

DIPLOMADOLGOZAT

Figeczki-Mélykúti Péter

2024.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Műszaki intézet mesterképzési szak

3D nyomtatott alkatrész generatív tervezése

Belső konzulens:	Dr. Szakál Zoltán egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok tanszék
Készítette:	Figeczki-Mélykuti Péter

Gödöllő
2024.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS.....	2
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉSEK.....	3
2.1.	3D NYOMTATÁS	3
2.2.	NÉHÁNY FONTOSABB TECHNOLÓGIA A 3D NYOMTATÁSBAN.....	3
2.2.1.	FDM/FFF (FUSED DEPOSITION MODELLING) TECHNOLÓGIA	3
2.2.2.	SLA (STEREOLITHOGRAPHY) TECHNOLÓGIA.....	5
2.2.3.	SLS (SZELEKTÍV LÉZER SZINTEREZÉS) TECHNOLÓGIA	6
2.2.4.	DMLS (DIRECT METAL LESER SINTERING).....	8
2.3.	GENERATÍV TERVEZÉS.....	9
2.4.	A 3D NYOMTATÁS ÉS GENERATÍVTERVEZÉS KAPCSOLATA.....	12
2.4.1.	Generatív tervezés.....	12
2.4.2.	Kapcsolat a 3D Nyomtatással.....	12
2.5.	SZOFTVEREK	14
2.5.1.	Catia – Generative Design Engineering	14
2.5.2.	Autodesk Fusion 360.....	15
2.5.3.	ANSYS DesignXplorer	17
2.5.4.	Solid Edge Generative Design	18
2.5.5.	Altair inspire	19
2.5.6.	Creo Generative Design	21
3.	GENERATÍV TERVEZÉS ÉS 3D NYOMTATÁS.....	23
3.1.	TERHELŐ ERŐK MEGHATÁROZÁSA	23
3.2.	A GENERATÍV TERVEZÉS	24
3.3.	AZ ADDITÍV GYÁRTÁS	31
3.4.	SZIMULÁCIÓ ANSYSBAN	32
3.4.1.	PA6-CF eredményei.....	35
3.4.2.	ABS eredményei	35
3.4.3.	HIPER PLA eredményei	36
4.	VIZSGÁLAT	38
5.	KIÉRTÉKEELÉS	44
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	50
7.	IRODALOMJEGYZÉK.....	51
8.	TÁBLÁZAT- ÉS ÁBRAJEGYZÉK	54
9.	HALLGATÓI NYILATKOZAT.....	55
10.	KONZULENSI NYILATKOZAT.....	56

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A generatív design egyre jelentősebb szerepet játszik a modern tervezési és mérnöki folyamatokban, különösen a számítógépes tervezés és gyártás területén. Az innovatív megközelítés az algoritmusok és mesterséges intelligencia (MI) alapú rendszerek segítségével új módszereket kínál különféle tervezési problémák megoldására. A generatív design nem csupán eszközként működik a tervezési folyamatban, hanem lehetővé teszi a tervezők számára, hogy az automatizálás révén új és kreatív megoldásokat fedezzenek fel, amelyek eddig elképzelhetetlenek voltak. A technológiának a térhódítása komoly előrelépést jelent, és számos iparágban átalakíthatja a tervezés folyamatát.

Az ilyen modelleket főként additív gyártással állítják elő. Ennek az az előnye, hogy ez egy rétegről rétegre építkező technológia és így korlátok nélkül tud építkezni egy 3D nyomtató. Az additív technológia lehetővé tesz olyan műszaki megoldások megvalósítását, amit csak nagyon nehezen és költségesen esetenként több hagyományos megmunkálási eljárást ötvözve lehet létrehozni, vagy egyáltalán megvalósíthatatlan lenne az adott termék legyártása.

Azért ezt a témát kívánom feldolgozni, mivel úgy gondolom rengeteg potenciál rejlik ebben a fejlesztési irányban. A generatív design-nal rengeteget lehet spórolni mind anyag-, idő-, munka- és megőrzési költségen. (Brossard et al., 2020.)

A generatív tervezés nagy mértékben függ attól, hogy milyen alapanyagból készül el a kész darab, ebben a dolgozatban mégis az a célom, hogy tervezek egy alkatrészt egy féle anyagminőséggel és egy féle nyomtatási irányultsággal és ezt az alkatrészt különböző anyag minőségekkel kinyomtatom és azt vizsgálom mennyire befolyásolja az alkatrész mechanikai szilárdságát az alapanyag választás. Csinálok olyan vizsgálatot is, amiben azt nézem, hogy azonos alapanyag mellett a nyomtatás irányultsága mennyire befolyásolja majd a mechanikai szilárdságát a kész munkadarabnak. Végezetül összehasonlítom milyen eredményeket mutat ugyan az az alkatrész, hagyományos megmunkálási eljárással készítve.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉSEK

2.1. 3D NYOMTATÁS

Az additív gyártás, más néven 3D nyomtatás, egy olyan technológia, amely lehetővé teszi háromdimenziós tárgyak létrehozását digitális fájlok alapján. A technológia rétegről rétegre építi fel a tárgyat anyag hozzáadásával, ami lehetővé teszi komplex formák létrehozását minimális hulladéktermeléssel, szemben a hagyományos anyagleválasztó gyártási technológiákkal, mint például a forgácsolás. (Instant3D, dátum nélk.)

A 3D nyomtatás története 1981-ben kezdődött, amikor Dr. Hideo Kodama megalkotta az első berendezést, amely képes volt háromdimenziós tárgyak létrehozására fotopolimer gyanta rétegről rétegre történő megszilárdításával UV fénnel. Ez az úgynevezett Stereolithography (SLA) / Digital Light Processing (DLP) technológia, amelyet ma is használnak, és amellyel a legjobb felületi minőségű és mérethű tárgyak hozhatók létre. (UltiMaker, dátum nélk.)

1988-ban Carl Deckard kifejlesztette a Selective Laser Sintering (SLS) technológiát, amelyben egy nagy teljesítményű lézer polimer port olvasztott össze rétegenként. Az SLS technológia előnye, hogy a meg nem olvasztott por képes alátámasztani a már megszilárdult tárgyat a szükséges helyeken, így nincs szükség extra támaszanyag nyomtatására. Ez a technológia lehetővé tette nem csak polimerek, de kerámiák, üveg, és fémek nyomtatását is. (UltiMaker, dátum nélk.)

1989-ben Scott Crump feltalálta az FDM, vagy későbbi nevén FFF (Fused Filament Fabrication) nyomtatást, ahol a berendezés vékony, drótszerű hőre lágyuló polimerszálat olvasztott meg, és egy platformra fecskendezett, ami megszilárdult, majd erre a megszilárdult rétegre építette a következő réteget. A 2005-ben induló REPRAP mozgalom és a 2006-ban feloldott FDM licenszek hatására robbanásszerű fejlődésnek indult ez a technológia, ami hatására ma már könnyen hozzáférhető, olcsó, széles anyagválasztékú FFF nyomtatás létezik. (UltiMaker, dátum nélk.)

2.2. NÉHÁNY FONTOSABB TECHNOLÓGIA A 3D NYOMTATÁSBAN

2.2.1. FDM/FFF (FUSED DEPOSITION MODELLING) TECHNOLÓGIA

Az FDM/FFF egy additív gyártási technológia, amely rétegről rétegre építi fel a tárgyakat hőre lágyuló műanyag szál, úgynevezett filament felhasználásával. A filamentet egy adagolómotor továbbítja az extrudáló fejhez, amely az x-y síkban, esetenként csak az x tengely mentén mozog.

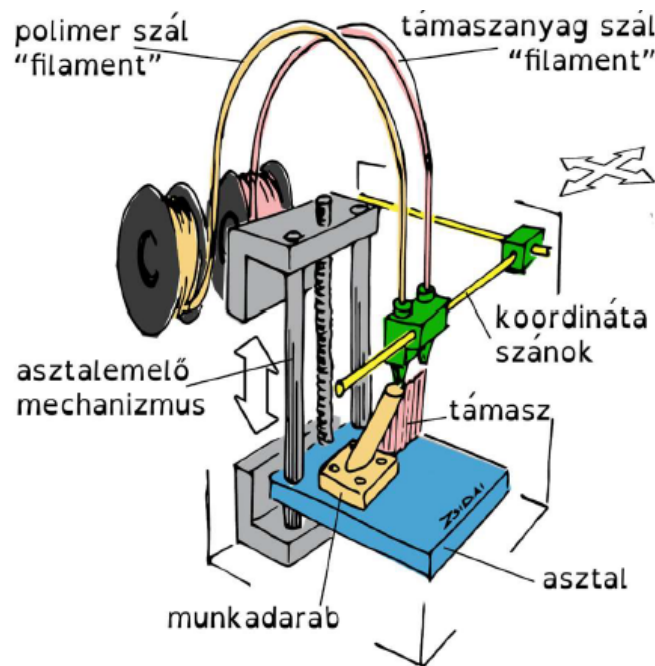
A nyomtatási folyamatot megelőzően a 3D modellt egy szeletelő szoftverbe importáljuk, ahol a geometriai tulajdonságok alapján orientálást és támasztékok esetleges hozzáadását végezzük el. Ezen a ponton állítjuk be a nyomtatási paramétereket, mint például a rétegvastagságot, a támaszstruktúrákat (support), a tapadást elősegítő elemeket (adhesion), a kitöltés (infill) sűrűségét. A paraméterek meghatározása után a szoftver egy G-kódot, vagy bizonyos nyomtatók esetén azok egyedi G-kódon alapú vezérlő nyelvére generálja, amely az extrudert tartalmazó nyomtatófej mozgását irányítja. (Cs. 2023)

Az extrúderben történik a filament megolvasztása, amelyet az így keletkezett olvadék a fűvókán keresztül lép ki, és az előre beállított paramétereknek megfelelően egy adott keresztmetszet kontúrját, valamint a belső kitöltést (infill) rajzolja meg az adott rétegre. Az első réteg tartalmazhat egy tapadást elősegítő réteget (adhesion), amely a nyomtatási folyamat végeztével eltávolítható. Miután egy réteg elkészül, a fűtött nyomtatótálca egy réteg vastagságával lefelé mozdul, vagy alternatív esetben az extrúder fej emelkedik egy rétegvastagsággal a következő réteg számára. (Frankli 2022.)

A nyomtatási folyamat során a támasztékok alapanyaga megegyezik az építőanyaggal, azonban kétfejes FFF nyomtatók esetén lehetőség van oldható támasztékot használni a második fejben. Ilyenkor, amikor a támasztékok építése szükséges, az építőanyagot adagoló nyomtatófej elhagyja a nyomtatóteret, és a támasztékanyaggal betöltött második nyomtatófej folytatja a támasztékok kialakítását. Nyomtatás után, ha alámetszéseket is tartalmazó alkatrészeket készítettünk, a támasztékok mechanikus eltávolítása következik, amelyet jellemzően szikével vagy csipesszel végzünk. Kétfejes FFF nyomtatók esetében az oldható támaszték eltávolítása gyakran vízbázisú lúgos oldatban történik, amely feloldja a támasztékrétegeket. (Instant3D dátum nélk.)

Az utóbbi években egyre elterjedtebbé váltak az ipari FFF/FDM nyomtatók, amelyek zárt munkatérben, szabályozott körülmények között biztosítják a gyártási folyamatot. Ezekben a berendezésekben a filamentet megolvasztó nyomtatófej hőmérséklete akár 420°C-ra is felfűthető, lehetővé téve különböző műszaki anyagok feldolgozását. Napjainkra több autóiipari és hadászati vállalat is integrálta az FFF technológiát gyártási folyamataiba, így növelve a termelékenységét és a rugalmasságot.

Az FDM/FFF technológia előnyei közé tartozik a költséghatékonyság, a gyors prototípus-előállítás, valamint a hőre lágyuló anyagok széleskörű alkalmazhatósága. Ugyanakkor hátrányként említhető a viszonylag alacsonyabb nyomtatási felbontás és a rétegvonalak láthatósága, amelyek gyakran igényelnek utófeldolgozást a sima felület elérése érdekében. (Instant3D dátum nélk.)



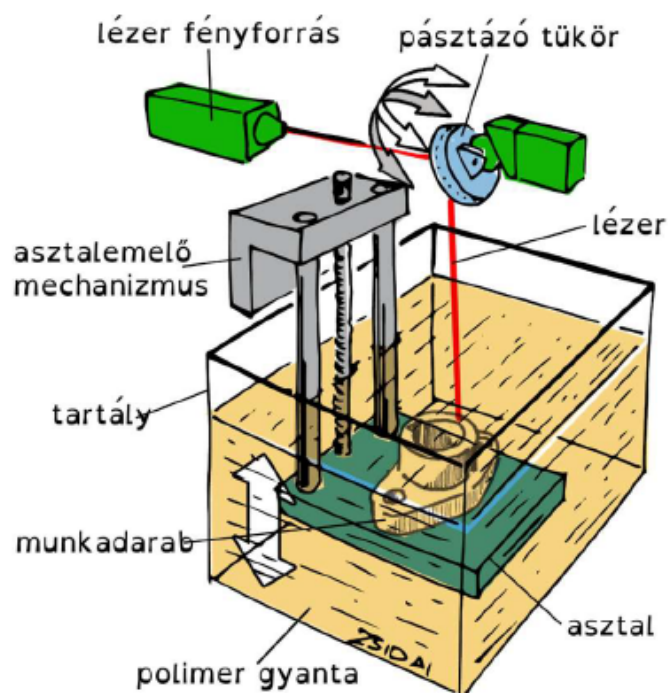
1.ábra FFF 3D nyomtató
(forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag)

2.2.2. SLA (STEREOLITHOGRAPHY) TECHNOLÓGIA

A sztereolitográfias (SLA) technológián alapuló 3D nyomtatási folyamat során folyékony fotopolimer gyantát alkalmazunk, amelyet lézerténnyel térhálósítunk az egyes rétegek vastagságának megfelelően. A lézersugár fókuszált energiája a gyantát célzott pontokon megkeményíti, így a folyamat során a gyanta térhálósodik és megszilárdul, rétegről rétegre felépítve a kívánt objektumot. (Frankli 2022)

A gyanta alapú 3D nyomtatási folyamat során a gyanta tartó tálca és a nyomtatóplatform mozgása a nyomtató típusától és gyártójától függően eltérhet: egyes esetekben a nyomtatott darabot a platform felfelé húzza ki a gyantából, míg más rendszereknél a platform rétegenként süllyed a gyantával teli tartályba. Bizonyos mértékű alámetszés elérésekor az alkatrészeket támasztékokkal (support) kell ellátni, amelyek anyaga ugyanaz a fotopolimer gyanta. Ezeket a támasztékokat a nyomtatás után távolítjuk el, és a csatlakozási pontok minősége, láthatósága nagymértékben függ a nyomtató típusától, az alapanyagtól és a támasztékrendszertől. Ha a nyomtatási platform a gyantatartályba süllyed, kevesebb támaszték is elegendő lehet, mivel a sűrű gyanta egy bizonyos mértékig önmagában is támasztékot nyújt. A nyomtatás után érdemes rövid ideig várni, hogy a nyomtatott darabon lévő felesleges folyékony gyanta visszacsepegjen a tartályba. (Sculpeto Dátum nélkül.)

Az utómunkálatok, vagyis a post-process, következik a nyomtatási folyamat után. Első lépésként eltávolítjuk a támasztékokat, majd a tárgy felületéről a maradék gyantát kétkörös izopropil-alkoholos (IPA) mosással ultrahangos tisztítóban tisztítjuk meg, amit sűrített levegővel végzett szárítás követ. A megtisztított alkatrészeket ezt követően UV-kamrában utólagos térhálósításnak vetjük alá, hogy elérjék az adatlapjukban megadott mechanikai tulajdonságokat. A technológia lehetővé teszi a részletgazdag, kiváló felületi minőségű és nagy pontosságú alkatrészek előállítását. Az alapanyag típusától függően a technológiával olyan végtermékek is készíthetők, amelyek alkalmasak beépítésre, salakmentesen kiégethetők formaadó testekhez, vagy akár vákuumöntéshez használható ösminták gyártására. (Formlabs Dátum nélk.)

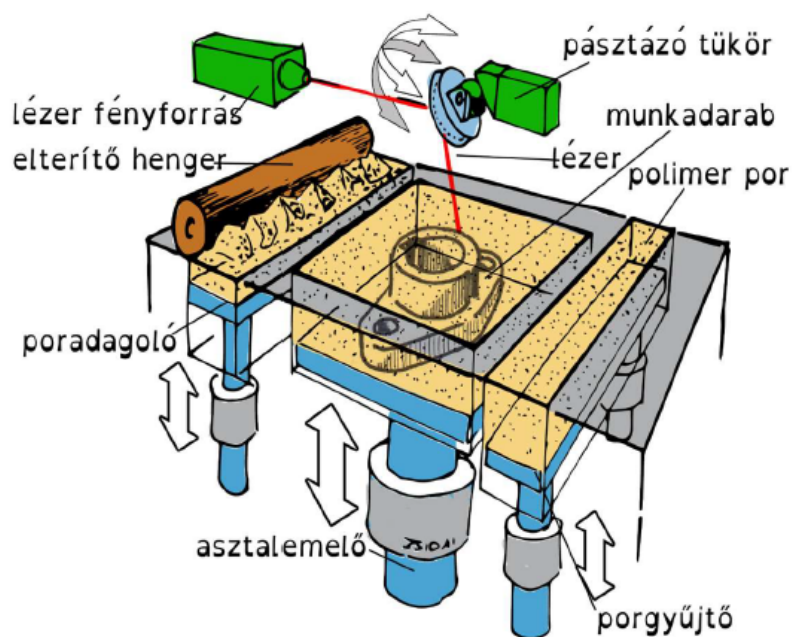


2.ábra SLA 3D nyomtató
(forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag)

2.2.3. SLS (SZELEKTÍV LÉZER SZINTEREZÉS) TECHNOLÓGIA

Szelektív lézer szinterezés (SLS) során a gép a fűtött munkatérben egyenletes rétegvastagságban teríti szét a hőre lágyuló műanyag port, majd ezt követően a lézer a réteg meghatározott kontúrja mentén halad végig, a fókuszált hőhatás révén összeolvasztva a por anyagát. Miután egy réteg elkészült, a nyomtatóplatform a következő réteg egy vastagságnival lesüllyed, és a folyamat a következő réteg terítésével és szinterezésével folytatódik. (Formlabs Dátum nélk.).

A nyomtatási folyamat befejezése után az elkészült tárgyaknak hűlniük kell, mivel a gyártási közeg temperált és a magas hőmérsékleten történő gyártás, valamint a porágy kiváló hőszigetelő képessége miatt a lassú és egyenletes hűtés elengedhetetlen. A hűlési idő segít elkerülni a vetemedést, és jellemzően nagyságrendileg megegyezik a nyomtatási idővel. A gyártási folyamat utolsó lépéseként az elkészült tárgyakat eltávolítják a porágyból, majd homokszórás segítségével tisztítják meg a maradék portól. Az SLS technológiával készült alkatrészek azonnal beépítésre és használatra alkalmasak, homogén felületi érdességgel és porózus felszínnel rendelkeznek. Az SLS technológia egyik legnagyobb előnye, hogy a porágy maga szolgál támasztékként, így a támaszték eltávolítása könnyen elvégezhető, anélkül, hogy az alkatrész károsodna. Ez a támasztékmentes gyártás lehetővé teszi a formai szabadság maximalizálását a tervezés során. További előnye, hogy a porágyas technológia révén az alkatrészek egymás fölé helyezhetők (nesting), ami hatékonyabb térkihasználást eredményez a nyomtatótérben, gyorsítja a gyártási folyamatot, és költséghatékonyabbá teszi az előállítást. Ezenkívül az SLS technológia lehetővé teszi izotróp anyagtulajdonságokkal rendelkező tárgyak gyártását, magas ismételhetőséggel. (3DSOURCED 2024.)



3.ábra SLS 3D nyomtató
(forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag)

2.2.4. DMLS (DIRECT METAL LASER SINTERING)

A Közvetlen Fém Lézerszinterezés (Direct Metal Laser Sintering, DMLS) egy forradalmi additív gyártási technológia, amely lehetővé teszi komplex fémalkatrészek gyors és pontos előállítását. Ezt a technológiát széles körben használják különféle iparágakba.

Működési elvét tekintve alapvetően egy additív gyártási folyamat, amelynek során fémport rétegenként olvasztanak össze egy nagy teljesítményű lézersugárral. A CAD modell rétegekre bontják, amelyek mindegyike néhány mikrométer vastag. Ezeket a rétegeket a gyártási folyamat során egyenként építik fel. Egy vékony réteg fémport kerül felvitelre egy építőplatformra. A por vastagsága általában 20-100 mikrométer között van, és az építőplatform fokozatosan leereszkedik minden új réteg felvitele előtt. Egy nagy teljesítményű lézersugár olvaszt meg anyagot végig a fémportrétegen, pontosan azokon a területeken, ahol szükséges, amely aztán megszilárdul, így létrehozva az alkatrész egy rétegét. (Materialise Dátum nélk.)

Az építőplatform egy rétegvastagsággal lejjebb süllyed, és egy újabb porréteg kerül felvitelre. Ezt a folyamatot addig ismétlik, amíg az egész alkatrész fel nem épül. Az egész gyártás közben a munkateret semleges védőgázzal látják el a korrózió, és egyéb nem kívánt ötvözetek elkerülése érdekében. Az elkészült alkatrészt ki kell venni az építőplatformról, és további utókezelési lépések szükségesek lehetnek, mint például hőkezelés, felületkezelés vagy mechanikai megmunkálás. (MetalPrinting Dátum nélk.)



4.ábra DMLS 3D nyomtatás
(forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag)

2.3. GENERATÍV TERVEZÉS

A generatív tervezés egy innovatív technológia, amely lehetővé teszi, hogy 3D modelleket számítógépes szoftver hozzon létre és optimalizáljon. Ez a folyamat több különböző technológiát alkalmaz, beleértve a topológiai optimalizálást és a szimulációt. Mindezen technológiák együttműködése mellett a mérnök továbbra is irányítása alatt tartja a tervezési folyamatot. Egy interaktív folyamat során a felhasználó meghatározza a modell követelményeit, mint például a gyártási folyamatokat, a terheléseket és a korlátokat. Ezen feltételek alapján a szoftver autonóm módon hoz létre egy sor tervezési alternatívát, amelyek megfelelnek a megadott kritériumoknak. (Autodesk, Varinex 2019)

A hagyományos tervezés során általában több koncepciót hoznak létre, majd értékelik és optimalizálnak egyet vagy többet ezek közül. A generatív tervezés ezzel szemben a tervezési célokkal kezdődik, és algoritmusok segítségével automatikusan generál optimalizált tervezési opciókat. Ez a folyamat gyakran olyan organikus formákat eredményez, amelyek hasonlítanak a természetben látottakra. A generatív tervezés célja olyan modellek létrehozása, amelyek megfelelnek a tervezési céloknak és betartják a korlátokat, minimális anyagfelhasználással és könnyebb alkatrészekkel. Ez a folyamat innovációt is elősegíthet, mivel áttöri az előítéleteinket arról, hogy hogyan kellene kinéznie egy modellnek. (Eplmblog 2019)



5.ábra Generatíván tervezett alkatrész részlet
(forrás: Papp 2019.)

Egy alkatrészt számos módszerrel lehet előállítani, mint például marással, öntéssel vagy additív gyártással. Az adott célnak legmegfelelőbb eljárás és anyag kiválasztása érdekében a generatív tervezés különböző anyagok és gyártási módszerek kombinációit mutathatja be. A felhasználó kiválasztja azt az opciót, amely leginkább megfelel a követelményeinek, majd tovább finomítja a munkadarabot. (SIEMENS Dátum nélk.)

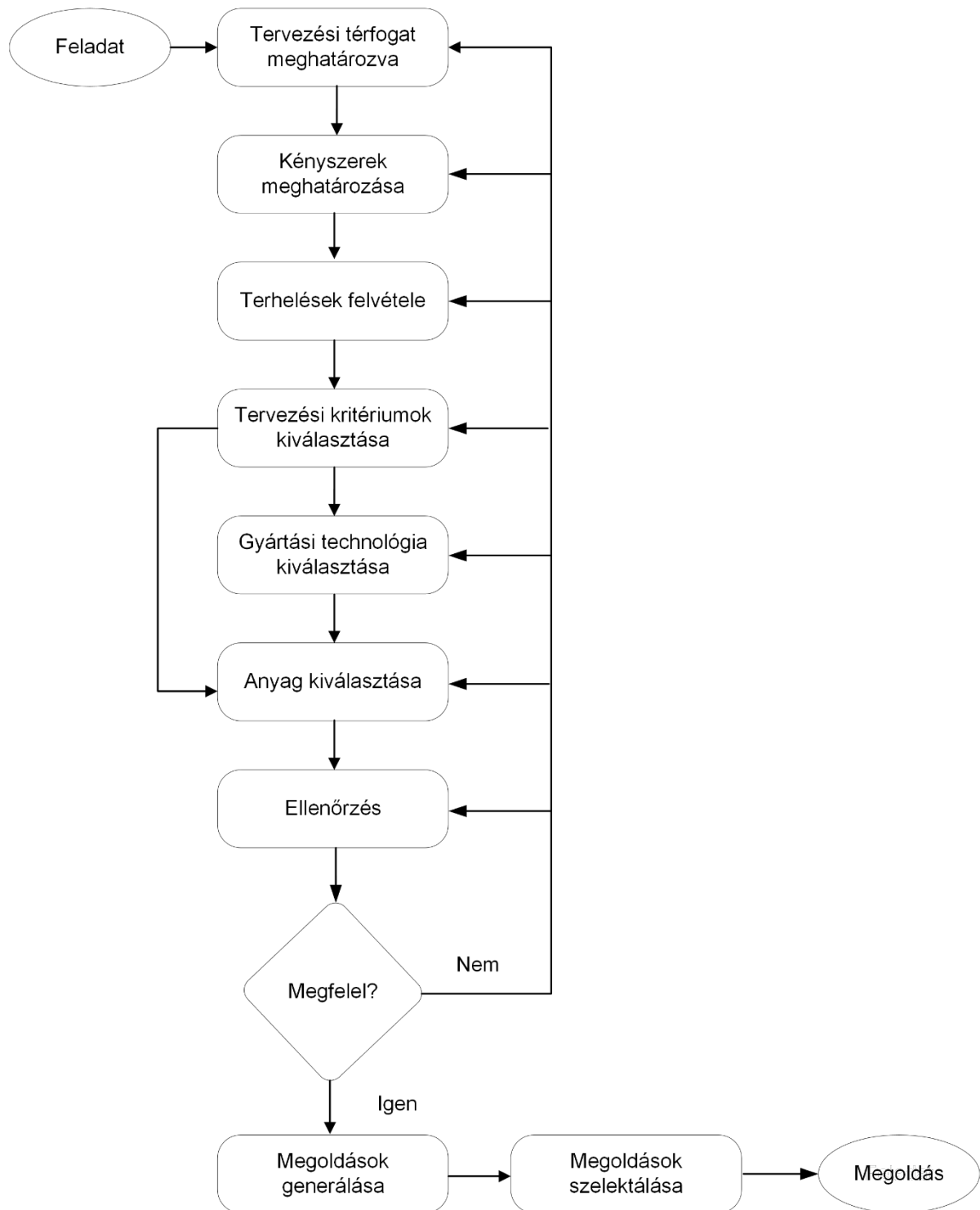
Például lehet olyan alkatrészt létrehozni additív és hagyományos megmunkálással, hogy van egy egyszerű gyorsan és olcsón gyártható hasáb alakú munkadarab hűtőjáratokkal, amit egy 3 tengelyes maró meg tud csinálni és van egy bonyolult generatív tervezéssel készült felső vagy alsó hőcserélő része a munkadarabnak, amit egyszerűbb felrakó 3D nyomtatási technológiával az alapanyagra építeni. A hibrid módszer egy gyors és költséghatékony eljárási folyamat mivel az alap test nyomtatása költséges lenne és nem igényel feltétlenül additív gyártást míg a hőcserélő részt nem is nagyon lehetne máshogy megoldani.

Fontos hangsúlyozni, hogy a generatív tervezés nem helyettesíti a mérnököket, hanem kiegészíti a tervezési folyamatot. A mérnöknek továbbra is figyelembe kell vennie a súlyhatárokat, fizikai korlátokat és az anyagok elérhetőségét. Minél pontosabban definiálja a mérnök ezeket a kritériumokat, annál hatékonyabban tudja a rendszer felfedezni a lehetséges megoldásokat, és segíteni jobb, innovatívabb termékek létrehozásában. (EngineeringProductdesign 2023)

A legtöbb tervezés korábban bevált modelleken alapul, de a generatív tervezés lehetővé teszi a tervezők számára, hogy kitörjenek ebből a rutinból, és új alkatrészeket hozzanak létre, amelyek meghaladják a követelményeket. Ezek a tervek nem könnyen másolhatók a versenytársak által. (Kelemen D. 2022)

Feszültségelemzést végezve a generatív tervezési eredményeken ellenőrizhetjük a tervek minőségét és tartósságát, biztosítva, hogy a terv a valóságban is működjön.

A generatív tervezés segíthet megtalálni azokat a módokat, amelyek drámaian javítják az alkatrészek szilárdságát, és csökkentik a súlyt és az anyagfelhasználást a régi tervekben. (Autodesk, Varinex 2019)



6.ábra A generatív tervezési folyamat lépései
(forrás: Szabó& Hegedűs 2020)

2.4. A 3D NYOMTATÁS ÉS GENERATÍVTERVEZÉS KAPCSOLATA

2.4.1. Generatív tervezés

A generatív tervezés egy olyan technológia, amelyben a 3D modelleket számítógépes szoftver hozza létre és optimalizálja. A folyamat több technológiára támaszkodik, beleértve a topológiai optimalizálást és a szimulációt. Mindezek a technológiák együttműködnek, de a mérnök továbbra is irányítás alatt tartja a folyamatot. Egy interaktív folyamat során a felhasználó meghatározza a modell követelményeit, például a gyártási folyamatokat, a terheléseket és a korlátokat.

A szoftver ezután autonóm módon hoz létre egy sor tervezési alternatívát, amelyek megfelelnek ezeknek a követelményeknek. A generatív tervezés létre tud hozni olyan bonyolult formákat, amiket hagyományos lefejtő eljárással egyáltalán nem, vagy csak nagyon körülményes módon lehetne legyártani. (Sebastian 2024)

2.4.2. Kapcsolat a 3D Nyomtatással

A 3D nyomtatás vagy additív gyártás kiegészíti a generatív tervezést azáltal, hogy lehetővé teszi bonyolult és optimalizált geometriai formák létrehozását, amelyeket gyakran lehetetlen vagy nehéz lenne hagyományos módszerekkel előállítani. (Filaticum 2024.)

A generatív tervezés jelentősen csökkentheti a felhasznált anyag mennyiségét az alkatrészeknél azáltal, hogy minimális anyagfelhasználással tartós szerkezeteket hoz létre.

A bonyolult rácsszerkezetek vagy belső geometriák létrehozása a generatív tervezés egyik jellemzője. A 3D nyomtatási technológiákkal, pontosan előállíthatja ezeket a komplex terveket. (Schwaar 2022)

A generatív tervezéssel készült terveket gyorsan lehet prototípusgyártással elkészíteni műanyag 3D nyomtatással, lehetővé téve a különböző tervezési alternatívák gyors iterációját és tesztelését.

Az olyan iparágakban, ahol magas szilárdságra és tartósságra van szükség, például a repülőgép- és autópárházban, a generatív tervezés optimalizálja a fém alkatrészeket a meghatározott terhelések és feszültségek alapján. Az ilyen optimalizált alkatrészeket például DMLS (Direct Metal Laser Sintering) technológiával állítják elő. (Tóth & Andó 2020)

A fém alkatrészek súlyának minimalizálása anélkül, hogy a szilárdságot feláldoznák, a generatív tervezés hozzájárul a hatékonysághoz azokban az alkalmazásokban, ahol a súly kritikus, például a repülőgépeknél vagy a nagy teljesítményű járműveknél. (Tóth & Andó 2020)

A generatív tervezés gyakran egyetlen, többfunkciós alkatrészt eredményez, amely több összetevőt helyettesít. A fém 3D nyomtatás képes előállítani ezeket a kombinált alkatrészeket, csökkentve az összeszerelési időt és a potenciális hibapontokat. (Tóth & Andó 2020)

A technológia támogatja az iteratív tesztelést. A generatív tervezés gyorsan számos tervezési iterációt képes létrehozni, és a 3D nyomtatás gyorsan elkészítheti ezek prototípusait tesztelésre, ami gyorsabb fejlesztési ciklusokat eredményez.

A generatív tervezés lehetővé teszi a specifikus funkcionális követelményekhez igazított alkatrészek létrehozását. A 3D nyomtatás rugalmassága az egyedi geometriák előállításában ideális a testreszabott tervek gyártásához. (Formlabs Dátum nélk.)

A 3D nyomtatásban a választott anyag (műanyag vagy fém) az alkalmazás követelményeitől függ. Például a műanyagokat könnyű, alacsony terhelésű alkalmazásokhoz használják, míg a fémeket ott, ahol magas szilárdságra és tartósságra van szükség.

Bár a generatív tervezés és a 3D nyomtatás kombinációja számos előnyt kínál, vannak kihívások is, amelyeket figyelembe kell venni.

A generatív tervezés bonyolult algoritmusokat és jelentős számítási kapacitást igényel, különösen nagy felbontású tervek és kiterjedt tervezési terek esetén.

Még a 3D nyomtatással is bizonyos tervezési jellemzők nehezen gyárthatók, ami gondos figyelmet igényel a nyomtatási folyamat közben például a furatok kialakítására támasztékok elhelyezésére és az utófeldolgozási lépések során.

A 3D nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságai eltérhetnek a hagyományosan gyártott alkatrészektől, ami alapos tesztelést és validálást igényel annak biztosítására, hogy a teljesítmény megfeleljen az elvárásoknak.

A generatív tervezés és a 3D nyomtatás együttese egy erőteljes megközelítést képvisel a modern mérnöki kihívásokra. A számítógépes tervezés segítségével a tervezési tér feltérképezésére és optimalizálására, valamint az additív gyártás alkalmazásával a bonyolult és hatékony geometriák megvalósítására, a mérnökök innovatív megoldásokat hozhatnak létre, amelyek könnyebbek, erősebbek és hatékonyabbak a hagyományos módszerekkel készült termékeknél. Ez a kombináció átalakítja az iparágakat és előmozdítja a terméktervezés és gyártás hatékonyságát. (AutonomusManufacturing 2018)

2.5. SZOFTVEREK

A Catia Generative Design Engineering, az Autodesk Fusion 360, az Ansys DesignXplorer és a Solid Edge Generative Design, az Altair inspire, Creo Generative Design mind olyan szoftverek vagy szoftverrészek, amelyek a generatív tervezés technikáit alkalmazzák a mérnöki tervezés különböző területein. Ezek a szoftverek lehetővé teszik a tervezők és mérnökök számára, hogy automatizált módon generáljanak és értékeljenek tervezési lehetőségeket, lehetővé téve számukra, hogy gyorsabban és hatékonyabban hozzanak létre innovatív és optimális tervezési megoldásokat. A generatív tervezés technikáinak alkalmazása segíthet a termékek és rendszerek optimalizálásában, valamint az innovatív és fenntartható megoldások létrehozásában.

2.5.1. Catia – Generative Design Engineering

A Catia képes egyesíti a sokoldalúságát és erejét a generatív tervezés által kínált lehetőségekkel, lehetővé téve a tervezők számára, hogy gyorsan és hatékonyan hozzanak létre innovatív és optimalizált tervezési megoldásokat.

A Catia Generative Design Engineering szoftver rendelkezik számos kulcsfontosságú jellemzővel és funkcióval, amelyek lehetővé teszik, hogy különböző tervezési problémákat megoldjanak és optimalizáljanak. Az egyik ilyen jellemző a parametrikus tervezés támogatása, ami definiálja a tervezési változókat és paramétereiket, és azokat az algoritmusokkal kombinálva generatív tervezési feladatokra alkalmazzák.

A szoftverben könnyen konfigurálják és finom hangolják a generatív tervezési feladatokat. Az algoritmusok és paraméterek beállításának és optimalizálásának lehetősége lehetővé teszi a tervezők számára, hogy gyorsan és hatékonyan reagáljanak a tervezési kihívásokra és követelményekre.

A Catia Generative Design Engineering szoftvernek számos alkalmazási területe van a mérnöki tervezésben. Például az autóiparban lehetővé teszi az autóalkatrészek optimális tervezését és anyagfelhasználását, ami csökkentheti az alkatrészek súlyát és költségeit. Az építőiparban lehetővé teszi az építészeti struktúrák és elemek hatékony tervezését és optimalizálását, ami javíthatja az épületek és szerkezetek teljesítményét és fenntarthatóságát.

A szoftver által kínált generatív tervezési funkciók segíthetnek a tervezőknek abban is, hogy gyorsan és hatékonyan reagáljanak a változó tervezési igényekre és körülményekre. Az algoritmusok és paraméterek beállításának lehetősége lehetővé teszi, hogy gyorsan módosítsák és iterálják a tervezési megoldásokat, és megtalálják a legjobb megoldást az adott helyzetre. (InFlowTechnology 2018.)



7.ábra Catia iterációs lépések
(forrás: InFlowTechnology 2018.)

2.5.2. Autodesk Fusion 360

Az Autodesk Fusion 360 egy kiterjedt és sokoldalú mérnöki tervezőszoftver, amely számos területen nyújt hatékony eszközöket a tervezők és mérnökök számára. A Fusion 360 jelentőségét az adja, hogy egyszerre nyújt modellezési, tervezési, szimulációs és együttműködési funkciókat egyetlen platformon belül, ami lehetővé teszi a teljes koncepciótól a kész termékig tartó folyamat egyszerű és hatékony kezelését.

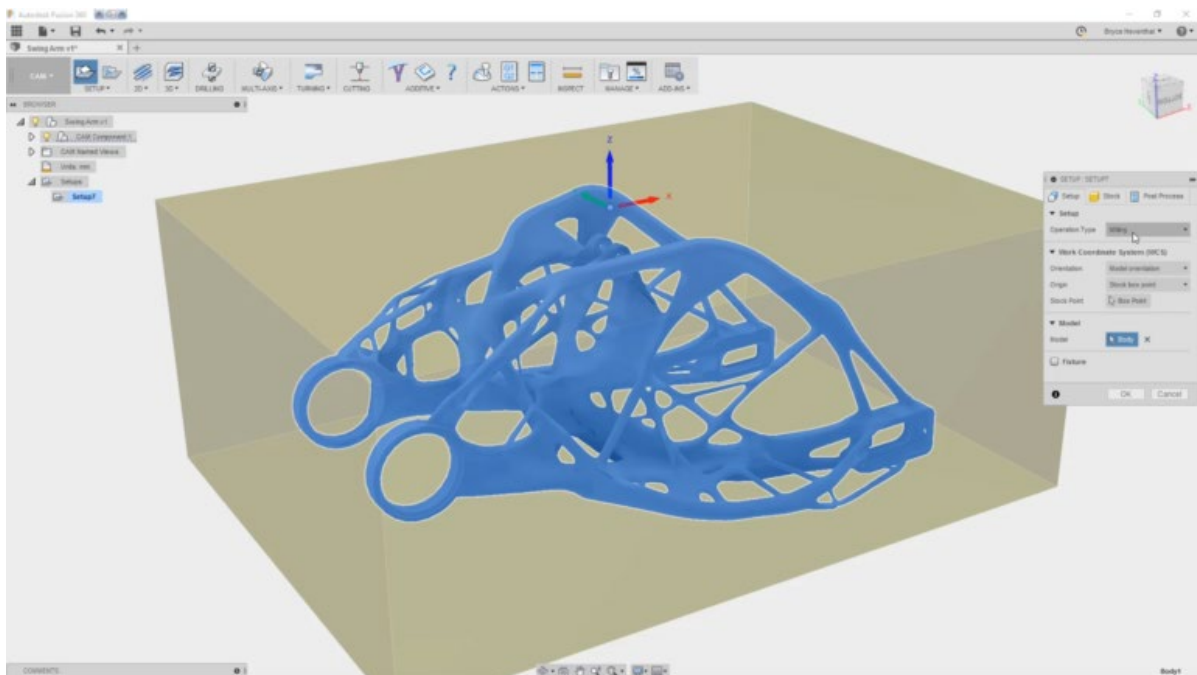
Az adaptív felhőalapú technológia lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy bárhol és bármikor hozzáférjenek a tervezési projektekhez, és könnyen együttműködjenek a csapattagokkal.

A Fusion 360 számos tervezési funkciót kínál, beleértve a szilárdtestmodellezést, felületmodellezést, generatív tervezést, szimulációt és gyártás-előkészítést. A felületmodellezés segítségével a tervezők finomíthatják és formálhatják a 3D-modelljeiket, hogy megfeleljenek a tervezési céloknak és követelményeknek.

A generatív tervezés funkció lehetővé teszi, hogy automatizált módon generáljanak és értékeljenek tervezési lehetőségeket az algoritmusok és paraméterek felhasználásával. Ennek segítségével gyorsan és hatékonyan vizsgálják meg a tervezési alternatívákat, és megtalálják a legjobb megoldást az adott problémára.

A Fusion 360 szimulációs funkciói lehetősége biztosítanak arra, hogy előzetesen kiértékeljék a tervezési megoldások tulajdonságait és viselkedését különböző körülmények között és ez segíthet abban, hogy megfelelőbb és optimalizáltabb tervezési döntéseket hozzanak, még mielőtt a tényleges gyártási folyamatok elkezdődnek.

A Fusion 360 integrált gyártás-előkészítési funkciói lehetővé teszi, hogy könnyen átvigyék a tervezési modelljeiket a fizikai valóságba. A szoftver támogatja az integrált CAM (Computer-Aided Manufacturing) funkciókat, amelyek lehetővé teszik a CNC (Computer Numerical Control) gépek programozását és vezérlését a tervezett alkatrészek gyártásához. (Autodesk Dátum nélk.)



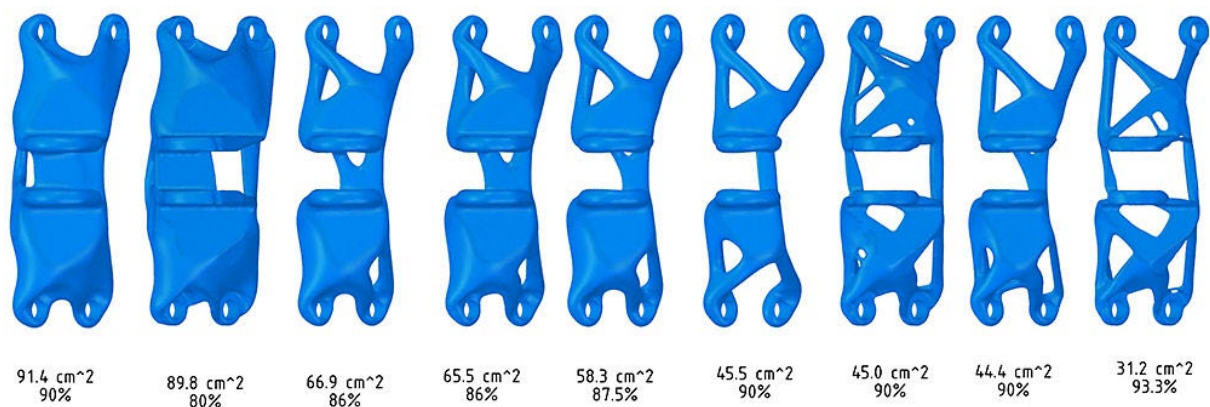
8.ábra Fusion 360 ultimate Generative Design
(forrás: Cohee 2018.)

2.5.3. ANSYS DesignXplorer

Az Ansys DesignXplorer szoftver az Ansys termékcsalád része, és azoknak a tervezőknek és mérnököknek készült, akik komplex tervezési problémákat szeretnének megoldani és optimalizálni. Ez a szoftver kifejezetten a tervezési változók és paraméterek optimalizálására és elemzésére szolgál, lehetővé téve, hogy hatékonyan vizsgálják meg a tervezési lehetőségeket és megtalálják a legjobb megoldást az adott problémára.

Az Ansys DesignXplorer lehetővé teszi, hogy definiálják a tervezési változókat és paramétereket, majd ezeket az algoritmusok segítségével optimalizálják és analizálják a tervezési megoldásokat. Ez lehetővé teszi, hogy gyorsan és hatékonyan reagáljanak a tervezési változásokra és követelményekre, és megtalálják a legjobb megoldást az adott tervezési problémára. (Schwaar 2022)

Az Ansys DesignXplorer integrálva van az Ansys Workbench környezetébe, ezáltal könnyen használható a szoftver által kínált funkciók és lehetőségek. Az integráció lehetővé teszi, hogy egyszerűen átvigyük a tervezési modelleket és eredményeket más Ansys szoftverekbe, például az Ansys Mechanical-be vagy az Ansys Fluent-be, hogy további elemzéseket és szimulációkat végezzenek. (Hendrickson 2019.)



9.ábra Ansys iterációs lépések
(forrás: Hendrickson 2019.)

2.5.4. Solid Edge Generative Design

A Solid Edge Generative Design modulja egy fejlett tervezési eszközkészlet, amely topológiai optimalizációval segíti a tervezőket könnyebb és erősebb alkatrészek létrehozásában. Ezen modul lehetővé teszi, hogy a felhasználók automatikusan optimalizált geometriai megoldásokat hozzanak létre, amelyek azonnal készen állnak a gyártásra, legyen szó akár hagyományos, akár additív gyártási folyamatokról.

Topológiai optimalizáció modul algoritmusai az anyageloszlás optimalizálására összpontosítanak, figyelembe véve a megadott anyagokat, terheléseket és geometriai korlátokat. Az optimalizáció eredményeként olyan formák jönnek létre, amelyek csökkentett tömegűek, miközben megtartják a szerkezeti integritást.

A generatív iterációk során létrejövő alkatrészek azonnal készen állnak az additív gyártásra, minimalizálva a gyártás előtti további modellezési munkát. A magas felbontású 3D nyomtatók képesek kezelni az összetett formákat, ezáltal felgyorsítva az új termékek piacra kerülési idejét vagy a cserealkatrészek gyártását. (Schwaar 2022)

Konvergens modellezés a generatív dizájn során optimalizált komponensek tovább módosíthatók a konvergens modellezési technológiával, amely zökkenőmentesen integrálja a hálós eredményeket a hagyományos CAD modellezési folyamatba. Lehetővé téve a végleges dizájn gyors elérését és finomítását.

Széles körű alkalmazhatóság a Solid Edge Generative Design modul integrálva van a Solid Edge 3D modellező eszközkészletbe, és alkalmas különböző iparágakban, például autóipar, energiaipar, elektronikai eszközök, nehézgépek és orvosi eszközök tervezésére.

A Solid Edge generatív dizájn modul használatával a tervezők gyorsan hozhatnak létre optimalizált dizájnokat, amelyek kevesebb anyagot használnak fel, csökkentve ezzel a gyártási költségeket és az alkatrészek súlyát. Az automatizált tervezési folyamat lehetővé teszi, hogy a felhasználók több iterációt készítsenek, különböző célok elérése érdekében, mint például a súlycsökkentés vagy a szerkezeti integritás növelése. (Schwaar 2022)

A modul különösen hasznos az additív gyártási technológiák alkalmazásában, ahol az összetett formák közvetlenül nyomtathatók, és a konvergens modellezés lehetővé teszi a gyors finomítást és adaptációt a hagyományos gyártási folyamatokhoz. (SIEMENS Dátum nélk.)



10.ábraSolidEdge iterációs lépések
(forrás: PLM)

2.5.5. Altair inspire

Az Altair generatív tervezési megoldásai, különösen az Altair Inspire platform, az iparági mérnökök és tervezők számára kínálnak korszerű eszközöket a termékfejlesztés és optimalizálás folyamatában. Az Altair Inspire integrált környezetet biztosít, amely szimulációvezérelt tervezést és generatív tervezési eszközöket kínál, lehetővé téve a gyors és hatékony tervezési iterációkat.

A generatív tervezési folyamat az Altair Inspire-ben a következő lépéseken alapul:

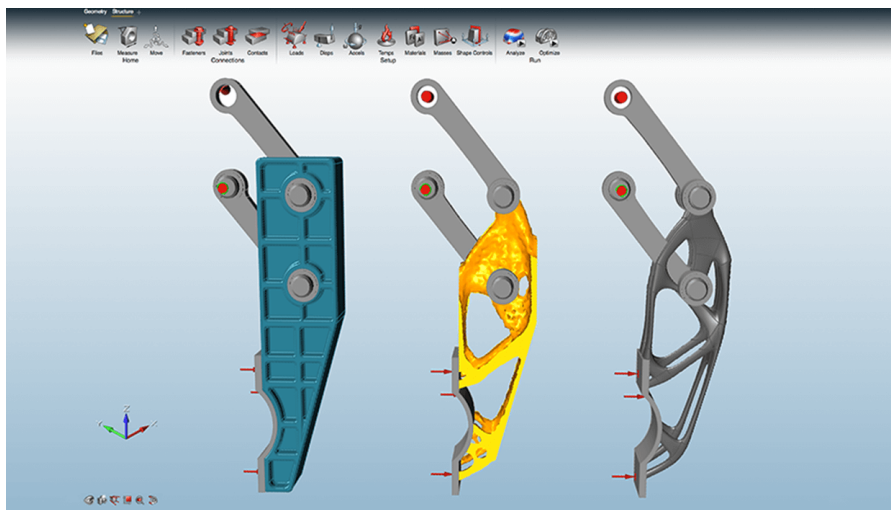
- Specifikációk meghatározása: A tervezési tér, a terhelések, az anyagok és a határfeltételek definiálása. Az első lépés biztosítja, hogy minden releváns tervezési paraméter rögzítésre kerüljön.
- Szimuláció és optimalizálás: Az Altair Inspire algoritmusai, beleértve a topológiai optimalizálást is, automatikusan generálnak többféle tervezési lehetőséget. Ezek az algoritmusok az optimalizált anyageloszlást keresik, hogy minimális tömeggel és anyagfelhasználással ériék el a kívánt szerkezeti szilárdságot.

- Iterációk és finomítás: A generált tervek közül a legmegfelelőbb kiválasztása és további finomítása konvergens modellezési technikákkal. Lehetővé téve a hálózott eredmények zökkenőmentes integrálását a normál modell szerkesztési folyamatba, így gyorsan elérhető a végső dizájn. (Schwaar 2022)

A generatív tervezés és a topológiai optimalizálás szoros kapcsolatban állnak egymással. A topológiai optimalizálás célja az anyageloszlás optimalizálása a megadott használati feltételek mellett, amely segít az alkatrész vagy rendszer optimális alakjának meghatározásában. Az Altair Inspire topológiai optimalizálási eszköze lehetővé teszi a tervezők számára, hogy a rendelkezésre álló tervezési téren belül minimalizálják a modell tömegét, miközben biztosítják annak szerkezeti szilárdságát.

Gyártási folyamatok támogatása

Az Altair Inspire támogatja a különböző gyártási eljárásokat, beleértve az additív gyártást (3D nyomtatás), öntést, kovácsolást és marást. A generatív tervezési módszerek lehetővé teszik a tervek alakjának adaptálását a választott gyártási folyamatokhoz, figyelembe véve azok specifikus korlátait. Segít minimalizálni az anyagfelhasználást és csökkenteni a gyártási költségeket, miközben biztosítja a végtermék optimális teljesítményét és minőségét. (Schwaar 2022)



11. ábra Altair INSPIRE iterációs lépések
(forrás: INSPIRE solidThinking 2016.)

2.5.6. Creo Generative Design

A PTC Creo egy komplex 3D CAD szoftvercsomag, amely fejlett tervezési eszközöket biztosít mérnöki és tervezési alkalmazásokhoz. A Creo generatív tervezési modulja célzottan támogatja a tervezési folyamat automatizálását és optimalizálását, felhasználva a mesterséges intelligenciát és a felhőalapú számítástechnikai megoldásokat.

A Generatív Tervezés Funkciói a Creo-ban

A Creo generatív tervezés moduljának hatékonysága abban rejlik, hogy szorosan integrálódik a Creo platformmal, lehetővé téve a felhasználók számára, hogy közvetlenül a tervezési környezetben alkalmazzák ezt a technológiát. (Schwaar 2022)

Specifikus Generatív Tervezési Funkciók

Generatív Topológiai Optimalizáció (GTO)

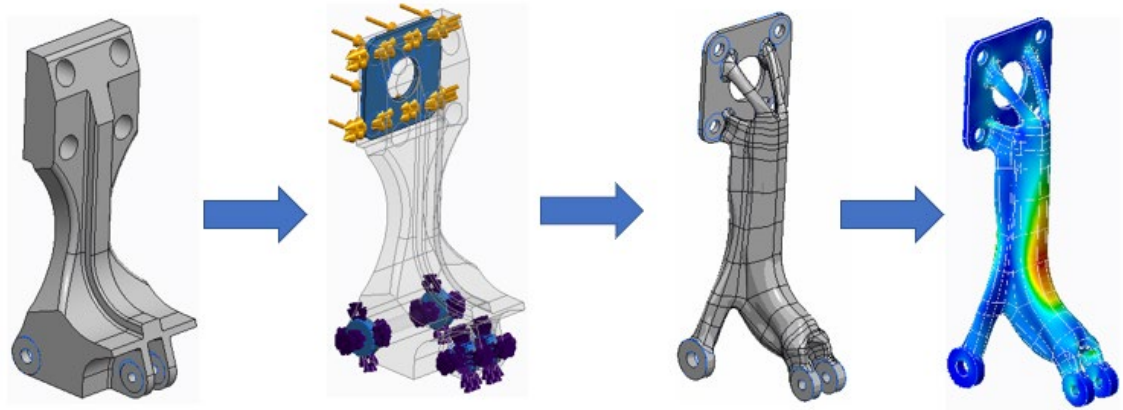
A GTO modul lehetőséget nyújt a mérnökök számára a tervezési folyamat során az anyagfelhasználás és a szerkezeti hatékonyság optimalizálására. A GTO algoritmus figyelembe veszi a terhelési feltételeket, a rögzítési pontokat és a gyártási korlátokat, hogy minimális anyagfelhasználással maximális szilárdságú struktúrákat hozzon létre.

Felhőalapú Számítás és Generatív Tervezés Kiterjesztés (GDX)

A GDX modul lehetővé teszi a felhőalapú számítási kapacitás kiaknázását a tervezési folyamat során. Ennek révén a mérnökök a felhőben végzett számítások segítségével nagyobb számítási teljesítményhez és szélesebb körű tervezési variációkhoz férhetnek hozzá, ami különösen előnyös nagy és komplex projektek esetén, ahol a helyi számítási kapacitások korlátozottak lehetnek.

Integrált Szimuláció és Elemzés

A Creo generatív tervezés modul szorosan együttműködik a Creo szimulációs eszközeivel, lehetővé téve a tervezési alternatívák valós idejű analízisét és értékelését. Így a mérnökök azonnal nyomon követhetik a különböző tervezési megoldások teljesítményét a meghatározott araméterek mellett, jelentősen felgyorsítva a döntési folyamatokat. (Creo Dátum nélk.)



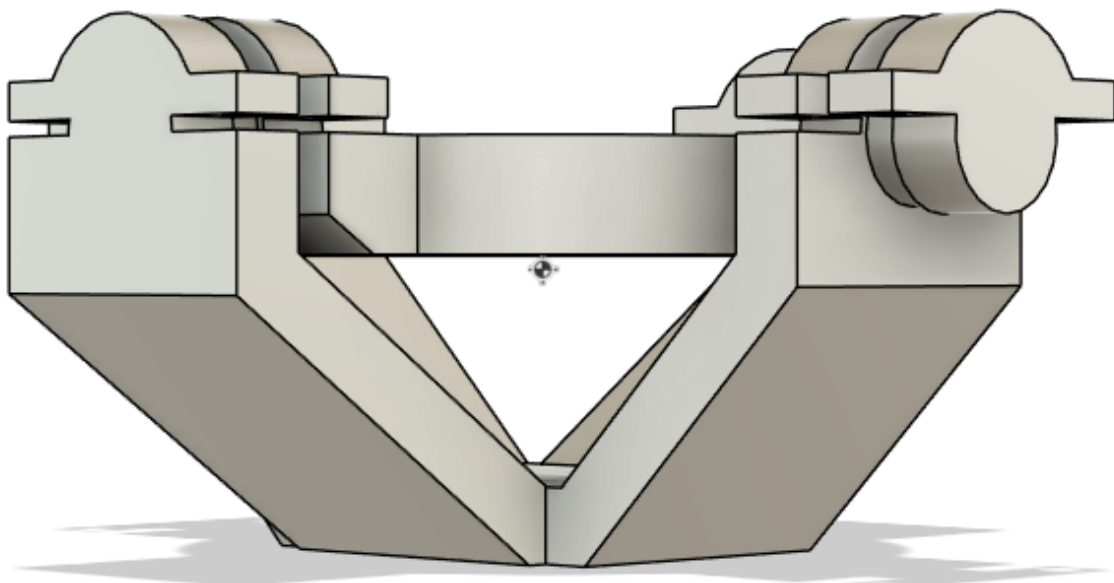
12.ábraCreo Generative Design iterációs lépések
(forrás: pd Solutions)

3. GENERATÍV TERVEZÉS ÉS 3D NYOMTATÁS

A generatív tervezést a Fusion 360-ban fogom végezni. Ennek oka, hogy ehhez a szoftverhez van vállalati licenc hozzáférésem így ki tudom használni a szoftver összes erőforrását és lehetőségét, ami egy próba licenc esetén nem biztos, hogy adott lenne, illetve a munkáltatóm is engedélyezte a szoftver ilyen célú használatát.

3.1. TERHELŐ ERŐK MEGHATÁROZÁSA

A generatív tervezést elsősorban a munkadarab terheléseinek meghatározásával kezdtem. A munkadarab egy tükörbillentő mechanizmus fix tartó konzolja. A tükröt két tengely mentén 5-5°-kal szükséges billenteni a feladatkiírás szerint így a továbbiakban ennek figyelembevételével határoztam meg a méreteket. A tükör alaphelyzetben 45°-os szöget zár be a talajjal így a terheléseket is így határoztam meg. A 13. ábrán látszik, hogy a tükör billentő súlypontja a szerkezet közepén a tükör alatt található a szimmetrikus kialakítás miatt.



13.ábraTükör billentő mechanizmus súlypontja
(saját szerkesztés)

A generatív tervezett alkatrész nem lesz külső erőhatásoknak kitéve, így a szerkezet terhelése két részből adódik. Egyrészt a tükör és a billentő önsúlyából adódó terhelés, másrészt a képen kilógó pivot elemek csavarokkal történő szorítása az alkatrészhez. A 14. ábrán látható az alapanyagok megadásával megtudtam mekkora súlya van a mechanizmusnak.

Bodies (2)	
Area	77851.237 mm ²
Density	0.003 g / mm ³
Density	0.008 g / mm ³
Mass	1807.605 g
Volume	3.140E+05 mm ³
Physical Material	Aluminum 6061
Physical Material	Steel

14.ábra A tükörlap és billentő mechanizmus együttes tömege
(saját szerkesztés)

A „Mass” sor jelöli a tömeget. A tükör alapanyaga alumínium míg a többi alkatrész acélból készült. Látható nem lesz nagy terhelése a munkadarabnak. Az össztömeg 1807,605 g.

Felhasználva az 1. összefüggést meghatározom a terhelő erő nagyságát.

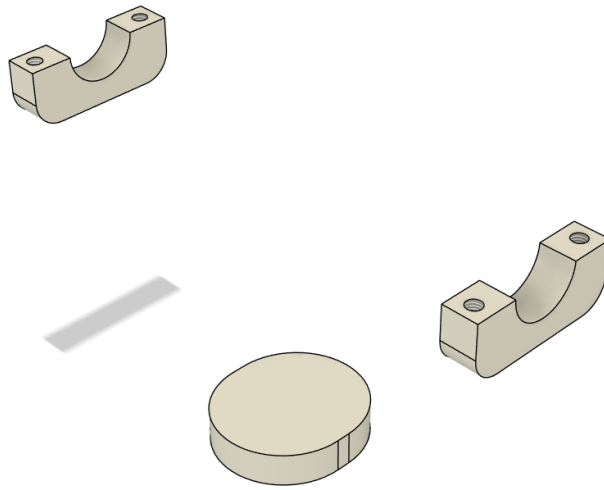
$$F = m \cdot g = 1,807 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 17,73 \text{ N} \quad 1,$$

Ahol az F [N] a terhelő erőt, az m [kg] a munkadarabok tömegét és a g [$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$] pedig a nehézségi gyorsulás. Ez az erő hat a test súlypontjába. Mivel ez nekem két felületen oszlik meg szimmetrikusan így oldalanként két egyforma nagyságú erőpárra oszlik az F erő.

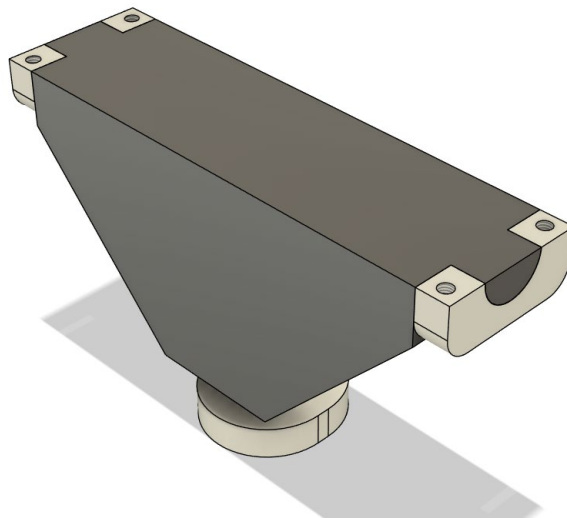
$$F_A = F_B = \frac{1}{2} F = \frac{1}{2} \cdot 17,73 \text{ N} = 8,865 \text{ N} \quad 2,$$

3.2. A GENERATÍV TERVEZÉS

Miután meghatároztam a terhelő erőket jöhetett a tervezés. Először meghatároztam a munkadarab azon részeit, amik csatlakozó felületek 15. ábra és ezeket a felületeket lemodelleztem a Fusoinban. A csatlakozó elemek meghatározása után berajzoltam a tiltott zónát 16. ábra sötétebb rész. Ez arra szolgál, hogy ide semmi módon nem kerülhet anyag a generatív tervezés folyamán.

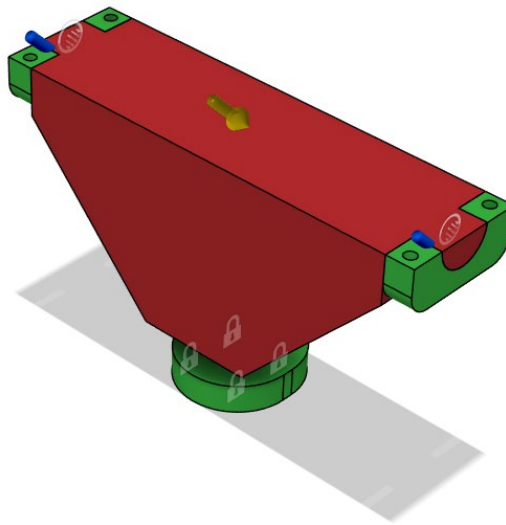


15.ábra Csatlakozó elemek
(saját szerkesztés)



16.ábra Tiltott zóna
(saját szerkesztés)

Ezeket a modelleket a DESIGN fül alatt rajzoltam meg majd a terhelés ismeretében átléptem a GENERATIV DESIGN részre, ahol elsődlegesen beállítottam az először megrajzolt maradó felületeket, amit a program zöld színnel jelöl. A piros színnel jelölt tiltott zónának a meghatározása volt a következő lépés. Majd jöhetett a terhelő erők felhelyezése a modellre. Sárga színnel a gravitációs erő kék színnel pedig a súlyerőből adódó terhelések jelentek meg. Fehér színnel a csapágy szorító erő van ábrázolva, illetve a négy darab fehér lakat pedig a rögzítést jelöli. A generálást 2-es biztonsági tényezővel határoztam meg.



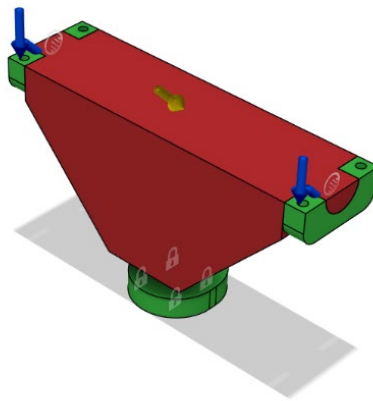
17.ábra Terhelő erőkkel ellátott modell
(saját szerkesztés)

Miután elkészültem az erők és támasztások felhelyezésével következett az első generálási folyamat. Ennek eredményét a 18. ábra mutatja be. Mint látható nem sikerült elsőre mérnöki szemmel megfelelő alkatrészt generálni.

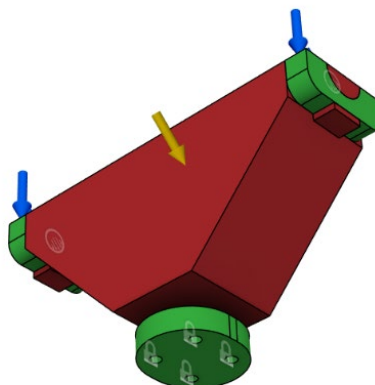


18.ábraElső generált alkatrész
(saját szerkesztés)

A fenti részen, ahol a pivot elemek csatlakoznak túlságosan vékonynak tűnt az anyag, illetve az egyetlen ponton történő alátámasztást ezért konzulenssel közösen úgy határoztunk, hogy készítünk egy újabb verziót. Ennél a generálásnál betettem alura szintén tiltó részeket, hátha az elegendő ahhoz, hogy már két csatlakozási pontja legyen az alkatrésznek, de ez sem bizonyult megfelelőnek. Úgy tudtam elérni a generálás folyamatában, hogy legyen még egy csatlakozási felület, hogy a generálás és működés szempontjából a terheletlen oldalra betettem szimmetrikusan 5-5 N -os erőt és így már megfelelő stabilitást láttunk az elkészült alkatrészen így ezt választottuk végleges formának.



19.ábraPlusz erők felhelyezése
(saját szerkesztés)

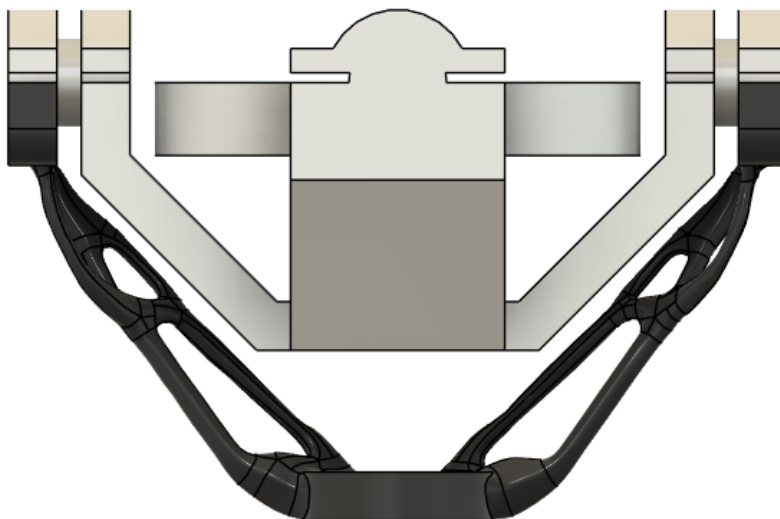


20.ábraÚjabb tiltott zónák kialakítása
(saját szerkesztés)

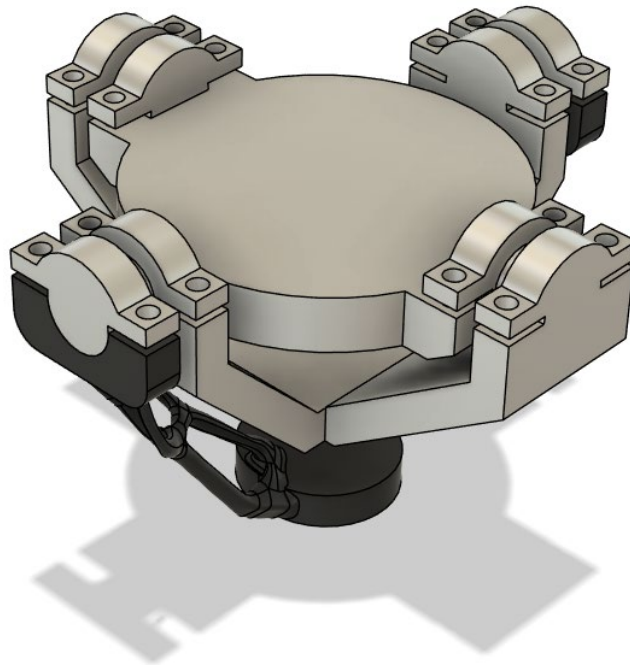


21.ábra A végleges geometria
(saját szerkesztés)

A generálás után következett a munkadarabon egy utómunkálási folyamat. Itt azt csináltam, ahol belemetszett a tiltott részbe a geometria ott kiegészítettem, hogy folytonos legyen a felület és ne legyenek benne törés pontok. Ez azért volt lehetséges mivel a tényleges tiltott résznél nagyobb tilos zónát határoztam meg, hogy véletlenül se legyen összeakadás az elkészült generatív modell és a tükörmozgató többi alkatrésze között. Végezetül visszatértem a DESIGN módba, ahol összeállítottam meglévő modellt és az új generative designnal készült modellt.



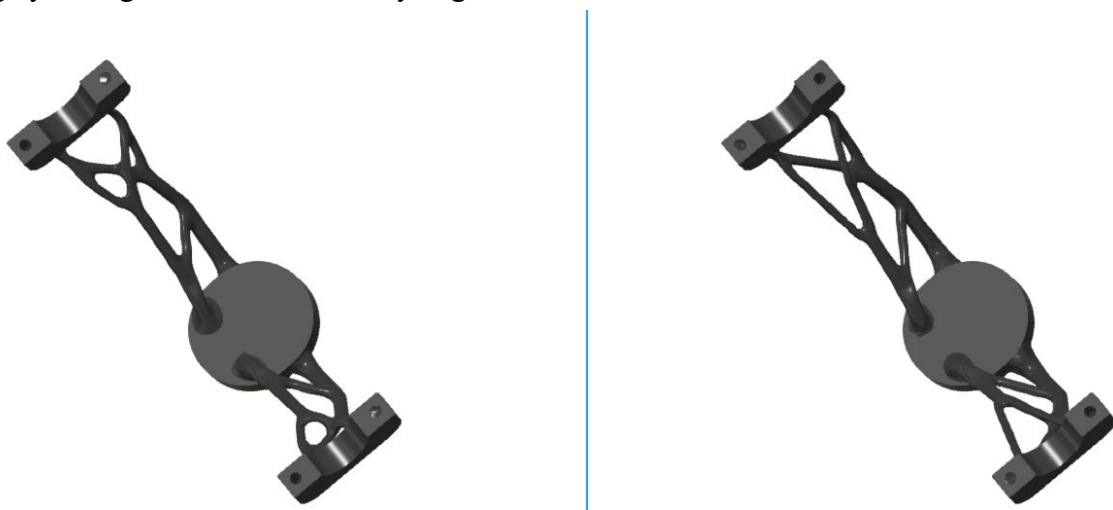
22.ábra Az összeállítás szemből nézete
(saját szerkesztés)



23.ábra Az összeállítás iso metrikus nézete
(saját szerkesztés)

A generálás folyamatában két fontos dologról nem beszéltem, ami elengedhetetlen a generálás elindításához. Az egyik a megmunkálási technológia kiválasztása, a másik az alapanyag kiválasztása.

Megmunkálási technológia: a Fusion képes arra, hogy úgy generáljon modellt, hogy az a számunkra alkalmas megmunkálási technológiának megfelelően. Ebben a diplomamunkában az additív gyártásra koncentrálok, de a 24. ábra bemutatja, hogy azonos alapanyag mellett 5 tengelyes megmunkálás esetén milyen geometriai elérések vannak.



24.ábra Additív és 5 tengelyes megmunkálása közti különbség
(saját szerkesztés)

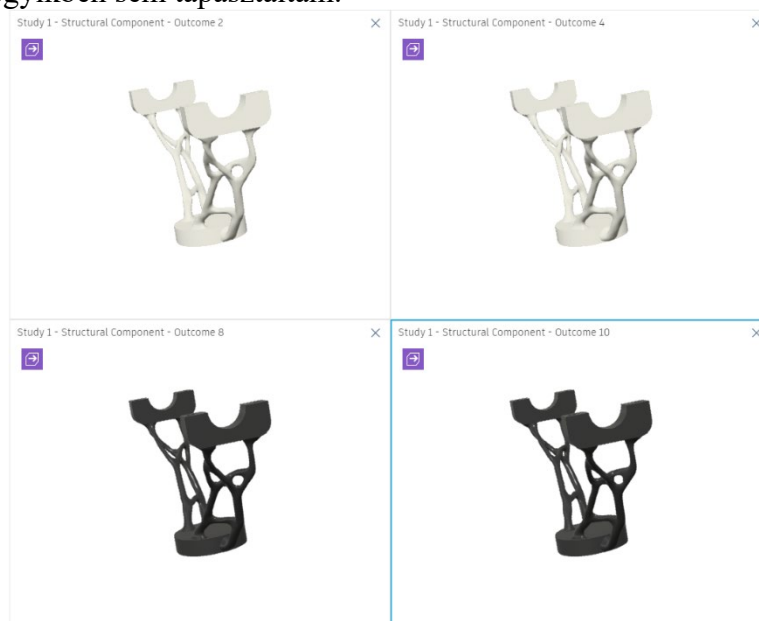
A képen jól látszik, hogy az additív technológiánál (bal oldal) sokkal legkerekítettebb, míg az 5 tengelyes megmunkálás esetén sokkal több egyenes vonal van és sokkal kevesebb alámetszés. Az 5 tengelyes megmunkálásnál a legkisebb szerszámtérőt 2,5 mm-ben határoztam meg míg a szerszám legnagyobb hossza 50 mm volt. Emellett alapbeállításon hagytam a szerszámbefogó méretét, amit a szoftver 60 mm-es átmérőben határozott meg.

Az additív gyártásnál megmunkálás szempontjából több fontos dolgot kell beállítani az egyik a nyomtatási irányultság, esetemben a +Y irány a magasság iránya így ezt állítottam be a generálásnál is. A másik pedig hány fokos szögben képes nyomtatni a nyomtató alátámasztás használata nélkül. Ez nekem 45°-os beállítást jelentett.

Annak érdekében, hogy kiderüljön mi történik akkor, ha nem a helyes irányultságba történik a nyomtatás, nyomtattam mintadarabokat +Z irányultsággal is, viszont ehhez szándékosan nem generáltam új modellt.

Az alapanyag kiválasztása. A generatív tervezett alkatrészt többféle anyagból nyomtattam. Szintén ugyan azzal az egy fajta generálással dolgoztam itt is mivel ebben a vizsgálatban is arra voltam kíváncsi, hogy mekkora befolyásoló tényezője van annak, ha teljesen eltérő anyagot használok a nyomtatáshoz, mint amit a generatív tervezés során beállítottam. Tervezés során a Polimaker PA6-CF alapanyagát használtam, ami egy karbon szemcsékkel erősített Poliamid 6 típusú filament.

Érdekesség képpen az összes Fusion 360-ban elérhető PA anyagra kigeneráltam a modellt, de lényegi eltérést egyikben sem tapasztaltam.



25.ábra Különböző PA típusú alapanyagok generált képei
(saját szerkesztés)

A különbség grammokban volt csak mérhető a különböző alapanyagok között. Az eredetileg meghatározott minimális 2-es biztonsági tényezőhöz képest viszont nagyon nagy estérések voltak, ami abból is adódik, hogy meghatároztam, hogy minimum 3 mm-es átmérővel kell rendelkeznie a generált részeknek, mert ezen átmérő alatt nem használható műszaki felhasználásra a 3D nyomtatás.

3.3. AZ ADDITÍV GYÁRTÁS

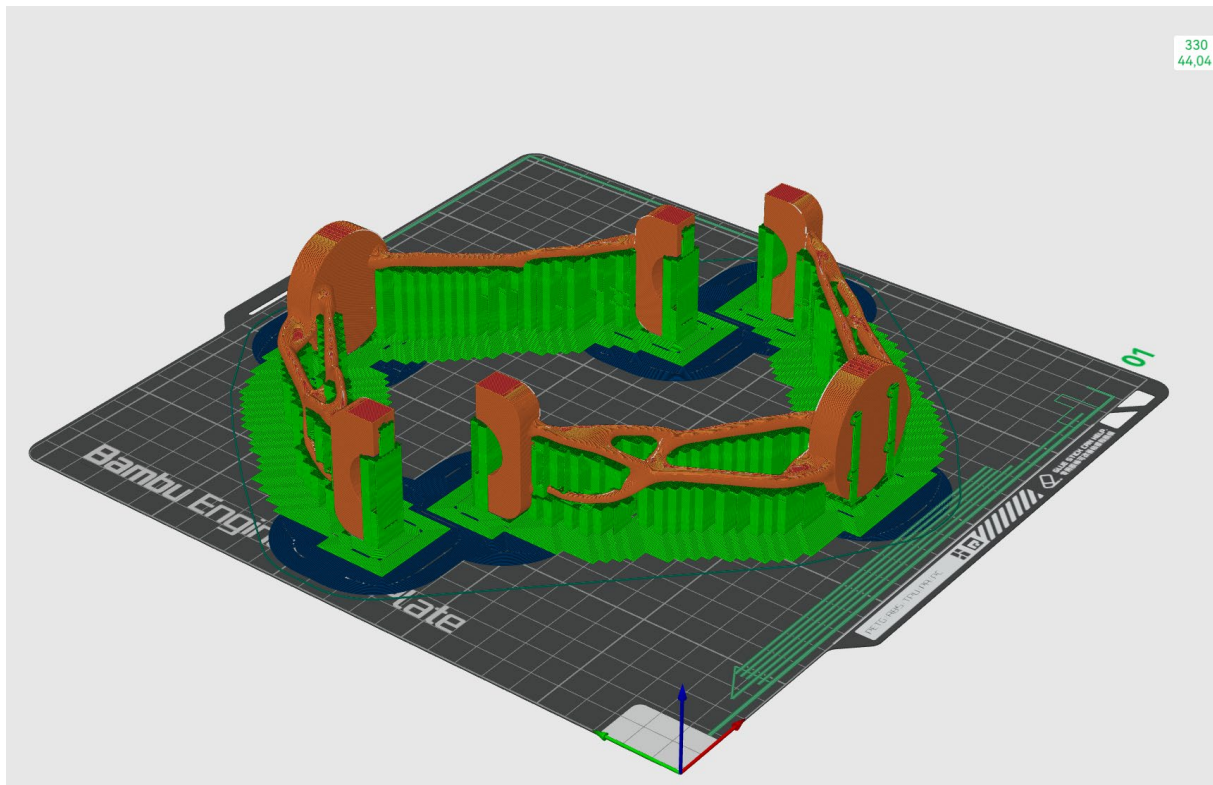
Az alkatrészeket sokak számára elérhető nyomtatón nyomtattam ki a Bambulab X1C típusú 3D nyomtatón.

A nyomtatáshoz használt alapanyagok és irányultságok:

- Polymaker PA6-CF +Y a rétegzés
- Creality HIPER PLA +Y rétegzés
- Creality HIPER PLA +Z rétegzés
- Creality CR-ABS +Y rétegzés
- Creality CR-ABS +Z rétegzés

Először a generatív tervezés során alkalmazott anyagot használtam. Beállításoknál az alap profilhoz képest több módosítást alkalmaztam. Mivel a PA anyagokat nem a legkönnyebb nyomtatni így a biztos tapadás érdekében a nyomtató szoftvere által javasolt Engineering Plate-e2-t használtam, ami egy sima felületű építőtálca. Ezt az építőtálcát benekentem egy kifejezetten PA alapanyagokhoz fejlesztett ragasztóval. Miután előkészítettem a nyomtatót a fűthető asztal segítségével felfűtöttem 40 °C-ra a nyomtatóteret. Amíg fűtött a nyomtató a szoftverben beállítottam a többi paramétert. Egy 25 mm-es szoknyaréteget is alkalmaztam a biztosabb tapadás érdekében. Illetve még annyit állítottam, hogy a falak vastagságát felvettem 6-ra így a falvastag 0,4 mm-es fejjel nyomtatva 2,4 mm vastagok lettek. Erre azért volt szükség mert a vékony rudak a modellben így teljes kitöltéssel lettek nyomtatva. Az alsó és felső lapok vastagságát is felvettem 6-ra ez 0,16 mm-es lépésközzel nyomtatva 0,96 mm-es vastagságot jelentett a darab alján és tetején. Az Y és Z irányultságnál is hagytam az alátámasztást gyári beállításokon, valamint a nyomtatási hőmérsékletet is hagytam gyári beállításokon, mivel a filament gyártója is ezeket a hőmérsékleteket javasolta. A szebb nyomtatás érdekében a nyomtatás megkezdése előtt 24 órával kiszáritottam az alapanyagot így kevésbé szárazott az anyag nyomtatás közben. A 26. ábra bemutatja milyen volt a nyomtatási előnézet kék színnel a szoknya látható zölddel az alátámasztás míg narancssárgával a munkadarab.

A másik két anyagból készült munkadarabok esetében szintén hagytam a hőmérsékleteket gyári beállításon, a falvastagságot ugyan úgy állítottam be ahogy azt először is tettem, hogy ne legyenek nyomtatásból származó különbségek a mintadaraboknál. Egyedül ragasztót nem használtam a nyomtatás folyamán, illetve az ABS és HIPER PLA nyomtatási hőmérsékleteit használtam. Szintén az egyezés kedvéért filament szárítóból nyomtattam ezt a két anyagot is bár ezek nem igénylik úgy a szárítást, mint a PA alapanyag.



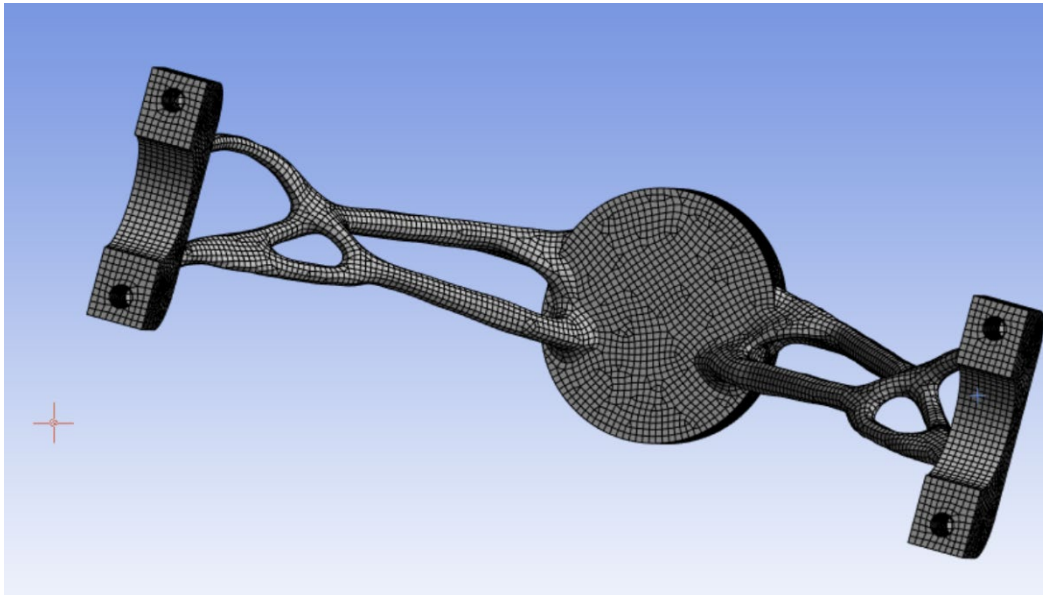
26.ábraNyomtatási előnézet a PA6-CF alapanyaghoz
(saját szerkesztés)

3.4. SZIMULÁCIÓ ANSYSBAN

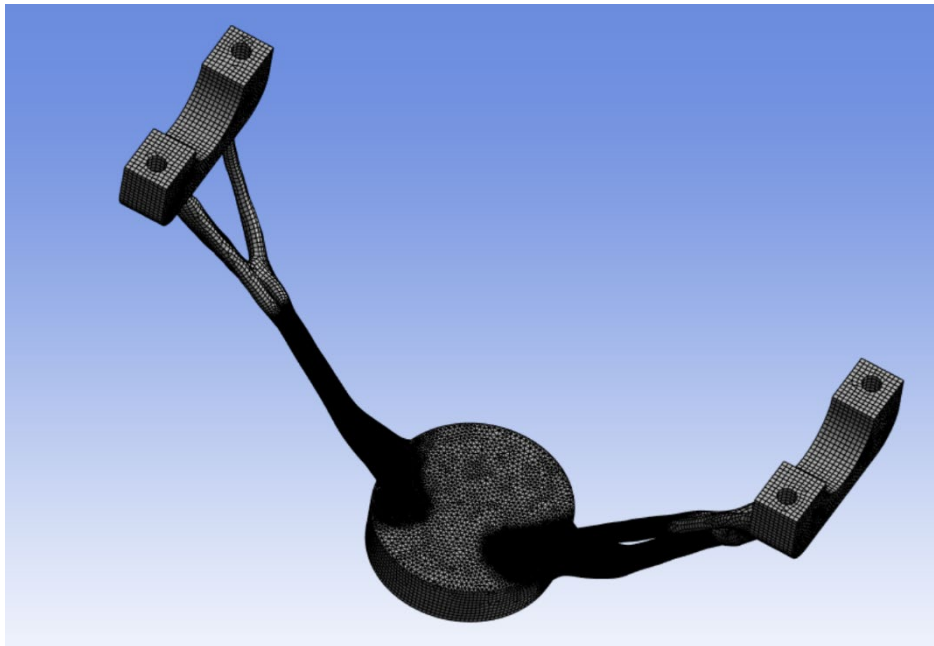
Annak érdekében, hogy lássam mire számíthatok a vizsgálat során szimulációt végeztem az Ansys Workbench R2 szoftver segítségével. A szimuláció során arra voltam kíváncsi, hogy várhatóan hol fog eltörni az anyag, illetve mekkora a munkadarabok terhelhetősége. Ezt a Static Structural ablakban végeztem.

Először betöltöttem az Ansysba a STEP modellt, majd a Geometry menüben héjszerkezzetté alakítottam a generatív modellt.

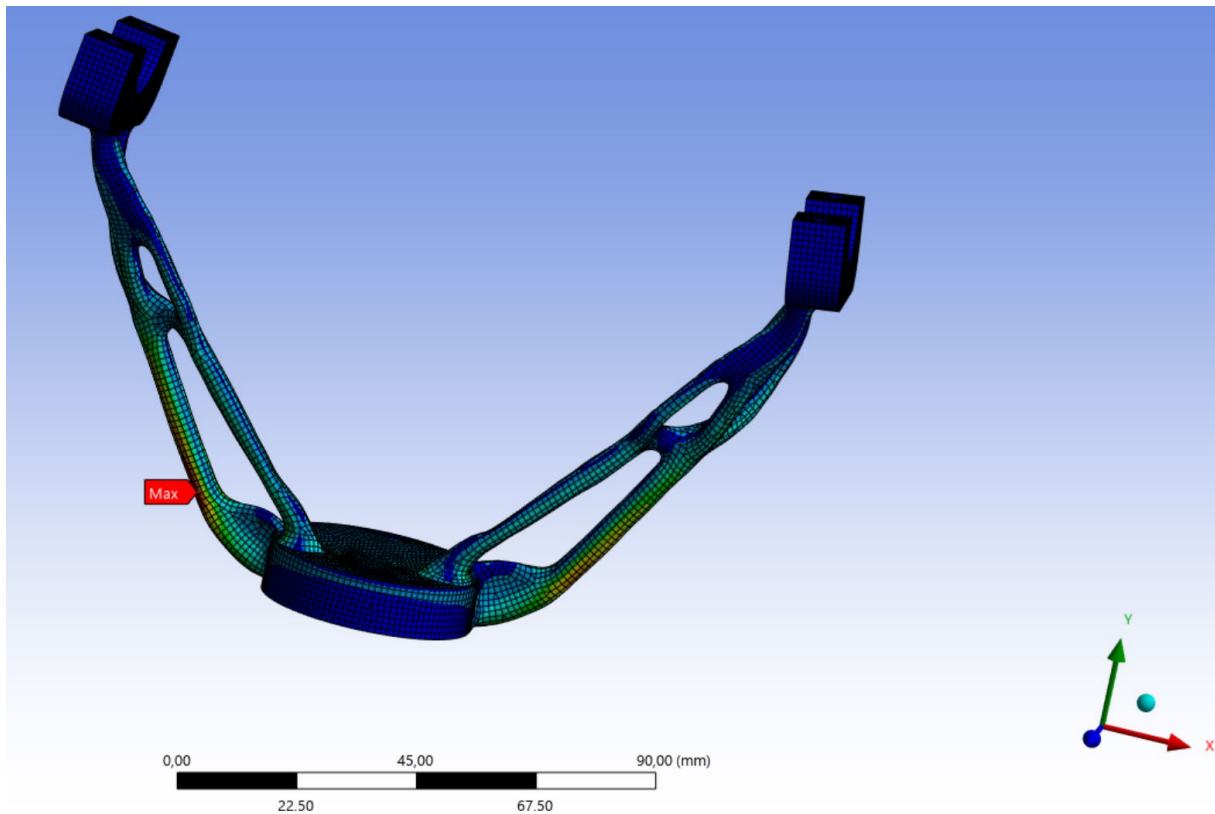
Aztán a Modell fül alatt először a falvastagságot vettem fel 2,4 mm-re majd hagytam a gyári acél beállításon az alapanyagot és alapbeállítások mellett behálóztam a modellt, miután ez sikeresen lefutott és megadtam a terheléseket, illetve a rögzítési pontokat az eredménynél az Equivalent (von-Miseses) Stress eredményeit kaptam meg. Azért volt ez hasznos mert láttam, hogy hol a van a legnagyobb terhelése a munkadarabnak. Ezután azt a részt behálóztam egy nagyságrenddel kisebb hálóval, mint az alap hálózás. Így pontosabb eredményt tudok kapni.



27.ábraAlap hálózás
(saját szerkesztés)



28.ábraFinomított hálózás
(saját szerkesztés)



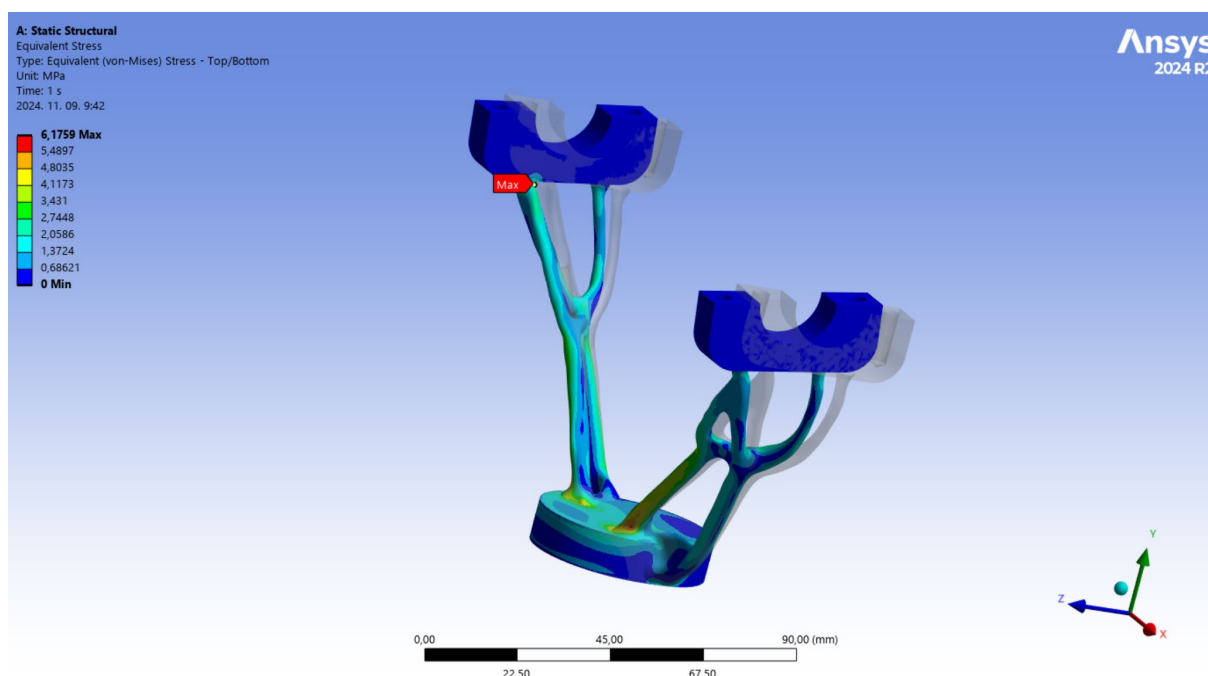
29.ábra Maximális feszültség, ahol az x irányú kihajlás meg van engedve
(saját szerkesztés)

Miután sikeresen lefutott a teszt következett az alapanyagok hozzá adása és ismét lefuttattam a tesztek, illetve megtiltottam az x irányú kihajlását a munkadarabnak. Azért volt szükséges az x irányú kihajlás vizsgálata, mivel a valós körülmények között sem mozdulhat el abba az irányba a munkadarab így tudtam a legjobban valósághűen szimulálni a munkadarabot.

3.4.1. PA6-CF eredményei

Beállításra került az alapanyag. Az alapanyag várható tulajdonságait a gyártó honlapján megadott adatok szerint vettem figyelembe. (Polymaker dátum nélk.)

A PA6-CF alapanyag hajlamos a nedvesedésre és ezt úgy vettem figyelembe, hogy az elkészült nyomtatást körülbelül kettő hétig szobában tároltam a valós vizsgálat előtt. Ennek megfelelően a gyártó által megadott nedves alapanyag értékekkel szimuláltam is a munkadarabot. A gyártó nedves anyagra 81,7 MPa szilárdságot ígért. A 30. ábrán látható, hogy az előzetesen kalkulált terhelés 6,1759 Mpa így bőven egy nagyságrenddel az alapanyag megengedett terhelése alatt van az általam meghatározott terhelés.

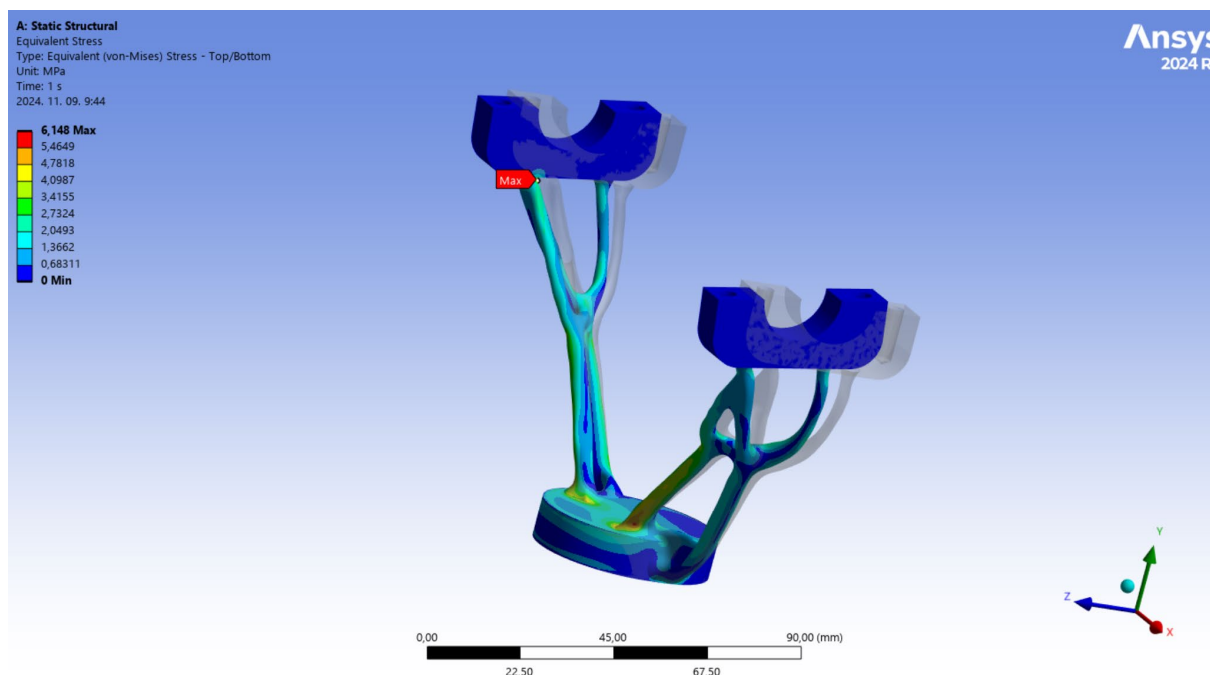


30.ábra PA6-CF tervezett terhelések hatására fellépő feszültségek
(saját szerkesztés)

3.4.2. ABS eredményei

Az alapanyag beállítását egy forgalmazói oldal adatai alapján adtam meg. (Monument dátum nélk.)

A forgalmazói oldalon lévő adat alapján az alapanyag szilárdsága 43 MPa ami még mindig bőven a szimuláció által várt 6,148 MPa feszültség felett van.

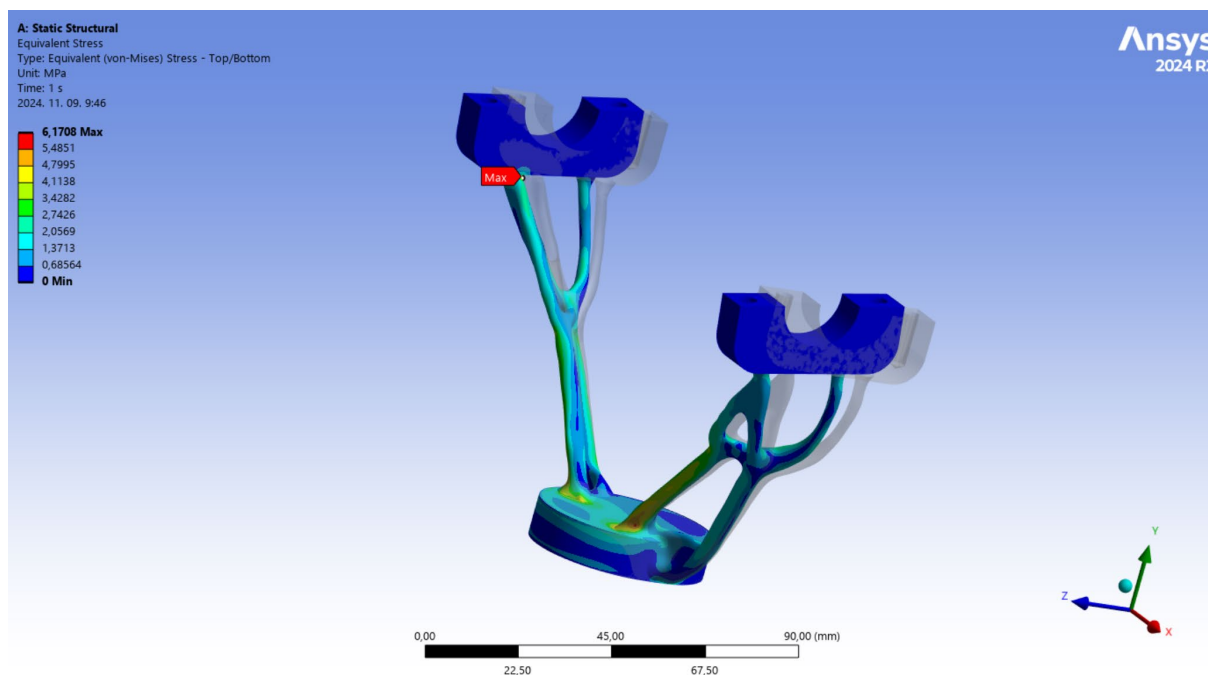


31.ábra ABS tervezett terhelések hatására fellépő feszültségek
(saját szerkesztés)

3.4.3. HIPER PLA eredményei

Az alapanyag hozzárendelésénél a gyártói forgalmazó webshopból vettem a hivatalos teszteredményeket. (CeralityStore dátum nélk.)

Itt is hasonló értékeket kaptam, mint a szimulációra mint a z előző két esetben. Ennek az anyagnak a megengedett szilárdsága 52,991 MPa. A 32. ábrán látszik, hogy a munkadarab a meghatározott terheléssel csak 6.1708 MPa terhelést vesz fel.

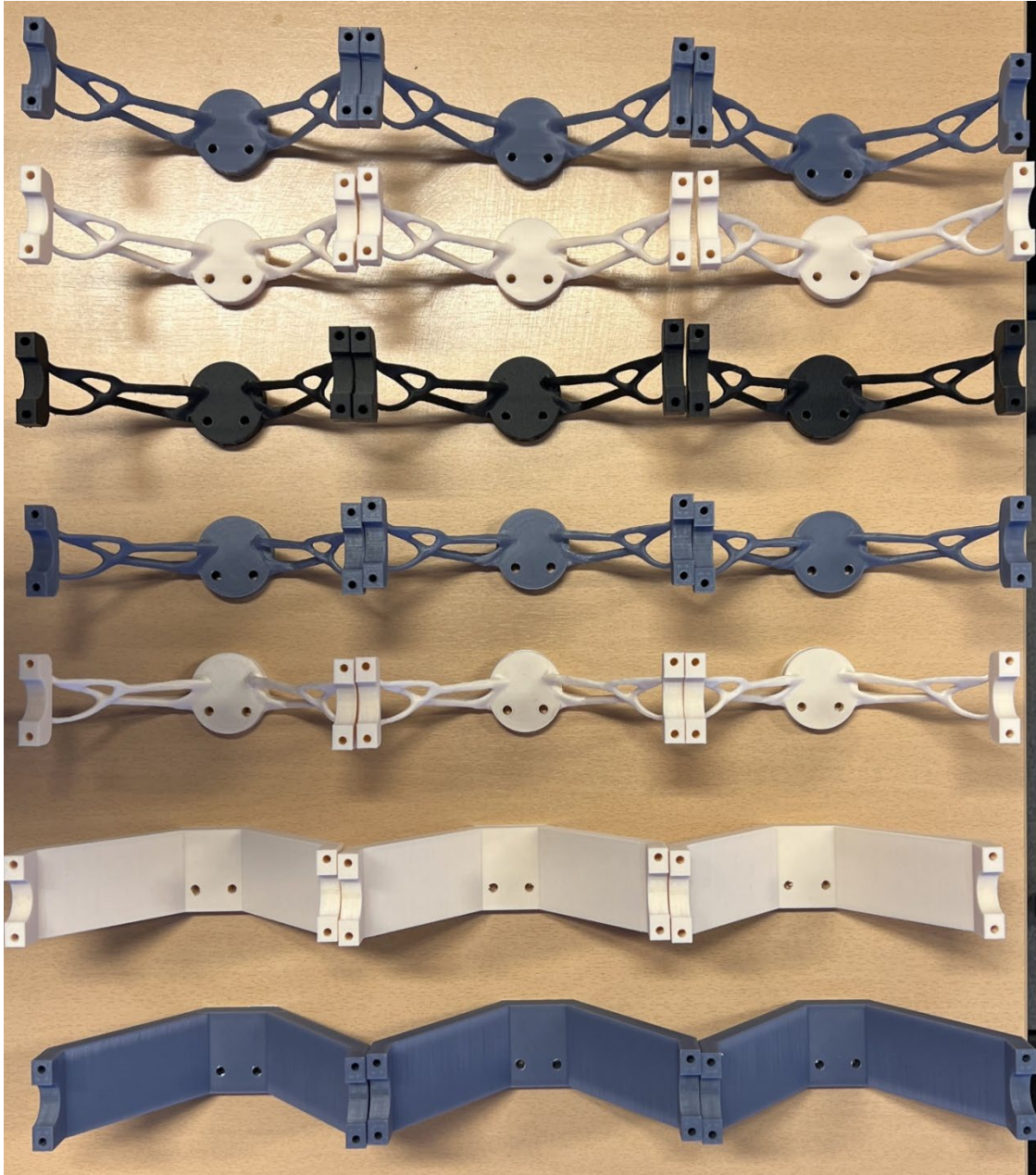


32.ábraHIPER PLA tervezett terhelések hatására fellépő feszültségek
(saját szerkesztés)

A szimuláció eredményei arra a várakozásra engedtek következtetni, hogy a nyomóvizsgálat során mind a három alapanyag el fogja bírni a kívánt terhelést és körülbelül azonos ponton is fognak eltörni az alapanyagok.

4. VIZSGÁLAT

A vizsgálatot az alábbi 33. ábrán mutatott munkadarabokkal végeztem el. Miden anyagból és irányultságból három-három darabot nyomtattam, így garantálva az esteleges mérési pontatlanságot, illetve a nyomtatás közben adódható hibák kiküszöbölését. A vizsgálat során a szimulációban is meghatározott oldal irányú kihajlást a rögzítő tengelyre felszerelt két darab rúgós rögzítőgyűrű akadályozta meg.



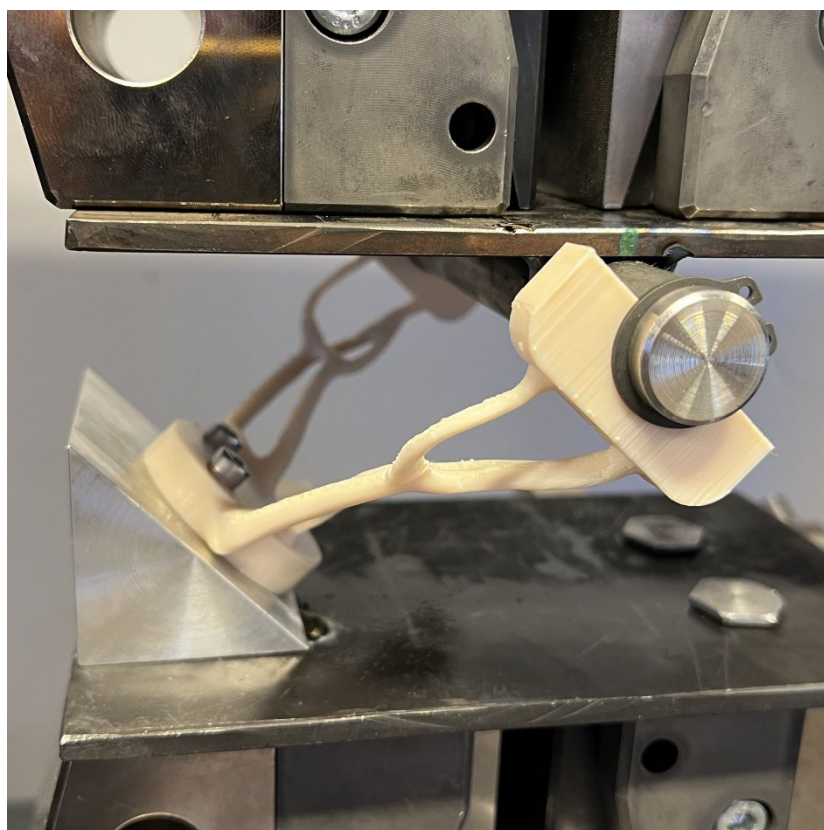
33.ábra A vizsgált munkadarabok
(saját készítés)

Az 1. táblázat részletezi a különböző darabokat. A táblázatban a képpel egyformán haladva fentről lefelé és balról jobbra vannak megadva az adatok.

1.táblázat A vizsgálandó alapanyagok
(saját szerkesztés)

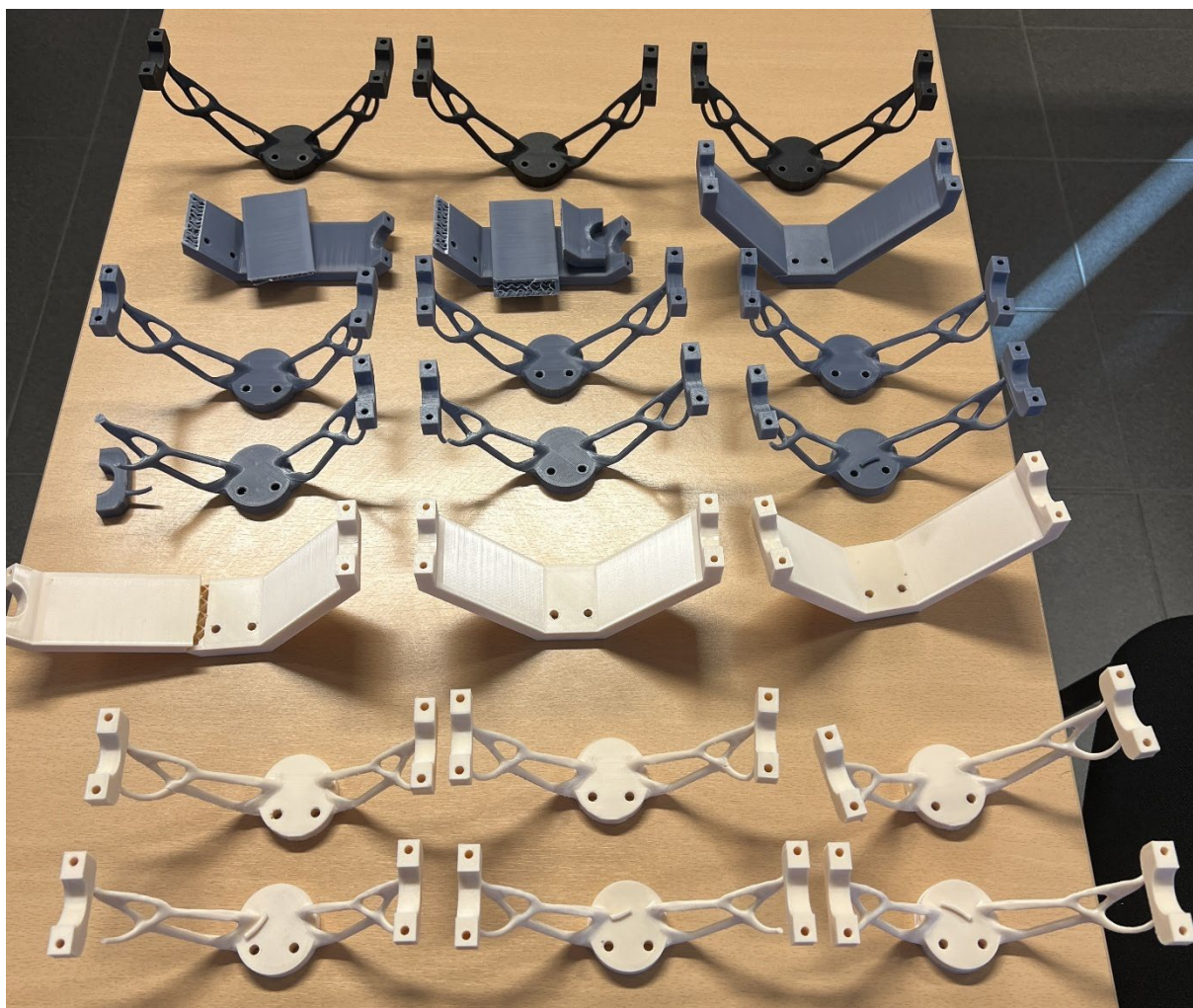
Alapanyag, sorszám	irányultság,	Alapanyag, sorszám	irányultság,	Alapanyag, sorszám	irányultság,
ABS Y 1		ABS Y 2		ABS Y 3	
HYPER PLA Y 1		HYPER PLA Y 2		HIPER PLA Y 3	
PA6-CF Y 1		PA6-CF Y 2		PA6-CF Y 3	
ABS Z 1		ABS Z 2		ABS Z 3	
HYPER PLA Z 1		HYPER PLA Z 1		HYPER PLA Z 3	
HYPER PLA TÖMÖR Z 1		HYPER PLA TÖMÖR Z 2		HYPER PLA TÖMÖR Z 3	
ABS TÖMÖR Z 1		ABS TÖMÖR Z 2		ABS TÖMÖR Z 3	

A vizsgálatot a tervezés során megadott 45°-os szögben végeztem el a befogást a 34. ábra szemlélteti.



34.ábra A munkadarab rögzítése
(saját készítés)

A vizsgálat során mind a 21 munkadarabot eltörtem ezek összességét a 35. ábra mutatja.



35.ábra Munkadarabok a vizsgálat után
(saját készítés)

A 2. táblázat részletezi, hogy a 35. ábrán látható munkadarabok megnevezését irányultságát és sorszámát. A táblázat a kép szerint szintén fentről lefelé és balról jobbra haladva adja meg a darabokat.

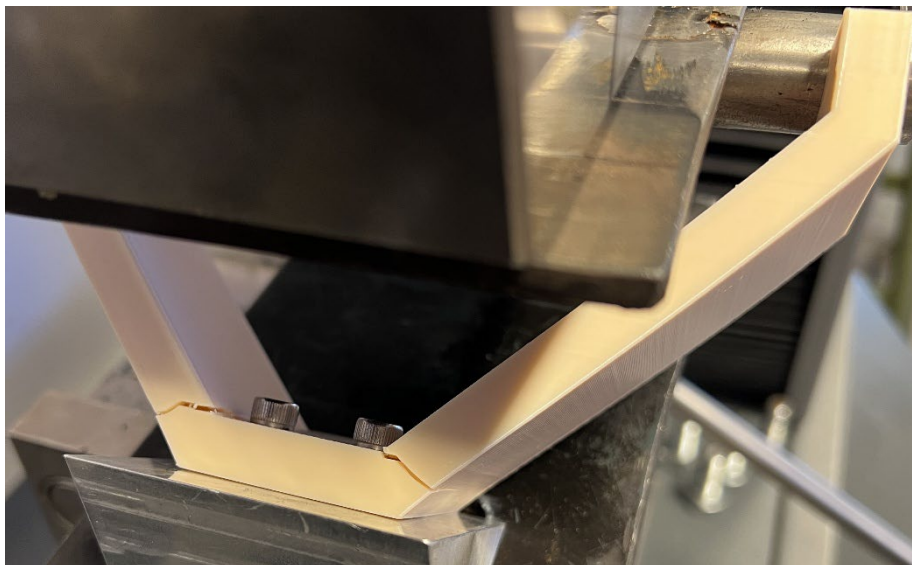
2.táblázat A vizsgált munkadarabok
(saját szerkesztés)

PA6-CF Y 1	PA6-CF Y 2	PA6-CF Y 3
ABS TÖMÖR Z 1	ABS TÖMÖR Z 2	ABS TÖMÖR Z 3
ABS Y 1	ABS Y 2	ABS Y 3
ABS Z 1	ABS Z 2	ABS Z 3
HYPER PLA TÖMÖR Z 1	HYPER PLA TÖMÖR Z 2	HYPER PLA TÖMÖR Z 3
HYPER PLA Y 1	HYPER PLA Y 2	HIPER PLA Y 3
HYPER PLA Z 1	HYPER PLA Z 1	HYPER PLA Z 3

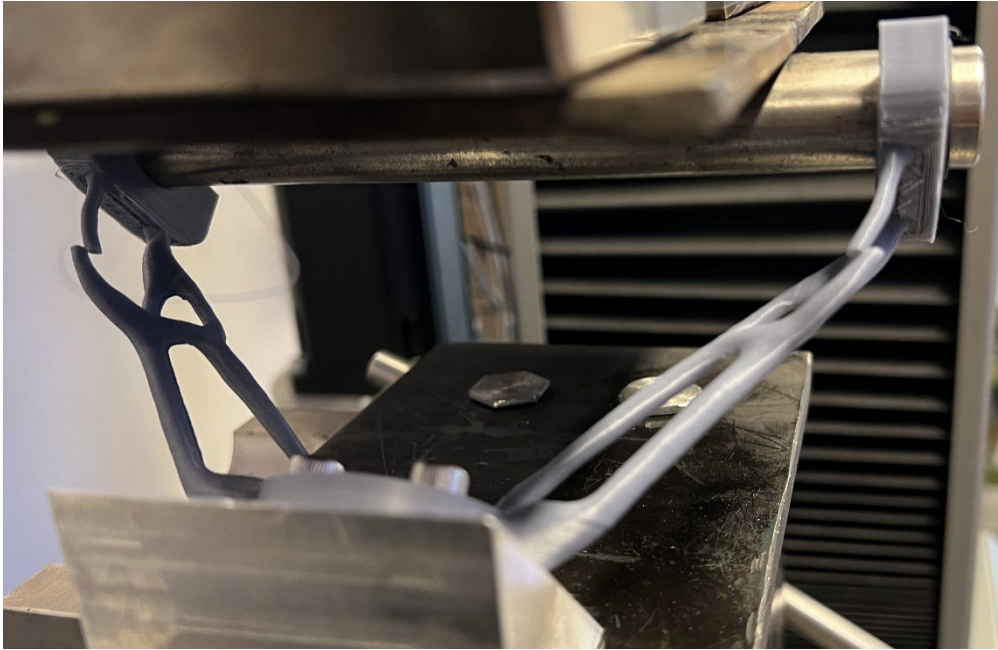
A vizsgálat során elmozdulás- erő diagrammokat készítettem. A vizsgáló gép egy számítógéppel van összekötve és nagy pontossággal lehet vele mérni a számomra szükséges értékeket. A vizsgálat során a gépnek egy 3 N nagyságú előfeszítő erőt adtunk meg a konzulensemmel, illetve maximálisan 10 mm-es mozgást állítottunk be. Az erőt nem maximalizáltuk. A vizsgálatot tönkremenetelig végeztem. A vizsgálat előtti utolsó konzultáción azt beszéltük meg, hogy érdekesség képpen kinyomtattam az eredeti darabokat is ugyan azon feltételekkel, mint a generatív tervezett alkatrészeket, hogy össze tudjam hasonlítani mért értékekkel is mekkora változás jön létre a generatív tervezés során. A következő ábrák néhány érdekes tönkremenetelt, vizsgálat közbeni, vagy az utáni változásokat mutatnak be.



36.ábra Y irányultságú HYPER PLA kihajlása
(saját készítés)



37.ábra Z irányultságú tömör HYPER PLA törése
(saját készítés)



38.ábra Z irányultságú ABS szárainak törése
(saját készítés)

Az elvárásokkal ellentétben a PA6-CF alapanyag nem tört el a 10 mm-es nyomási út során csak alakváltozott, a következő 39. ábra ezt mutatja be.



39.ábra Vizsgálat előtti (jobb) és vizsgálat utáni (bal) PA6-CF alapanyag
(saját készítés)

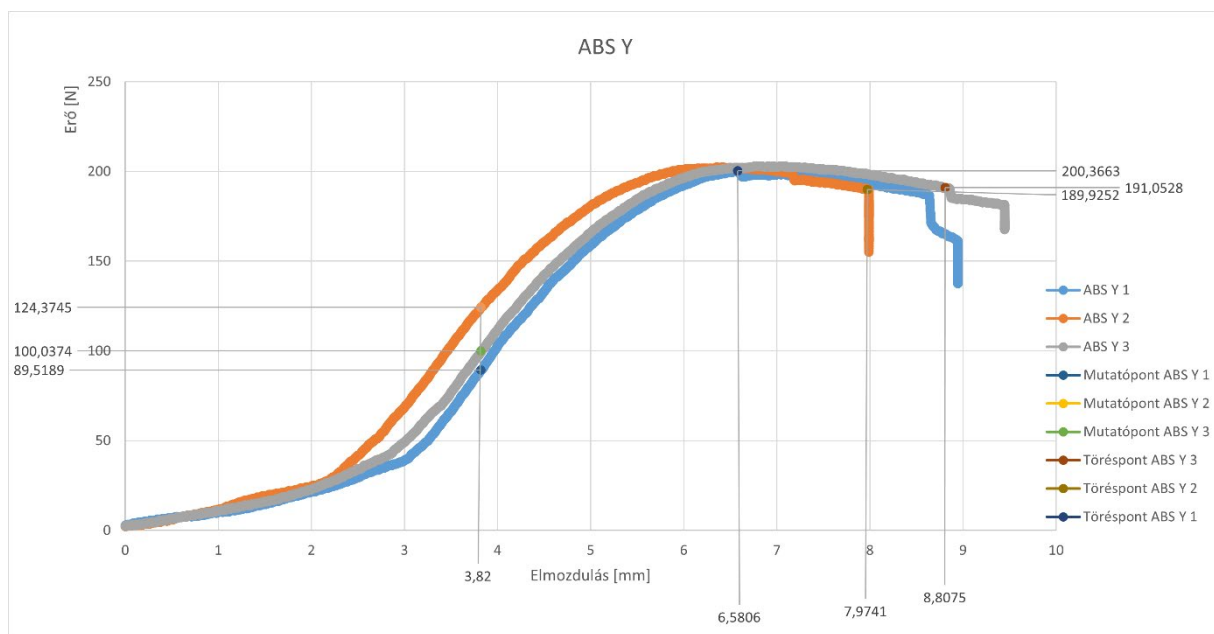
A 3. táblázat irányultságonként a tipikus tönkremeneteli okokat mutatja meg az ABS és a HYPER PLA alapanyagok esetén.

3.táblázat Tönkremeneteli okok az egyes munkadarabtípusoknál
(saját szerkesztés)

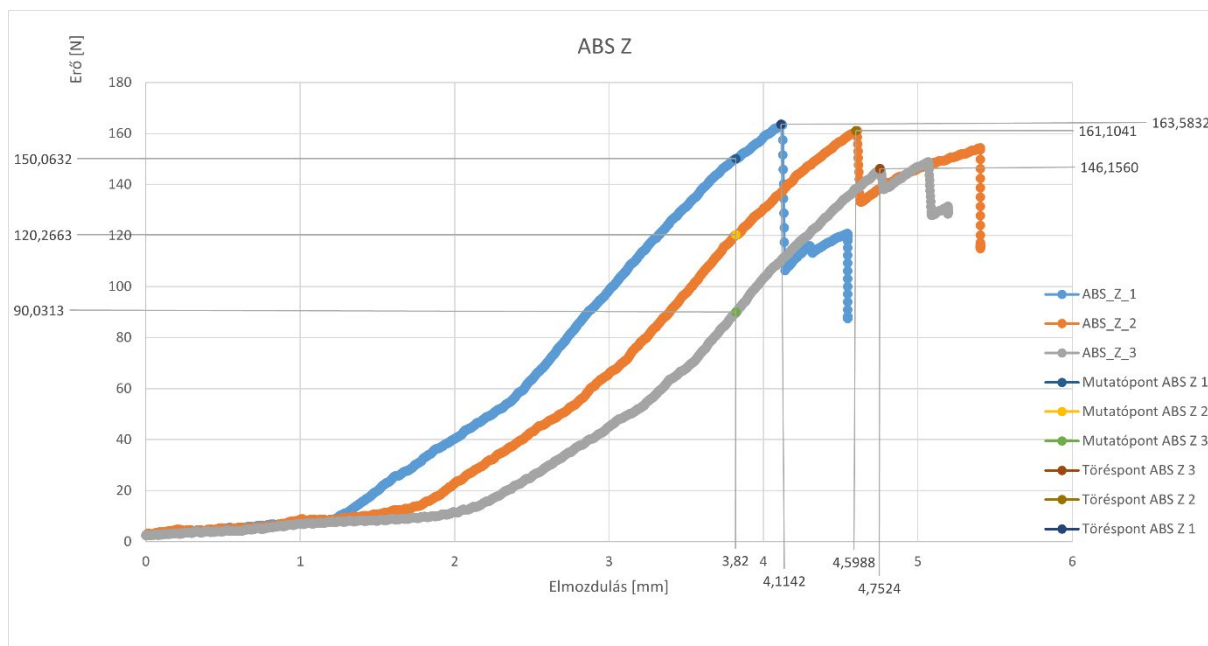
HYPER PLA TÖMÖR	A 37. ábrán bemutatott törést tapasztaltam mind a három darabnál csak repedés jelentkezett a mozgás megállítását követően tovább nem terjedt a repedés.
ABS TÖMÖR	A 37. ábrán bemutatott törést tapasztaltam mind a három darabnál viszont a mozgás megállítása után a meglévő terhelés hatására két darab esetében hirtelen teljes törés következett be.
HYPER PLA Y	A 36. ábrán látható kihajlás következett be mind a három darabnál és a 34. ábrán látható y elágazás tövében bekövetkező rétegszétválás.
ABS Y	A 36. ábrán látható kihajlásnál kisebb mértékű kihajlás következett be mind a három darabnál és a 34. ábrán látható y elágazás tövében bekövetkező rétegszétválás.
HYPER PLA Z	A 38. ábrán látható törés volt tapasztalható pontosan ott, ahol a szimuláció mutatta, majd anyagtörés következett be a képen látható helyen is.
ABS Z	A 38. ábrán látható törés mutatkozott mind a három munkadarab esetében valamivel lentebb a szimuláció által jelzett helyzettől.

5. KIÉRTÉKELÉS

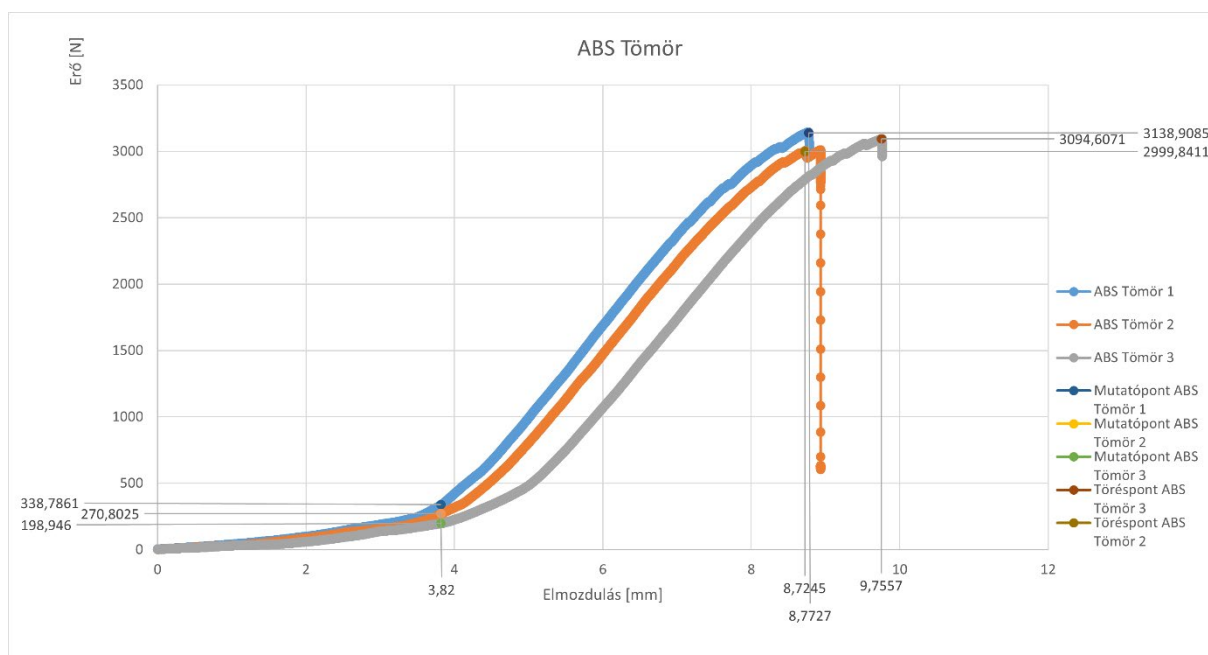
Az már látható volt a 3.4-es fejezetben, hogy a kívánt terheléseket el kell bírnia a szerkezetnek. Ez a vizsgálat során be is bizonyosodott. A következő ábrákon a különböző anyagok különböző irányultságainak a nyomási diagramjai lesznek láthatóak. Az elmozdulásnál a 3,82 mm-es határ azt jelzi, hogy hol van szerkezetileg az a határ, amit a tükörtartó konstrukciója megenged a környező alkatrészekhez képest, ezek a diagramokon mutatópontként találhatók meg. Ennél nagyobb alakváltozás már hibákat okozhat így egységesen ezeket az erőket vizsgáltam, amik maximálisan meg vannak engedve a munkadarab tekintetében. A diagramok függőleges vonalai mind a két oldalon a terhelő erőt mutatják N-ban kifejezve. A diagramok jobb oldalán az egyes töréspontok értékei találhatóak. A PA6-CF alapanyag esetén a vizsgálat során beállított 10 mm-es összenyomás hatására sem következett be törés így ott a töréspont helyett maximális erőt ábrázoltam.



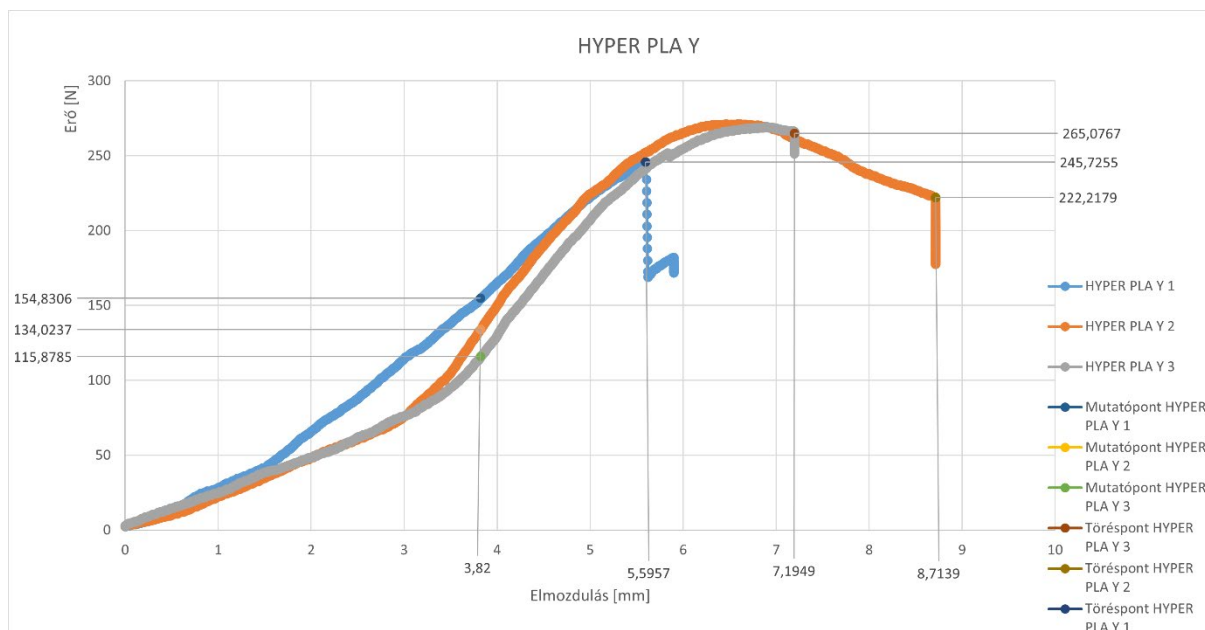
40.ábraABS Y irányú vizsgálati diagramja
(saját szerkesztés)



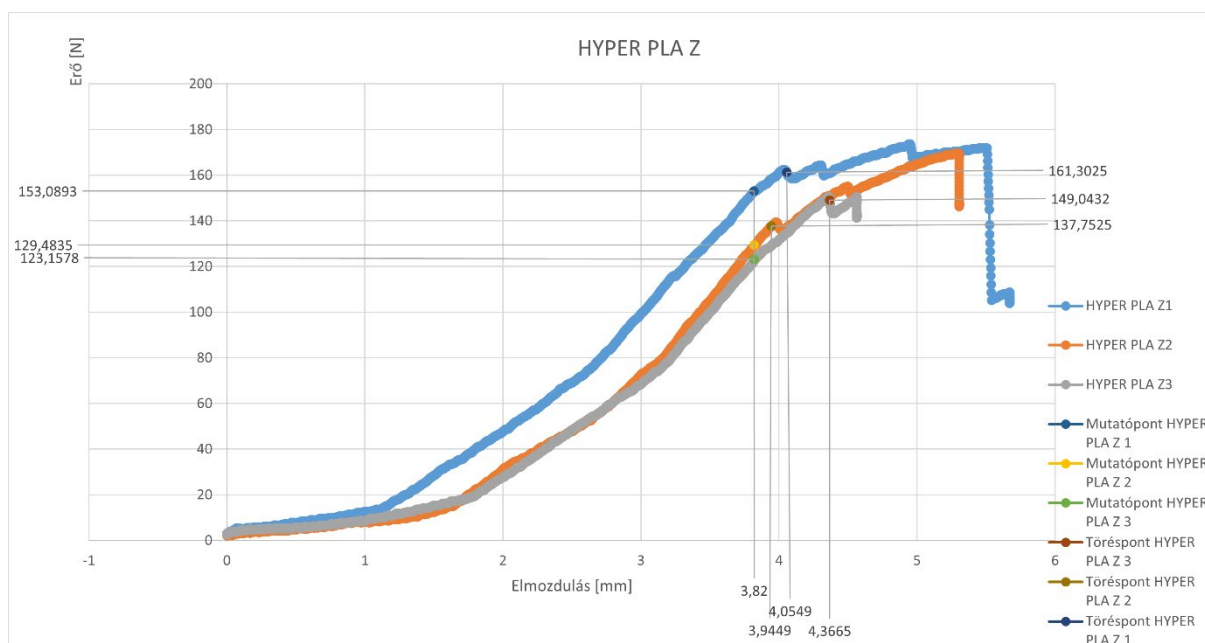
41.ábra ABS Z irányú vizsgálati diagramja
(saját szerkesztés)



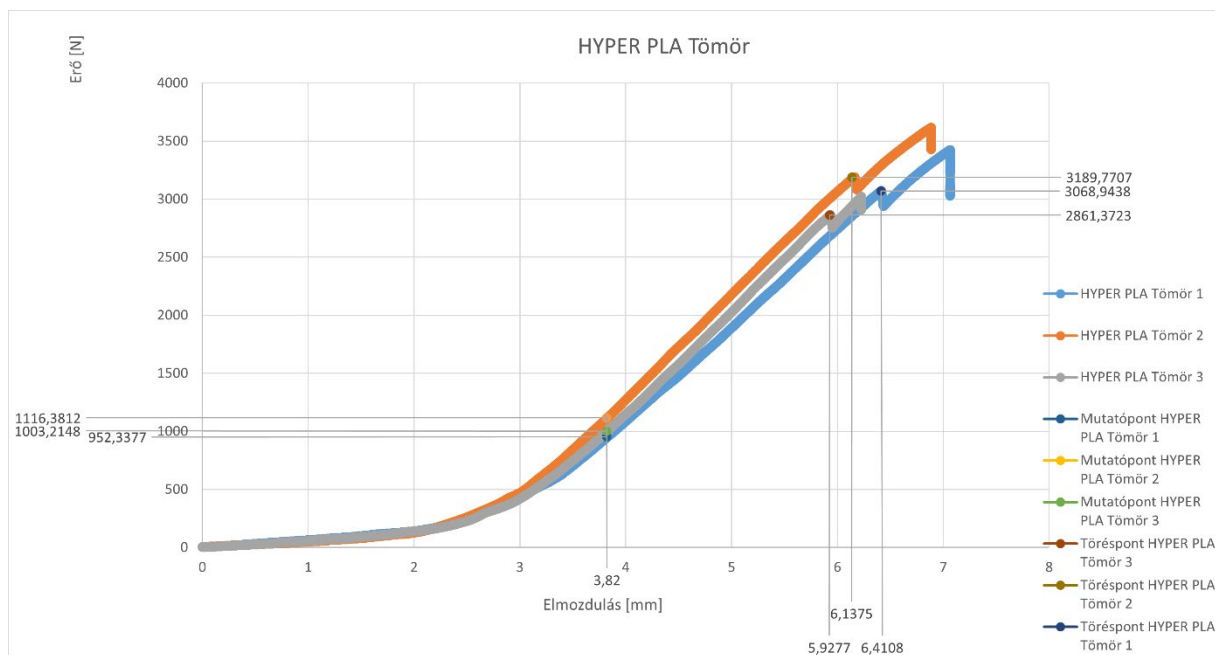
42.ábra ABS Tömör Z irányú vizsgálati diagramja
(saját szerkesztés)



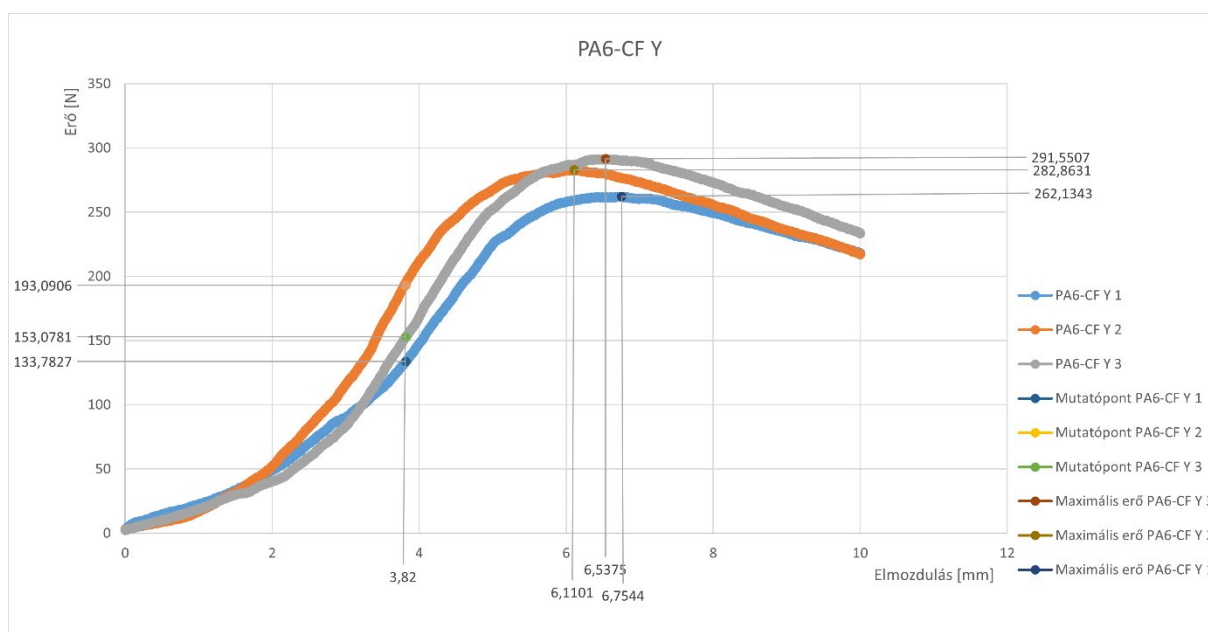
43.ábraHYPER PLA Y irányú vizsgálati diagramja
(saját szerkesztés)



44.ábraHYPER PLA Z irányú vizsgálati diagramja
(saját szerkesztés)



45. ábra HYPER PLA Tömör Z irányú vizsgálati diagramja
(saját szerkesztés)



46. ábra PA6-CF Y irányú vizsgálati diagramja
(saját szerkesztés)

A diagramokon jól látszik az, hogy az azonos irányultságban nyomtatott alapanyagok nagyon hasonló viselkedést mutattak.

A generatív tervezett Y irányultságú alkatrészek esetén egyértelműen látható, hogy a műszaki felhasználásra szánt PA6-CF alapanyag tényleg alkalmas műszaki alkalmazásra. A HYPER PLA ugyan alapanyagát és viselkedését tekintve jól hozza a PLA alapanyagoktól elvárt viselkedést, viszont érdekes volt, hogy ez egy valamilyen adalék hozzáadásával jobb értékeket mutatott az ABS-sel szemben. Ezek alapján a megfelelő orientációba nyomtatott HYPER PLA alapanyag is alkalmas lehet műszakibb jellegű alkalmazásra is.

A generatív tervezett Z irányultságnál látszik, hogy a terhelés hatására nem kívánt helyen vált szét az anyag így ebből a vizsgálatból az látható, hogy mennyire számít az, hogy a tervező ismerje a 3D nyomtatással készült alkatrészek terhelését és lehetőleg a terheléssel ne párhuzamos irányba tervezze a nyomtatási rétegeket.

A generatív tervezés előtti tömör Z irányultságú munkadaraboknál látható, hogy egy nagyságrenddel nagyobb erőket viseltek el, mint a generatív tervezett társai. De ez meglátszik mind felhasznált alapanyagban és súlyában is. Amennyiben a munkadarabok rendszeren lekerekítésekkel, illetve megfelelőbb orientációba lettek volna nyomtatva biztosan nagyobb erőket is elviselnek, de ez is rendkívül szemléletes példa volt.

A 4. táblázat összefoglalja irányonként és alapanyagonként a három darab átlagos adatait, valamint azt is, hogy a 3,82 mm-es elmozdulás, illetve a töréspont vagy maximális erő hány százalékkal nagyobb erőt lennének képesek elviselni, mint amire tervezve voltak. A táblázat ezen kívül tartalmazza az alátámasztással együtt elhasznált alapanyag mennyiségét darabonként.

4.táblázat Kiértékelés
(saját szerkesztés)

Megnevezés	3,82 mm-nél átlagos erő [N]	%-os eltérés a kiinduló adathoz képest [%]	Töréspont/ maximális erő átlagos értéke [N]	%-os eltérés a kiinduló adathoz képest [%]	Súly [g]
HYPER PLA Y	134,911	760,91	244,34	1378,12	37,59
HYPER PLA Z	135,2435	762,79	149,3661	842,44	42,45
HYPER PLA Tömör Z	1023,98	5775,4	3040,029	17146,24	73,15
ABS Y	104,64	590,2	193,781	1092,95	37,07
ABS Z	120,12	677,49	156,947	885,21	42,15
ABS Tömör Z	269,512	1520,09	3077,78	17259,19	72,02
PA6-CF Y	159,98	902,33	278,85	1572,754	38,23

A táblázatból egyértelműen látszik, hogy a kiindulásként használt Tömör megnevezésű munkadarabok esetén jóval nagyobb értékek figyelhetők meg viszont súlyban közel duplája a generatív tervezett alkatrészekhez képest. Amennyiben a százalékos értékeket elosztjuk 100-zal úgy megkapjuk a biztonsági tényezőt. Én eredetileg 2-es biztonsági tényezővel indultam neki a tervezésnek, de a beállított minimum 3 mm-es átmérő hatására a legkisebb biztonsági tényező is 5,9-es. A generatív tervezés esetében a legnagyobb biztonsági tényezőt a megengedett elmozdulásig a tervezett anyag 9-es biztonsági tényezővel teljesítette. A Fusion egyébként csak 7,89-es biztonsági tényezőt határozott meg ennek az anyagnak, de a valóságban ettől is magasabb lett. Teljes terhelésnél szintén a tervezett alapanyagé volt a legnagyobb biztonsági tényező 15,7.

Megfigyelhető, hogy az általam használt kis terhelésnél a nem számított, hogy milyen alapanyagból nyomtatom ki a generatív tervezett testet viszont, ha akkora erővel dolgoztam volna, amit már a szoftver tervezés közben is 2-es biztonsági tényező környékére generál ki akkor igen is számítana az alapanyag választás. Ugyan így az orientációs értékek közötti különbség is látszik, hogy ha nem a szoftver által meghatározott nyomtatási orientációt választom úgy jóval kisebb erőket képes csak elviselni az alkatrész, és ha szintén ki van élezve a biztonsági tényező abban az esetben már nem is biztos, hogy más orientációjú nyomtatott alkatrész kibírná az adott terhelést.

A kiértékelés végén látható, hogy a generatív tervezett alkatrész a megfelelő bemeneti körülményekkel tökéletesen helyettesíteni tudja a hagyományos gyártási technológiát. Ez a jövő, vagyis inkább már a jelen kor technológiája ebbe az irányba érdemes adott esetben kell elmozdulni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat generatív tervezéssel és additív gyártással foglalkozik. A generatív tervezés egy merőben más megközelítés a hagyományos tervezéshez képest. A célja az, hogy a mesterséges intelligencia (MI) segítségével csak oda és csak annyi anyagot tegyünk ahová az szükséges. Ezzel a megközelítéssel a kívánt biztonságot szem előtt tartva rengeteg anyagot tudunk megspórolni.

A tervezőnek pontosan tudnia kell a munkadarab anyagát, helykitöltési lehetőségét vagy éppen hová nem szabad anyagot tenni, illetve a legfontosabb dolgot a munkadarab pontosan meghatározott terheléseit.

A generatív tervezéssel együtt kéz a kézben fejlődik az additív gyártási technológia is. A gyártási technológia lényege, hogy egy rétegről rétegre építkező folyamat. Ennek köszönhetően tudunk, olyan bonyolult alámetszett formákat is gyártani, amit hagyományos eljárással szinte lehetetlen elkészíteni. A technológia fejlődésével képesek vagyunk olyan iparban használt alkatrészeket nyomtatni, amik súlyban töredéke az eredeti alkatrésznek. Ennek ellenére arra amire tervezik az adott alkatrészt tökéletesen ellátja funkcióját. Alapanyagot tekintve nagyon széles a választék. Különböző fémek, műanyagok.

A vizsgálati témája, hogyan befolyásolja a kész terméket az, ha nem a tervezéskor megadott alapanyaggal, illetve 3D nyomtatási orientációval készül el a kész termék.

A vizsgálat során kis erővel terheltük a munkadarabot tervezéskor így arra a következtetésre jutott a kiértékelési szakaszban, hogy ez az adott munkadarab ezzel az adott terheléssel alapanyag és nyomtatási orientáció független.

Azonban a vizsgálat rámutat arra is, ha más körülmények vannak akkor nem szabad figyelmen kívül hagyni a tervező szoftverbe beírt alapanyagot és gyártási orientációt.

A dolgozatban az is látható, hogy összehasonlításra került a vizsgálat során ugyan abból az alapanyagból ugyanabban az orientációban nyomtatott hagyományos tervezési eljárással készült munkadarab is. A kiértékelés rávilágít, hogy ebben az esetben a hagyományos tervezés nagyon túlbiztosítja a kívánt célokat.

Egy biztos a technológia és a gyártási trendek abba az irányba mutatnak, hogy kell ezzel a technológiával foglalkozni, mert a számok azt mutatják, hogy óriási potenciál rejlik ebben.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] 3DSOURCED. (2024. 02 20). Selective Laser Sintering: Everything You Need To Know About SLS 3D Printing. Letöltés dátuma: 2024. 05 23, forrás: <https://www.3dsourced.com/guides/selective-laser-sintering-sls/>
- [2.] Autodesk. (dátum nélk.). Autodesk Fusion Features. Letöltés dátuma: 2024. 06 13, forrás: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features>
- [3.] Autodesk. (dátum nélk.). Generative design: Streamlining iteration and innovation. Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>
- [4.] Autodesk, & Varinex. (2019. 04 27). Mi a generatív tervezés, mi nem, és miért ez a gépipar jövője? Jövő gyára. Letöltés dátuma: 2024. 05 17, forrás: <https://jovogyara.hu/mi-a-generativ-tervezes-mi-nem-es-miert-ez-a-gepipar-jovoje.html>
- [5.] AutonomusManufacturing. (2018. 10 25). Generative Design and 3D Printing: The Manufacturing of Tomorrow. Letöltés dátuma: 2024. 06 12, forrás: <https://amfg.ai/2018/10/25/generative-design-3d-printing-the-manufacturing-of-tomorrow/>
- [6.] Brossard, M., Gatto, G., Gentile, A., Marle, T., & Wlezien, C. (2020.. 02. 05.). *McKinsey&Company*. Letöltés dátuma: 2024.. 05. 28., forrás: [www.mckinsey.com: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/how-generative-design-could-reshape-the-future-of-product-development#/](https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/how-generative-design-could-reshape-the-future-of-product-development#/)
- [7.] Cohee, R. (2018. 04 24). It's here! Generative design technology makes its commercial debut in Fusion 360 Ultimate. Letöltés dátuma: 2024. 05 23, forrás: <https://blogs.autodesk.com/inthefold/generative-design-technology-makes-commercial-debut-fusion-360-ultimate/>
- [8.] CrealityStore. (dátum nélk.). Hyper Series PLA 3D Printing Filament 1kg. Letöltés dátuma: 2024. 10 28, forrás: <https://store.creality.com/products/hyper-series-pla-3d-printing-filament-1kg>
- [9.] Creo. (dátum nélk.). Generative Design. Letöltés dátuma: 2024. 06 12, forrás: <https://www.pdsol.com/wp-content/uploads/2024/02/Generative-Design-Interactive-Ebook.pdf>
- [10.] Cs., K. (2023. 05 03). Az FDM/FFF nyomtatás folyamata. Letöltés dátuma: 2024. 04 23, forrás: <https://zengo.eu/hu/blog/az-fdmfff-nyomtat-as-folyamata>
- [11.] EngineeringProductdesign. (2023. 02 06). Generative Design (GD). Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/generative-design/>
- [12.] Eplmblog. (2019. 09 10). Generatív tervezés. Letöltés dátuma: 2024. 05 13, forrás: <https://blog.eplm.hu/generativ-tervezes/>
- [13.] Filaticum. (2024. 02 24). Generatív tervezés és a 3D nyomtatás. Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: <https://filaticum.com/generativ-tervezes-es-3d-nyomtat-as/>
- [14.] Formlabs. (dátum nélk.). Guide to Post-Processing and Finishing SLA Resin 3D Prints. Letöltés dátuma: 2024. 05 07, forrás: <https://formlabs.com/eu/blog/post-processing-and-finishing-sla-prints/>

- [15.] Formlabs. (dátum nélk.). Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. Letöltés dátuma: 2024. 05 18, forrás: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
- [16.] Frankli, M. (2022. 02 27). Mi is pontosan az FDM 3D nyomtatás? Letöltés dátuma: 2024. 05 17, forrás: <https://www.zaccord.com/blog?id=9>
- [17.] Frankli, M. (2022. 02 27). Mi is az SLA 3D nyomtatás? Letöltés dátuma: 2024. 05 17, forrás: <https://www.zaccord.com/blog?id=10>
- [18.] Hendrickson, J. (2019. 03 25). Real-Time Generative Design Drives Innovation. Letöltés dátuma: 2024. 06 18, forrás: <https://www.ansys.com/blog/real-time-generative-design-drives-innovation>
- [19.] InFlowTechnology. (2018. 07 30). CATIA Generative Design for Aerospace. Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: <https://www.youtube.com/watch?v=fTUPRplEyTc>
- [20.] INSPIRE solidThinking. (2016. 03). Letöltés dátuma: 2024. 06 18, forrás: https://kontron.hu/wp-content/uploads/2017/01/HW14_sT_Inspire.pdf
- [21.] Instant3D. (dátum nélk.). Additív gyártás. Letöltés dátuma: 2024. 04 23, forrás: <https://instant3d.hu/blog/additiv-gyartas/>
- [22.] Kelemen, D. (2022. 08 02). Generatív design a gyártásban III – Innováció növelése új tervezési koncepciók felfedezésével. CNC Media. Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: <https://www.cnc.hu/2022/08/generativ-design-a-gyartasban-iii-innovacio-novelese-uj-tervezesi-koncepcio-k-felfedezesevel/>
- [23.] Materialise. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2024. 05 28, forrás: <https://i.materialise.com/blog/en/direct-metal-laser-sintering-dmls/>
- [24.] MetalPrinting. (dátum nélk.). 3D fémnyomtatás alapismeretek – DMLS (Direct Metal Laser Sintering) technológia ismertetése. Letöltés dátuma: 2024. 06 15, forrás: <https://www.metalprinting.hu/technologia/>
- [25.] Monument. (dátum nélk.). CR-ABS Filament 1kg 1.75mm – Szürke. Letöltés dátuma: 2024. 10 28, forrás: <https://3dmonument.hu/3dnyomtatas/filament/abs-filament/cr-abs/cr-abs-filament-1-0kg-1-75mm-szurke/>
- [26.] Papp, O. (2019. 10 01). CNC Media. *Generatív tervezés: mennyiben segíti elő a fenntarthatóságot?* Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: [https://www.cnc.hu/2019/10/generativ-tervezes-mennyiben-segit-elo-a-fenntarthatosagot/](https://www.cnc.hu/2019/10/generativ-tervezes-mennyiben-segiti-elo-a-fenntarthatosagot/)
- [27.] *pd Solutions*. (dátum nélk.). Letöltés dátuma: 2024. 06 18, forrás: <https://www.pdsol.com/product/creo-generative-design/>
- [28.] PLM, S. (dátum nélk.). Generative design. Letöltés dátuma: 2024. 06 27, forrás: https://static.sw.cdn.siemens.com/siemens-disw-assets/public/15vsj4UX3hezq2Vc8XGXWW/en-US/Siemens-PLM-Generative-Design-ebook-mi-63757_tcm27-31974.pdf
- [29.] Polimakaer. (dátum nélk.). PolyMide PA6-VF. Letöltés dátuma: 2024. 10 28, forrás: https://3d.nice-cdn.com/upload/file/PolyMide_PA6_CF_TDS_V5.1.pdf

- [30.] Schwaar, C. (2022. 09 05). Design for Additive Manufacturing (DfAM) – The Ultimate Guide. Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: <https://all3dp.com/1/design-for-additive-manufacturing-dfam-simply-explained/>
- [31.] Sculpeto. (dátum nélk.). Guide to Stereolithography: What is SLA 3D Printing? Letöltés dátuma: 2024. 05 23, forrás: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies-and-processes/stereolithography/>
- [32.] Sebastian. (2024. 03 21). Mi az a generatív tervezés? Letöltés dátuma: 2024. 06 18, forrás: <https://introo.hu/3DSULI/2024/03/21/mi-az-a-generativ-tervezes/>
- [33.] SIEMENS. (dátum nélk.). Generative design. Letöltés dátuma: 2024. 04 23, forrás: <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/generative-design/>
- [34.] SIEMENS. (dátum nélk.). What is Generative Design? Letöltés dátuma: 2024. 06 10, forrás: <https://resources.sw.siemens.com/en-US/e-book-what-is-generative-design>
- [35.] Szabó, K., & Hegedűs, G. (2020. 12 19). A GENERATÍV TERVEZÉSLÉPÉSEI INTEGRÁLT CAD RENDSZEREK BEN. *Multidiszciplináris tudományok, 10. kötet*, old.: 393-398. Letöltés dátuma: 2024. 05 04, forrás: <https://ojs.uni-miskolc.hu/index.php/multi/article/view/680/408>
- [36.] Tóth, B., & Andó, M. (2020. 03 06). Generatív tervezés kombinálása 3D nyomtatással. *Mérnöki és Informatikai Megoldások 1 (I.)* 61-68. Letöltés dátuma: 2024. 06 20, forrás: <https://doi.org/10.37775/EIS.2020.1.9>
- [37.] UltiMaker. (dátum nélk.). The complete history of 3D printing. Letöltés dátuma: 2024. 04 23, forrás: <https://ultimaker.com/learn/the-complete-history-of-3d-printing/>
- [38.] Zsidai, L., & Mózes, A. (2023). Polimerek nyomtatása. *Additív technológiák tananyag e-learning kurzus*. Gödöllő. Letöltés dátuma: 2024. 05 28, forrás: https://elearning.uni-mate.hu/pluginfile.php/1141004/mod_resource/content/1/6-Pres.%203D%20polimer%20nyomtat%C3%A1si%20techn%202023.pdf

8. TÁBLÁZAT- ÉS ÁBRAJEGYZÉK

1.táblázat	A vizsgálandó alapanyagok (saját szerkesztés)	39
2.táblázat	A vizsgált munkadarabok (saját szerkesztés)	40
3.táblázat	Tönkremeneteli okok az egyes munkadarabtípusoknál (saját szerkesztés)	43
4.táblázat	Kiértékelés (saját szerkesztés)	48
1.ábra	FFF 3D nyomtató (forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag).....	5
2.ábra	SLA 3D nyomtató (forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag).....	6
3.ábra	SLS 3D nyomtató (forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag)	7
4.ábra	DMLS 3D nyomtatás (forrás: Zsidai Additív technológiák tananyag).....	8
5.ábra	Generatív tervezett alkatrész részlet (forrás: Papp 2019.).....	9
6.ábra	A generatív tervezési folyamat lépései (forrás: Szabó& Hegedűs 2020).....	11
7.ábra	Catia iterációs lépések (forrás: InFlowTechnology 2018.).....	15
8.ábra	Fusion 360 ultimate Generative Design (forrás: Cohee 2018.).....	16
9.ábra	Ansys iterációs lépések (forrás: Hendrickson 2019.).....	17
10.ábra	SolidEdge iterációs lépések (forrás: PLM).....	19
11.ábra	Altair INSPIRE iterációs lépések (forrás: INSPIRE solidThinking 2016.)	20
12.ábra	Creo Generative Gesign iterációs lépések (forrás: pd Solutions)	22
13.ábra	Tükör billentő mechanizmus súlypontja (saját szerkesztés)	23
14.ábra	A tükörlap és billentő mechanizmus együttes tömege (saját szerkesztés).....	24
15.ábra	Csatlakozó elemek (saját szerkesztés)	25
16.ábra	Tiltott zóna (saját szerkesztés).....	25
17.ábra	Terhelő erőkkkel ellátott modell (saját szerkesztés).....	26
18.ábra	Első generált alkatrész (saját szerkesztés)	27
19.ábra	Plusz erők felhelyezése (saját szerkesztés).....	27
20.ábra	Újabb tiltott zónák kialakítása (saját szerkesztés)	27
21.ábra	A végleges geometria (saját szerkesztés).....	28
22.ábra	Az összeállítás szemből nézete (saját szerkesztés)	28
23.ábra	Az összeállítás iso metrikus nézete (saját szerkesztés).....	29
24.ábra	Additív és 5 tengelyes megmunkálása közti különbség (saját szerkesztés).....	29
25.ábra	Különböző PA típusú alapanyagok generált képei (saját szerkesztés)	30
26.ábra	Nyomatási előnézet a PA6-CF alapanyaghoz (saját szerkesztés).....	32
27.ábra	Alap hálózás (saját szerkesztés).....	33
28.ábra	Finomított hálózás (saját szerkesztés).....	33
29.ábra	Maximális feszültség, ahol az x irányú kihajlás meg van engedve (saját szerkesztés).....	34
30.ábra	PA6-CF tervezett terhelések hatására fellépő feszültségek (saját szerkesztés).....	35
31.ábra	ABS tervezett terhelések hatására fellépő feszültségek (saját szerkesztés)	36
32.ábra	HIPER PLA tervezett terhelések hatására fellépő feszültségek (saját szerkesztés).....	37
33.ábra	A vizsgált munkadarabok (saját készítés).....	38
34.ábra	A munkadarab rögzítése (saját készítés).....	39
35.ábra	Munkadarabok a vizsgálat után (saját készítés).....	40
36.ábra	Y irányultságú HYPER PLA kihajlása (saját készítés)	41
37.ábra	Z irányultságú tömör HYPER PLA törése (saját készítés)	41
38.ábra	Z irányultságú ABS szárainak törése (saját készítés)	42
39.ábra	Vizsgálat előtti (jobb) és vizsgálat utáni (bal) PA6-CF alapanyag (saját készítés).....	42
40.ábra	ABS Y irányú vizsgálati diagramja (saját szerkesztés)	44
41.ábra	ABS Z irányú vizsgálati diagramja (saját szerkesztés).....	45
42.ábra	ABS Tömör Z irányú vizsgálati diagramja (saját szerkesztés)	45
43.ábra	HYPER PLA Y irányú vizsgálati diagramja (saját szerkesztés).....	46
44.ábra	HYPER PLA Z irányú vizsgálati diagramja (saját szerkesztés)	46
45.ábra	HYPER PLA Tömör Z irányú vizsgálati diagramja (saját szerkesztés)	47
46.ábra	PA6-CF Y irányú vizsgálati diagramja (saját szerkesztés).....	47

9. HALLGATÓI NYILATKOZAT

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Figeczki-Mélykúti Péter
A Hallgató Neptun kódja: JJRVY5
A dolgozat címe: 3D nyomtatott alkatrész generatív tervezése
A megjelenés éve: 2024.
A konzulens tanszékének a neve: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

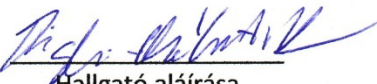
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: 2024. év november hó 11. nap


Hallgató aláírása

10. KONZULENSI NYILATKOZAT

NYILATKOZAT

Dr. Szakál Zoltán (név) (hallgató Neptun azonosítója: JJRVY5) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / **nem javaslom**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2024. év 11. hó 11. nap



belső konzulens