SZAKDOLGOZAT

PÁPAI GERGŐ Gépgyártó Szak

Gödöllő 2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campus Gépgyártó Szak

MOTORVEZÉRLŐ HÁZ MEGMUNKÁLÁS TERVEZÉSE CAM SZOFTVERREL

Belső konzulens:	Dr. Keresztes Róbert Zsolt		
	Egyetemi docens		
Külső konzulens:	Ács Luca		
	Ügyvezető igazgató		
Készítette:	Pápai Gergő		
	IVMYEF		
	nappali		
Intézet:	Műszaki Intézet		
Tanszék:	Anyagtudományi és		
Gépipari folyamatok Tanszék			

Gödöllő 2023



Szent István Campus, Gödöllő Cím: 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1. Tel.: +36-28/522-000 Honlap: https://godollo.uni-mate.hu

MŰSZAKI INTÉZET GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK Gépgyártó specializáció

SZAKDOLGOZAT feladatlap

Pápai Gergő (IVMYEF)

részére

A diplomadolgozat címe:

Motorvezérlő ház megmunkálás tervezése CAM szoftverrel

Feladatkiírás:

Bevezetés, szakirodalom feldolgozás, probléma bemutatás, tervezés folyamata CAM szoftverben, technológiai számítások, gazdasági számítás, összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok

Külső konzulens: Ács Luca, ügyvezető igazgató, DL Steel Kft.

Belső konzulens: Dr. Keresztes Róbert Zsolt, egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

Beadási határidő: 2023. november 06.

Gödöllő, 2023. szeptember 04.

Jóváhagyom		Átvettem		
(tanszékvezető)	(szakfelelős)	(hallgató)		

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. Id. hó OF. nap

(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1.	Beveze	etés	. 7
	1.1.	Téma jelentősége	. 7
	1.2.	Célkitűzés	7
2.	Szakiro	odalom áttekintés	8
	2.1. CA	AM szoftverek meghatározása	8
	2.2. CA	AM szoftverek fejlődése	. 8
	2.3. Ed	lgecam bemutatás	10
	2.4. CA	AM szoftverben történő tervezés	10
	2.5. CN	NC forgácsológép	14
	2.6. CN	NC gépek vezérlése	14
	2.7. CN	NC gépek típusai	15
	2.8. CN	VC gépek felépítése	16
	2.9. Fo	rgácsoló szerszámok	17
	2.10. F	orgácsoló szerszámok mozgása	18
	2.11. F	orgácskeresztmetszet	19
	2.12. P	Prototípus gyártás	20
	2.13. F	Prototípus gyártás fajtái	21
3.	Megm	unkálás tervezés	22
	3.1. CA	AD modell	22
	3.2. M	egmunkálás a felső oldalon	22
	3.2.	1. Előgyártmány illesztés a felső oldalon	22
	3.2.	2. Az munkadarab felfogatása a felső oldali megmunkáláshoz	23
	3.2.	3. Program készítés a felső oldali megmunkáláshoz	24
	3.2.	4. Alaksajátosságok meghatározása a felső oldalon	25
	3.2.	5. Felső oldal síkmarása	25
	3.2.	6. Külső nagyolás	27
	3.2.	7. Belső zseb nagyolás	28
	3.2.	8. Belső ferde fal nagyolás	29
	3.2.	9. Sziget síkmarás	30
	3.2.	10. Nagyoló marás művelet	31
	3.2.	11. Ferde felület nagyolás	32
	3.2.	12. Belső zsebek profilozása	32

3.2.13. Külső felület profilozás	33
3.2.14. Ferde felületen lévő zseb nagyolás	34
3.2.15. Vékony oldalfalú zseb nagyolás	35
3.2.16. Vékony oldalfalú zseb profilozás	35
3.2.17. "U" alakú felület profilozás	36
3.2.18. Háromszög alapú hasáb profilozás	36
3.2.19. Félkör alapú csatorna profilozás	37
3.2.20. Belső ferde felület profilozás	38
3.2.21. Két ferde felület profilozás	39
3.2.22. Lépcső profilozás	39
3.2.23. Furat elő fúrás	40
3.2.24. Fúrás	40
3.2.25. Szimuláció	41
3.3. Megmunkálás az alsó oldalon	42
3.3.1. Előgyártmány illesztés az alsó oldalon	42
3.3.2. Az munkadarab felfogatása az alsó oldali megmunkáláshoz	43
3.3.3. Program készítés a felső oldali megmunkáláshoz	43
3.3.4. Alaksajátosságok meghatározása az alsó oldalon	43
3.3.5. Alsó oldal síkmarás	43
3.3.6. Zsebek nagyolása	44
3.3.7. Zsebek profilozása	45
3.3.8. Bal oldali nyitott zseb nagyolás	46
3.3.9. Jobb oldali nyitott zseb nagyolás	46
3.3.10. Ferde felületen lévő sziget profilozása	47
3.3.11. Ferde felület és sziget fal profilozása	47
3.3.12. Bal oldali nyitott zseb profilozás	48
3.3.13. Jobb oldali nyitott zseb profilozás	49
3.3.14. Bal oldali ferde felület profilozása	49
3.3.15. Jobb oldali ferde felület profilozása	50
3.3.16. Furatoszlop közötti nagyolás	51
3.3.17. Átmenő furat	51
3.3.18. Zsákfurat művelet	53
3.3.19. Szimuláció	53

4. Összefoglalás	55
5. Summary	
6. Nyilatkozat	
7. Irodalomjegyzék	60

1. Bevezetés

1.1. Téma jelentősége

A mai világban a technológia óriási szerepet tölt be az életünk minden pontján. Ez különösen igaz a mérnöki tervezések során, ahol a számítógépes tervező szoftverek teljes mértékben átvették a szerepet a papíron történő alkotás helyett. A CAM (Computer-Aided Manufacturing) szoftverek szerepe és fontossága kiemelkedő a modern gyártási folyamatokban. A fontosságukat alapvetően két fő tényező határozza meg: hatékonyság és pontosság. A modern mérnökök és tervezők ma már kifinomult számítógépes szoftvereket használnak, hogy létrehozzanak és optimalizáljanak terveket, amelyeket a gépek precízen valósítanak meg. Az CAM szoftverek segítségével az alkatrészek és termékek gyártása gyorsabb, költséghatékonyabb és kevésbé hajlamos a hibákra. Ezenkívül a CAM szoftverek lehetővé teszik a tervezők számára, hogy egyszerűbben és hatékonyabban testre szabják a gyártási folyamatokat. Ez lehetővé teszi az alkalmazkodást az egyedi projektekhez és a változó piaci körülményekhez. A szoftverek lehetővé teszik a tervezők számára, hogy optimalizálják a gépek működését, minimalizálják a hulladékot, és maximalizálják a termelékenységet. A CAM szoftverek segítségével egy vizuális környezetben tervezhetjük meg az alkatrész megmunkálását, majd le is tesztelhetjük azt.

A CNC (Computerized Numerical Control) gépek teljesen megreformálták az alkatrészek gyártását a hagyományos megmunkálással szemben. A több tengelyen mentén lehet ezekkel a gépekkel megmunkálni az alkatrészt akár egy időben is teljesen automatizálva, ezzel kizárva az emberi pontatlanságot. A CNC gépek több programnyelvet is használhatnak, de a legelterjedtebb a G kódos programozás. A CAM szoftverekben végzett tervezés után a megmunkálási folyamatokat a program a CNC programnyelvére fordítja le.

1.2. Célkitűzés

A CAM szoftver és CNC géppel való gyártás kiváló egy később öntéssel előállított nagy darabszámú alkatrész prototípus megmunkálásának megtervezéséhez. Jelen dolgozatomban egy motorvezérlő ház prototípusának CAM szoftverben való megmunkálás megtervezését mutatom be.

2. Szakirodalom áttekintés

2.1. CAM szoftverek meghatározása

A CAM (Computer Aided Manufacturing) jelentése számítógéppel segített gyártás, azonban egyes szakirodalmakban számítógéppel támogatott gyártásként is hivatkoznak rá. Ennek a rövidítésnek a gyakorlatban két meghatározása is van. Egyrészt hivatkoznak rá, mint számítógépes megmunkálás tervező program, amellyel a megmunkálás folyamatát, a művelettervezést és az NC gépek programozását végezhetjük el. Tehát csak a gyártást megelőző tervezésben és CNC program létrehozásában segít. Másrészt pedig, mint gyártási tevékenység, amely a gyártásban való számítógépes segítséget takarja. [2] A továbbiakban a CAM rövidítés alatt az előbbire fogok utalni.

A CAM szoftverek nevükből adódóan segítséget nyújtanak a tervezésben, ám ez nem jelenti azt, hogy munkát teljes mértékben átvállalja a tervezőmérnöktől. A tervezés során ugyanis sok paraméter használatáról kell dönteni, mint például a szerszámgép, a megmunkálási eljárás, a megmunkálási sorrend, továbbá, hogy milyen szerszámokat használjunk az egyes megmunkálási stratégiáknál. [2]

2.2. CAM szoftverek fejlődése

A CAM szoftverek elterjedését a gépészetben a számítógépes technológiák fejlődése indokolja. [3] Az első elterjedt program UNISURF névre hallgat, mely 1968-ban jelent meg és a nagyobb cégeknél elsöprő sikert aratott. A közemberek és kisebb vállalatok számára akkoriban ez még elérhetetlen volt a program komplexitása és ára miatt. A program fejlesztésekor áttörést jelentett Pierre Bézier francia mérnök által 1968-ban megalkotott módszer, ami lehetővé tette, hogy két pont közötti görbe alakja szabadon formálható legyen. [4] Ezt pedig úgy érte el, hogy két hengert egy paralelepipedon belsejében definiálta, aminek eredménye a görbe hasonlósági transzformációja lett. Munkájának köszönhetően ez a görbe később az ő nevét kapta, így terjedt el végül a "Bézier görbe" megnevezés, melyet az 1. ábra mutat be.



1. ábra: Harmadfokú Bézier görbe [19]

Azonban Béziertől függetlenül ez a téma mást is foglalkoztatott. Ezen a technológián Paul de Casteljaum francia fizikus, Béziertől függetlenül, már 1959-ben dolgozott. Az ő megoldása a görbe algoritmus és numerikus stabilitás módszerén alapult. Az ötlet lényege a kontroll poligonok használata volt, amellyel nem a görbéken elhelyezkedő pontokat definiálta, hanem a görbéhez közeli pontokat. A kontroll poligonok megváltoztatását a görbe pontosan lekövette. Ezt a módszert először egy 1971-es folyóiratban publikálták, majd ezt követően ezt az algoritmust "de Casteljau algoritmus" -nak nevezték el, melyet a 2. ábra prezentál. A probléma megoldására tehát Bézier és de Casteljau is talált megoldást, csupán a matematikai leírás tért el. [5]



2. ábra: de Casteljau algoritmus [5]

Az 1980-as években jött el a CAM szoftverek fejlesztésének egy újabb hulláma. Ekkor jelentek meg a ma is használatos tervező programok első verziói úgy, mint a Delcam, TopSolid, Edgecam és a Mastercam. [6]

2.3. Edgecam bemutatás

Dolgozatomhoz a Hexangon EDGECAM 2023.1-es verzióját használtam. Az Edgecam első verziója 1984-ben jelent meg akkor még PMS (Pathtrace Manufacturing System) és PAMS (Pathtrace Advanced Manufacturing System) néven adta ki a Path Trace Ltd. cég. Edgecam néven először 1995-ben jelent meg Windows 95-re, amelyen már grafikus felületen keresztül lehetett vezérelni a korábbi verziókkal szemben, amik még DOS (Disk Operating System) alapú rendszeren szöveges menük által működtek. Ez akkor a legmodernebb felhasználói felületnek számított, emiatt is történt a név változás, amellyel a cég az iparban való élvonalbeliségét ("leading edge") akarta kifejezni. Ez a verzió még hagyományos drótvázas felület alapú módszert használta, amelyet későbbi verziók a tömör testmodell alapú módszere váltották. A következő nagy lépést az 1999-ben megjelent verzió hozta el, amelyben egy dedikált testmodell alapú kernel helyett az összes nagyobb kernelt támogatta. Ez azt eredményezte, hogy a CAD (Computer Aided Design) programok adatait nem kellett átkonvertálni, így több fajta formátum támogatására is képes volt mindenféle információveszteség nélkül. Későbbi verzióban bevezették a hullámmintával történő nagyolás módszerét, amellyel jelentősen növelhető az anyagleválasztás és a szerszám élettartamának növelése. [7]

A mai legfrissebb verzióban is számos tervezést segítő módszer megtalálható. Az egyszerűsített NC programozás segítségével hatékony marási stratégiákat lehet előállítani megmunkáló központokhoz, az intelligens nagyoló ciklus lehetővé teszi, hogy a szerszám a leghatékonyabban, automatikus pályamódosítással végezze el a megmunkálást. Ezeken kívül simítási ciklusnál intelligens rá-, át- és leállási mozgásokat is lehet alkalmazni, ami lehetővé teszi akár az alámetszések megmunkálását is. Továbbá a szoftverben található automatikus alaksajátosság felismerő, amely képes felismerni a különböző zseb-, sziget-, furat- és a felületi alaksajátosságokat. A program tartalmaz ezen felül szerszámtárat is, amelyben igény szerint módosíthatók a szerszámok. Az Edgecam Stratégia kezelő pedig a programozási idő csökkentésében segít a tudásbázisban lévő sablonokkal. [1]

2.4. CAM szoftverben történő tervezés

Bármilyen megmunkálási módszer esetén a szerszám mindig egy előre meghatározott szerszámpályán mozog. Ezeket a szerszámpályákat a CAM programok matematikai

számításokkal automatikusan hozzák létre az alkatrész geometriájának felhasználásával. [2] Szerszámpálya kialakításához felhasználható az aktuális előgyártmány is, amely segítségével a felesleges szerszámpályák nem kerülnek meghatározásra. [8] Ezen kívül a pálya meghatározásakor a szoftver figyelembe veszi a szerszám, a szerszámbefogó és a munkadarab befogó méreteit is, hogy ne legyen ütközés. Ahogy a 3. ábra is mutatja, a szerszámpályák egyszerű görbék, amelyek az alkatrész felületén helyezkednek el és lehetnek nyitott vagy zárt vonalláncok. A láncok felülettől való távolságát befolyásolja a szerszám keresztmetszet és az esetleges ráhagyás. [2]



3. ábra: Szerszámpálya az Edgecam-ben [20]

A szerszámpályákat a program különböző megmunkálási ciklusokban használja fel. Megmunkálás tervezés során ügyelni kell arra, hogy egy ciklusban minél több megmunkálási folyamat vonódjon össze. [2] A következőkben a lehetséges ciklusokat fejtem ki.

Fúróciklus: Ebben az esetben beszélhetünk általános fúró marásról, illetve menetfúrásról is. Mindkét esetben ez lehet átmenő vagy zsákfurat. Ha a modell tartalmazza a furat tulajdonságait, mint például furat átmérő és menet tulajdonságok, akkor a szoftver ezekre a paraméretekre szűrve is tud szerszámot ajánlani. [8]. Fúróciklus esetén a ciklus tartalmazza a furatokhoz állást, a furat hosszúságában történő forgácsolást, valamit a leállást. [2]. Bizonyos esetekben még a pontozás, esetleg a letörés is része a ciklusnak.



4. ábra: Fúróciklus [2]

Marási ciklusok: Ezen belül két főbb típusú marás létezik, mégpedig a nagyoló és profilozó marási ciklus. Nagyoló ciklus esetén nagyobb mértékű ráhagyás szokott lenni, majd ezt követi a profilozó ciklus, ami a ráhagyott anyagot munkálja le az alkatrész felületéig. A marási ciklus esetén a szerszámpálya lehet körkörös, spirál, láncolt, illetve hullámforma. [8] Alkatrész geometriától függően a marás lehet síkmarás, 3D marás vagy 5D marás. Síkmarás esetén a megmunkálni kívánt felület síkja egybe esik a koordináta rendszer egy síkjával, míg a több dimenziós marásnál ez több síkon történik. [2]



5. ábra: Marási ciklus [2]

Esztergálási ciklus: A megmunkálás egyélű szerszámmal történik egy vagy két tengely irányába, melyek általában az X és Z tengelyek. Mint a marási ciklus esetén, itt is két fajta megmunkálás van, a nagyolás és a kontúrozás, azonban a nagyolás általában több fogásból történik. [2]



6. ábra: Esztergálási ciklus [2]

A szoftver része továbbá egy szimulátor is, melynek segítségével virtuális térben végezhetjük el a megmunkálást. A program valósághűen, valós időben szimulálja a CNC gép, a szerszámok, a szerszám- és alkatrész befogók karakterisztikáit. A szimulátorral még a valós gyártás előtt ellenőrizhetjük a megmunkálás pontosságát és az esetleges szerszám ütközéseket és ezek alapján tovább optimalizálhatjuk a megmunkálás paramétereit és a szerszámpályákat. [9] Az Edgecam esetén ezt a szimulátort NCSIMUL-nak nevezik.



7. ábra: NCSIMUL szimuláció [9]

2.5. CNC forgácsológép

A CNC (Computerized Numerical Control (...) fogalombeli jelentése a számítógépes számjegyvezérlés, azonban ezek csupán az NC gépek továbbfejlesztett változatai. A CNC gépek az NC gépek egy tovább fejlesztett változatai. Az NC (Numerical Control) gépek működése kombinációs logikai hálózatokon alapul. [2] Az NC szerszámgépek elektronikus programvezérléssel vannak ellátva, ahol a gyártáshoz szükséges paramétereket és technológiai adatokat, mint például előtolás, forgácsoló sebesség és mélység, a gépbe egy adathordozó segítségével visszük be. Ezek azt adathordozók kezdetben mechanikus lyukszalagok voltak, tehát a vezérlés teljes mértékben hardveres vezérléssel történt. [12] A számítógépes integrációval jöttek létre a CNC gépek. A CNC gépek esetén a vezérlést egy programozható mikroszámítógép végzi. A számítások során a gép meghatározza a munkafolyamat megkezdését, az elvégzési módját és befejezését. [11] A programozhatóság óriási előnyt jelentett az NC gépeken használt lyukszalagokkal szemben, hiszen a paraméterek módosítása esetén egy új fizikális lyukszalagot kellett elkészíteni.



8. ábra: Optimum F150 CNC megmunkáló központ [21]

2.6. CNC gépek vezérlése

A beépített számítógép vezérléshez a CNC gépeken megtalálható egy kijelző, amin egy felhasználói felület segítségével jelenik meg a program, illetve egy billentyűzet, ami a program megírására és módosítására szolgál. A számítógépen belül általában több program is fut párhuzamosan. Ezek állhatnak egy szerkesztő programból, amelyben aktívan végezhetjük a programozást, egy szimuláló programból, amelyben az épp programozott megmunkálást ellenőrizhetjük, illetve van még a megmunkáló program, amely az alkatrész tényleges megmunkálását végzi. Ez a három program egymástól teljesen függetlenül is futhat, így lehetőség van arra például, hogy egy bizonyos alkatrész megmunkálást programozzuk, egy másik alkatrésznek a megmunkálása fusson a szimulátor programban, egy harmadik alkatrész pedig aktívan végződjön a megmunkálás.



9. ábra: Siemens Sinumerik 808D CNC vezérlő [22]

2.7. CNC gépek típusai

Az iparban több fajta CNC megmunkáló gép is létezik. Ilyenek például a CNC fúrógépek, a CNC esztergagépek, CNC marógépek, CNC megmunkáló központok. A CNC fúrógépeknél az alkatrész általában vízszintesen van munkadarab befogóba rögzítve. A fúró szerszám megmunkáló paramétereit lehet szabályozni, mint például az előtolás és a forgácsolási sebesség. A fúrók eltérő hossza miatt a gépek képesek szerszámhossz kiegyenlítésre. A CNC esztergagépek esetén két főtengely van, ezek az X és Z, bizonyos esetekben előfordul egy harmadik is, a W tengely. A vezérlés a főorsó fordulatszámára, a forgácsolási sebességre és a forgástengely eltolására tér ki. A CNC marógépeknek léteznek horizontális és vertikális kivitelben. Megmunkálás történhet több tengelyen és lehetőség van kontúrkövetésre is az automatikus útvonal számításoknak köszönhetően. A CNC megmunkáló központok pedig rengeteg szerszámmal vannak felszerelve, továbbá úgy vannak kialakítva, hogy az előbb említett három fajta CNC gép által végzett megmunkálásra is képesek. Egyfajta univerzális CNC gépként is tekinthetők [3]

2.8. CNC gépek felépítése

A CNC gépek alapvetően két fő részből állnak. Ezek pedig a már fent említett számítógépes vezérlő rendszer és maga a szerszámgép. Ezen belül is a szerszámgép szerszámgépágyakból, szánrendszerekből, hajtóművekből, útmérőkből, főorsóból, szerszámbefogókból, szerszámtárból és munkadarab befogókból áll. A szerszámgépágy feladata, hogy a szerszámgép minden részét erre erősítik fel. Emiatt rendkívül fontos, hogy merev legyen és nagy csillapítóképeséggel bírjon, hiszen ezek a gépek rendkívül kicsi tűrésmezőben is képesek dolgozni. Továbbá nagy terhelést is el kell tudni viselnie. Az ágy elrendezése lehet vízszintes, döntött és ritkább esetekben függőleges is. A forgácsolás elvégzést a hajtóművek végzik, amelyek legtöbb esetben elektromos meghajtású fokozatmentes aszinkronmotorok. A CNC gépek általában fő- és mellékhajtóművekkel rendelkeznek. A főhajtóművek felelősek a főorsó meghajtásáért. A háromfázisú motorok forgásiránya könnyedén megváltoztatható. [2] Fokozatmentesség miatt képesek az állandó forgácsolási sebesség tartására, ami a megmunkálás során változó méretek miatt elengedhetetlen. A mellékhajtóművek a többi tengelyen történő mozgásokat végzik.



10. ábra: Hajtóműves főorsó kialakítása [23]

Ezek a hajtóművek bizonyos golyósorsókat hajtanak meg, amelyek a forgómozgást egyenes vonalú mozgássá alakítják és így különböző szánokat mozgatnak. A golyósorsók rendkívül kicsi, akár mikronos elmozdulásra is képesek. Az útmérők a szerszám pillanatnyi pontos helyzetének meghatározásáért felelősek. Alapvetően kétfajta útmérés használatos, a

közvetlen és a közvetett útmérés. Közvetlen útmérés esetén a helyzetváltozást mechanikus áttétel nélkül állapítják meg a gépasztal tényleges elmozdulását, így elkerülve az orsóból eredő mérési hibákat. A közvetett útmérés esetén pedig az elmozdulás mértékét az orsó forgómozgásából határozzák meg, ennek feltétele azonban, hogy az esetleges hibák nagysága elhanyagolható legyen. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a mérési hiba maximum századmilliméteres nagyságrendű lehet. [11] A szerszámbefogás a CNC gépeken általában kétféleképpen lehetséges. A CNC esztergagépek esetén revolverfejbe, a CNC margógépek esetén pedig főorsóba. Marógépek, fűrógépek és megmunkáló központok esetén a főorsóban egyszerre csak egy szerszám lehet befogva, így ezeknél alkalmaznak szerszámtárat is, ami egyszerre több szerszám tárolására is képes. Ezek egyesével vannak számozva, így pontosan lehet programozni, hogy az egyes megmunkálási folyamatoknál melyik szerszám legyen használva. A munkadarab befogása kisebb darabszámú gyártás esetén történhet hagyományos gépsatuba, nagyobb darabszámú gyártásnál pedig hidraulikus, pneumatikus vagy elektromos befogóba. [2]

A CNC gépek általában kettő vagy három mozgó tengellyel rendelkeznek, amelyeket programozni lehet. A programozásához az úgynevezett G-kódot használjuk. A G-kód esetén a CNC program különböző blokkokból áll. Ezek a blokkok tartalmazzák a megmunkáláshoz szükséges paraméterket. Mindegyik blokk egy betűből és egy számból áll, amelyek együttesen kiadnak egy kódot, ami egyedi technológiai lépésre utal. Ezek utalhatnak a megmunkálás sorszámára, a koordináta adatokra és a különböző mozgási funkciókra, mint például előtolás, szerszámcsere, nagyolás vagy simítás. A szerszámgép funkcióinak meghatározására, mint az indítás, főorsó indítás-megállítás, hűtés, úgynevezett M-kódokat használunk. [3]

2.9. Forgácsoló szerszámok

A forgácsolás egy olyan anyagalakítási eljárás, amely során egy munkadarabról forgácsoló szerszám segítségével mechanikus módon anyagrészecskéket, vagy másnéven forgácsot, távolítunk el. Két fajta módja létezik, az egyik a szabadforgácsolás, aminek esetén a szerszámnak csak egy éle (főél) végzi megmunkálást, a másik pedig a kötött forgácsolás, ahol több él is (főélek, mellékélek) részt vesz a forgácsolásban. A forgácsolni kívánt felületet megmunkálandó felületnek nevezzük, azt részt pedig, ahol már elvégeztük a forgácsolás, megmunkált felületnek hívjuk. A megmunkálás módjától függően, mint esztergálás, marás,

fúrás, más-más kialakítású szerszám használatos. [10] A CNC megmunkáláshoz használt marószerszámok általában henger alakúak és lapos, sarkos vagy gömb végű kialakítással rendelkeznek, ahogyan a 11. ábra is szemlélteti.



11. ábra: Sarokrádiusz nagyoló maró [24]

A marószerszámok nagyrészt több élűek, tehát kötött forgácsoló szerszámok. A forgácsolás a szerszám köralakú mozgásával és a munkadarab haladó mozgásából jön létre. Általában síkok, zsebek és felületek előállításnál használják a CNC marást.

2.10. Forgácsoló szerszámok mozgása

Attól függően, hogy milyen éllel végezzük a forgácsolást, megkülönböztetünk palást-, és homlokmarást. Palástmarás esetén a megmunkálást kizárólag a szerszám palástfelületén elhelyezkedő főélek végzik. Homlokmarás esetén pedig felület kialakítását a mellékélek végzik, amik a maró homlokfelületén találhatóak. [13] A megmunkálás a szerszám mozgásirányától függően lehet ellenirányú és egyenirányú.



12. ábra: Ellenirányú és egyenirányú marás

Amikor ellenirányú marást végzünk, akkor a marószerszám előtolásának iránya ellentétes a szerszám forgásirányával. Ez a megmunkálási irány kevésbé előnyös, mert a

forgácsvastagság a kezdetben nulla, majd egyre növekszik, így a megmunkáló élet erővel kell a munkadarabba juttatni, ami a súrlódás és hőhatás miatt csökkenti a szerszám élettartamát. Előnyösebb módszer az egyenirányú marás, ahol a szerszám előtolás megegyezik a forgásiránnyal. A megmunkálás során a forgácsvastagság a megmunkálás előrehaladásával csökken, ezzel csökkentve az él csiszolódást. Egyenirányú marásnál azonban arra ügyelni kell, hogy megmunkálás során a forgácsoló erő iránya a szerszámba húzza a munkadarabot, amely a megmunkálás pontatlanságához vezethet, ha az asztalelőtolásban van holtjáték. [15] Geometriájukból adódóan a korlátozott a gyártható alkatrészek formája. Példaként egy zseb sarkait akármilyen kicsi sugarú szerszámmal munkáljuk meg, mindig keletkezik lekerekítés. Megmunkálás során figyelembe kell venni a szerszámra nehezedő vágási erőt és a keletkező magas hőmérsékleteket, ugyanis ezek a pontosság csökkenéséhez vagy komolyabb esetben szerszámkárosodáshoz vezethetnek. [14]

Forgácsolás során a megfelelő megmunkáláshoz szükséges, hogy a szerszám és a munkadarab között relatív mozgás jöjjön létre. Bár a tényleges mozgások során a szerszám és a munkadarab is mozgást végez, a mozgásfajták meghatározásához a munkadarabot állónak tekintjük. A forgácsoláskor előforduló mozgások lehetnek forgácsoló, előtoló, működő, hozzáállító, fogásvételi és utánállító mozgások. A szerszám főmozgása marás és fúrás esetén kör alakú. A főmozgás sebességét nevezzük forgácsoló sebességnek, amely a forgácsoló él pillanatnyi sebessége a munkadarabhoz képest. Az előtoló mozgás többszöri forgácsleválasztást tesz lehetővé több löket alatt. Az előtolásnak több jellemzője is van, mint az előtolóirány és előtolósebesség. A működő mozgás alatt ennek a két mozgásnak az eredőjét értjük. A hozzáállító mozgással tudunk a szerszámmal a munkadarabhoz állni. A fogásvételi mozgásból következik a fogásmélység, ami az egy mozgással történő anyagleválasztás vastagságát adja meg. Az utánállító mozgást pedig akkor alkalmazzuk, amikor korrekcióra van szükség, illetve, hibát kell javítani. [3]

2.11. Forgácskeresztmetszet

A megmunkálás során leválasztott anyagot forgácsnak nevezzük. Forgács egyik meghatározó tényezője a forgácskeresztmetszet. A forgácskeresztmetszet alatt egy behatolás során lemunkált, forgácsoló irányra merőleges anyagréteget értjük. Mérete az előtolástól, a fogásmélységtől és a szerszámkialakítástól függ. Az utóbbi paraméter miatt beszélhetünk

elméleti és valóságos forgácskeresztmetszetről, melyek közötti különbséget a 13. ábra mutatja be. [3]



13. ábra: Az elméleti és valóságos forgácskeresztmetszet

2.12. Prototípus gyártás

Prototípus alatt a végtermék előzetes változatát értjük, amely még fejlesztés alatt áll. A fejlesztési szakasz több pontján is készülhet prototípus. Prototípusokat általában nagy darabszámú termékek gyártása előtt szoktak készíteni, hogy különböző teszteket ne csak szimulátorban, hanem a valóságban is el lehessen rajtuk végezni. Ezen kívül a prototípusok segítenek csökkenteni a fejlesztési időt, a tervezéssel járó kockázatokat és a fejlesztési költségeket. [17] Továbbá a végleges gyártás módjától is függ, hogy van-e igény prototípusra, hiszen például a dolgozatomban feldolgozott alkatrész is egy nagy mennyiségben gyártott fröcsöntött alumínium ház. Fröccsöntés esetén rendkívül költséges lenne a szerszámok folyamatos újratervezése. [16]

2.13. Prototípus gyártás fajtái

Prototípus gyártás esetén lehetőség van a gyártásra CNC megmunkálással, illetve a mai modern világban akár 3D nyomtatással is. A prototípus megmunkálás legelőnyösebb módja azonban CNC-vel való gyártás. Legfőbb előnye a CNC gyártásnak a 3D nyomtatással szemben a gyártás ideje, hiszen míg CNC-vel az előállítás percekig tart csak, addig ez 3D nyomtatással akár órákba is telhet. Továbbá a 3D nyomtás ellen szól még, hogy azzal a módszerrel az alkatrész rétegesen épül fel és ez eltérő mechanikai tulajdonságokhoz vezethet. Emiatt pedig a prototípuson elvégzett esetleges mechanikai tesztek nem fognak pontos eredményeket szolgáltatni. Ezen kívül a 3D nyomtatással készült prototípusok még további megmunkálásra is szorulhatnak, mint például furatok és menetes furatok előállítása. Ezzel szemben a CNC gyártás során egyenletes mechanikai tulajdonságú alkatrészt kapuk, illetve nincs szükség plusz munkálásra, hiszen a CNC géppel mindenféle megmunkálást eltudunk végezni. [18]



14. ábra: CNC megmunkálással történő prototípus gyártás [18]

3. Megmunkálás tervezés

3.1. CAD modell

Az alkatrész modellje SolidEdge-ben készült el a mellékleteknél megtalálható megadott műhelyrajzok alapján. A gyártmány anyaga AlSi12Cu1(Fe) alumínium ötvözet, amelyet széles körben használnak alkatrész öntéshez. [28] Az alumínium tulajdonságainak a SolidEdge-be való bevitele után megkapjuk, hogy az alkarész tömege 0,45 kg.



15. ábra: Az alkatrész CAD modellje

3.2. Megmunkálás a felső oldalon

3.2.1. Előgyártmány illesztés a felső oldalon

Az előgyártmány alapanyaga a rajzon megadott AlSi12Cu1(Fe) alumínium ötvözet. [28] A prototípusnak azért kell ebből az anyagból lennie, hogy az esetleges tesztek elvégzésekor a mechanikai tulajdonságok megegyezzenek a végső alkatrésszel. A téglalap méretei az alkatrész méretéhez képest X tengelyen plusz 1 mm mindkét oldalon, Y tengelyen plusz 1 mm mindkét oldalon, Z tengelyen pedig plusz irányban 1 mm, negatív irányban 10 mm. Negatív Z irányba a munkadarab befogás miatt van szükség nagyobb ráhagyásra. Az előgyártmány méretei tehát 183 mm × 179,8 mm × 41,75 mm. A megmunkáláshoz szükséges nullpontot az alkatrész középpontjára helyeztem a legfelső Z síkon.

A nullpont beállítás után az "Előgyártmány illesztése" menüpontra kattintva a felugró ablakban megadtam az előgyártmány méreteit, ahogyan ezt a 16. ábra ábrázolja.

Adja meg az előmunká előgyártmány automat	lt darab mére	eteit. Adjon	i meg ráhagyáso	kat és a véglege
clogyartmany automat	ikusan eikeszi	al.		
Hasáb			Hen	jer
Alkatrész hossza (181,000	mm)			
Előgyártmány hossza	183,000 mm	8	<u> -</u>	*
Ráhagyás bal oldalon	1,000 mm	în l		
Ráhagyás jobb oldalon	1,000 mm	6	4	
Alkatrész szélessége (177,	800mm)			
Előgyártmány szélessége	179,800 mm	6		
Ráhagyás elől	1,000 mm	6		
Ráhagyás hátul	1,000 mm	6		
Alkatrész magassága (30,7	'50mm)			
Előgyártmány magassága	41,750 mm	6		
Felső ráhagyás	1 mm	6		
		-		

16. ábra: Az előgyártmány méretének megadása



17. ábra: Az elhelyezett előgyártmány az alkatrészen

3.2.2. Az munkadarab felfogatása a felső oldali megmunkáláshoz

Az előgyártmány után a megmunkáláshoz készülék választása következik. Erre "Készülék adatbázis" funkciót használtam. A program az előgyártmány méreteit figyelembe véve úgy szűri meg a gépsatukat. Erre a feladatra egy Gerardi Standard Vice gépsatut választottam melynek méretei 420 mm × 125 mm × 100 mm. A megmunkálás miatt az alkatrészt elforgattam a satuban 90°-al. Az előgyártmány megfogási magasságát 40 mm-re állítottam az alkatrész külsőjén történő megmunkálások miatt. Az alkatrész formájából adódóan az előgyártmányt viszonylag kis keresztmetszeten tudjuk befogni, így mágneses alátámasztó lapokat alkalmaztam.



18. ábra: A választott készülék

3.2.3. Program készítés a felső oldali megmunkáláshoz

A megmunkálás megkezdésez első lépésben létrehoztam a programot. A "Program készítése" menüpontra kattintva választottam ki a szerszámgépet, ami az én esetemben a "Simple Mill Vertical mm.mcp", továbbá a "Szerszámkészlet" menü pont alatt feloldottam a "lakatot" ahhoz, hogy később tudjam módosítani a programban lévő szerszámokon a választott szerszámok alapján. A további menüpontokban lépegetve nem állítottam át semmit, mivel a szoftver mindent automatikusan kiválaszt. Ha szükséges még itt is lehet módosítani a nullpontot, a szerszámgép és a darab pozícióját, illetve a program nevét is megváltoztathatjuk. Az összes menüpont elfogadásával elkészül a program és a virtuális térben megjelenik a választott szerszámgép is. A további folyamatok egyszerűsítése miatt érdemes kikapcsolni a szerszámgép megjelenítést.



19. ábra: A választott szerszámgép

3.2.4. Alaksajátosságok meghatározása a felső oldalon

Az alaksajátosságok olyan geometriai egységek, amely egy alkatrészmodell bizonyos tartományát képezik. Ezek a tartományok tartalmazzák az adott rész pontjainak, éleinek és felületeinek összeségét. Alaksajátoságokkal azokat a részeket választjuk ki, amelyek a megmunkálás szempontjából jelentőséggel bírnak. [25]

Az Edgecam-en belül lehetőség van automatikus alaksajátosság felismerésére a testmodell kielemzése alapján. Ehhez az "Alaksajátosság keresés" menüpontot választottam. Az alkatrész elemzése alapján szükséges síkfelület, 2D nyitott zseb, 2D zseb, 2D profil, nyitott kontúr és nem átmenő furat alaksajátosság, így ezeket jelöltem be a felugró ablakban.



20. ábra: Alaksajátosság kereső ablak

A program több olyan alaksajátosságot is talált, amik fedik egymást, vagyis feleslegesek. Néhány megmunkálás miatt szükség van felület anyagsajátosságokra, amiket manuálisan jelöltem ki. Ezekkel együtt összesen huszonhét alaksajátosság található az alkatrész felső részén. Az alaksajátoságok meghatározása után a megmunkálási folyamatok meghatározása következik.

3.2.5. Felső oldal síkmarása

Az első művelet az előgyártmány síkmarása 1 mm mélységbe, melyhez a Dormer-Pramet 50A05R-S45OD05-C típusú 50 mm átmérőjű 5 lapkás univerzális síkmaróját választottam. A maróhoz választott lapka a Dormer-Pramet SDMT 120508SN-F:M8330 típusú szerszám. A maró és a lapka adatait a 21. és 22. ábra mutatja be.



21. ábra: Dormer-Pramet 50A05R-S45OD05-C síkmaró [26] DCON MS AMP DCCB **JMF** KWD WW) kg DCX B OAL E (mm) (mm) (mm) (mm (mm) (°) (mm) (mm) (°) -7 8 5 50 42.6 22 18 40 45 10.4 6.3 14100 0.28 GI326 FA043 22. ábra: Dormer-Pramet 50A05R-S45OD05-C síkmaró technológiai adatok [26] IC D1 1205 12.700 5.50 5.56

Alkalmazhatóság és forgácsolási sebesség (vc) kiinduló értékek, előtolás (f) és fogásmélység (ap). Utalás a Machining Calculator app-ra további számításokhoz



23. ábra: Dormer-Pramet SDMT 120508SN-F:M8330 lapka és technológiai adatok [26]

A "Szerszámtár" menübe kattintva a síkmarókon belül a fenti választott szerszám adatait betápláltam, majd kiválasztottam a megmunkáláshoz. A szerszám kiválasztás után a "Síkmarás" ciklusra lesz szükség. A síkmaráson belül ki választottam az előgyártmány megmunkálni kívánt kontúrját. A megmunkáláshoz láncolt stratégiájú, egyenirányú marást választottam. A lépésköz 50%-os, a tűrés 0,001 mm, sebesség 735 $\frac{m}{min}$, ami az 50 mm-es átmérő mellett 4682 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámot eredményez. Az előtolás 0,18 $\frac{mm}{fog}$, ami 0,9 $\frac{mm}{rev}$, a fordulatszám tudatában 4214 $\frac{mm}{min}$. [26]. Gyorsjárati síknak 5 mm választottam. A megmunkálás síkja asszociatív 0 mm, ami azt jelenti, hogy a megmunkálni kívánt alaksajátosságot veszi a síknak. A mélység 1 mm, ez az előgyártmány ráhagyás az alkatrészhez képest. A lapka maximum fogásmélysége 4 mm, így ezt az 1 mm-t egy fogásból le lehet munkálni. A ráállás vízszintes legyen. A szerszámpályák összekötése egyenesen és optimalizáltan történik a

rövidebb idő miatt. A ciklus végén a szerszámot gyorsjárati síkra emeltettem. A technológiai adatok elfogadása után a program legenerálja a szerszámpályákat. Megmunkálás után a szerszám visszamegy szerszámcsere pozícióba.



24. ábra: Síkmarás szerszámpálya

3.2.6. Külső nagyolás

Az előgyártmány 1 mm-es oldal ráhagyását nagyolással tüntettem el. A nagyoláshoz a Dormer-Pramet S71712.0 12 mm átmérőjű szármarót választottam, amelyet a 25. ábra mutat be.



25. ábra: Dormer-Pramet S71712.0 szármaró technológiai adatok [26]

A szerszámkatalógusból vett adatokat betápláltam a szerszámtárba. Szerszám kiválasztáskor a 2. pozícióba raktam be. Szerszám választás után a "Nagyoló" ciklust használtam. A test kiválasztásánál a külső felületre felvett alaksajátosságot választottam ki. A marás típusa körkörös és egyenirányú. A ráhagyás 0,5 mm, a tűrést pedig elég 0,1 mm-en hagyni a későbbi profilozás miatt. A szerszámkatalógus alapján az ajánlott sebesség 125 $\frac{m}{min}$, 12 mm átmérő esetén, ami 3317 $\frac{rev}{min}$. Az előtolás 0,06 $\frac{mm}{rev}$, ami emellett a fordulatszám mellett 199 $\frac{mm}{min}$. [26] A megmunkálás síkja és a mélység pedig mindkét esetben asszociatív 0 mm. A vezérlésnél a "Legközelebbi" -t választottam ki az útvonal optimalizálásnál. A legkerekített sarkok miatt a "Nagysebességű irányváltás" -t be lehet kapcsolni. A megközelítés típusa pedig legyen automatikus. A megmunkálás elvégzése után, amelyet a 26. ábra ábrázol, beszúrtam egy "Mozgás szerszámcsere pozícióba" ciklust.



26. ábra: Külső nagyolás szerszámpálya

3.2.7. Belső zseb nagyolás

A belső zsebek nagyoláshoz a Dormer-Pramet S7176.0 6 mm átmérőjű szármarót választottam.



27. ábra: Dormer-Pramet S7176.0 szármaró technológiai adatok [26]

A választott szármaró 27.ábrán található adatok beírása után kiválasztottam a szerszámtárból. Ez a szerszám a 3. helyen kapott helyet a szerszámtárban. A szerszám választást követően a "Nagyolás" ciklust választottam. A marás iránya legyen körkörös és egyenirányú a szerszám kímélés érdekében. A ráhagyás 0,5 mm, a tűrés 0,1 mm. Katalógus alapján az ajánlott sebesség 125 $\frac{m}{min}$, ami 6631 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,037 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 245 $\frac{mm}{min}$. [26]. A "Mélység" fül alatt a gyorsjárati sík asszociatív 5 mm, a megmunkálás síkja és a mélység pedig mindkét esetben asszociatív 0 mm. A fogásmélység legyen 5 mm. Az "Útvonal optimalizálás" -t érdemes a legközelebbire rakni idő spórolás miatt. A megmunkálás optimalizálásáért a "Marás régiónként" funkciót bekapcsoltam. A szerszámvezérlésnél a "Kívül" módot választottam. A megközelítés legyen automatikus, az összekötések pedig egyenes és optimalizált. A szerszámpálya összekötésnél az

"Optimalizáltan" módot választottam, 5 mm biztonsági távolsággal. Az adatok megadása után következhet a szerszámpálya generálás, amely a 28. ábrán látható.



28. ábra: Belső zsebek nagyolása

3.2.8. Belső ferde fal nagyolás

Ezt az elemet is a Dormer-Pramet S7176.0 6 mm átmérőjű szármaróval munkáltam meg, így a szerszám adatok megtalálhatók a 3.2.7. pontban lévő megmunkálásnál. A "Nagyolás" ciklust választva a test meghatározásnál a manuálisan létrehozott felület sajátosságot jelöltem ki, majd a megfelelő megmunkáláshoz 39. ábrán látható határgörbét is kiválasztottam.



29. ábra: Határgörbe felület választás

A határgörbe kiválasztás után a geometria miatt a láncolt stratégiát választottam ki. A marás iránya egyenirányú. A ferde megmunkálás miatt nem állítottam be plusz ráhagyást, hiszen lépcsős kialakítású lesz a felület, amelyet majd profilozással lehet elsimítani. A tűrés legyen 0,1 mm. A 3.2.7. pontban megadott sebességeket betápláltam a ciklusba. A "Mélység" fül alatt nem változtattam semmit. A fogásmélység legyen 2 mm a minél sűrűbb lépcsős

kialakítás érdekében. A vezérlésnél szintén a "Legközelebbi" útvonal van kiválasztva alapból, amely megfelelő. Az oldalfalak miatt a szerszámvezérlést "Kívül" módra állítottam, amely a szerszám átmérőtől függően kissé meghosszabbítja a határgörbét. A megközelítés legyen automatikus, a szerszámpálya összekötések pedig legyenek optimalizáltak. A 30. ábrán látható a szerszámpálya.



30. ábra: Ferde fal nagyolás

3.2.9. Sziget síkmarás

A síkmaráshoz is a Dormer-Pramet S7176.0 6 mm átmérőjű szármarót használtam fel, így a szerszám adatok megtalálhatók a 3.2.7. bekezdésben. A "Síkmarás" cikluson belül a 31. ábrán látható felületet választottam.



31. ábra: Síkfelület kiválasztás

A marás legyen láncolt és egyenirányú a szerszámkímélés érdekében. A megfelelő megmunkálás érdekében beaktiváltam a "Túlnyúlás a külső élen" opciót. A tűrést 0,01 mm-re állítottam. A mélység és megmunkálás síkja asszociatív 0 mm. A fogásmélységet elég 1 mm-re állítani, ugyanis elég egy fogásból is megcsinálni a megmunkálást. A rá/leállás típusa legyen

vízszintes a síkfelület miatt. Az "Összekötés" fül alatt a hosszú összekötés módja legyen optimalizált, a rövid összekötés módja pedig legyen egyenes 3 mm-es összekötési távval. A szerszámpálya a 32. ábrán látható.



32. ábra: Síkmarás szerszámpálya

3.2.10. Nagyoló marás művelet

A szerszám adatok megtalálhatók a 3.2.7. megmunkálásnál. Ebben az esetben nem nagyoló ciklust, hanem "Nagyoló marás művelet" -et választottam. Az alaksajátosság és határgörbe kiválasztás után a tűrést adtam meg, ami ebben az esetben 0,1 mm. A marás típusa továbbra is egyenirányú. Ráhagyás nem szükséges. Azt, hogy ennél a megmunkálásnál is ugyanazt a szerszámot használjuk, mint eddig, bepipáltam az "Aktuális szerszám alkalmazása" opciót. A megmunkálás síkja és a mélység 0 mm, a fogásmélység pedig 5 mm. A szerszámpálya a 33. ábrán látható.



33. ábra: Nagyoló marás művelet szerszámpálya

3.2.11. Ferde felület nagyolás

A két ferde felület nagyolásához is a szerszámtárban a 3. pozícióban elhelyezett Dormer-Pramet S7176.0 6 mm átmérőjű szármarót használtam fel, így a szerszám adatok megtalálhatók a 3.2.7. pontban lévő megmunkálásnál. Az felhasznált alaksajátosság itt is egy nem automatikusan generált, hanem általam létrehozott felület alaksajátosság. A szerszám mérete miatt a felületen lévő zsebet külön ciklusban munkáltam meg. A ferde geometria miatt itt hullámforma stratégiát alkalmaztam egyenirányú marás típussal. A tűrést elég 0,1 mm-re állítani a későbbi profilozás miatt. A sebességeket átállítottam. Az asszociatív 0 mélység és megmunkálás sík mellett 2 mm-es fogásmélységet állítottam. A helyes megmunkálás érdekében a szerszámvezérlést "Kívül" módra állítottam. Az összekötéseket a rövidebb megmunkálás idő miatt optimalizáltra állítottam. A 34. ábrán látható folyamat végére be kell rakni egy "Mozgás szerszámcsere pozícióba" ciklust.



34. ábra: Két ferde felület nagyolás

3.2.12. Belső zsebek profilozása

A belső zsebek oldalfalainak profilozásához a Dormer-Pramet S7173.0 3 mm átmérőjű szármarót választottam. A 35. ábrán található szerszám adatok betáplálása után a marót a szerszámtárban a 4. pozícióba helyeztem.



35. ábra: Dormer-Pramet S7173.0 szármaró technológiai adatok [26]

A "Profilozás" cikluson belül erre létrehozott felület alaksajátosság kiválasztása után a marás típusát választottam meg, ami egyenirányú ebben az esetben is. Mivel ez profilozó eljárás, így ráhagyást egyáltalán nem szabad beállítani. A tűrés legyen 0,01 mm. Az összetett fogások almenüben a simító fogások számát 1-re állítottam be. Szerszámkatalógusból kiolvasható, hogy a szerszámhoz ajánlott sebesség $125 \frac{m}{min}$, ami 3 mm-es átmérőnél $13270 \frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,013 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 173 $\frac{mm}{min}$. Azonban a szerszámgép csak 10000 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámra képes, így a valós előtolás 130 $\frac{mm}{min}$. [26] A megfelelő simításhoz beaktiváltam a "Síkfelületek észlelése" opciót, különben a megmunkálás nem végződik el a zseb aljánál. A megmunkálás síkja és a mélység asszociatív 0 mm. A fogásmélység mivel oldalfal profilozása, így elég 1 mm is. Az ideális megmunkáláshoz a "Vezérlés" fül alatt bekapcsoltam a régiónkénti marást, illetve a határgörbén kívüli szerszámvezérlést. A sarok stratégia almenüben a stratégiát élesre állítottam a megfelelő sarok megmunkálásért. A rá/leállás legyen függőlegesen. Az összekötések módja legyen optimalizált, 5 mm-es egyenesekkel. A szerszámpálya a 36. ábrán látható.



36. ábra: Belső zsebek profilozása

3.2.13. Külső felület profilozás

Ennél a megmunkálás a szerszámtár 4. pozíciójában lévő Dormer-Pramet S7173.0 3 mm átmérőjű szármarót használtam. A maró technológiai adatai megtalálhatók a 3.2.12. bekezdésben. A "Profilozás" cikluson belül a megmunkáláshoz a külső felület alaksajátosságot jelöltem ki. A marás típusa egyenirányú. a tűrés 0,01 mm. A megmunkálási sík és a mélység asszociatív 0 mm. A fogásmélység legyen 1 mm. A megfelelő megmunkálásért az útvonal legyen "Legközelebbi", a szerszámvezérlés pedig "Kívül". A süllyedési és kiemelési pont automatikus. A rá/leállás függőleges, az összekötések pedig optimalizáltak. A szerszámpálya a 37. ábrán látható.



37. ábra: Külső profilozás

3.2.14. Ferde felületen lévő zseb nagyolás

A maró technológiai adatai megtalálhatók a 3.2.12. bekezdésben. A "Nagyolás" ciklust megnyitva kiválasztottam a 2D nyitott zseb alaksajátosságot és megadtam a ferde felületet határgörbének. A megmunkálás legyen láncolt és egyenirányú 0,1 mm tűréssel. A sebesség adatok átírása után a "Mélység" fülön a fogásmélységet 3 mm-re állítottam, a többi asszociatív 0 mm. A marás történjen régiónként, külső szerszámvezérléssel. A megközelítése legyen automatikus, optimalizált összekötésekkel. A 38. ábrán látható megmunkálás után a szerszám visszatérhet szerszámcsere pozícióba.



38. ábra: Ferde felület zseb nagyolás

3.2.15. Vékony oldalfalú zseb nagyolás

Ehhez a megmunkáláshoz a 39. ábrán látható Dormer-Pramet S8232.0 2 mm átmérőjű szármarót választottam. Ezt a szerszámtárban az 5. pozícióba állítottam.



39. ábra: Dormer-Pramet S8232.0 szármaró technológiai adatai [26]

A "Nagyolás" ciklusban kiválasztottam a zseb alaksajátosságát. A marást egyenirányú körkörösre állítottam. Mivel nagyolás történik, így lehet hagyni egy 0,3 mm-es ráhagyást 0,1 mm-es tűréssel. Katalógus alapján az ajánlott sebesség 143 $\frac{m}{min}$, ami 2 mm-es átmérőnél 22771 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,009 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 205 $\frac{mm}{min}$. Azonban a szerszámgép csak 10000 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámra képes, így a valós előtolás 90 $\frac{mm}{min}$. [26] A mélység asszociatív 0 mm, a fogásmélység pedig 1 mm. A szerszámvezérlés történjen kívül "Legközelebbi" útvonal optimalizálással. A megközelítés legyen spirális és a szerszámpályák összekötése legyen optimalizált. A szerszámpálya a 40. ábrán látható.



40. ábra: Vékony oldalfalú zseb nagyolás

3.2.16. Vékony oldalfalú zseb profilozás

A profilozáshoz nem kell új szerszámot választani, így a szerszámadatok a 3.2.15. pontban láthatók. Ugyanazzal a zseb alaksajátossággal dolgozunk, mint az előző pontban. A

marás legyen egyenirányú, 0,01 mm-es tűrés mellett. A sebességek szintén megegyeznek. A profilozást is elég egy fogásból is a fogásmélység legyen 1 mm. A "Vezérlés" fül alatt válaszuk a "Legközelebbi" útvonalat és a "Kívül" szerszámvezérlést. A rá/leállásnál a függőlegest választottam, az összekötések pedig legyenek optimalizált módon 5 mm-es biztonsági távolsággal. A szerszámpálya a 41. ábrán látható.



41. ábra: Vékony oldalfalú zseb profilozás

3.2.17. "U" alakú felület profilozás

Ennél a megmunkálásnál is a 3.2.15. pontban bemutatott szerszámot használtam. A profilozás paraméterei megegyeznek az előző pontban lévőkkel, tehát egyirányú marás, 0,01 mm tűrés, 1 mm fogásmélység. A "Vezérlés" -ben van eltérés, itt a szerszámvezérlés történjen középponton. A rá/leállás szintén függőleges és az összekötések is optimalizáltan történjenek. A szerszámpálya a 42. ábrán látható.



42. ábra: "U" alakú felület profilozás

3.2.18. Háromszög alapú hasáb profilozás

A Dormer-Pramet S8232.0 2 mm átmérőjű szármaróval még egy megmunkálást vittem véghez. Az alaksajátosság kiválasztás után. Ezen profil kialakításának beállításaihoz az előző 3.2.15. pontban megállapított beállításokat használom a "Profilozás" ciklus alatt. A

megmunkálás után be beszúrtam egy szerszámcsere mozgást. A szerszámpálya a 43. ábrán látható.



43. ábra: Háromszög alapú hasáb profilozás

3.2.19. Félkör alapú csatorna profilozás

A profilozáshoz a 44. ábrán látható a Dormer-Pramet S5014.0 4 mm átmérőjű gömbvégű maróját választottam az elem alakja miatt. Ezt a szerszámot a 6. pozícióba helyeztem a szerszámtárban.



44. ábra: Dormer-Pramet S5014.0 gömbvégű maró technológiai adatai [26]

A "Profilozás" cikluson belül kiválasztottam a megmunkálandó alaksajátosságot. A marás típusa legyen egyenirányú, a tűrés pedig 0,01 mm. Katalógus alapján az ajánlott sebesség 179 $\frac{m}{min}$, ami 4 mm-es átmérőnél 14252 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,011 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 157 $\frac{mm}{min}$. Azonban a szerszámgép csak 10000 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámra képes, így a valós előtolás 110 $\frac{mm}{min}$. [26] Az "Előtolás módosítása köríveken" opció legyen bekapcsolva. A nem egyenes oldalfal miatt 0,05 mm fogásmélységet alkalmaztam a megfelelő felület eléréséért. A szerszámvezérlés történjen középponttal a legközelebbi útvonalon. A rá/leállás szintén függőleges és az összekötések is optimalizáltan történjenek. A 45. ábrán látható folyamat végén a szerszám álljon vissza szerszámcsere pozícióba.



45. ábra: Félkör alapú csatorna profilozás

3.2.20. Belső ferde felület profilozás

A profilozáshoz a 46. ábrán látható Dormer-Pramet S5113.0 3 mm átmérőjű gömbvégű maróját választottam. Ferde fal esetén célszerű gömbvégű marót használni, mert egyenletesebb felületet kapunk. Ezt a szerszámot a tárban a 7. pozícióba helyeztem.



46. ábra: Dormer-Pramet S5113.0 gömbvégű maró technológiai adatai [26]

Az alaksajátosság egy "Felület alaksajátosság". A megmunkálási paraméterek megegyeznek a 3.2.19. pontban lévő beállításokkal. Kivétel a sebesség értékek. Szerszámkatalógus szerint az ajánlott sebesség 179 $\frac{m}{min}$, ami 3 mm-es átmérőnél 19002 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,005 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 95 $\frac{mm}{min}$. Azonban a szerszámgép csak 10000 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámra képes, így a valós előtolás 50 $\frac{mm}{min}$. [26] A megmunkáláshoz használt szerszámpálya a 47. ábrán látható



47. ábra: Belső ferde felület profilozás

3.2.21. Két ferde felület profilozás

A következő folyamatnál is a Dormer-Pramet S5113.0 3 mm átmérőjű gömbvégű marót használom. A "Profilozás" ciklusban a két ferde felület alaksajátosságot választottam ki. A technológiai paraméterek és a sebességek megegyeznek a 3.2.20. pontban leírtakkal. Az alkalmazott szerszámpálya a 48. ábrán látható



48. ábra: Két ferde felület profilozás

3.2.22. Lépcső profilozás

A következő folyamatnál is a Dormer-Pramet S5113.0 3 mm átmérőjű gömbvégű marót használom. A "Profilozás" ciklusban a lépcsős kialakítású elem felület alaksajátosságát választottam ki. A technológiai paraméterek és a sebességek megegyeznek a 3.2.20. pontban leírtakkal. Ez alól kivétel a fogásmélység, ami legyen 0,5 mm, mivel a megfelelő megmunkálás érdekébe az alaksajátosság tartalmaz ferde felületet is. A 49. ábrán látható megmunkálás után a szerszám álljon vissza szerszámcsere pozícióba.



49. ábra: Lépcső profilozás

3.2.23. Furat elő fúrás

Az előfúrás és a furat letörés miatt az 50. ábrán látható Dormer-Pramet S7406.0 6 mm átmérőjű letörőmarót választottam. A szerszám a 8. pozícióban lesz a szerszámtárban.



50. ábra: Dormer-Pramet S7406.0 maró technológiai adatai [26]

A megmunkáláshoz nem ciklust, hanem "Furat művelet" -et választottam. A furatközéppontok kijelölés után adtam meg, hogy a 0 mm megmunkálási sík az alaksajátossághoz képest legyen asszociatív. A furat "Zsák" típusú. Az előtolás legyen "Fordulatonkénti". A központozás fül alatt a "Pontozás" stratégát választottam. A letörés felső átmérője 5,5 mm, így az átmérőnél ezt adtam meg. A sebesség 179 $\frac{m}{min}$, ami 6 mm-es átmérőnél 9501 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámot jelent, az előtolás pedig 0,049 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 466 $\frac{mm}{min}$. [26] Előkészítés, nagyolás és simítás nem szükséges. A művelet után manuálisan helyeztem el egy szerszámcsere pozícióba mozgás ciklust.

3.2.24. Fúrás

A furat kifúrásához az 51. ábrán látható Dormer-Pramet A0024.5 4,5 mm átmérőjű csigafúróját választottam. A szerszámtárban a 9. pozícióba állítottam.



51. ábra: Dormer-Pramet A0024.5 fúró technológiai adatai [27]

A "Fúrás" cikluson belül kiválasztottam a "Nem átmenő furat" alaksajátosságot. A menetfúró ciklus "Jobbos". A mélység típusa legyen "Pontig", a mélység pedig legyen -12,5 mm. A sebesség 51 $\frac{m}{min}$, ami 4,5 mm-es átmérőnél 3609 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámot jelent, az előtolás pedig 0,142 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 512 $\frac{mm}{min}$. [27] A vezérlés útvonala legyen legközelebbi, a kezdőpont pedig legyen aktuális pozíció. A szűrés fülön belül legyen a szerszám átmérővel opció bekapcsolva. Az 52. ábrán látható megmunkálás után egy "Hazaállás pozícióba" ciklust választottam.



52. ábra: Fúró művelet

3.2.25. Szimuláció

A megmunkálás kialakítása után el lehet végezni a szimulációt. A szimulátor ablakot megnyitva lehetőség van a szimuláció valós idejű vizuális lefuttatására vagy az azonnali eredmény mutatására. A "Megállás beállításai" módon belül ki lehet választani, hogy esetleges ütközés esetén a szimuláció leálljon. Külön lehet állítani a nézetet is, tehát lehetőség van arra, hogy az esetleges hibákat más színnel kimutassa nekünk a szoftver.



53. ábra: Szimulált megmunkálás elemzés

Az 53. ábrán látható felületen szimulátor alapból zöld színnel jelöli a sikeresen megmunkált felületeket és kékkel azokat, ahol maradt anyag az előgyártmányból az alkatrész modellhez képest. Jelent esetben a zsebek sarkain a szerszám geometria miatt maradt le nem munkált anyag.

A megfelelő szimuláció után a szimulátoron belül mentettem el a megmunkálást ".stl" kiterjesztésű fájlként, hogy az alkatrész alsó oldalán történő megmunkáláshoz feltudjam használni előgyártmányként.

3.3. Megmunkálás az alsó oldalon

3.3.1. Előgyártmány illesztés az alsó oldalon

Előgyártmányként az eddig megmunkált alkatrészt használtam fel. A "Beállítás" fülön az "Előgyártmány beszúrása" funkcióval szúrtam be az 54. ábrán látható előgyártmányt.



54. ábra: Előgyártmány beszúrás

3.3.2. Az munkadarab felfogatása az alsó oldali megmunkáláshoz

A 3.3. pontban felhasznált Gerardi Standard Vice gépsatut választottam az alkatrész befogására. A befogási magasságnak 43,5 mm-t választottam.



55. ábra: Alkatrész befogás Gerardi Vice satuba

3.3.3. Program készítés a felső oldali megmunkáláshoz

A 3.4. pontban leírtak alapján a megmunkáláshoz ugyanazt a "Simple Mill Vertical" CNC-t választottam ki.

3.3.4. Alaksajátosságok meghatározása az alsó oldalon

A 3.2.4. pontban leírt módszerekkel választottam ki az alaksajátosságokat. Az "Alaksajátosság keresés" menüpontban a kereséshez kiválasztottam a nem átmenő furat, az átmenő furat, 2D zseb, 2D sziget és furat keresést. A keresés után a program talált egy nem átmenő furatot, egy átmenő furatot, kettő darab 2D zsebet, három darab 2D szigetet és kettő furat fedőt. Ezenkívül a különböző profilozó megmunkálások miatt még további nyolc darab felület alaksajátosság kijelölésére van szükség.

3.3.5. Alsó oldal síkmarás

Az alsó oldal sík marásához a 3.2.5. pontban használt Dormer-Pramet 50A05R-S45OD05-C típusú 50 mm átmérőjű 5 lapkás univerzális síkmarót választottam. Maró technológiai adatai abban a pontban találhatók meg. A síkmaráson belül kiválasztottam az előgyártmány megmunkálni kívánt kontúrját. A megmunkálási paraméterek megegyeznek a 3.2.5. pontban találhatókkal. Eltérés annyi, hogy a gyorsjárati sík 15mm, a megmunkálás síkja 10 mm, a mélység 10 mm és a szerszám lapkák miatt a fogásmélység 3 mm. A szerszámpálya az 56. ábrán látható.



56. ábra: Síkmarás

3.3.6. Zsebek nagyolása

A nagyoláshoz az 57. ábrán látható Dormer-Pramet S7175.0 5 mm átmérőjű szármarót választottam. A szerszámtárban az 10. pozícióban helyeztem el.



57. ábra: Dormer-Pramet S7175.0 maró technológiai adatai [26]

A szerszám választást követően a "Nagyolás" ciklust választottam. A marás iránya legyen körkörös és egyenirányú a szerszám kímélés érdekében. A ráhagyás 0,3 mm, a tűrés 0,1 mm. Szerszámkatalógus alapján az ajánlott sebesség 125 $\frac{m}{min}$, ami az 5 mm átmérővel 7962 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,03 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 239 $\frac{mm}{min}$. [26] A megmunkálás síkja és a mélység asszociatív 0 mm. A fogásmélység legyen 3 mm. Az útvonal legyen "Legközelebbi", a szerszámvezérlés pedig "Kívül". A megmunkálás optimalizálásáért a "Marás régiónként" funkciót bekapcsoltam. A megközelítés legyen automatikus, az összekötések pedig optimalizáltak. Az 58. ábrán látható megmunkálás után mehet a szárszám vissza szerszámcsere állásba.



58. ábra: Zsebek nagyolása

3.3.7. Zsebek profilozása

A megmunkáláshoz az 59. ábrán látható Dormer-Pramet S7173.0 3 mm átmérőjű szármarót választottam. A maró a szerszámtárban az előzőekben már a 4. pozíciót megkapta.



59. ábra: Dormer-Pramet S7173.0 maró technológiai adatai [26]

A "Profilozás" cikluson belül kiválasztottam a megmunkálandó alaksajátosságot. A marás típusa legyen egyenirányú, a tűrés pedig 0,01 mm. A szerszám katalógusának alapján az ajánlott sebesség 125 $\frac{m}{min}$, ami 3 mm-es átmérőnél 13270 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,013 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 173 $\frac{mm}{min}$. Azonban a szerszámgép csak 10000 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámra képes, így a valós előtolás 130 $\frac{mm}{min}$. [26] Az "Előtolás módosítása köríveken" opció legyen bekapcsolva. A mélység és megmunkálás síkja szintén asszociatív 0 mm legyen, a fogásmélység pedig 1 mm. A szerszámvezérlés történjen középponttal a legközelebbi útvonalon. A rá/leállás függőlegesen és az összekötések is optimalizáltan történjenek. A szerszámpálya a 60. ábrán látható.



60. ábra: Zsebek profilozása

3.3.8. Bal oldali nyitott zseb nagyolás

A megmunkáláshoz nem kell új szerszám, így a szármaró adatai a 3.3.7. pontban megtekinthetők. A megmunkáláshoz felület alaksajátosságot hoztam létre. A stratégia legyen körkörös egyenirányú marás típussal. A ráhagyás legyen 0,3 mm, a tűrés pedig 0,1 mm. A megmunkálás síkja és mélység legyen asszociatív 0 mm, 3 mm-es fogásmélységgel. Az útvonal legyen "Legközelebbi", a szerszámvezérlés pedig "Kívül". A megközelítés legyen automatikus és a szerszámpálya összekötések legyenek optimalizáltak. A szerszámpálya a 61. ábrán látható.



61. ábra: Bal oldali nyitott zseb nagyolás

3.3.9. Jobb oldali nyitott zseb nagyolás

Ez a szerszám és a megmunkálás teljesen mértékben megegyezik a 3.3.8. pontban lévővel, így a megmunkálás beállításai ott tekinthetők meg. Egyedül az alaksajátosság választás tér el. A szerszámpálya a 62. ábrán látható.



62. ábra: Jobb oldali nyitott zseb nagyolás

3.3.10. Ferde felületen lévő sziget profilozása.

Ugyanazzal a szerszámmal munkáltam meg ezt is, így a Dormer-Pramet S7173.0 3 mm átmérőjű szármaró adatai a 3.3.7. pont megtekinthetők. Ebben az esetben a felület alaksajátoság mellett kiválasztottam a furat fedő alaksajátosságot is. A mélység és megmunkálás síkja szintén asszociatív 0 mm legyen, a fogásmélység pedig 1 mm. A szerszámvezérlés történjen középponttal a legközelebbi útvonalon. A rá/leállás függőlegesen és az összekötések is optimalizáltan történjenek. A 63. ábrán látható megmunkálás után szerszámcsere következik.



63. ábra: Ferde felületen lévő sziget profilozása

3.3.11. Ferde felület és sziget fal profilozása

A profilozáshoz a 64. ábrán látható Dormer-Pramet S5013.0 3 mm átmérőjű gömbmaróját választottam. A szerszám a 11. pozícióba került elhelyezésre.



64. ábra: Dormer-Pramet S5013.0 maró technológiai adatai [26]

A "Profilozás" cikluson belül kiválasztottam a megmunkálandó "Felület alaksajátosság" -ot. A marás típusa legyen egyenirányú, a tűrés pedig 0,01 mm. Katalógus alapján az ajánlott sebesség 179 $\frac{m}{min}$, ami 3 mm-es átmérőnél 19002 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,006 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 114 $\frac{mm}{min}$. Azonban a szerszámgép csak 10000 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámra képes, így a valós előtolás 60 $\frac{mm}{min}$. [26] A nem egyenes oldalfal miatt 0,1 mm fogásmélységet alkalmaztam a megfelelő felület eléréséért. A szerszámvezérlés történjen kívül, a legközelebbi útvonalon. A rá/leállás szintén függőleges és az összekötések is optimalizáltan történjenek. A szerszámpálya a 65. ábrán látható.



65. ábra: Ferde felület és sziget fal profilozása

3.3.12. Bal oldali nyitott zseb profilozás

A szerszám megegyezik a 3.3.11. pontban használttal. A felület alaksajátosság és furat fedő alaksajátosság után válasszuk az egyenirányú marást, 0,01 mm tűréssel. Az összetett fogásokon belül állítsunk egy simító fogást. A megmunkálás síkja és a mélység jelen esetben is legyen asszociatív 0 mm. A szerszámvezérlés történjen középponttal, a legközelebbi útvonalon.

A rá/leállás szintén függőleges és az összekötések is optimalizáltan történjenek. A szerszámpálya a 66. ábrán látható.



66. ábra: Bal oldali nyitott zseb profilozás

3.3.13. Jobb oldali nyitott zseb profilozás

A megmunkálás és szerszám teljesen mértékbe megegyezik a 3.3.12. pontban kifejtettekkel, így azokat a technológiai adatokat használtam. Természetesen a másik felület alaksajátosságot használtam. A 67. ábrán látható marás után a szerszám mehet csere pozícióba.



67. ábra: Jobb oldali nyitott zseb profilozás

3.3.14. Bal oldali ferde felület profilozása

A választott szerszám a 68. ábrán látható Dormer-Pramet S5011.0 1 mm átmérőjű gömbmaró. A szerszámtárban az 12. pozícióba került.



68. ábra: Dormer-Pramet S5011.0 maró technológiai adatai [26]

A marás legyen egyenirányú, 0,01 mm tűréssel. Katalógus alapján az ajánlott sebesség 179 $\frac{m}{min}$, ami 1 mm-es átmérőnél 57006 $\frac{rev}{min}$, az előtolás pedig 0,002 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 114 $\frac{mm}{min}$. Azonban a szerszámgép csak 10000 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámra képes, így a valós előtolás 20 $\frac{mm}{min}$. [26] Az összetett fogásokon belül állítsunk egy simító fogást. A megmunkálás síkja és a mélység jelen esetben is legyen asszociatív 0 mm. A szerszámvezérlés történjen középponttal, a legközelebbi útvonalon. A rá/leállás szintén függőleges és az összekötések is optimalizáltan történjenek. A szerszámpálya a 69. ábrán látható.



69. ábra: Bal oldali ferde felület profilozása

3.3.15. Jobb oldali ferde felület profilozása

A megmunkálás és szerszám teljesen mértékbe megegyezik a 3.3.14. pontban kifejtettekkel, így azokat a technológiai adatokat használtam. Természetesen a másik felület alaksajátosságot használtam. A 70. ábrán látható marás után a szerszám mehet csere pozícióba.



70. ábra: Jobb oldali ferde felület profilozása

3.3.16. Furatoszlop közötti nagyolás.

A szerszám teljesen mértékben megegyezik a 3.3.14. pontban kifejtettekkel, így azokat a technológiai adatokat használtam. A marás egyenirányú, körkörös. A megmunkálás síkja -7,5 mm, a mélység -15 mm. A fogásmélység 1 mm. A vezérlés legközelebbi, középpontos szerszámvezérléssel. A megközelítés automatikus. A 71. ábrán látható marás után a szerszám mehet csere pozícióba.



71. ábra: Furatoszlop közötti nagyolás.

3.3.17. Átmenő furat

A furat művelethez a 72. ábrán látható Dormer-Pramet S74016.0 16 mm átmérőjű letörőmarót és a 73. ábrán látható Dormer-Pramet A0027.0 7 mm átmérőjű fúrót választottam. A szerszámtárban a 13. és a 14. pozícióban kaptak helyet.



72. ábra: Dormer-Pramet S74016.0 maró technológiai adatai [26]



73. ábra: Dormer-Pramet A0027.0 fúró technológiai adatai [27]

A gyorsjárati sík legyen 10 mm, a végződés pedig átmenő. A letörési stratégia legyen pontozás 10,5 átmérőig. A sebesség 179 $\frac{m}{min}$, ami 16 mm-es átmérőnél 3563 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámot jelent, az előtolás pedig 0,049 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 356 $\frac{mm}{min}$. [26] Előkészítés nincs. A nagyolás részen adtam meg a fúró adatait. Katalógus alapján a sebesség 51 $\frac{m}{min}$, ami 7 mm-es átmérőnél 2320 $\frac{rev}{min}$ fordulatszámot jelent, az előtolás pedig 0,197 $\frac{mm}{rev}$, ami fordulatszám tudatában 457 $\frac{mm}{min}$. [27] A mélység legyen 3 mm, hogy biztos átérjen a fúró. A 74. ábrán látható megmunkálás után szerszámcserét állítottam be.



74. ábra: Átmenő furat művelet

3.3.18. Zsákfurat művelet

A furat művelethez a 77. ábrám látható Dormer-Pramet S7406.0 6 mm átmérőjű letörőmarót és a Dormer-Pramet A0024.5 4,5 mm átmérőjű fúrót választottam. A fúró technológiai adatai a 3.2.24. pontban találhatók. A szerszámtárban a 8. és a 9. pozícióban kaptak helyet.



75. ábra: Dormer-Pramet S7406.0 maró technológiai adatai [26]

Előkészítés nincs. A mélység legyen 1,352 mm. A 76. ábrán látható fúrás után a "Hazaállás pozícióba" ciklust használtam.



76. ábra: Zsákfurat művelet

3.3.19. Szimuláció

A 77. ábrán látható szimuláció lefuttatása után látható, hogy a sikeresen megmunkált felületek zöld színnel vannak jelölve. Van sárga színű felület is, de azt figyelmen kívül lehet hagyni, mert felső oldal megmunkálása során már profilozva lett.



77. ábra: Szimulált megmunkálás

4. Összefoglalás

Szakdolgozatom témája egy motorvezérlő ház megmunkálás tervezése CAM szoftverrel. A szakdolgozat témájának és célkitűzésének ismertetése után a témával kapcsolatos szakirodalmat mutattam be. Ez a rész tartalmazta a CAM szoftverek történetét és bemutatását, a CNC gépek felépítését és működését, illetve a forgácsoló szerszámok bemutatását. Ezt követően az alkatrész megmunkálásának megtervezése következett.

Elsőként az alkatrész CAD modelljét mutattam be. Ezután az alkatrész felső oldalának megmunkálása következett, amelyben bemutattam, hogy hogyan kell az alkatrészre előgyártmányt ráhelyezni, befogó készüléket és szerszámgépet kiválasztani hozzá. A program készítés után az alkatrészen található alaksajátosságok meghatározása következett. Ezt követően az alkatrész megmunkálását mutattam be, aminek keretein belül a különböző felületeken elvégzett maró ciklusokhoz, -úgy, mint a síkmarás, nagyolás, profilozás és fúrás-, használt szerszám kiválasztást és a megmunkálás technológiai paramétereinek beállítását végeztem el. A dolgozatomban mindegyik megmunkálási művelet után elhelyeztem képeket a forgácsolás szerszámpályáról. Néhány ponton megegyező technológiai adatok voltak, így ezeknél hivatkoztam a kapcsolatos megmunkálásra.

A felső oldal megmunkálása és a szimulátorban való ellenőrzés után az alkatrész megfordítása következett. Megfordításnál az előző megmunkáláskor keletkezett munkadarabot kellett beállítani előgyártmányként. A befogó satunak és a szerszámgépnek ugyan azt használtam, mint a felső oldalnál. A megmunkálás ezen az oldalon is síkmarás-, nagyolás-, profilozás- és fúrás ciklusokból állt. A megmunkálás lépéseinek meghatározása után ezen az oldalon is elvégeztem a forgácsolás ellenőrzését.

5. Summary

The topic of my thesis is the design of machining for a motor control housing using CAM software. Following the introduction of the thesis topic and objectives, I presented relevant literature on the subject, including the history and overview of CAM software, the construction and operation of CNC machines, and an introduction to machining tools. Subsequently, the planning of the component machining took place.

First, I presented the CAD model of the component. Next, the machining of the upper side of the component was discussed, demonstrating the process of placing a preform on the component, selecting a clamping vice and a machine tool for it. After creating the sequence, the determination of the geometric features on the component followed. Subsequently, I presented the machining of the component, within which I selected tools and set the technological parameters for various milling cycles on different surfaces, such as face milling, roughing, profiling, and drilling. For each machining operation, I included images of the toolpath during machining. Some technological data were identical at certain points, and in these cases, I referred to the relevant machining.

After machining the upper side and verifying it in the simulator, the next step was to flip the component. The workpiece generated in the previous machining operation had to be set as the preform. I used the same clamping vice and machine tool as in the upper side machining. The machining on this side also included face milling, roughing, profiling, and drilling cycles. After determining the machining steps, I conducted a machining verification on this side as well.

6. Nyilatkozat

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

À hallgató neve:	Pápai Gergő		
A Hallgató Neptun kódja:	IVMYEF		
A dolgozat címe:	Motorvezerlo haz megnununias	tervezése	CAM seaffiremel
A megjelenés éve:	2023		
A tanszék neve:	Aryagtudoningi és Cépipini féljanatok		

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

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant 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 mindenkori szellemitulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrárés Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023 év \mathcal{U} hó O3 nap

Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A $\frac{P_{apai}}{P_{apai}}$ $\frac{P_{apai}}{P_{apai}}$ $\frac{P_{apai}}{P_{apai}}$ $\frac{P_{apai}}{P_{apai}}$ $\frac{P_{apai}}{P_{apai}}$ konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: <u>2023</u> év <u>10</u> hó <u>31</u> nap

Belső konzulens



Szent István Campus, Gödöllő Cím: 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1. Tel.: +36-28/522-000 Honlap: https://godollo.uni-mate.hu

NYILATKOZAT

Alulírott <u>Pápai Gergo</u>, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, <u>Szent István</u> Campus, <u>Gépészmérvlök</u> szak <u>nappali</u>/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen <u>nem*</u>

Kelt: 2023 év <u>10</u> hó <u>31</u>

Hallgató

nap

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 10 hó 31 nap

Belső konzulens

7. Irodalomjegyzék

[1] Edgecam hivatalos oldala: Autó- és Járműipar, https://hu.edgecam.com/iparagak_jarmu

[2] Mátyási Gyula, Sági György: Számítógéppel támogatott technológiák – CNC, CAD/CAM, Műszaki Könyvkiadó Kft, Budapest, 2009., 13.-19., 286.-287., 306.-315. o.

[3] Dr. Pálinkás Sándor, Balogh Gábor, Gyönyörű Attila: Számítógéppel segített gyártás (CAM), Debreceni Műszaki kar, Debrecen, 2015., 20., 36.-38. o.

[4] CNCMedia Kft. hivatalos oldala: A CAM története – I. rész, <u>https://www.cnc.hu/2012/01/cam-tortenete-i-resz/</u>

[5] CNCMedia Kft. hivatalos oldala: A CAM története – II. rész, <u>https://www.cnc.hu/2012/01/a-cam-tortenete-2-resz/</u>

[6] CNCMedia Kft. hivatalos oldala: A CAM története – III. rész, <u>https://www.cnc.hu/2012/03/a-cam-tortenete-%e2%80%93-3-resz/</u>

[7] CNCMedia Kft. hivatalos oldala: 30 éves az Edgecam, <u>https://www.cnc.hu/2013/05/30-eves-az-edgecam/</u>

[8] Edgecam hivatalos oldala: EDGECAM Alkatrészmarás, https://hu.edgecam.com/alkatreszmaras

[9] A Hexagon hivatalos oldala: NCSIMUL Machine, https://hexagon.com/products/ncsimul-machine

[10] Dr. Fledrich Gellért, Dr. Kári-Horváth Attila, Dr. Kakuk gyula, Dr. Zsidai László:Gépgyártástechnológia, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 2016., 19.-20. o.

[11] Jaczkim László: CNC gépkezelők zsebkönyve, 2018., 11., 17. o.

[12] CNC programozás jegyzet, Budapesti Műszaki Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszék, 2004.,1.o.

[13] Dr. Stampfer Mihály: Forgácsolás, Pollack Kiadó, Pécs, 2012., 76.o.

[14] DDPROTOTYPE hivatalos oldala: Tervezés CNC megmunkáláshoz, https://www.ddprototype.com/hu/tervez%C3%A9s-cnc-megmunk%C3%A11%C3%A1shoz/

[15] Sandvik Coromant hivatalos oldala: Egyenirányú és ellenirányú marás összehasonlítása, https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/milling/down-milling-vs-up-milling

[16] FacFox hivatalos oldala: Útmutató a gyors prototípuskészítéshez termékfejlesztéshez, http://hu.insta3dp.com/info/guide-to-rapid-prototyping-for-product-develop-72003240.html [17] Instant3D hivatalos oldala: Prototípus gyártás, https://instant3d.hu/blog/prototipus-gyartas/

[18] DDPROTOTYPE hivatalos oldala: Prototípus gyártás,

https://www.ddprototype.com/hu/protot%C3%ADpus-gy%C3%A1rt%C3%A1s-2/

[19] Wikipédia: Bézier-görbe, https://hu.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9zier-g%C3%B6rbe

[20] Edgecam hivatalos oldala: EDGECAM 2014 R1 – Még gyorsabb Workflow, https://hu.edgecam.com/news/articles/edgecam2014r1

[21] Optimum hivatalos oldala: Optimum F150 CNC megmunkáló központ, https://www.optimum-hungaria.hu/termekek/marogepek/cnc-marogepek/vertikalis-cncmarogepek/optimum-f150-cnc-megmunkalo-kozpont.html#

[22] CNCMedia Kft. hivatalos oldala: Sinumerik 808D belépő kategóriás CNC vezérlő, https://www.cnc.hu/2013/01/sinumerik-808d-belepo-kategorias-cnc-vezerlo/

[23] CNCMedia Kft. hivatalos oldala: A főorsók nyomában III. – Konstrukció, https://www.cnc.hu/2014/11/a-foorsok-nyomaban-iii-konstrukcio/

[24] Perfortek: Szerszámok CNC forgácsoláshoz,

http://www.perfor.hu/custom/perfor/image/data/pdf/CNC2015web.pdf

[25] Molnár László: CAD alapjai, Edutus Főiskola, 2011 18.-19. o.

[26] Dormer-Pramet: Marás 2021-2022 szerszámkatalógus, <u>https://5wyuco84ao39w9tsgkkmnmx.blob.core.windows.net/cms/DORMER-PRAMET-Milling-Catalogue-2021-HU.pdf</u>

[27] Dormer-Pramet: Fúrás 2021-2022 szerszámkatalógus, https://5wyuco84ao39w9tsgkkmnmx.blob.core.windows.net/cms/DORMER-PRAMET-Holemaking-Catalogue-2021-HU.pdf

[28] http://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1252