



**Pannon Egyetem
Intézményi Tudományos Diákköri
Konferencia
2024**



**Alfa Tipo acél járműalkatrészének topológiai optimalizálása és
gyártása fém hibrid 3D nyomtatás segítségével**

Készítette: Vojtovicz Máté

Témavezető: Balogh Diána

Mérnöki kar, Mechatronikai Képzési és Kutatási intézet

A pályamunka lezárásának dátuma: 2024.11.05.

1	MOULDTech SYSTEMS KFT.	1
2	TOPOLOGIAI OPTIMALIZÁLÁSI ELJÁRÁSOK	2
2.1	TOPOLOGIAI OPTIMALIZÁCIÓ	2
3	3D FÉMNYOMTATÁSI ELJÁRÁSOK	3
3.1	SZELEKTÍV LÉZER OLVASZTÁS (SLM).....	3
3.2	KÖZVETLEN FÉMLÉZERES SZINTEREZÉS (DMLS)	4
4	TOPOLOGIAI OPTIMALIZÁLÁS A SIEMENS SOLID EDGE TERVEZŐ PROGRAMON BELÜL	5
4.1	AZ OPTIMALIZÁLÁS LÉPÉSEI	5
4.2	AZ OPTIMALIZÁLÁSI EREDMÉNY KIÉRTÉKELÉSE	9
5	MATSUURA LUMEX AVANCE 25 HIBRID 3D FÉMNYOMTATÓ	10
5.1	NYOMTATÓ FELÉPÍTÉSE	11
5.2	NYOMTATÓ MŰKÖDÉSE	12
6	ACÉL JÁRMŰ FUTÓMŰALKATRÉSZ TOPOLOGIAI OPTIMALIZÁLÁSA	14
6.1	TERHELÉSI ESETEK TÁRGYALÁSA	16
6.2	SÚLYCSÖKKENTÉSEL TÖRTÉNŐ TOPOLOGIAI OPTIMALIZÁLÁS	17
6.3	OPTIMALIZÁLÁS SORÁN ELŐFORDULT HIBÁK	20
7	FUTÓMŰALKATRÉSZ LEGYÁRTÁSA	22
7.1	MATSUURA LUMEX CAM	22
8	A MODELL NYOMTATÁSA	26
8.1	NYOMTATÓ FELKÉSZÍTÉSE GYÁRTÁSRA	26
8.2	HAGYOMÁNYOS MEGMUNKÁLÁSI ELJÁRÁSOK HIBAKIKÜSZÖBÖLÉSE 3D FÉMNYOMTATÁSSAL	28
8.3	ÁLKALMAZOTT FÉMPOR ÉS A KINYOMTATOTT CSOKKÁLLVÁNY HŐKEZELÉSE	29
8.4	CSOKKÁLLVÁNY MÉRÉSE GOM MÉRŐBERENDEZÉS SEGÍTSÉGÉVEL	30
9	ÖSSZEGZÉS	33
	IRODALOMJEGYZÉK	34

1 MouldTech Systems Kft.

Kutatásom a MouldTech Systems Kft.-nél található Matsuura Lumex Avance 25 hibrid 3D fémnyomtatóval készülő Alfa Tipo acél jármű futóműalkatrész topológiai optimalizálására és gyártására helyezi a hangsúlyt. A topológia optimalizálást a Siemens Solid Edge tervező programon keresztül készítettem el. A következőkben a céget szeretném bemutatni pár mondatban.

A MouldTech Systems Kft. egy Zalaegerszegen működő 2001-ben alapított vállalat, amely a műanyag fröccsöntés és szerszámgyártás területén hódított teret a piacon. Az alapítás óta eltelt több, mint két évtized alatt a cég jelentős tapasztalatra tett szert és az iparág meghatározó szereplőjévé vált. A vállalat fő tevékenységi körei közé tartozik a precíz szerszámtervezés és gyártás, amely elengedhetetlen a magas minőségű műanyag fröccsöntéshez. Ezen kívül a cég prototípusgyártással is foglalkozik, amely lehetőséget biztosít a tervek kipróbálására és tökéletesítésére a tömeggyártás megkezdése előtt. A vállalat a legmodernebb gépekkel és eszközökkel dolgozik ezzel is biztosítva a magas minőségű gyártást. Számos nagy teljesítményű megmunkáló központ megtalálható, melyekkel nagy pontosságú gyártást képesek végezni. Az utóbbi években a drónfejlesztés területén is jelentős lépéseket tettek. A cég olyan innovatív dróntechnológiákat fejleszt, amelyek különféle ipari és kereskedelmi alkalmazásokban megállják a helyüket. Ezek a fejlesztések magukba foglalják a drónok tervezését, gyártását és testre szabását. A dróntechnológia alkalmazási területei közé tartozik többek között a mezőgazdaság, ipari ellenőrzés, térképezés és a logisztika. A MouldTech Systems Kft. nagy fókuszot irányít a minőségbiztosításra is, ezzel biztosítva, hogy a gyártott termékek megfeleljenek a nemzetközi szabványoknak és az ügyfelek elvárásainak.

A cég célja, hogy a legmodernebb technológiák és szaktudás alkalmazásával folyamatosan magas minőségű termékeket és szolgáltatásokat nyújtson, ezáltal is biztosítva pozícióját a piacon. [1]

2 Topológiai optimalizálási eljárások

Egy termék vagy alkatrész alakját elsősorban az adott funkcióra szánt szerepe határozza meg, illetve befolyásoló tényezők lehetnek a termék gyártástechnológiai tulajdonságai is. Egy adott alkatrész tervezése során számos vizsgálatot célszerű végrehajtani és az azokból kapott információk alapján módosítani a terméket, hogy a leoptimálisabb eredményt kapjuk. Ilyen módosítás lehet az alkatrész vagy termék terhelhetőségének növelése, geometriájának módosítása vagy akár a tömegének a csökkentése is. Matematikailag az optimalizálás fókuszában egy célfüggvény minimumának vagy maximumának a meghatározása áll. Általánosabban véve az optimalizáció egy adott megengedett tartományon belül keresi egy célfüggvény legjobb értékét. A modern számítógépes programok lehetőséget kínálnak az előbb említett módosítások végrehajtására adott feltételek megadása mellett. Az additív gyártástechnológia pedig lehetővé teszi számunkra, hogy az eddig legyárthatatlannak tartott geometriákat megvalósíthassuk. [2, 3, 5]

2.1 Topológiai optimalizáció

Topológiai optimalizáláskor az elsődleges célunk, hogy meghatározzuk az alkatrész leoptimálisabb kialakítását egy adott térfogaton belül előre meghatározott terhelések és peremfeltételek mellett. Az optimalizálás során a kiinduló modellünk elemei törlődni fognak annak megfelelően, hogy az még kibírja a megadott terheléseket, illetve megfeleljen az előírt peremfeltételeknek. A 2.1. ábra egy topológiai optimalizáció eredményét mutatja be.

A topológiai optimalizálási eljárások számításigényes numerikus és végeselemes szoftvereket igényelnek. A gyakorlatban többféle módszer létezik, amelyeket két nagy csoportba tudjuk sorolni: Gradiens típusú és a nem gradiens típusú módszerek. [2, 3, 5]

A gradiens típusú módszerek közül az egyik leggyakrabban előforduló az úgynevezett SIMP módszer, de elterjedt a szintvonalas módszer alapján működő rendszerek használata is. A nem gradiens típusú, úgynevezett heurisztikus módszerek lényege, pedig az egyszerűsített vagy véletlenszerű keresési stratégián alapszik.



2.1. ábra: Topológiai optimalizáció eredménye [4]

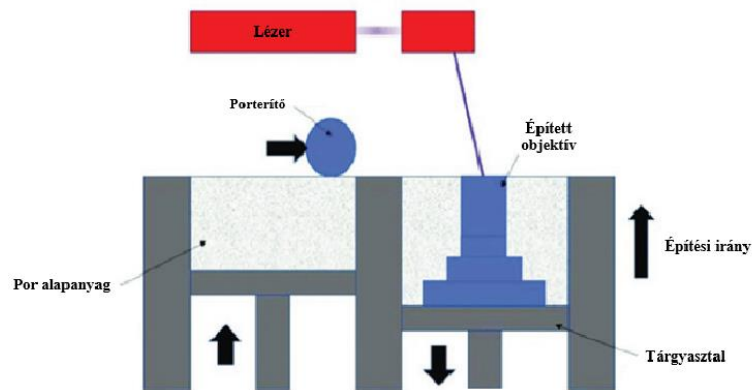
3 3D fémnyomtatási eljárások

A fém 3D nyomtatás korunk egyik leginnovatívabb technológiája, amely az ipar számos területén forradalmasította a termelést. Ez a technológia lehetővé teszi komplex és nagypontosságú fémalkatrészek legyártását rétegről rétegre történő anyagelhelyezéssel. Számos 3D fémnyomtatási technológia létezik melyek alapanyaga többnyire fémpor. A technológiák közötti eltérést pedig a fémpor feldolgozásának a módja adja. Ilyen technológiák például a kötőanyag sugaras nyomtatás, szelektív lézer olvasztás, elektronsugaras olvasztás, közvetlen fémlézeres szinterezés és a kötött por alapú extrudálás. A következőkben a kutatásom során előforduló két fém 3D nyomtatási technológiát szeretném részletesebben bemutatni.

3.1 Szelektív lézer olvasztás (SLM)

A szelektív lézer olvasztásos technológia az egyik legelterjedtebb és leggyakrabban alkalmazott 3D fémnyomtatási technológiák egyike. Alapelve, hogy a gyártás során az alkatrészünket úgy hozzuk létre, hogy rétegről rétegre szilárdítunk meg egy vékony porréteget egy nagyteljesítményű lézer segítségével. Azért van szükség nagy teljesítményű lézerre az olvasztáshoz, mert a fémport a fém olvadáspontja fölé kell hevíteni. Miután a lézer elvégezte az adott porréteg olvasztását, a tárgyasztal függőlegesen lefelé elmozdul és egy újabb porréteg kerül terítésre. A folyamatok addig ismétlődnek amíg teljesen el nem készül a darabunk. A

nyomtatás inert gáz atmoszférában történik. Erre főként a stabil és egységes anyagminőség elérése érdekében van szükség. A technológia elvi felépítését a 3.1. ábra szemlélteti. [6]



3.1. ábra: SLM elvi felépítése [7]

3.2 Közvetlen fémlézeres szinterezés (DMLS)

A DMLS technológia merőben hasonlít a már korábban tárgyalt SLM eljáráshoz. Az alapanyag itt is por és a modellünk felépítése rétegről rétegre történik egy nagyteljesítményű lézer segítségével. Mivel a két gép működésében nincs különbség ezért az elvi felépítést a 3.2. ábrán láthatjuk. Lényeges különbség viszont, hogy itt a fémport egy előmelegített állapotban van tárolva a tartályban, olvadáspont közeli hőmérsékleten. A porterítést követően a lézer összehegeszti a fémport a kívánt helyen. Fontos, hogy míg SLM technológia esetén a lézer megolvasztja a fémport tehát a fém olvadáspontja fölé hevíti az adott helyen a vékony porrétetet, addig a DMLS technológia esetén csak olvadáspont közeli hőmérsékletre hevül a porrétet, mindaddig amíg a porszemcsék összehegednek. Fontos megjegyezni, hogy mivel az eljárás nem olvadt fémporral dolgozik, ezért fémtüzetekkel használható a legjobban. A nyomtatás itt is inert gáz atmoszférában történik, ezáltal is védve van a por az esetleges kedvezőtlen kémiai hatásoktól.

Ezen technológia nagy előnye, hogy mivel nem olvadáspont fölé melegíti a lézer a fémport, mint a SLM esetében, hanem csak olvadáspont közeli hőmérsékletre, ezért kisebb teljesítményű lézer használata is elegendő, ezzel jelentősen olcsóbb és gyorsabb lesz az eljárás. DMLS technológiával készült alkatrészek ugyan úgy hőkezelhetők, utómegmunkálhatók, ha szükséges. Hátrány viszont, hogy szükség van képzett kezelőre és porkezelési rendszerre, hiszen a nyomtatás során meg nem olvasztott porrétet elszívásra kerül, amit később kezelni kell. Ugyanez igaz az SLM technológia esetében is. [6, 7]

4 Topológiai optimalizálás a Siemens Solid Edge tervező programon belül

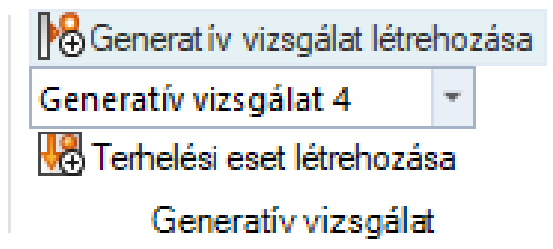
A Siemens Solid Edge egy rendkívül fejlett és sokoldalú CAD szoftver, amely számos tervezési lehetőséget kínál a mérnöki területen. A munkámban szereplő acél járműalkatrész topológiai optimalizálását ezen program segítségével végeztem el.

Ahogy említettem a Solid Edge egy széleskörű funkciókkal ellátott szoftver. Lehetővé teszi a 3D modellezést és a 2D műhelyrajzok létrehozását, szerelések készítését, robbantott ábrák létrehozását, továbbá integrált szimulációs eszközeivel végelemek analízisek végrehajtását is támogatja. A program generatív tervezési funkciókat is kínál, amelyek között szerepel a topológiai optimalizáció is. [8, 9]

4.1 Az optimalizálás lépései

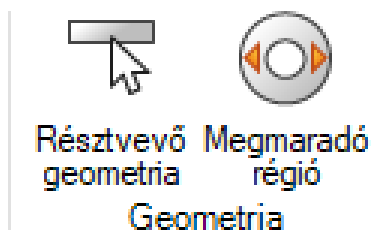
A rengeteg lehetőségben belül talán az egyik legérdekesebb a topológiai optimalizálás, amely szerves részét képezi a modern mérnöki tervezésnek. Ezen folyamat során lehetőségünk nyílik egy előre megtervezett alkatrész súlyának jelentős csökkentésére, amellett, hogy az megőrzi az adott funkcióra szánt szerepét és megfelel az előre meghatározott peremfeltételeknek. Ezzel nem csak súlycsökkenést érünk el, hanem maximalizálni tudjuk az adott alkatrész teljesítményét és a tervezési idő is jelentősen lecsökken, ezáltal a költségek is kevesebbek lesznek az adott termékre vonatkozóan.

Ahogy említettem a Siemens Solid Edge lehetőséget kínál nekünk az ilyesfajta tervezésre. Első körökben szükségünk van egy 3D modellre az optimalizálni kívánt alkatrészünkről. Szükséges a peremfeltételeket és a terhelési eseteket már a legelején tisztázni, ugyanis ez fogja meghatározni az egész optimalizálásunkat. Amint a modellünk készen áll és a feltételek is meghatározásra kerültek, jöhet a tervezés létrehozása. A generatív tervezés fülön belül a generatív vizsgálat létrehozása paranccsal tudjuk elkezdeni a folyamatot. Ezt a lépést a 4.1. ábra szemlélteti.



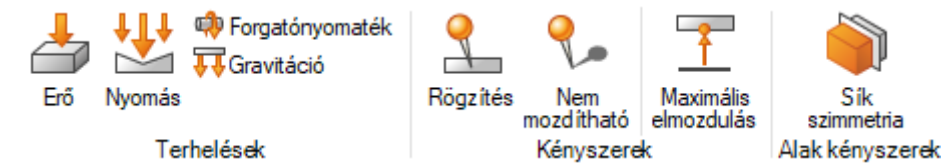
4.1. ábra: Generatív vizsgálat létrehozása

Mindezek után definiálnunk kell a résztvevő geometriánkat, ami a beillesztett 3D modellünk lesz. Amint ezzel megvagyunk meg kell adnunk azokat a régiókat, amik semmiképpen sem változhatnak az anyagcsökkentés során. Ilyenek a furatok és az illeszkedési felületek. A 4.2. ábra a geometriai lépésekhez szükséges parancsikonokat mutatja.



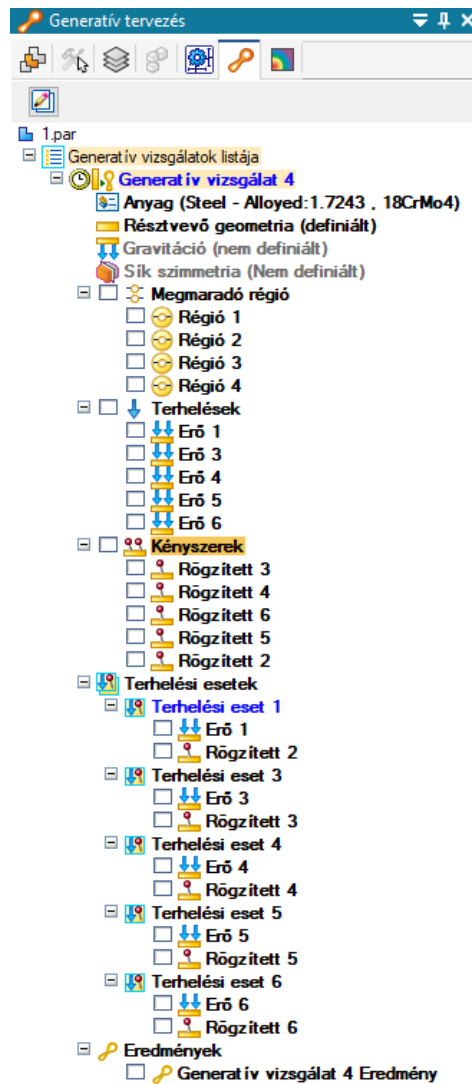
4.2 ábra: Résztvevő geometria és a Megmaradó régió

Tervezésünk következő fázisában a terhelési eseteket kell megadnunk, melyekhez egy – egy rögzítést kell párosítanunk. Erre azért van szükség, mert a program így tudja behatárolni, hogy mihez képest is kell az adott terhelést figyelembe venni és számolni. Ezt a 4.3. ábrán látható részen tudjuk megadni.



4.3. ábra: Terhelések és Kényszerek

Amint ezekkel mind megvagyunk a generatív tervezés panelen ellenőrizhetjük és módosíthatjuk az eddig megadott beállításokat. Ezt a 4.4. ábra szemlélteti. Itt láthatjuk a megadott terheléseket a hozzájuk párosított rögzítésekkel, a megmaradó régiókat, valamint az első lépésben definiált geometriát a hozzá párosított anyaggal.



4.4. ábra: Tervezési panel

Ha minden beállítást leellenőriztünk, akkor jöhet a számítás megkezdése. Ezt a létrehozás fülön érjük el, amit a 4.5. ábra mutat.



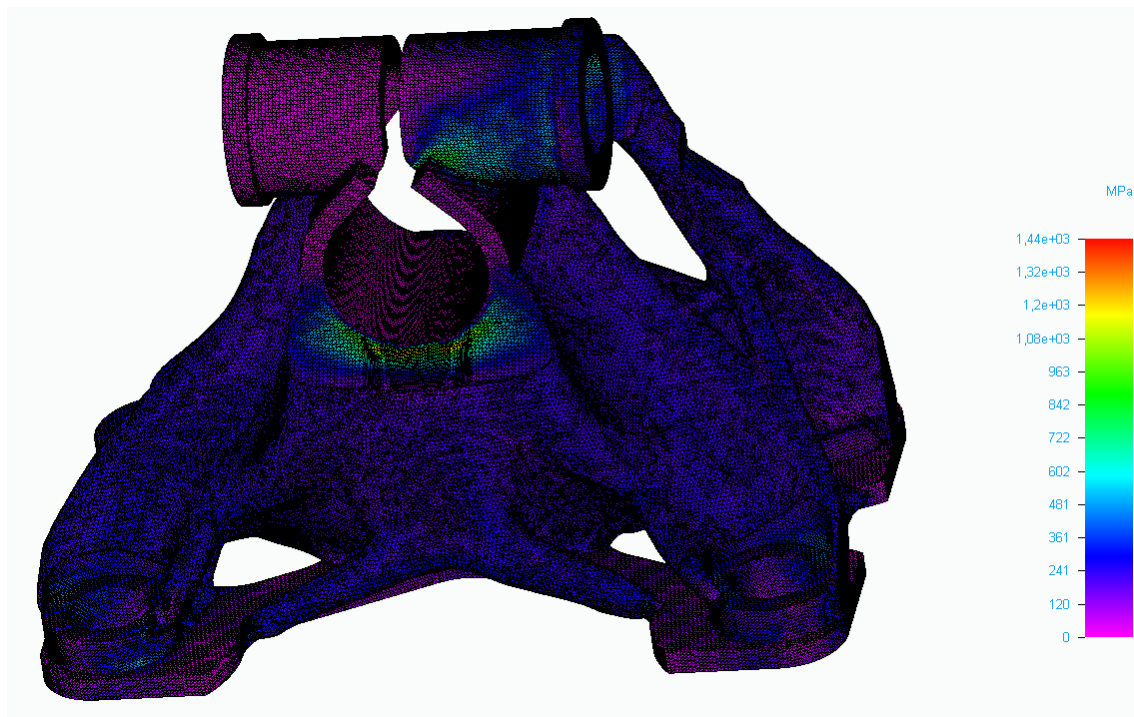
4.5. ábra: Létrehozás

Az ábrán látható parancsra kattintva felugrik nekünk egy ablak, melyen belül számos további beállítási lehetőséget kapunk a generálás terén. Ahogy a 4.6. ábrán látható lehetőségünk nyílik a vizsgálat minőségének beállítására. Ez annyit jelent, hogy milyen sűrűségű hálóval kívánjuk számoltatni a generálást. Minél finomabb hálót alkalmazunk annál pontosabb de lassabb számítást fogunk kapni. A következő fontos beállítási lépés a tömeg csökkentésének százalékos meghatározása. Tehát meg kell adnunk, hogy hány százalékkal kívánjuk csökkenteni a kiinduló modellünket. Továbbá lehetőségünk van biztonsági tényező megadására, azonban ez jóval hosszabb számítási időt és kapacitást vesz igénybe. A vizsgálat beállítási lehetőségeit a 4.6. ábrán láthatjuk.

4.6. ábra: Vizsgálat beállítási lehetőségei

4.2 Az optimalizálási eredmény kiértékelése

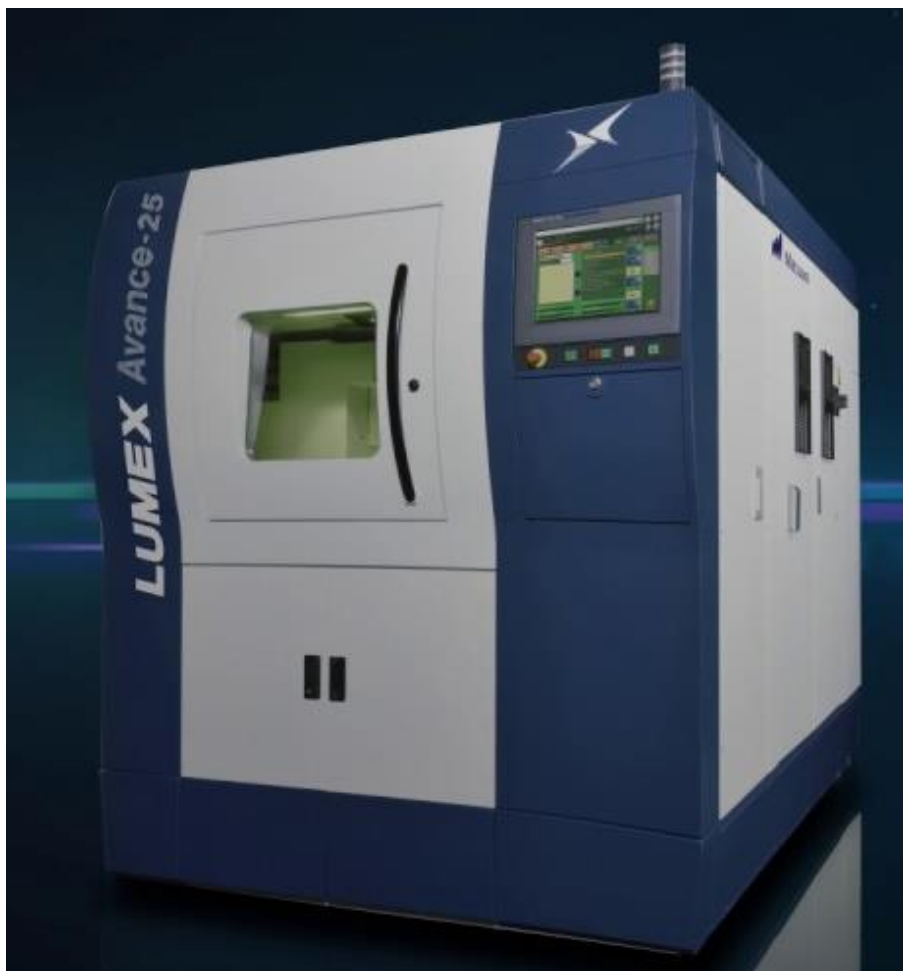
Amint a program elvégezte helyettünk a bonyolult számítási eljárásokat ezáltal létrehozva a topológ optimalizált modellt, lehetőségünk van annak vizsgálatára. A feszültségek földre kattintva láthatjuk, hogy hol és mekkora feszültségek ébrednek a darabban. Ezt a 4.7. ábra szemlélteti. Itt egy átfogó képet kapunk, melynél megvizsgálhatjuk és megállapíthatjuk, hogy hol vannak a feszültségek szempontjából kritikus pontok a modellünkön. Némely tapasztalatot és szaktudást igényel ezek pontos megállapítása, ugyanis nem biztos, hogy nem szingularitásba ütköztünk vagy éppen olyan feszültséggyűjtő helyeket találtunk, amik utólagos modellezéssel megszüntethetők. Ha részletesebb és pontosabb képet szeretnénk kapni arról, hogy a meghatározott terhelési eseteknek megfelel a darabunk, akkor végelelemes szimulációt kell alkalmaznunk.



4.7. ábra: Egy optimalizált modell feszültségei

5 Matsuura Lumex Avance 25 hibrid 3D fémnyomtató

A Matsuura Lumex Avance 25 hibrid 3D fémnyomtató egy fejlett additív gyártó berendezés, mely ötvözi a fém 3D nyomtatás technológiáját a hagyományos megmunkálási eljárással, ami egy nagysebességű CNC vezérelt megmunkáló központ. A gép DMLS eljárással dolgozik, valamint a marási feladatot igazán kicsi, akár 0.3 mm átmérőjű gömbmarók végzik. Ezen két technológia ötvöztetésével lehetőségünk nyílt a 3D nyomtatás szabad formaadó képességével méretpontos és jó felületi minőségű alkatrészeket gyártani egy munkatéren belül. A nyomtató már 2006 óta elérhető a piacon. A technológia és a gép is folyamatos fejlesztések alatt áll és az évek során egyre elterjedtebb eljárássá fog válni az ipar számos területén. A MouldTech Systems Kft.-nél található nyomtató a Matsuura termékcsalád 5. generációs tagja. Az 5.1. ábrán láthatjuk a nyomtatót.



5.1. ábra: Matsuura Lumex Avance 25 5. generáció [10]

5.1 Nyomtató felépítése

A nyomtató szerves részét képezik a 5.2. ábrán látható tartozékok, amelyek elengedhetetlenek a tökéletes gyártási eredmény eléréséhez. Az első kettő és egyben legfontosabb alaptartozéka a gépnek a nitrogéngáz generátor és a vízhűtő berendezés. A fémport a szinterezési folyamat közben nagyon magas hőmérsékletre hevül, ezért a megmunkálás alatt a munkateret inert gáz környezetben kell tartani. Ez azért fontos, mert a nagy hő miatt az oxigén reakcióba léphetne a megmunkálandó alkatrészszel, illetve a gép egyes elemeivel, ezzel oxidációt eredményezve. Az oxigénszegény atmoszféra ezt a folyamatot gátolja meg. Ennek előállítása pedig az előbb említett nitrogéngáz generátor feladata. A vízhűtő feladata a gép hűtése. A nyomtató szerves részét képezi a lézer, ami a szinterezési feladatot látja el. Ennek teljesítmény akár 400W is lehet. A gép tartozékai közé sorolhatjuk az automatikus porelszívó és porszitáló egységet. A szinterezés során salakanyag képződik, melynek elszívásáért a porelszívó egység felel. Ez megszabadítja a fémport a káros salakanyagtól ezzel biztosítva a tökéletes alapanyagot a nyomtatáshoz. Az elszívott fémport újra fel lehet használni ám előtte pár műveletet el kell végezni. Első körökben szükséges az elszívott por szitálása, ugyanis a marás során keletkezett forgácsdarabok szennyezik ezt a fémport. A szitálás után pedig szárítás szükséges. Ezen műveletek elvégzése után az értékes por újra felhasználható lesz és tökéletes alapanyagként szolgál a következő nyomtatásunkhoz.



5.2. ábra: Matsuura Lumex Avance 25 tartozékok [11]

5.2 Nyomtató működése

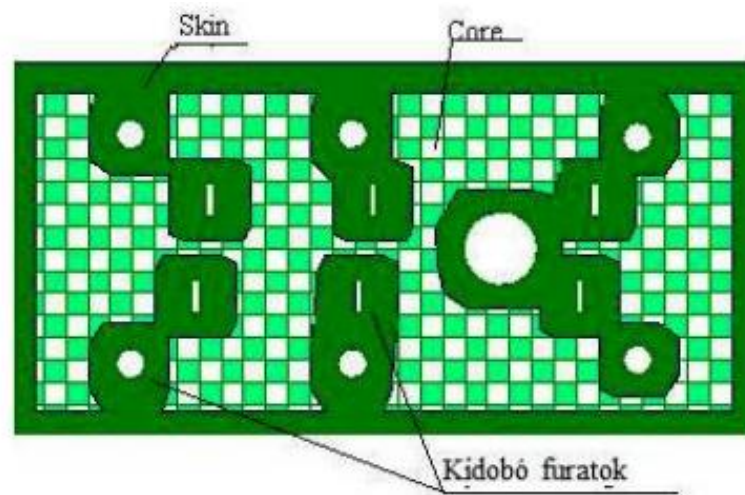
A nyomtató működése két fő lépcsőfokból áll. Az első a szinterezés a második, pedig a nagysebességű megmunkálás, a marás. A nyomtató DMLS technológiát használ, melynek működését már korábban bemutattam. A szinterezés során az anyag tulajdonságait számos tényező befolyásolja. Ilyen például a lézer teljesítménye, a por vastagsága vagy a lézer pásztázási sebessége. Továbbá jelentős szerepet tölt be a szinterezés során az úgynevezett pásztázási stratégia. Ez annyit jelent, hogy a lézer milyen úton járja be a szinterezési felületet. A nyomtató számos pásztázási stratégia beállítását engedélyezi.

A legáltalánosabban alkalmazott stratégia a párhuzamos pásztázás stratégiája. Ezen beállítás lehetővé teszi a nyomtatási idő és a keletkezett feszültségek optimális metszetének létrehozását. Továbbá jelentős szerepet játszik abban, hogy a szinterezés során keletkező koromfüst melyik irányba áramoljon, ugyanis, ha a lézer útjába kerül akkor az megtörheti a lézersugarat pontatlan nyomtatást eredményezve. Ezzel a pásztázási stratégiával viszont ez a probléma kiküszöbölhető. Alkalmazhatunk azonban, olyan stratégiát is, ami jelentősen csökkenti a szinterezés során az anyagban keletkező feszültségeket, azonban a nyomtatási időt jelentősen megnöveli. Ilyen a sakktábla pásztázás.

A gép egyik legérdekesebb tulajdonsága, hogy képes az úgynevezett skin – core szinterezési építési mód végrehajtására. Ennek lényege, hogy előre beállított távolságra a darab külső felületeitől gyors pásztázási sebesség segítségével egy skin réteget, porózus réteget hoz létre az alkatrész magjában (core), innen a skin – core elnevezés. A modell külső felületei tökéletesen szinterezettek, míg a belső mag sokkal gyorsabban elkészül porózus réteget eredményezve. Ennek előnye, hogy a külső felületek nagy keménységgel és szilárdsággal rendelkeznek, míg a belső mag elkészítése kevesebb időt vesz igénybe, ezzel gyorsítva a nyomtatás folyamatát. Továbbá a porózus szerkezetnek köszönhetően a gázok szabadon áramolhatnak az anyagban. A skin – core réteg bemutatását az 5.3. ábrán láthatjuk.

A DMLS technológia során elég rossz felületi minőséget tudunk csak létrehozni, ezért szükségünk van ennek javítására. Erre a problémára ad megoldást a nyomtatóba integrált nagysebességű megmunkáló központ. Így az eredményünk egy jó felületi minőséggel és pontos méretekkkel rendelkező darab lesz. Ennek beállítását a Matsuura saját CAM programjában tehetjük meg. A folyamat meghatározása során szükség van a marási felületek meghatározására, illetve, hogy hány rétegenként szeretnénk vissza marni a darabunkat. A legáltalánosabb beállítások szerint a modellünket 10 rétegenként érdemes vissza marni. Ez úgy történik, hogy a szinterezés során megépül az első 10 réteg. Ezen 10 réteg elkészülése után a program behívja az éppen alkalmas maró szerszámot és félkészre marja a felületet, majd

következik újabb 10 réteg létrehozása. Az újonnan elkészült rétegek szintén félkész marásra kerülnek, illetve az előzőleg elkészült, már lehűlt rétegeket pedig készre forgácsolja a gép. Ez addig ismétlődik, amíg létre nem jött a modellünk. A gép által alkalmazott szerszámok többnyire gömbmarók, de megtalálható T maró és síkmaró is a szerszámtárban.



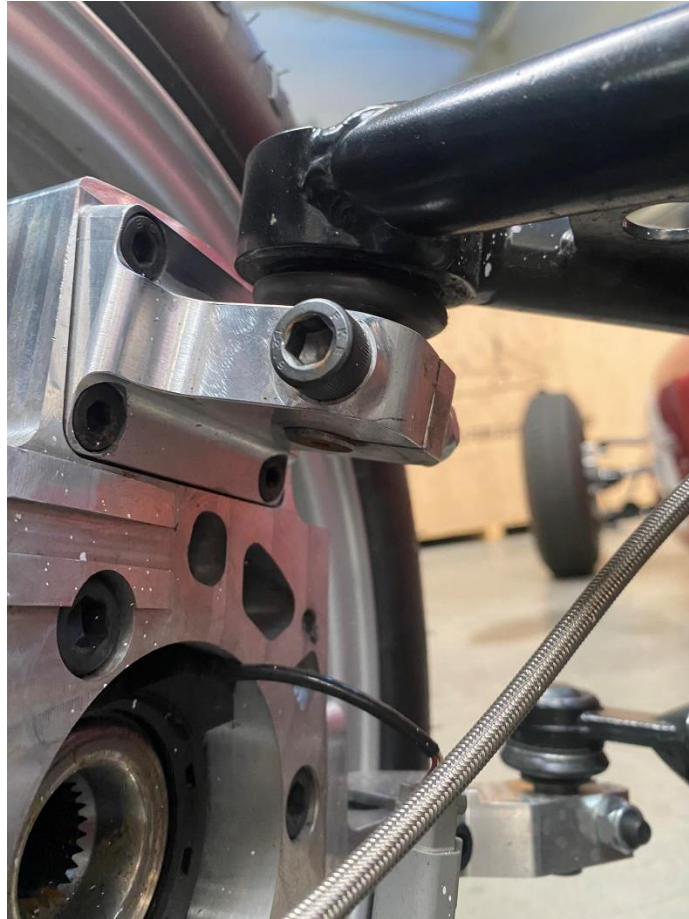
5.3. ábra: Skin – Core réteg [12]

6 Acél jármű futóműalkatrész topológiai optimalizálása

Ahogy már korábban is szó volt róla, a topológiai optimalizálással lehetőség van egy adott termék vagy alkatrész súlyának csökkentésére, amellet, hogy a működésre szánt szerepét megtartja és megfelel az előírt feltételeknek. A dolgozatom témája a MouldTech Systems Kft.-ben készülő Alfa Tipo 184 típusú versenyautó futóműalkatrészének topológiai optimalizálással történő tömegcsökkentése a meghatározott peremfeltételeknek megfelelően. A versenyautót a 6.1. ábra mutatja. Az alkatrész egy központi összekötő elemen helyezkedik el, más futómű elemmel együtt. Ide vannak szerelve a csonkállvány konzolok, a fék és féktárcsa, valamint ide csatlakozik a kerékagy is. A tervezésben szereplő felső konzol csonkállvány a 6.2. ábrán látható módon helyezkedik el.



6.1. ábra: Alfa Tipo 184 [13]



6.2. ábra: Csonkállvány felső konzol

A konzol az ábrán bemutatott központi összekötő elemhez négy csavarral van rögzítve. Ezt egy G szemes csatlakozó kapcsolja össze az úgynevezett Double A Arm futómű rudazattal, amelyet középen egy csavarral rögzítenek. Ez biztosítja az elemek közötti stabil kapcsolódást. A Double A Arm rudazat a 6.3. ábrán látható. Mivel itt egy versenyautóról van szó, fontos az egyes elemek tömege, hiszen nagymértékben befolyásolhatja az autó teljesítményét, valamint anyagfelhasználás szempontjából is költséghatékony lehet. Az alkatrész közel 1 kg tömegű. A cél pedig ezen 1 kg-os tömeg minél nagyobb százalékban történő csökkentése a peremfeltételeknek megfelelően.



6.3. ábra: Double A Arm

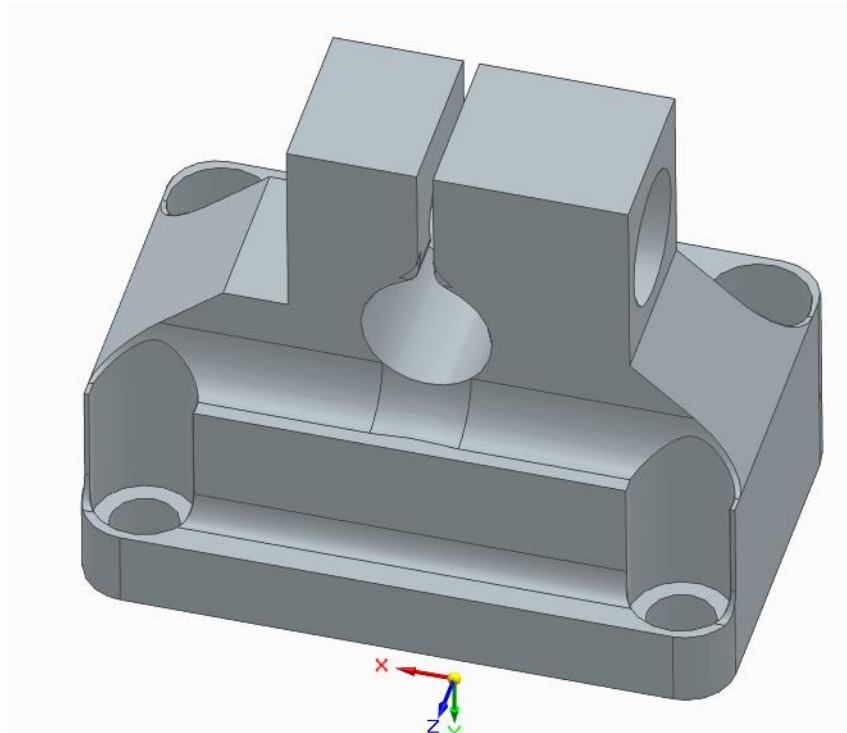
6.1 Terhelési esetek tárgyalása

Az alkatrészen 6 különböző terhelési eset van érvényben, melyek meghatározása és figyelembevétele az első feladat az optimalizálási tervezés során.

A konzol 4 db csavarral van felfogatva a központi elemhez, melyek 10-10 kN erővel vannak meghúzva. A következő eset egy 24 kN erő mely a G szemes csatlakozó csapját tartja a konzol középső részén található furatban. Az utolsó 4 terhelési eset pedig a menetközben ébredő erők, melyek a legmeghatározóbbak az alkatrészt illetően. A legkritikusabb terhelések ezek lesznek, melyeknek meg kell felelnie az optimalizált darabnak. Ezen esetek x, y és z koordinátákkal vannak megadva, melyekből a program majd egy eredőt számol és azt az értéket veszi figyelembe a súlycsökkentés során. Ezek közül kettő a konzol alsó, központi elemre felfekvő felületén ébred, míg a másik kettő a központi furat körül, amelybe a G szemes csatlakozót csapja helyezkedik el.

6.2 Súlycsökkentéssel történő topológiai optimalizálás

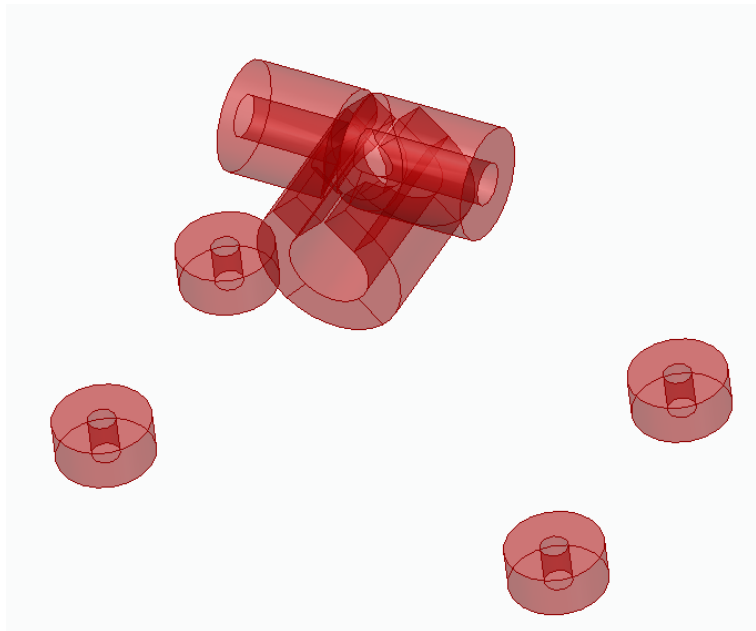
Amint sikerült meghatároznom a terhelési eseteket nekikezdtem az optimalizálás létrehozásának. Első lépésként szükségem volt egy kiinduló darabra, amiből el tudtam készíteni a tervezést. Ezt a 6.4. ábra szemlélteti.



6.4. ábra: Kiinduló modell

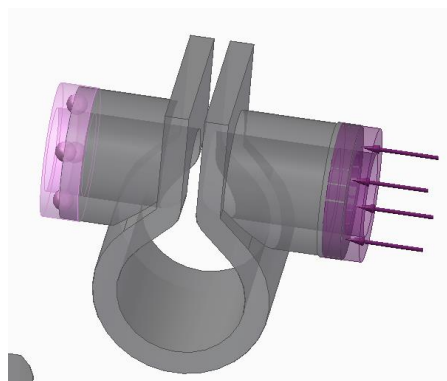
Tervezést a már korábban ismertetett Siemens Solid Edge tervező programon belül végeztem. Az akkor bemutatott lépések megegyeznek az ennél a darabnál alkalmazott folyamatokkal.

Elsőként definiáltam a modellünket, mely a 6.4. ábrán látható geometria volt. Ezek után meg kellett határoznom a megmaradó régiókat, amelyeket mindenképpen változatlanul szerettem volna hagyni a végeredményt illetően. Ezen régiók nem voltak mások, mint a négy felfogató csavar furata, a középén elhelyezkedő átmenő furat, amelyben majd a G szemes csatlakozó csapja helyezkedik el, illetve a csapot összefogató csavar furatai. A megmaradó régiókat a 6.5. ábra szemlélteti.

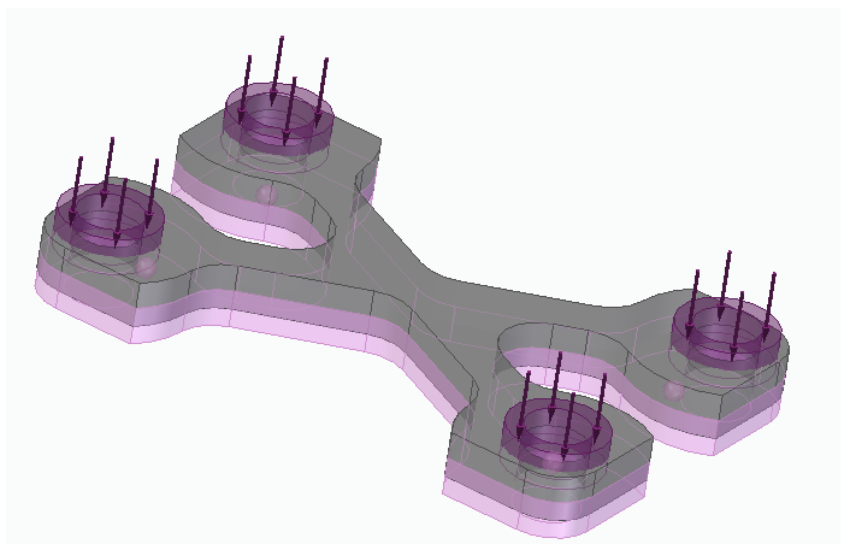


6.5. ábra: Megmaradó régiók

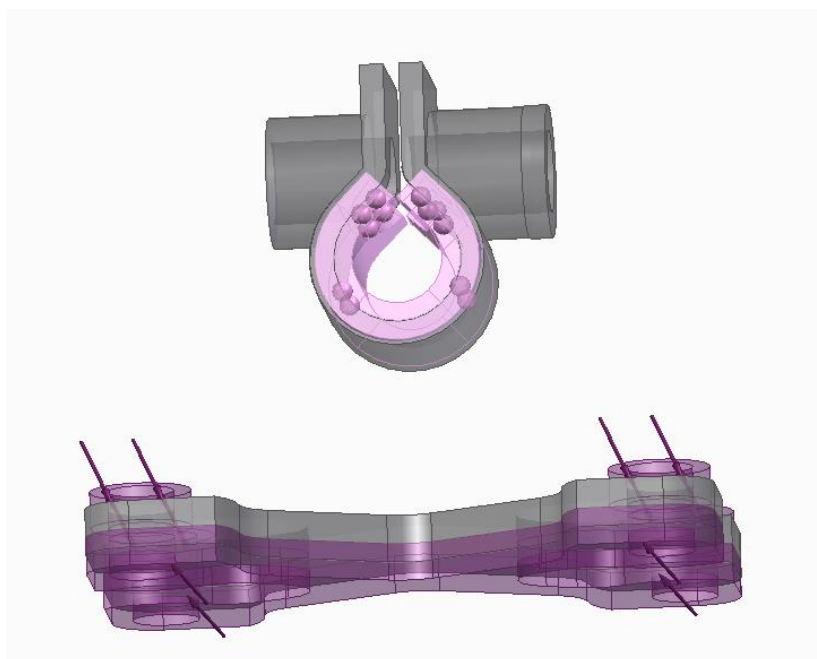
Mindezek meghatározása után következett a terhelési esetek felvétele és az azokhoz kapcsolódó rögzítések definiálása, ugyanis minden terhelés mellé szükséges egy rögzítés, mivel a program ehhez képest fogja nekem számolni az adott erőt vagy éppen nyomatékot. Ebben az esetben csak erők vannak jelen a modellen, amiket figyelembe kellett vennem. Az első erő, amit meghatároztam az a 24 kN terhelés volt, amely a csapot fogja összefogni. 6.6. ábrán látható az erő és a hozzá tartozó rögzítés. Következő a 10 kN terhelés volt, melyek a rögzítési csavarok esetén ébrednek, ezekből is négy darab. 6.7. ábrán láthatóak az erők és a hozzájuk tartozó rögzítés. A maradék négy esetből kettő az alsó felfekvő felületre, míg kettő a négy felfogató csavar furatának felső felületére hat. Ezek x, y és z iránnyal megadott terhelések, melyekből a program egy eredőt határozott meg. Ezt a 6.8. ábra szemlélteti. Amint ezek mind meghatározásra kerültek, következett az optimalizálás futtatásának beállításai.



6.6. ábra: 24 kN terhelés rögzítéssel

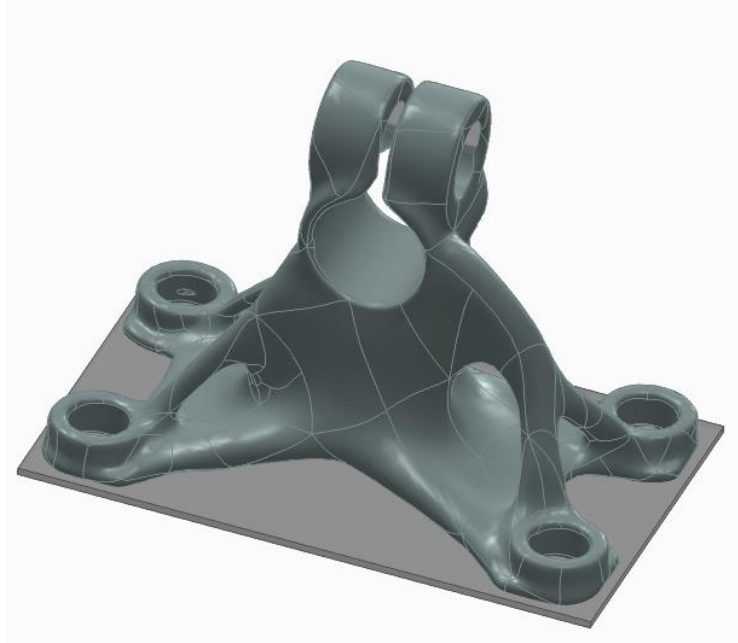


6.7. ábra: 10 kN terhelés rögzítéssel



6.8. ábra: Az x, y és z iránnyal megadott terhelések rögzítéssel

Az optimalizálást közepes hálómérettel futtattam a gyors de pontos számítás érdekében. A cél a minél nagyobb százalékban történő tömeg csökkentése volt. Ehhez több optimalizációt is elvégeztem, míg elértem a végeredményhez, ami egy 80 %-os tömegcsökkenés lett. A végső modellt a 6.9. ábra mutatja.



6.9. ábra: Az optimalizálás eredménye

6.3 Optimalizálás során előfordult hibák

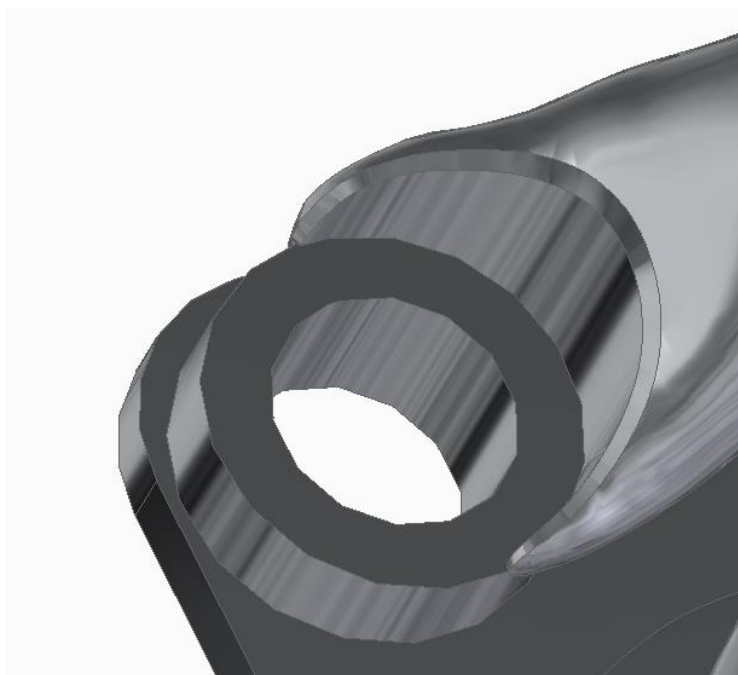
A tökéletes optimalizálási végeredmény eléréséhez számos próbálkozást kellett elvégezni és minden egyes futtatás után kicsit mindig finomítanom kellett a beállításokon. Több hibás és tökéletlen eredmény után sikerült csak elérnem a kívánt alkatrészhez.

Ilyen hiba volt például, amikor az egyes erőkhöz rossz rögzítéseket párosítottam így a program teljesen másképpen számolta a definiált terheléseket, ezáltal rossz optimalizálást eredményezve. Ezt a 6.10. ábra mutatja. Ezen látható, hogy a rossz erő és rögzítés párosítások miatt a darab fenti összekötő része is eltávolításra került, ami viszont elfogadhatatlan.



6.10. ábra: Hibás végeredmény

A következő akadály, amibe ütköztem az az éles sarkok miatt történt. Ugyanis minden éles sarok egy – egy feszültség gyűjtő helyet jelent, amiket tervezés szempontjából igyekszünk kerülni. Ezeken a helyeken fog a darabunk először eltörni. Ezen hiba kiküszöbölésére utólagos szerkesztést alkalmaztam, ami annyit jelent, hogy az optimalizáció végeztével bizonyos értékkel letörést használtam a kérdéses éleken. Ennek eredményét a 6.11. ábra szemlélteti.



6.11. ábra: Éles sarok letörése

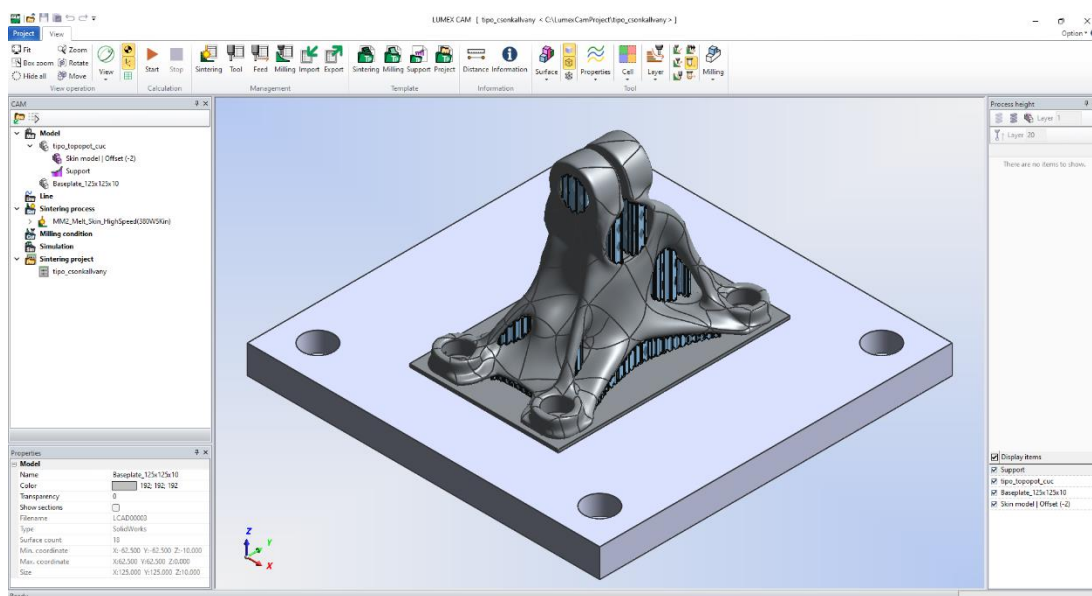
A 6.11. ábrán látható letörés előtt egy kiugróan magas feszültség értéket véltem felfedezni, ami ezen művelet elvégzése után megszűnt. Ezen tapasztalatok mind hozzájárultak a végső optimalizálási eredmény sikeres eléréséhez.

7 Futóműalkatrész legyártása

A csonkállvány legyártása több fontos lépésből épül fel. Szükség van egy nyomtatási pályára, melyet a Matsuura által biztosított CAM szoftverben kell létrehozni. Továbbá a nyomtatás megkezdése előtt számos előkészületet kell végrehajtani a tökéletes végeredmény elérésének érdekében.

7.1 Matsuura Lumex CAM

A nyomtatás elindításához szükség van egy úgynevezett nyomtatási pálya létrehozására, melyet a Matsuura által egyedileg kifejlesztett Lumex CAM szoftver segítségével tudok létrehozni. A CAM szoftvert a 7.1. ábra mutatja.



7.1. ábra: Matsuura Lumex CAM

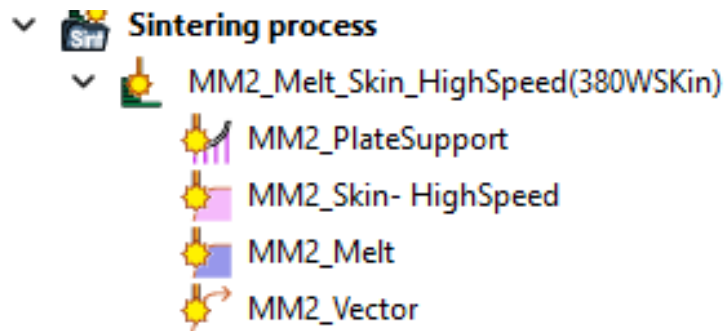
Legelső lépés a modell x, y és z koordinátákba való pozicionálása, amely elengedhetetlen, hiszen a CAM x, y, z koordinátái megegyeznek a nyomtató x, y és z tengelyeivel. Mivel a modellem egy saját koordináta rendszerben lett szerkesztve, ezért annak síkba helyezése egy kicsit nehézkes feladat volt. Ehhez nyújtott segítséget a korábban a darab aljára szerkesztett 1 mm vastagságú téglalap. Ez a nyomtatás után eltávolításra kerül az alkatrésztől, azonban szükséges lépés volt a tökéletes pozicionálás érdekében. Amint ezzel megvoltam következett az úgynevezett scale beállítása. Ez annyit jelent, hogy a szinterelt modell az általam beállított százalékos értékkel nagyobb lesz. Eerre azért van szükség mert a szinterezés során a darab zsugorodik, ezáltal nem lesznek pontosak a méretek, a scale beállításával viszont ez a probléma kiküszöbölhető. Az alkatrészen alkalmazott érték 0.008 % volt. A program a modell közepétől számolva minden méretet megnövelt ezzel a beállított 0.008 %-kal.

Mivel nincs szükség teljesen tömör nyomtatásra, ezért definiáltam egy porózus réteget, ezzel is csökkentve a szinterezési időt. Ennek lényege, hogy a darab külső felületétől számítva az általam beállított értéket követően porózus réteg szinterezése következik. Ebben az esetben ez az érték 2 mm volt.

Ha szükséges marást is alkalmazni az eljárásban, akkor a következő lépés a marási felületek meghatározása. Meg kell adni, hogy hány mm-ert szeretnénk ráhagyni a szinterezésre, illetve melyek azok a felületek, amiket forgácsolni szeretnénk. Eerre most a modellem esetében nem volt szükség, itt csak szinterezést alkalmaztam.

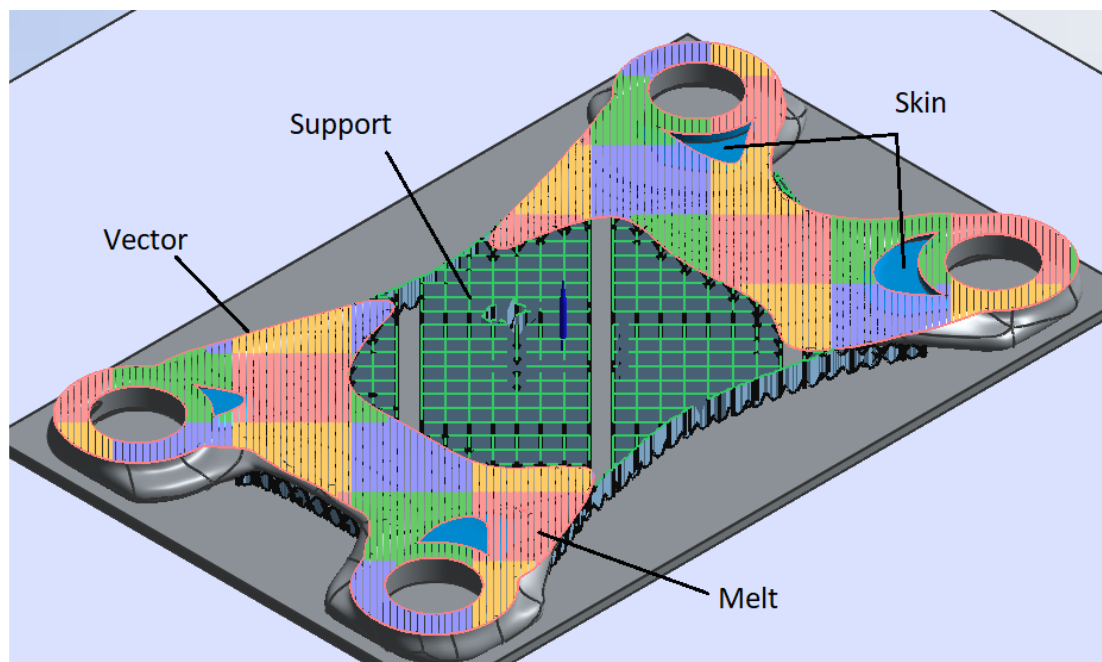
Lényeges lépés viszont a darabom esetében a támaszok alkalmazása. Ahogy a 7.1. ábrán is látható számos olyan felület és rész van az alkatrészen, amik elég éles szöget zárnak, illetve bizonyos részek úgymond a „levegőben lógnak”. A rétegről rétegre történő építés miatt, ahhoz, hogy ezek szinterezésre kerüljenek szükséges a megtámasztások meghatározása. Ezek a nyomtatást követően eltávolításra kerülnek a darabról, ami kézzel megtehető.

Amint ezekkel megvoltam következhetett a szinterezési pálya létrehozása. Ehhez egy előre létrehozott már korábbi nyomtatások során használt beállítást használtam. Itt definiálva lett egy skin, melt, vector és support szinterezési út. Ezt a 7.2. ábrán láthatjuk.



7.2. ábra: Szinterezési pályák

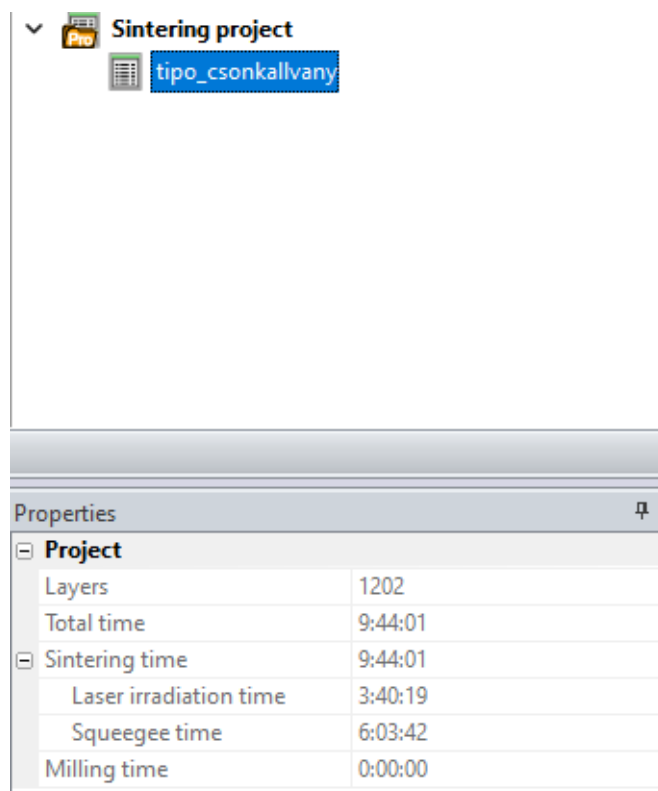
A melt a darab tömör részének nyomtatásáért felel, míg a skin a porózus réteg szinterezése. A vector szinterezés során a lézer egyszer és gyorsan végigmegy a modell kontúrján. A support pedig a támaszok nyomtatásának pályája. A 7.3. ábra a szinterezési pályákat mutatja.



7.3. ábra: Szinterezési pályák

A support szinterezésének beállításai eltérnek a többi nyomtatási beállítástól, ugyanis fontos, hogy ezt könnyen le tudjam választani a darabról. Erre van egy számos nyomtatás tapasztalataiból adódó beállítási táblázat, amit ennél a darabnál is használtam.

Utolsó lépés a pálya generálásának az elindítása volt. Ez némi időt vett igénybe a számítások elvégzése miatt. Amint ez megtörtént és a számítógép végzett a pályák létrehozásával nincs más dolgom, mint kimenteni a projektet is feltölteni a nyomtatóra. A programon belül még némi információhoz lehet jutni a nyomtatást illetően. A szinterezési projekt fülre kattintva látható, hogy hány réteg kerül nyomtatásra, illetve, hogy mennyi időt fog igénybe venni az eljárás. Ezt a 7.4. ábrán láthatjuk.



The screenshot shows a software interface with a tree view on the left containing 'Sintering project' and 'tipo_csonkallvany'. Below it is a 'Properties' panel with a table of project details.

Properties	
Project	
Layers	1202
Total time	9:44:01
Sintering time	
Laser irradiation time	3:40:19
Squeegee time	6:03:42
Milling time	0:00:00

7.4. ábra: Nyomtatási idő és nyomtatott rétegek

Megfigyelhető, hogy majdnem 10 órát vesz igénybe a folyamat és 1202 db rétegből épül fel. Marás nem került definiálásra. Az még jóval megnövelte volna az egész eljárás idejét.

8 A modell nyomtatása

A topológiai optimalizálás elkészülése, illetve a CAM pályagenerálása után a következő lépés nem más, mint a darab nyomtatása. Azonban a nyomtatás elindításához számos feladatot kell elvégezni. Rengeteg előkészület előzi meg a folyamatot. Nulladik lépésként szükség van egy alaptestre. Ez egy marással készülő acél test, melyet 4 csavarral lehet felfogatni a nyomtató tárgyasztalára. Lehetőség van közvetlenül az alaptestre nyomtatni, valamint lehetséges egy már más eljárással előzőleg legyártott alkatrészre történő építés is. Esetemben közvetlenül az alaptestre történt a nyomtatás, hiszen egy önálló és teljesen új alkatrész került legyártásra.

8.1 Nyomtató felkészítése gyártásra

Mindenekelőtt meg kell szabadítanom a munkateret az előző nyomtatásból maradt portól és koromtól, melyet porszívóval távolítok el. Erre azért van szükség, hogy ezek ne szennyezzék be a nyomtatás közben a fémport ezzel is rontva a végeredmény minőségét. Továbbá szükséges a kalibrációs papír tisztítása is, hogy a CCD kamera jól lássa azt. Ellenőrizni kell az olajhűtő szűrőjét is és ha szükséges akkor le is kell takarítani. Továbbá a porelszívó is takarításra kerül.

Szükséges lépés a tárgyasztal fűtésének a bekapcsolása, amely 50 °C-ra melegíti fel azt. Amíg a tárgyasztal melegedik addig el tudom végezni az alaptest tisztítását és demagnetizálását is. A demagnetizálás egy fontos lépés a tökéletes nyomtatás érdekében. A porterítő egy olyan vékony porréteget húz, amit a bizonyos nagyságú mágnesesség ki tud téríteni, ezzel hibás felületet eredményezve. Ennek kiküszöbölésére meg kell mérni először az alaptest mágnesességét egy magnetométer segítségével. Ha a mért érték 150 μ T fölött van akkor demagnetizálásra van szükség. Erre egy úgynevezett demagnetizáló berendezést kell használni és addig kell az alaptest felületén végig haladni vele, amíg annak mágnesessége 150 μ T alá nem csökken.

Amint ezek megvannak következhet a tárgyasztal tisztítása, azért, hogy a felületek tökéletesen felüljenek egymáson. Amint elérte az 50 °C-ot ráhelyezem az alaptestet és a rögzítő csavarokat pedig érintőre húzom és hagyom felmelegedni az alaptestet is. Ahogy ez megtörtént meghúzom a csavarokat.

Következő lépés az U és Z tengely bemérése az arra alkalmas műszer segítségével. Azonban, hogy ez pontos legyen szükséges a porterítő pengék tisztítása és sorjátlanítása. Amint ezekkel megvagyok akkor először az U tengely nullpontjának meghatározása következik. Ehhez ráhelyezem a mérő berendezést az alaptestre és kézzel föléjárok a W tengellyel, ami a porterítő. Majd az U tengelyt mozgatva közelítem a porterítő pengét és óvatosan megérintem azt. A

mérőműszeren lévő zöld LED kigyulladását azt jelzi, hogy a porterítő és az alaptest között pontosan 50 mm van. Ezek után ezt az értéket beviszem a gépbe majd következhet a Z tengely bemérése is. U tengellyel 0 értékre állok és szintén kézi kerék segítségével bemozgatom a Z tengelyt a mérő berendezésem közepe fölé. Ahogy az U tengely esetében, itt is óvatosan megérintem a műszert és figyelem a zöld LED kigyulladását. Így a Z tengely nullpontját is felvettem. Fontos, hogy a gép automatikusan méri a szerszámhosszt, ezáltal kalkulálva a többi szerszám nullpontját is. X és Y tengelyek nullpontjának felvételére nincs szükség, ugyanis azok bemérése csak akkor indokolt, ha egy már előre elkészített alkatrészre szeretnénk nyomtatni. Akkor viszont fontos azok pontos meghatározása. Elengedhetetlen viszont, hogy a porterítő akadálymentesen haladjon az alaptest fölött, ehhez pedig szükséges a porterítő tesztelése, amely a következőképpen zajlik. Az alaptestU-ban 0 értéken van. W tengellyel kézi üzemmódban eljárak az alaptest fölött és közben figyelem a gép monitorán a W tengely terhelését. Ha esetleg rosszul mérem be az U tengelyt és a porterítő hozzáér az alaptesthez akkor a monitoron százalékos értékkel megjelenő tengely terhelése magas értékre ugrik. Ez azt eredményezi, hogy újra kell kezdeni a nullpontok felvételét és ellenőrizni a porterítő pengéket.

A következő lépés, amit meg kell tennem az a X – Y offset beállítása. Ezzel adom meg a gépnek, hogy hol helyeztem el az alaptestet a tárgyasztalon, illetve a CAM szoftverben. Továbbá meg kell adnom, az alaptest méreteit is.

Ha marási folyamat is definiálva van a CAM során, akkor szükséges lépés a szerszámszámok ellenőrzése és meghatározása a szerszámtárban. Továbbá minden marással ellátott nyomtatási folyamat előtt ellenőrizni kell a marók állapotát melyet mikroszkóp segítségével lehet elvégezni, ugyanis egészen kicsi gömbmarókról is szó van. Legkisebb ilyen szerszám egy 0.3 mm átmérőjű gömbmaró, aminek élet csakis kizárólag mikroszkóp alatt lehet ellenőrizni. Valamint fontos az orsók és a befogó patronok tisztítása is. Minden szerszámból kettő van jelen a gépben, melyek elhasználódása automatikusan monitorozva van a nyomtató által. Az új szerszám 100 %-os míg a teljesen elhasználódott szerszám 0 %-os. Az elhasználódott szerszámot értelem szerűen cserélni kell. Minden marási ciklus megkezdése előtt a gép ellenőrzi a szerszámhosszt és az esetleges szerszámtörést. Azért fontos, hogy minden marószerszámból kettő legyen jelen a tárban, hogy a gép automatikusan tudja cserélni, ha esetleges törést észlel. Mivel nekem nincs marási folyamat definiálva, ezért ezen lépések elvégzése most nem indokolt.

Utolsó teendők egyike a munkatér és a gép tartályának feltöltése porral. Mivel magas az alkalmazott alaptest, ezért a munkatér feltöltés egy részét manuálisan végzem, majd ezek után váltok automatikus porterítésre. Most már csak annyi van hátra, hogy a lézer védőüveget és a

CCD kamera lencsáját tökéletesen megtisztítom. Ezt egy acetonnal átitatott speciális kendővel teszem meg.

Amint ez megtörtént becsukom a gép ajtaját és megvárom amíg az oxigénszint stabil 1 % alá nem csökken. Ha ez megvan kezdődhet a nyomtatás. A porterítő még egyszer végigmegy az alaptest fölött ezzel is biztosítva a tökéletesen sík porréteget. A porteritón elhelyezkedő kalibrációs papír feladata, hogy annak segítségével a gép a korábban bemért főorsóhoz igazítja a lézert. Ezt úgy teszi meg, hogy behívja a porteritót és a lézerrel egy + jelet rajzol a papírra, amit a főorsón lévő CCD kamera bemér, ezzel elvégezve az összehangolást. Ezt minden nyomtatási folyamat megindításakor elvégzi a gép és csak ezek után kezdi meg a tényleges gyártást.

8.2 Hagyományos megmunkálási eljárások hibakiküszöbölése 3D fémnyomtatással

A hagyományos megmunkálási eljárások, mint például az esztergálás, marás vagy éppen a fúrás régóta bevált technológiák, azonban a 3D nyomtatás térnyerése az iparban számos hagyományos módszernél előkerülő hibára nyújt megoldást. Anyagpazarlás és hatékonyság szempontjából az additív technológiák jóval előrébb járnak a hagyományos eljárásokhoz képest. A 3D fémnyomtatásnak köszönhetően jelentősen csökkenthető az anyagpazarlás, ami környezetbarát és költséghatékonyabb megoldás. A geometriai korlátok is megszűnnek 3D nyomtatás esetén, hiszen ez lehetővé teszi olyan alakok és alkatrészek gyártását, amiket hagyományos úton lehetetlen lenne elérni. A gyártási idő jelentősen lerövidülhet bizonyos darabok esetén, ugyanis, amíg esztergálás vagy éppen marás esetén komplex darabnál többlepcsős megmunkálásra lenne szükség, addig 3D fémnyomtatással ez egyetlen munkatérben, egy beállással megvalósítható.

8.3 Alkalmazott fémpor és a kinyomtatott csonkállvány hőkezelése

A nyomtatáshoz alkalmazott fémpor az úgynevezett Matsuura Maraging II. A maraging acélok olyan acélok melyek jellemző tulajdonsága a kivételes szilárdság és szívósság, továbbá jó alakíthatósággal is rendelkeznek. A maraging elnevezés a martenzites és az öregedés szavakból ered. Az öregedés itt a hosszan tartó hőkezelést jelenti. Ezek az acélok alacsony széntartalmú, de ultra nagy szilárdságú anyagok, amelyek nem a szénből nyerik a szilárdságukat, hanem az intermetallikus vegyületek kiválásából. A fő ötvöző elem a nikkel. Másodlagos ötvözőként kobaltot és molibdént, valamint titánt is alkalmaznak, ezzel is elősegítve a kiválások létrejöttét.

A csonkállványt számos előzetes hőkezelési tapasztalat és eredmény alapján 485 °C-on öregítettem 3 órán keresztül, majd azt követően a kemencével együtt hagytam lehűlni a darabot.

A nyomtatás utáni keménység 37-38 HRC, ami a hőkezelést követően 53-54 HRC-re emelkedik. A hőkezelés utáni munkadarabot a 8.1. ábra mutatja. [14]



8.1. ábra: Csonkállvány a hőkezelés után

8.4 Csonkállvány mérése GOM mérőberendezés segítségével

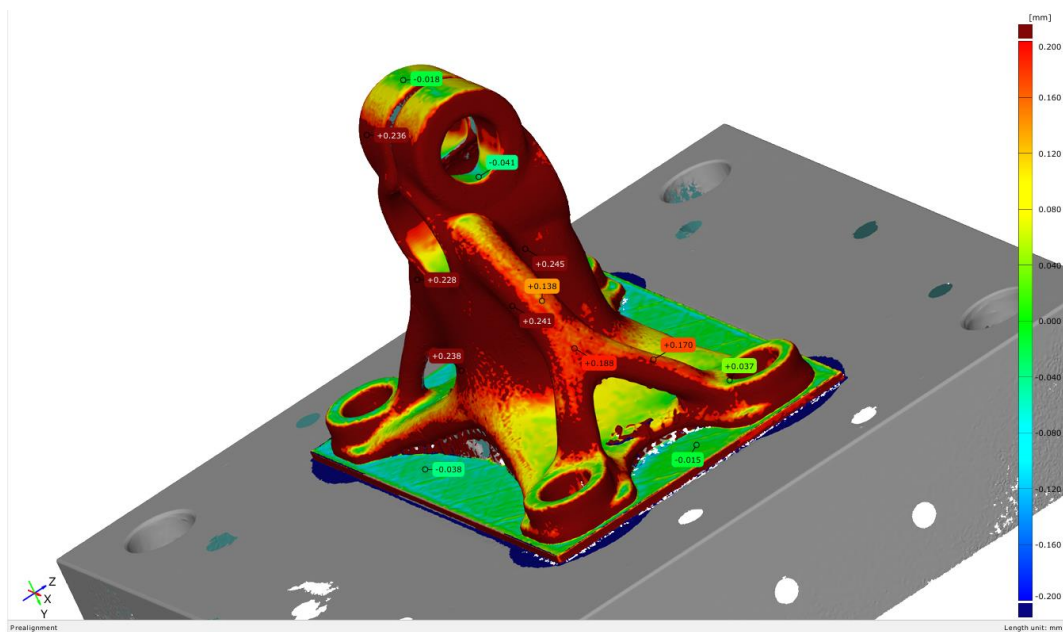
Az additív technológiák lehetővé teszik bonyolult geometriák létrehozását. Azonban ezen eljárásokkal elkészült darabok méreteit továbbra is ellenőrizni kell, amit viszont hagyományos mérőeszközökkel nem tudunk megtenni. Itt jönnek segítségül a 3D optikai mérőberendezések. Ahogy a 8.1. ábrán is látható, a legyártott csonkállvány elég bonyolult geometriával rendelkezik, ezért ennek mérésére az úgynevezett ATOS rendszerrel működő GOM 3D optikai mérőberendezést használtuk. A berendezést a 8.2. ábra mutatja.



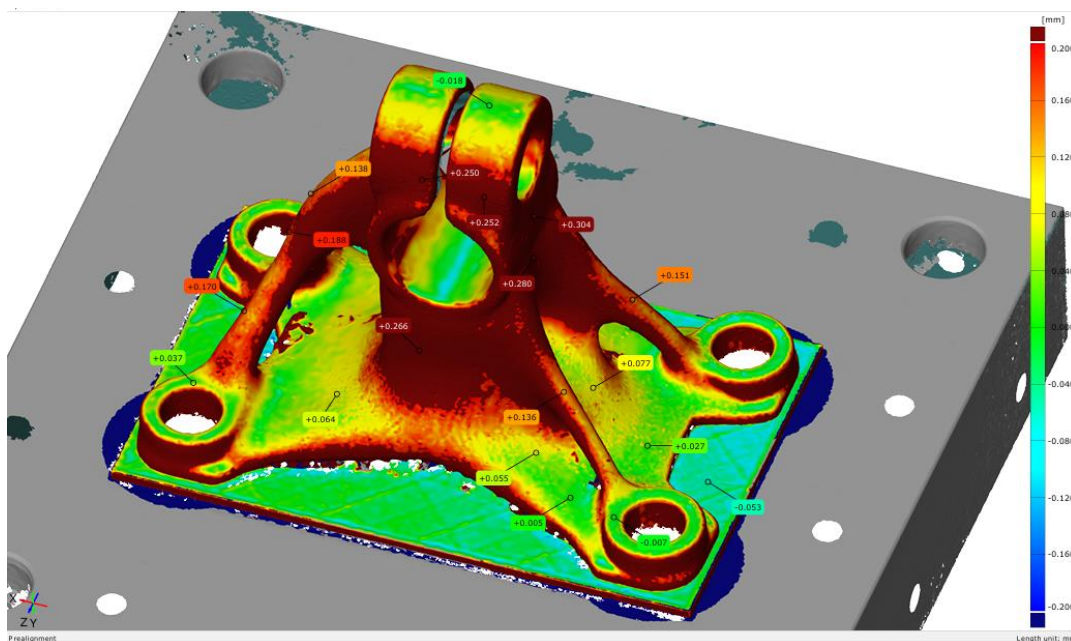
8.2. ábra: GOM ATOS Capsule mérőberendezés [15]

Az ATOS rendszer működési elve, hogy a mérendő alkatrész felületére fényvonalakat vetítenek és egy vagy több kamera segítségével rögzítik a fényvonalak deformációját, ahogy azok a tárgy felületére vetülnek. Az így kapott adatokból a szoftver egy háromdimenziós pontfelhőt generál, amely a tárgy részletes digitális mása lesz. Az így létrejött 3D felületet hasonlítjuk össze az eredeti CAD modellel. Az eredeti CAD modell és a mérés által kapott modell bizonyos felületeit össze kell illeszteni, ezáltal megvizsgálható, hogy hol és mekkora mértékben történt deformáció a darabban.

Az általam elkészített csomópont két alkalommal került mérésre. Első esetben a nyomtatás után szkenneltük be a darabot, hogy lássam mennyire volt pontos a tisztán nyomtatással készült alkatrész. Ennek képét a 8.3. és 8.4. ábrákon láthatjuk.

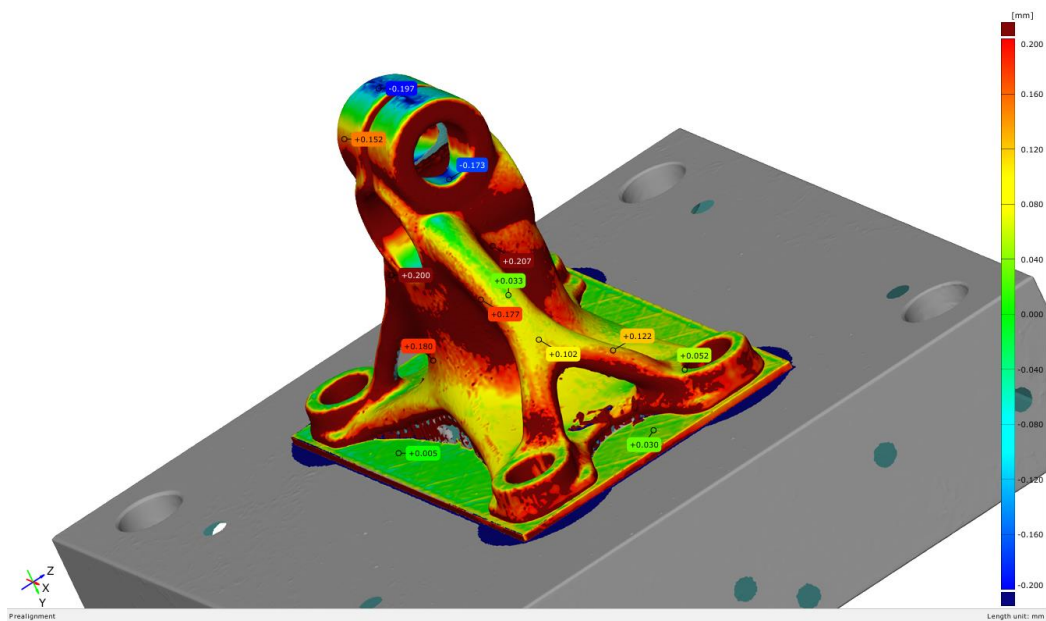


8.3. ábra: Nyomtatás utáni állapot

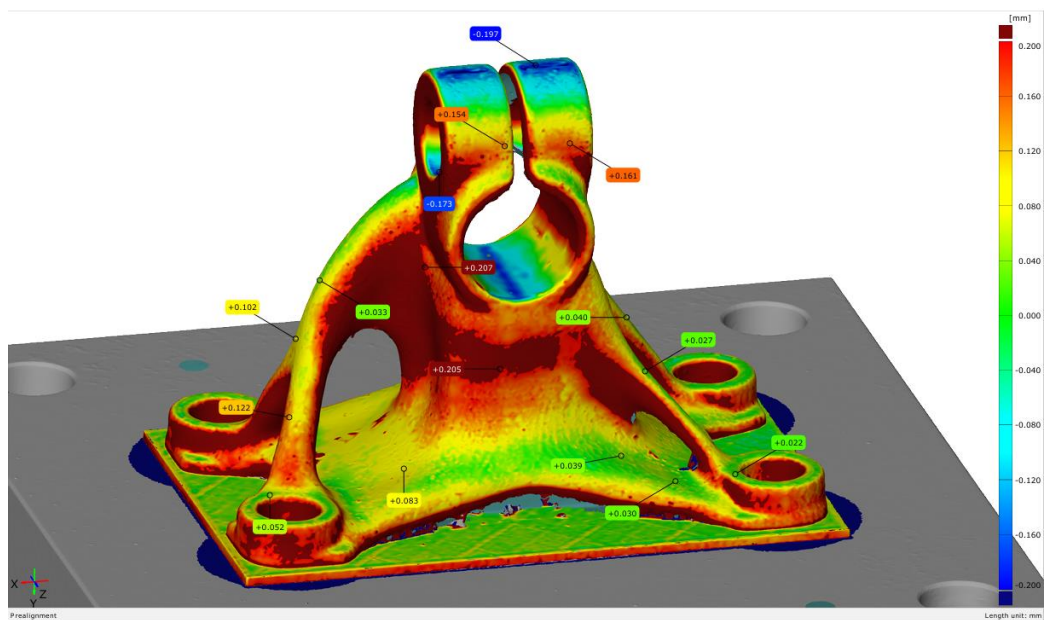


8.4. ábra: Nyomtatás utáni állapot

Ebben az esetben a darab még rendelkezik a CAM programban meghatározott offset méretekkel, amire a hőkezelés miatt volt szükség. A második mérésre a hőkezelést követően került sor. Ennek eredményét a 8.5. és 8.6. ábrák mutatják be.



8.5. ábra: Hőkezelés utáni állapot



8.6. ábra: Hőkezelés utáni állapot

Látható, hogy a hőkezelést követően zsugorodás következett be, így az eddig piros színnel jelölt értékek közelebb kerültek az eredeti modell méreteihez ezzel is igazolva a gyártás pontosságát és sikerességét. Viszont fontos megjegyezni, hogy az alkatrész az alaptestről történő levágás után még deformációt szenved el a nyomtatás során keletkezett belső feszültségek miatt. Ennek kiküszöböléséhez síkköszörülésre van szükség. Amint ezek megvannak az alkatrész készen áll a beszerelésre.

9 Összegzés

Munkám során bemutatásra került az Alfa Tipo acél járműalkatrészének topológiai optimalizálása és gyártása fém hibrid 3D nyomtatás segítségével. Az optimalizálást Siemens Solid Edge tervezőprogramban végeztem. A cél pedig az volt, hogy minél nagyobb súlycsökkentést tudjak elérni, úgy, hogy az még megfeleljen az előre meghatározott terheléseknek. A gyártáshoz az úgynevezett Matsuura Lumex Avance 25 3D hibrid fémnyomtatót használtam, MM2 fémporral. A gyártást követően GOM mérőeszközzel megmértem a darabot, majd hőkezelésnek vetettem alá, melyet öregítésnek neveznek. Erre azért volt szükség, hogy elérjem a maximális keménységet az alkatrészen. A hőkezelést követően ismét GOM mérést végeztem az alkatrészen, majd hasonlítottam össze a nyomtatás utáni állapotot a végső állapottal. A topológiai optimalizálás a terhelések definiálása után könnyen elvégezhető, azonban időigényes számítási feladat a program számára és előfordulhatnak hibák az eredményben. Több beállítási eset megvizsgálása után jutottam el a végső modellemhez, melyet utána gyártásba tudtam helyezni. A gyártás első lépése a CAM létrehozása. Ezt a nyomtatóhoz kifejlesztett programban tudtam megtenni., amelyben a modell beimportálása után egyszerűen elvégezhető volt a nyomtatási pálya generálása. Maga a nyomtató is igényel némi felkészítést a gyártásra, de ez is viszonylag gyorsan elvégezhető. Ellenben a hagyományos megmunkálási eljárásokkal ezzel a technológiával gyors CAM létrehozás és egyszerű gép felkészítés mellett lehet szinte bármilyen alakot és geometriát létrehozni egy munkatéren belül. Mivel hibrid technológiáról van szó lehetőség nyílik a darab marására is, ha szükséges, ezzel is nagyobb pontosságot és jobb felületi minőséget eredményezve.

A gyártás sikeressége és a megszerzett tapasztalatok tükrében kijelenthető, hogy a jövőben az említett autó további alkatrészeinek előállítására is ezen innovatív megoldás keretein belül valósulhat meg.

Irodalomjegyzék

- [1] MouldTech Systems, [online]. <https://mouldtechsystems.hu/>. [Hozzáférés dátuma: 2024. 07. 30.]
- [2] Szabó K.; Hegedűs Gy.; *A generatív tervezést támogató szoftverek rövid áttekintése*, 2020, <https://doi.org/10.35925/j.multi.2020.3.39>
- [3] TopOpt in Python, [online]. <https://topopt.readthedocs.io/en/documentation/TopOpt.html>. [Hozzáférés dátuma: 2024. 07. 30.]
- [4] FacFox, [online], <http://hu.insta3dp.com/info/what-is-topology-optimization-simply-explained-79279655.html>, 2022.12.09., [Hozzáférés dátuma: 2024. 07. 30.]
- [5] George I. N. R.; Tomasz L.; *Topology Optimization in Structural and Continuum Mechanics*, 2014,
- [6] Element, [online], <https://www.element.com/nucleus/2016/dmls-vs-slm-3d-printing-for-metal-manufacturing>, [Hozzáférés dátuma: 2024. 07. 31.]
- [7] Prashant S. H.; Indraneel D.; *An overview of direct metal laser sintering (DMLS) technology for metal 3D printing*.
- [8] Solid Edge Siemens, [online], <https://solidedge.siemens.com/en/>, [Hozzáférés dátuma: 2024. 08. 01.]
- [9] Enterprise Group, [online], https://enterprise-group.hu/plm/solid-edge/se_sim_portfolio, [Hozzáférés dátuma: 2024. 08. 01.]
- [10] MatsuuraUSA, [online], <https://www.matsuurausa.com/model/lumex-avance-25/>, [Hozzáférés dátuma: 2024. 08. 01.]
- [11] Lumex Avance – 25, <https://szimkerzrt.hu/wp-content/uploads/katalogus/LUMEX-Avance-25.pdf>, [Hozzáférés dátuma: 2024. 08. 01.]
- [12] Hatos I.; Hargitai H.; Kovács J. G.; 2015, [online], https://real.mtak.hu/27146/1/1_3.pdf, [Hozzáférés dátuma: 2024. 08. 01.]
- [13] MouldTech Systems, [online], <https://mouldtechsystems.hu/projects/project-alfa-tipo-184/>, [Hozzáférés dátuma: 2024. 08. 01.]
- [14] Wikipedia, [online], https://en.wikipedia.org/wiki/Maraging_steel, [Hozzáférés dátuma: 2024. 08. 13.]
- [15] MouldTech Systems, [online], <https://mouldtechsystems.hu/portfolio-item/atos-capsule/>, [Hozzáférés dátuma: 2024. 09. 05.]