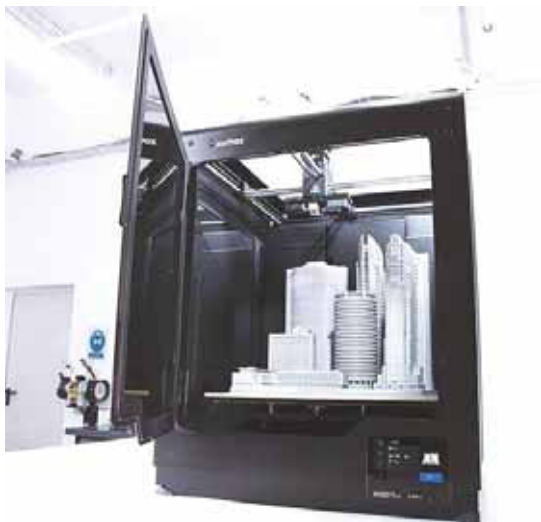
4. ábra: Raise E2 munkatere tükörkép nyomtatás közben [4]

## 2.3. Zortrax M300 Dual típus

A lengyel Zortrax kinematikai láncja lényegében megegyezik a Raise Pro2-vel, néhány apróságtól eltekintve. A nyomtatófejek ugyanúgy felemelkednek, illetve lesüllyednek váltáskor, viszont ezt a mozgást nem szervómotor hozza létre, hanem a nyomtatófejen elhelyezett kétállású kapcsoló, melyet a nyomtató azzal tud működésbe hozni, hogy a vázra szerelt ütközőnek tolja a nyomtatófejet. Ezzel a megoldással elkerülhették a szervómotor használatát, amivel a vezérlés is egyszerűbbé vált, illetve a nyomtatófej is könnyebb lett, valamint a szervó hiányával egy hibalehetőséget is kiküszöböltek.

Ennek a nyomtatónak a hátránya a teljesen zárt szoftver, a felhasználónak nincs lehetősége belenyúlni a programba, csupán az olyan alapvető beállításokat tudja elérni, mint a rétegmagasság, az alapanyag típusa vagy a felületminőség. Ez utóbbi fordítottan arányos a nyomtatási sebességgel, így a legmagasabb minőség esetén a nyomtatási folyamat kimondottan lassú, időben akár a kétszerese is lehet más gyártók nyomtatóihoz képest [5].

A zárt rendszer ugyanakkor tekinthető előnynek is, hiszen a gyártó pontosan kalibrálja a szoftvereket, így biztosak lehetünk benne, hogy mindig a legjobb minőségű nyomtatást fogjuk kapni.



5. ábra: Zortrax M300 Dual, egy elkészült nyomtatással [3]

### 3. 3D NYOMTATÓK FEJLESZTÉSE FEJLESZTŐKNEK

Az eddig bemutatott gépekkel ellentétben egy fejlesztőnek, illetve tesztelőnek egészen másféle igényei vannak, amikor 3D nyomtatót választ. Az ő munkájuk többnyire abból áll, hogy a különféle gyártók univerzálisnak szánt alkatrészeit a gyakorlatban is kipróbálják, és ezek alapján visszajelzéseket adnak a gyártáshoz, illetve a fejlesztéshez. Ehhez arra van szükség, hogy az általuk használt nyomtató megbízható, precíz vázszerkezettel rendelkezzen, és eredeti állapotában sebesség és minőség tekintetében versenyképes legyen az eddig bemutatott gépekkel. Ezen felül azonban alkalmasnak kell lennie arra is, hogy tetszőleges alkatrészt könnyen kicserélhesse egy tesztelni kívánt típusra, az extrudertől kezdve a hotenden át egészen az alaplapig. Ezért az alábbi három általá-

nos érvényű alapelvet fogalmaztuk meg a fejlesztési kívánt berendezéssel kapcsolatban:

1. A vázat célszerű jól variálható, általános elemekből felépíteni, hiszen a fent bemutatott fröccsöntött vázakat rendszerint csak korlátozott módon lehet átrendezni, csak eredeti formájukban szerelhetőek össze.
2. Az általános, univerzális alkatrészekkel nem elérhető műszaki megoldásokat úgy kell tervezni, hogy 3D nyomtatóval előállítható legyen.
3. A vezérlés legyen nyílt forráskódú, álljon rendelkezésre a teljes dokumentáció, hogy bármilyen szükséges módosítás elvégezhető legyen.

A célkitűzés tehát egy olyan szerkezet megtervezése, ami az ipari nyomtatóknál megszokott minőséget, illetve a fejlesztők és tesztelők által elvárt könnyű szerelhetőséget és nagyfokú kompatibilitást ötvözi.

4. A KÖVETELMÉNY- ÉS IGÉNYJEGYZÉK  
Az alapelvek segítséget nyújtanak abban, hogy a megtervezésre kerülő FDM 3D nyomtató vázszerkezetével és kinematikájával szemben támasztott követelmény- és igényjegyzéket összeállítsuk.

#### 4.1. Követelményjegyzék

- A vázszerkezet legyen merev, képes legyen felvenni a nyomtatás során fellépő erőket.
- A munkatér mérete legyen legalább 400x400x400 mm.
- Könnyen beszerezhető, illetve reprodukálható alkatrészekből épüljön föl a gép.
- Fűthető asztallal rendelkezzen.
- Két független nyomtatófej egymástól függetlenül is tudjon dolgozni.
- A vezérlés legyen nyílt forráskódra épülő.
- Univerzális hotend rögzítéssel készüljön.

#### 4.2. Igényjegyzék:

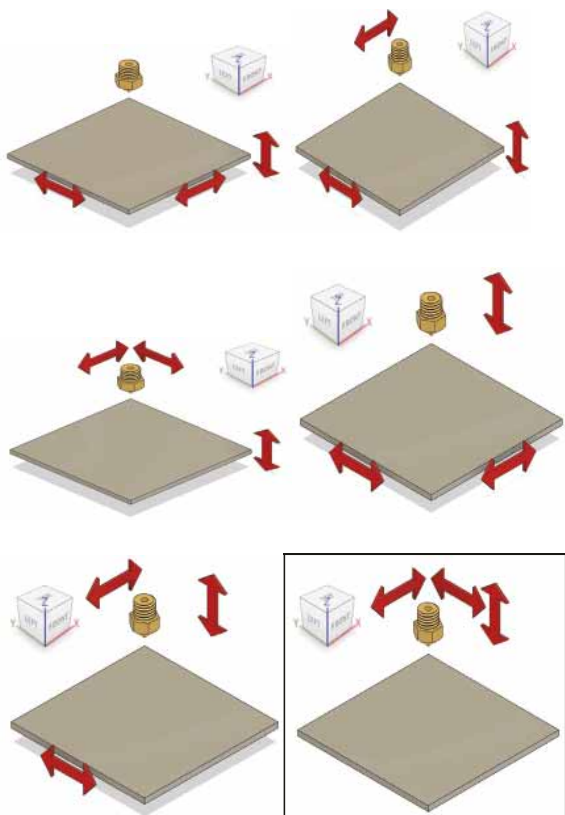
- Zárt, fűthető munkatér.
- Könnyen cserélhető nyomtatófej.
- Érintőképernyős kezelőfelület.
- WiFi, Bluetooth kapcsolat.
- Automatikus asztal kalibráció.
- Filament szenzor.
- Webkamera, megfigyelés lehetősége.

## 5. SZERKEZETI ÉS HAJTÁSELEMEK, MEGOLDÁSVÁLTOZATOK

A CNC technológia és a 3D nyomtatás lényege az, hogy a rendelkezésre álló munkatérben belül, előre digitálisan rögzített koordináták (xyz) által meghatározott pontokon keresztül tudjunk egy szerszámot, valamint egy munkadarabot – esetünkben egy hotendet és a munkaasztalt – szinkronban mozgatni, miközben a többi mozgásparamétert (sebesség, gyorsulás) előre meghatározott értéken tartjuk. A szerszám az éppen aktuális pozíció elvégzi a program által kijelölt funkciót – 3D nyomtatás esetén adott sebességgel és adott hőmérsékletű anyagot extrudál.

### 5.1. Mozgáskinematika

A mozgáskinematika létrehozásától függően a szakirodalom megkülönböztet delta, scara, core, H-bot, illetve cartesian kinematikát azok előnyeivel és hátrányaival. Terjedelmi korlátok miatt esetünkben csak a cartesian kinematikával foglalkozunk. Cartesian típusból viszont nem csak egyféle létezik. Attól függően, hogy mely elem mozgásával valósítjuk meg a három független tengelyt, 8 (valójában 6) eltérő tulajdonságú elrendezésből kell választani.



6. ábra: Relatív mozgások megvalósításának lehetőségei

5.2. A választott megoldásváltozat bemutatása  
Több szempontot is figyelembe véve a megoldásváltozatok értékelésénél a 6. ábrán kerettel jelölt változat került ki győztesen. Ebben a megoldásban az asztal mereven rögzített, amíg a hotend egy belső kerettel együtt végzi a z irányú mozgást, miközben a kereten belül xy irányú koordináták felvételére képes. A korábban bemutatott ipari nyomtatók közül egyik sem követi ezt a mozgás-kombinációt.

A gépvázat célszerű gépépítő alumínium profilból létrehozni, megfelelő merevsége, esztétikus kivitele, valamint variálhatósága miatt. Az egyes elemek rögzítése előre gyártott összekötő elemekkel katalógusból, széles árukészletből kiválasztható. A kapcsolatok létrehozása jellemzően oldható csavarkötésekkel gyorsan és kényelmesen elvégezhető. A külső vázkeretet a megfelelő merevség biztosítása érdekében célszerű kocka, vagy hasáb alakúra kialakítani. A fő elemek feltétlenül feszített kötéssel kell, hogy egymáshoz csatlakozzanak. Javasolt előnyben részesíteni a fúrásmentes összekötőket, azonban tapasztalat szerint a fűrt összekötők alkalmazása nagyobb merevséget, nagyobb stabilitást hoz létre. Érdemes kihasználni az egyes elemek rögzítésekor az alumínium profilok központi (centrál) furatait, ezek ugyanis biztosítják az egyes elemek közötti feszített kötést.

A fűrt összekötők használatának nagy hátránya, hogy korlátozzák a vázszerkezet utólagos módosításának lehetőségeit, így használatukat egy prototípus berendezés esetén javasolt kerülni. A kötőelemek kiválasztása a FATH Kft. katalógusából történt.



7. ábra: A külső téglatest vázszerkezet

A nyomtató elsődleges téglatest vázszerkezetén a feszített kötések cinkötvözetből készült ún. 3D kockaösszekötők biztosítják. Ezen

kötőelemek alkalmazásával három, egymásra merőleges alumíniumprofilt lehet egymáshoz rögzíteni.

A csavarozás elemenként egy darab, központi furatba hajtott csavarral történik. Mivel a Bosch kompatibilis profilok központi furata nem kör keresztmetszetű, hanem négy darab forgácstörő horonnyal ellátott, ezért menetfúró nélkül is behajthatóak a csavarok.



8. ábra: 3D kockaösszekötő beépítése a központi furatba illeszkedő önmetsző csavarokkal

Egy költséghatékonyabb, de talán merevség szempontjából még előnyösebb megoldás az, ha az egyes profilokat közvetlenül kötjük egymáshoz. Ekkor a függőleges profilon kialakított furatokon keresztül lehet a belső kulcsnyílású csavarkulcs segítségével a csavarokat megfelelő nyomatékkal meghúzni. Így költség vonatkozásában egy 3D kockaösszekötő és 3 db csavar helyett csupán 2 db csavar alkalmazása szükséges. Hátránya lehet ennek a megoldásnak, hogy kevésbé esztétikus kialakítású, valamint fúrást igénylő megoldás.



9. ábra: Alumíniumprofilok egymáshoz rögzítése D-fejű csavarral

A tárgyasztalt tartó többi elemet a szintén feszített kötést biztosító ún. automata összekötők alkalmazásával lehet és szabad rögzíteni (10. ábra).



10. ábra: T-matic összekötő és példa az alkalmazására

Az automata összekötő párban alkalmazva feszített kötést eredményez. A sarokelemek, más néven támaszok alkalmazása kerülendő, hiszen ekkor az érintkező alumínium profilok nem feszíthetők egymásnak, a lelazulás veszélye fennáll, valamint a működés közben keletkező rezgésekre is sokkal érzékenyebb lesz a berendezés.

A golyósorsók, illetve a lineáris megvezetés az alumíniumprofilból készült kerethez csavarkötéssel kapcsolódnak. Ezeknek az elemeknek a pontos pozíciói precíz mérésekkel és gondos szereléssel biztosíthatók. Ellenkező esetben a mozgatáshoz szükséges erő nem lesz egyenletes, esetenként a léptetőmotorok működtetésekor túlterhelés következtében lépésvetítés történhet, ami szinte minden esetben selejtes nyomtatott darabot eredményez. A vázszerkezet végső állapotát a 11. ábra mutatja.



11. ábra: A vázszerkezet, tárgyasztallal és a z-tengellyel

A későbbiekben a vázszerkezetet érdemes kiegészíteni 4 db önbeálló géplábbal, amelyre a Fath Kft. széles választékú termék katalógusa ajánl gumitalpakat is. Ezek a géplábak a külső

rezgések elnyelése mellett arról is gondoskodnak, hogy a nyomtató környezeti zajterhelése szintén a lehető legkisebb legyen.

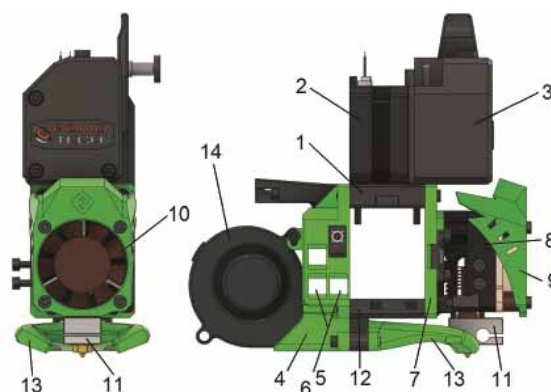
## 6. NYOMTATÓFEJEK

A nyomtató talán legfontosabb része a nyomtatófej, hiszen ez a részegység teszi a gépet ténylegesen 3D nyomtatóvá, enélkül csak egy 3 tengelyes CNC-vezérelt berendezésről beszélhetünk. A különböző gyártók folyamatosan terveznek újabb és újabb nyomtatófejeket, amelyekhez folyamatosan igazodni kell. Az ún. EVA-projekt, valamint a mögötte álló közösség célul tűzte ki egy olyan, négy alapvető egységből álló nyomtatófej megtervezését, amely szabadon variálható, azaz kompatibilis

- kétféle kinematikával,
- kétféle lineáris megvezetéssel,
- négyféle extruderrel,
- valamint hatféle nyomtatófejjel.

Természetesen a támogatott alkatrészek listája folyamatosan bővül. A korábban ismertett elveknek megfelelően részegységeiből összeállított nyomtatófej látható a 12. ábrán. Ezen jól megfigyelhető a nyomtatófejek négy főegysége is: A felső rész (1) (vízszintes, középső elem) hordozza a léptetőmotort (2) és az extrudert (3). A jobb oldali képen látható hátsó elem az IDEX nyomtatófejek (4) sajátossága, hogy két független nyomtatófej szíjhajtásához kapcsolódik. A két szíj egymás mellett fut (5) (a szíjak az ábrán nem láthatóak), azonban mindegyik csak egy nyomtatófejhez kapcsolódik, a másik nyomtatófejnél két „ablak” (6) került kialakításra, melyekben a szíj szabadon mozoghat. Az előlapon (7) található a nyomtatófej rögzítése (8), illetve a védőburkolat (9), mely egyúttal a nyomtatófej hűtéséért felelős ventilátort is takarja (10). A nyomtatófej felső része ebben a nézetben nem látható, viszont az alsó rész a fűtőblokkal és a fűvókával (11) tisztán kivehető. A negyedik főegység az alsó rész (12), amely a tárgyhűtés légtérelőit (13) - és a többi típusnál a ventilátort - hordozza, azonban ennél az egy verzióknál a ventilátor (14) a hátlapra került.

Ennek a verzióknak is vannak azonban hátrányai, például a hátlap felett megfigyelhető csonk, amely eredetileg a kábelkorbács rögzítését szolgálná. Ennél megfelelőbb az energialánc használata, amely esztétikusabb és biztonságosabb megoldás. Természetesen kisebb utólagos módosítással nem bonyolult a meglévő alkatrészek átalakítása a kívánt funkciók eléréséhez.



12. ábra: EVA 2.0 nyomtatófej [9]

## 7. ÖSSZEGRZÉS

A bemutatott munka alapján belátható, hogy az alumínium gépépítő profil alkalmazása jó választásnak bizonyul, mivel használata során egyrészt biztosítható a gép megfelelő stabilitása, - esetleg szükség szerint utólagosan keresztmerezítők bármikor egyszerűen beépíthetők - mindamelllett kellő rugalmasságot ad a moduláris építéshez, a prototípus utólagos fejlesztéséhez, variálhatóságához.

## IRODALOM

- [1] <https://www.trinamic.com/products/integrated-circuits/details/tmc2209-la/>
- [2] Dr. Kamondi László: Tervezésmélet. Miskolci Egyetem, 2002.
- [3] [www.3dee.hu](http://www.3dee.hu)
- [4] [www.raise3d.com](http://www.raise3d.com)
- [5] [www.zortrax.com](http://www.zortrax.com)
- [6] S. TORTA, J. TORTA: 3D Printing - An Introduction, Mercury Learning and Information, Boston, USA, 2019.
- [7] [www.alu-profilok.hu](http://www.alu-profilok.hu)
- [8] FATH Components: Themenkatalog Maschinenbaukomponenten, FATH GmbH, Németország, 2018.
- [9] <https://main.eva-3d.page/>
- [10] [www.variometrum.hu](http://www.variometrum.hu)

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az NTP-SZKOLL-21-0026 azonosítószámú „Szabad utat a tehetségnek! - a Terplán Zénó Szakkollégium tehetséggondozó programja” elnevezésű projekt keretében valósult meg az Emberi Erőforrások Minisztériuma és az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő támogatásával.

Ez a cikk a Hallgatói Tudományos Diákköri (TDK) tevékenységhez köthető publikációs pályázat támogatásával készült.