

MODULÁRIS ELVŰ TERVEZÉS (DFM) ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA: MODULÁRIS NAGYMÉRETŰ 3D-NYOMTATÓ TERVEZÉSE ÉS TERMÉKFEJLESZTÉSE

MODULAR PRINCIPLE DESIGN (DFM) THEORY AND PRACTICE: MODULAR DESIGN OF GIANT 3D-PRINTER AND PRODUCT DEVELOPMENT

Dr. Gotthard Viktor, PhD*

ABSTRACT

Today, flexibility is getting more and more focus in design. One of the effective solution methods for this can be DfM, i.e. modular design, which is presented during this study. Next, the application of DfM on a practical example will be presented, first on the example of a modular machine design, and then on two modular product family.

The special feature of this article is that the prototype of the presented large modular 3D printer, which will be able to 3D print 5-meter products, will soon be ready, as a development of G-MAX Europe Kft.

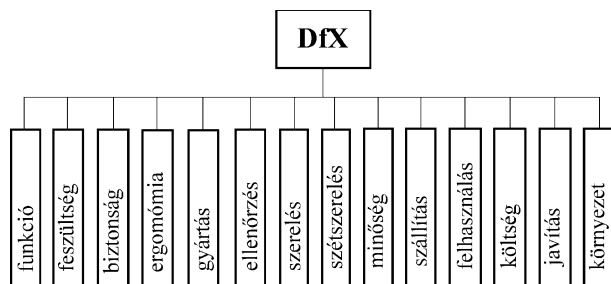
1. BEVEZETÉS

A DfX technikákat igen elterjedten alkalmazzák napjainkban a terméktervezés és a géptervezés során [1]. Egyik iránya a moduláris elvű tervezés (DfM), amelynek elméleti alapjait és az így tervezett moduláris rendszer jellemzőit mutatja be a cikk első része.

A cikk második része a DfM módszer tervezés során történő alkalmazására mutat be konkrét példákat. Előbb egy moduláris géptervezési, majd pedig két olyan moduláris elvű terméktervezési esetet ismertet, amely a bemutatott moduláris géppel gyártható.

2. A DfX-TECHNIKÁK FOGALMA ÉS IRÁNYAI

A DfX technikák elnevezés eredete az angol „Design for X” kifejezés és valamilyen szempontból helyes vagy optimális tervezést jelent [2]. A DfX technikák ismertebb és elterjedtebb módszerei az 1. ábrán láthatóak.



1. ábra. A DfX technikák irányai

Fontos megjegyezni, hogy a fejlesztés alapvetően kétféle folyamatot takar. Az egyik egy teljesen új termék vagy gép kifejlesztése, a másik pedig egy meglévő optimalizálása, azaz továbbfejlesztése.

3. A DfM ALKALMAZÁSA ÉS A MODULÁRIS RENDSZER JELLEMZŐI

A moduláris elvű tervezés (Design for Modularity - DfM) a DfX technikák elvének és a moduláris rendszerek sajátosságainak keresztezésével jött létre [3]. Azaz ebben egyesítésre kerülnek a fókuszált tervezés, valamint a moduláris elemekből álló termék- és gépcsaládok fejlesztési elvei.

A DfM egyesíti a géptervezés és a termékfejlesztés módszertanát is. Amikor egy új termék vagy gép esetén definiálni szeretnénk a szükséges modulokat, meg kell vizsgálni a rendszer jelenlegi elemeit és azok jellemzőit.

A moduláris rendszer elemeinek, azaz potenciális moduljainak meghatározásához meg kell válaszoljunk a következő kérdéseket. Milyen változatai vannak most? Milyen változatok szükségesek? Milyen változatok lehetségesek?

Az ezekre a kérdésekre adott válaszok alapján lehet felállítani a modulok előzetes rendszerét, amelyekből majd fel tudjuk építeni a teljes moduláris rendszert. Ezzel a módszerrel az 1. táblázatban látható modul típusokra kell felosztani a tervezendő moduláris rendszer elemeit, amelyekből majd utána építkezni tudunk.

1. táblázat. Modul típusok és jellemzőik.

MODUL TÍPUS	JEL	FUNKCIÓ, JELLEMZŐ
Alapmodul	A	Nem változik, mindig szükséges
Segédmodul	S	Csatoló, illesztő és határoló egységek
Speciális modul	SP	Feladatfüggő, speciális kiegészítők
Illesztő modul	I	Más rendszerhez integráláshoz szükséges
Egyedi elem	E	Egyedi igények esetén

*egyetemi adjunktus BME Gépészmérnöki Kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék / kutatási projektvezető, G-MAX Europe Kft.

A moduláris elemekből álló elemkészlet moduljai adott határokon belül tetszőlegesen változtathatóak, azaz variálható az elemek lehetséges kombinációja. Az ilyen elemekből felépített berendezés összeszerelése vagy beüzemelése során flexibilisen változtathatóak a moduloktól függő egyes paraméter-értékek (pl. pozíciószám, lökethossz), akár az állítható egységek segítségével, akár a modulok gyors és egyszerű cseréje révén.

2. táblázat. Moduláris alapelvek és jellemzőik.

ALAPELV	JELLEMZŐK
MODULÁRIS EMEK	Alapelemek, modulok, illesztő modulok, egyedi tételek.
RUGALMAS RENDSZER	A rendszer és elemei alkalmasak a szabad konfigurálásra.
SZABVÁNYOS EMEK	Gyorsan és könnyen cserélhető szabványos elemek vagy modulok.
STANDARD CSATLAKOZÁSOK	Az egyes moduláris elemek megfelelő csatlakozásának kialakítása.

A 2. táblázatban bemutatott elvek szerint szükséges felépíteni a moduláris rendszer elemkönyvtár-rendszerét (EKR), amely elemeinek felhasználásával az adott típusú termék, célgép vagy gyártósor az igény szerinti változatban és jellemzőkkel konfigurálható [4].

4. MODULÁRIS ELVŰ GÉPTERVEZÉS BEMUTATÁSA EGY MINTAPÉLDA SEGÍTSÉGÉVEL

4.1. A géptervezési feladat előzménye

A G-MAX Europe Kft. az Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) által kiírt 2021-1.1.4-GYORSÍTÓSÁV megnevezésű projekt keretein belül támogatást nyert el [5].

A projekt során egy olyan moduláris felépítésű 3D nyomtató célgépet valósítunk meg, amely alkalmas 5m x 1m x 1m befoglaló méretű termék egy technológiai lépésben és egy darabból történő előállítására. A gép tervezésében részt vett a BME Gépészmérnöki kar Gép- és Terméktervezés Tanszéke is.

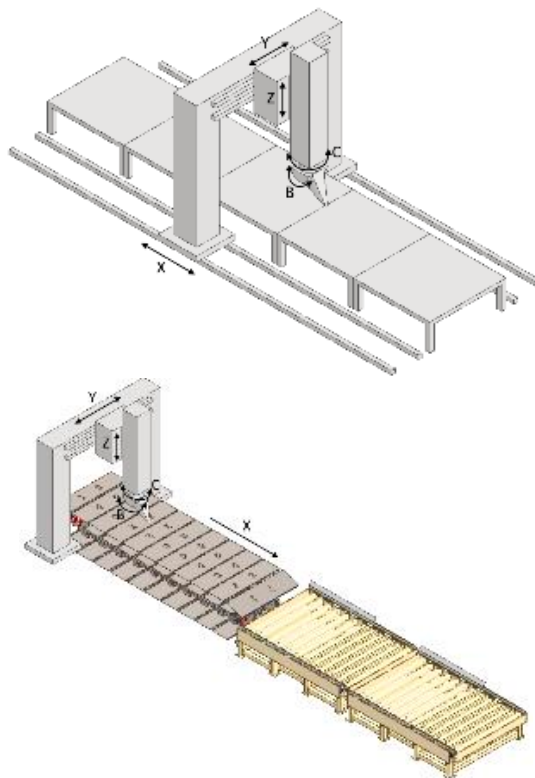
4.2. A gép koncepcionális kialakítása

A tervezés első lépése, mint minden célgép tervezése esetében az alkalmazott technológia, valamint a gépkoncepció, a fő elrendezés kiválasztása vagy kitalálása.

A megvalósítandó gyártástechnológia tekintetében a legelterjedtebb, legszéleskörűbb szervízzel és alapanyag-kiszolgálással bíró 3D-nyomtatási elvet, a szálolvasztásos (FDM) módszert választotta a tervezőcsapat.

Nagyméretű, hosszúkás termékek 3D-nyomtatására alapvetően kétféle elrendezés jöhet szóba az ismert és

elterjedt 3D-nyomtatók közül. Ezeket a változatokat a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. Lehetséges nagyméretű 3D-nyomtató elrendezések

Az egymás alatti két eset: az egyik, amikor a portált mozgatjuk lineárisan az X-tengely mentén és az asztal fix, a másik, amikor a portál áll és az asztal mozog, de valójában ez egy elrendezés esetén kétféle lehetséges megoldása a hosszanti relatív elmozdulásnak.

A másik eset, amikor az asztal helyett egy végtelenített szalagot alkalmazunk és a nyomtatófejet 45°-ban megdőntve 3D-nyomtatunk. Példaként láthatunk egy elterjedtebb, kisméretű ún. szalagos 3D-nyomtatót (Creality CR 30). a 3. ábrán [6].



3. ábra. Szalagos 45°-os elrendezésű 3D-nyomtató.

A tervezőcsapat a Pugh-mátrixot alkalmazva hozta meg a döntést és a nagyméretű 3D nyomtató szerkezeti kialakításaként a szalagos elrendezést választotta.

Ezután következett a 3D-nyomtató moduljainak meghatározása, azaz a szükséges modulok, azok változatainak és jellemzőinek meghatározása.

4.3. A modulok tervezése és bemutatása

A berendezés a 3. táblázatban látható modulokat tartalmazza, amelyek segítségével meg tudja valósítani az elvárt funkciókat.

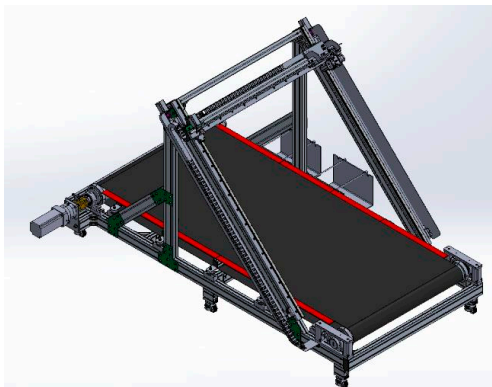
3. táblázat. A rendszer modulterképe.

JEL / MODUL	FUNKCIÓ	JELLEMZŐK
A / 3D-NYOMTATÓ	3D nyomtató fej mozgatása, vázrendszer	Ez a főmodul, minden változathoz szükséges és egyet minden esetben szükséges kiválasztani.
SP / 3D-NYOMTATÓFEJ	Szálolvasztás és előtolás	Minimum 1 szükséges, de lehet 2 is. Többféle típus van.
SP / SZALAG	Termék hosszanti mozgatása	Szélessége változtatható lehet, hossza adott. Többféle anyagból lehet.
S / KONVEJOR	Kinyomtatott, szalagról lelógó termék rész megtámasztása.	Többféle típus és méret lehet, min. 4m szükséges.
I / BURKOLAT	Termodinamikai izoláció a környezettől.	Választható modul. Többféle anyag és elrendezés.
I / KIEMELŐ	Alapgép és konvektor kiemelése.	Nem szükséges, ergonómiailag indokolt lehet.

A továbbiakban az egyes modulokat és azok változatait lehet megismerni részletesebben.

4.3.1. A 3D-nyomtató alapmodul

Ez a berendezés alapmodulja, mindenképpen szükséges egy darabot választani, minden új konfiguráció esetén.



4. ábra. A 3D-nyomtató alapmodul kialakítása.

A berendezés egy végtelenített szállítószalagos megoldással oldja meg a hosszanti mozgatást, míg a nyomtatófej vagy nyomtatófejek egy 45°-ban megdöntött síkon mozognak két tengely mentén.

4.3.2. A 3D-nyomtatófej speciális modul

A szálolvasztásos, FDM technológia megvalósításához kulcselem a 3D-nyomtatófej. Ez valósítja meg az odavezetett polimer szál, ún. filament megolvasztását és megfelelő előtölését, azaz adagolását a fogyás mértékében. A tervezőcsapat három eltérő típust választott, amelyek méretben, képességben és hatékonyságban is eltérnek egymástól, ezek láthatóak az 5. ábrán [7].



5. ábra. A kiválasztott 3D-nyomtatófejek.

A nyomtatófej modul esetében egy darab mindenképpen kiválasztandó a 3D-nyomtató főmodul működéséhez, az a főfej, az ún. primer-nyomtatófej. Ugyanakkor a gép úgy lett megtervezve, hogy két darab nyomtatófejet is képes kezelni.

A második, ún. szekunder nyomtatófej a sebességnövelés miatt lehet szükséges vagy támaszanyag nyomtatáshoz – ez esetben eltérő típus is lehet a primer nyomtatófejtől – vagy pedig főfej kapacitásának megkétszerezéséhez.

4.3.3. A szalag speciális modul

A 3D-nyomtató főmodul másik kulcseleme a szalag vagy heveder, amely a már kinyomtatott termék hosszanti, X-tengely menti mozgatását valósítja meg.

Ebből a segédmodulból is mindenképpen szükséges egy darab kiválasztása. A szalag végtelenített, hossza a gépasztal hosszától függ. A szalag anyaga eltérő lehet: műanyag vagy rozsdamentes fém is kiválasztható.



6. ábra. Fém szállítószalag kialakítása.

A szalag modul része a fűtőpanel, amelyből szintén több típus, méret és mennyiség választható, a megvalósítandó nyomtatóasztal fűtési zónák számától és méretétől függően.

4.3.4. A konvektor segédmodul

A konvektor modul fő funkciója a szalagot elhagyó termékrész stabil megtámasztása a 3D-nyomatás során és utána is, egészen a kinyomtatott új termék eltávolításáig.

Többféle konvektor méret és típus is megtervezésre került. Az egyik típus a görgős konvektor, amelyet egyméteres és kétméteres hosszban is kialakítottunk.



7. ábra.

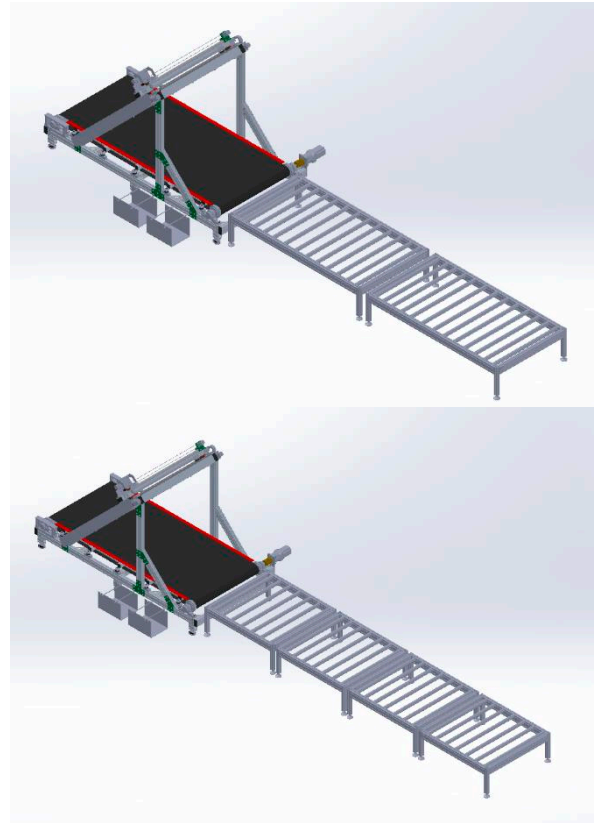
Görgős konvektor kialakítások (1m és 2m hossz).

A készterméknek a szalag nyomtatási irányra merőleges elvétele is megoldandó feladat lesz majd egy elkészült 3D-nyomatás után. Ezt segítő tervezte meg a csapat a golyós konvejtort, amelyen több irányban könnyedén mozgatható a termék.



8. ábra. Golyós konvektor segédmodul.

Az így megtervezett konvektorok lehetnek gravitációs elven működők és hajtottak is. Két lehetséges elrendezést láthatunk a 9. ábrán.

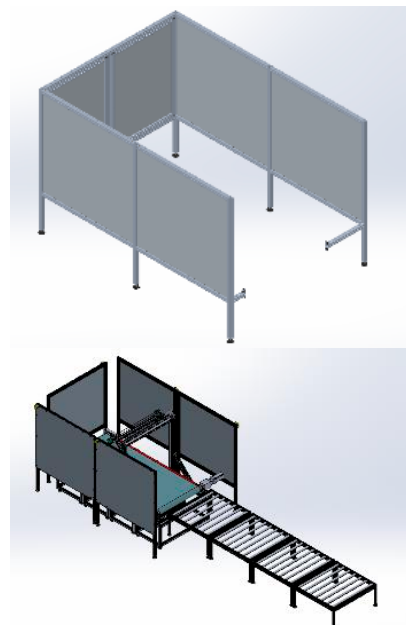


9. ábra. A 3D-nyomató alapmodul konvektorokkal.

Többféle típus és méret is szabadon kombinálható az aktuális igényeknek megfelelően.

4.3.5. A burkolat illesztő modul

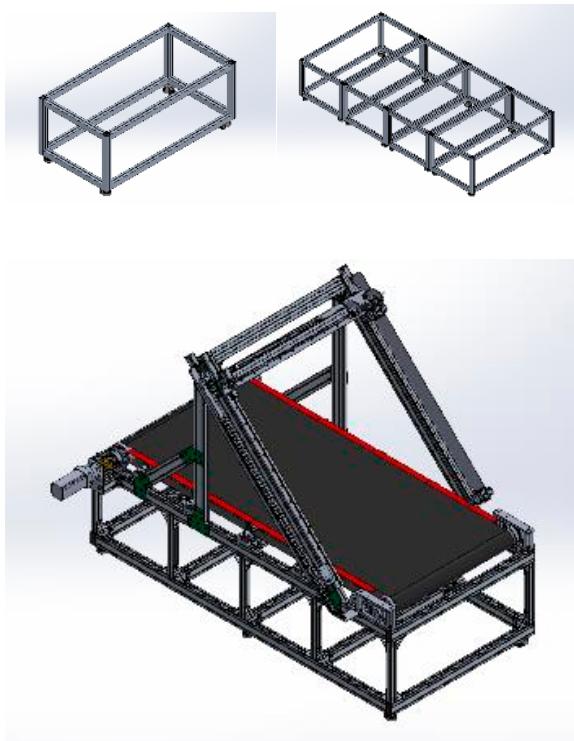
Az alkalmazandó polimer filament alapanyagtól függően szükség lehet a berendezés teljes vagy részleges burkolására, a környezettől való termodinamikai szigetelésére. Emiatt került megtervezésre a burkolat modul, amelyből kialakítás, méret és anyag tekintetében is többféle választható.



10. ábra. A burkolat segédmodul és géphez illesztése.

4.3.6. A kiemelő illesztő modul

A kiemelő illesztő modul feladata a berendezés kiemelése a talajtól és ergonómia szempontból a kezelés megkönnyítése. A kiemelő modul választható, nem szükséges, de kiválasztása esetén az alapmodulhoz és a konvektor modulhoz is szükséges illeszteni.



11. ábra. A kiemelő illesztő modul egy eleme, sorolása és alkalmazása.

5. MODULÁRIS ELVŰ TERMÉKTERVEZÉS BEMUTATÁSA ÉS EGY MINTAPÉLDA

5.1. A terméktervezési feladat előzménye

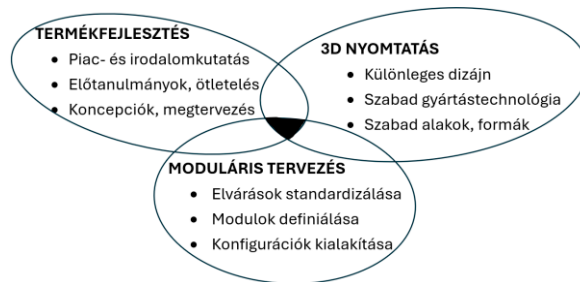
A már ismertett GYORSÍTÓSÁV projekt során kitérünk a terméktervezésre is, azaz 3D-ben megtervezzük azokat a termékeket (extrém hosszúságú termékek, prototípusok, moduláris termékcsaládok), amelyek egyben történő 3D-nyomtatásaa jelenleg nem megoldott [5].

5.2. Moduláris kialakítású termék tervezése

A következőkben először az alkalmazott módszert ismertetjük, majd pedig az annak segítségével megtervezett két moduláris kialakítású 3D-nyomtatott termékcsaládot.

5.2.1. Az alkalmazott módszer

A termékek kifejlesztése során három elv kombinációját alkalmaztunk: a termékfejlesztés [6], a moduláris elvű tervezés és a 3D-nyomtatás szempontjából helyes tervezés (DF3DP), majd azok metszetében találtuk meg az optimális tervezési módszert, a 12. ábra szerint.



12. ábra. A három alkalmazott módszer kombinálása.

A terméktervezés során számos hosszúságú és 3D-nyomtható termék került kifejlesztésre. A következőkben két olyan termék kerül bemutatásra, amelyek moduláris felépítésűek és legyártásuk a bemutatott célgéppel lehetséges és egyben indokolt is.

5.2.1. Moduláris agilitás pályarendszer

Az egyik megtervezett 3D-nyomtatott nagyméretű termékcsalád az agilitás pályarendszer, amelyet kutyás ügyességi bemutatókon lehet alkalmazni.

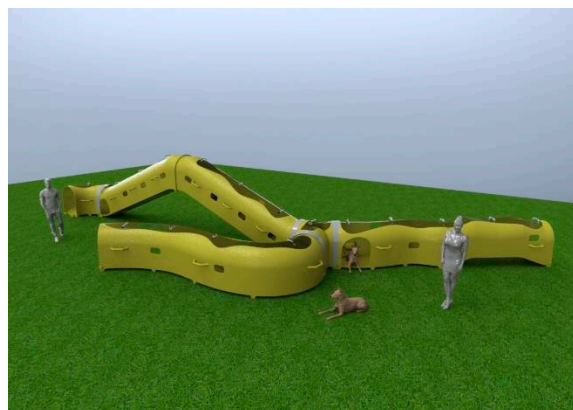
A 13. ábrán a megtervezett moduláris elemek láthatóak, amelyek az előzetes piackutatás alapján kerültek kialakításra.



13. ábra.

A moduláris agilitás pályarendszer néhány eleme.

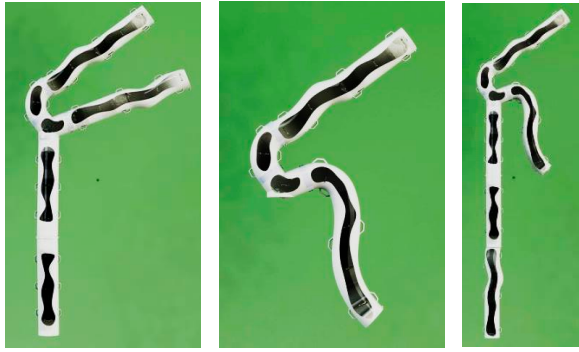
Ezután következett az egyes modulok kombinálásával a pályarendszer konfigurálása, ami kutyás ügyességi pályákat üzemeltető szakemberekkel együtt került kialakításra.



14. ábra.

Egy lehetséges moduláris agilitás pálya látványterve.

A rendszer nagy előnye a közel szabadon kombinálhatóság és illeszthetőség, köszönhetően a moduláris kialakításnak.



15. ábra.

Moduláris agility pálya elrendezési változatok.

Az eltérő elrendezés kialakítása akár egy azon telephelyen történő időközönkénti átrendezéssel vagy akár az újbóli telepítési helyeken mindig eltérő kombináció kialakításával is megoldható.

5.2.1. Moduláris kerekesszékes elérékenyítő pálya

Egy másik megtervezett 3D-nyomtatott nagyméretű termékcsalád a moduláris kerekesszékes elérékenyítő pályarendszer. A termék célja a kerekesszékesek életének és mindennapi akadályainak megismerttetése a társadalom többi résztvevőjével.

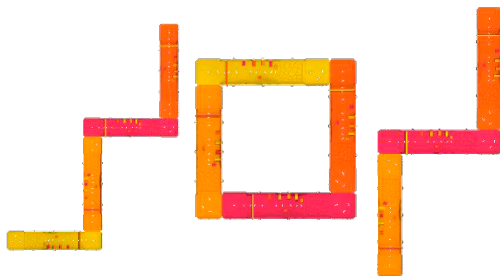
A 16. ábrán az egyik megtervezett moduláris pálya elem látható, amely hasonló, létező, de fából épített pályák alapján került megtervezésre – ilyeneket szoktak telepíteni például fesztiválokra.



16. ábra. A moduláris kerekesszékes pálya egyik megtervezett elemének látványterve.

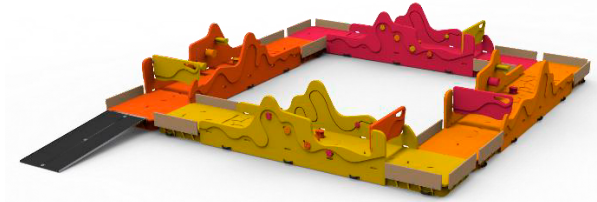
A bemutatott pálya tartalmaz számos mindennapi akadályt, például járdaszegély, macskakő, kiskapu.

Ezután következett az egyes modulok kombinálásával a pályarendszer konfigurálása, amely szakemberek bevonásával került kialakításra.



17. ábra. Három lehetséges elrendezés felülnézetben.

A rendszer nagy előnye a közel szabadon kombinálhatóság és illeszthetőség, köszönhetően a moduláris kialakításnak.



18. ábra.

Egy lehetséges kombináció izometrikus nézetben.

Az eltérő elrendezés kialakítása akár egy azon telephelyen történő időközönkénti átrendezéssel vagy akár az újbóli telepítési helyeken mindig eltérő kombináció kialakításával is megoldható.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatására került a DfX technikák alapelve és főbb irányai, majd részletesen kitértünk a DfM azaz a moduláris elvű tervezés elméletére és gyakorlatára, amelyet mind a géptervezés, mind a termékfejlesztés során hatékonyan lehet alkalmazni.

Ezután elsőként egy speciális célgépet és moduljait mutattuk be, amely a DfM módszer segítségével került megtervezésre és így a moduljai számos konfiguráció létrehozását teszik lehetővé.

Majd következett két moduláris termékcsalád ismertetése és a kifejlesztett modulok, végül több lehetséges elrendezés és kombináció bemutatása.

A megtervezett moduláris 3D-nyomtató célgép prototípusa jelenleg kivitelezési fázisban van, tehát hamarosan a gyakorlatban győződhetünk meg a tervezési elmélet megfelelőségéről mind a gép, mind a tervezett termékek tekintetében.

7. IRODALOM

- [1] Bercsey T.: A termékfejlesztés és tervezés innovatív módszere. Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2004.
- [2] Andreassen M. M.: Multi product development: New models and concepts, 15. Symposium "Design for X" Neukirchen, October 14-15, 2004.
- [3] Dr. Gotthard V.: Moduláris felépítésű gyártó-sorok tervezésének elmélete és gyakorlata, PhD értekezés, BME, 2008.
- [4] Kripác F.: Az "építőszekrény"-rendszer alkalmazása a technikában, KGM-MTPI, Budapest, 1963.
- [5] <https://g-max.hu/palyazat/>
- [6] Dr. Bercsey Tibor, Dr. Horák Péter: Terméktervezés módszertana BME, GSZI, 2007.
- [6] <https://www.creality.com/products/creality-cr-30-3d-printer>
- [7] <https://www.3djake.com/spare-parts-upgrades/3d-printer-extruders>