



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Szivárgás teszt adapter megmunkálásához szükséges anyagleválasztási stratégiák kidolgozása és összehasonlítása Hypermill CAM programmal és egyéb programmal.

OE-BGK
2022.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Aranyos Gábor
T008430/FI12904/B



ÓBUDAI EGYETEM
OBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészeti és Technológiai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Aranyos Gábor

Szaktervezési szám: SZD22052513064570

Törzskönyvi szám: T008430/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Szivárgástereszt adapter megmunkálásához szükséges anyagleválasztási stratégiák kidolgozása és összehasonlítása Hypermill CAM programmal és egyéb programozási módokkal

A dolgozat címe angolul: Setting out and comparing material removal strategies for machining a leak test adapter using Hypermill CAM and other programming methods

A feladat részletezése:

1. Készítse el az alkatrész 3D-s testmodelljét az ön által ismert CAD rendszerben, majd mutassa be az alkatrész felületeit, felhasználás és funkció szerint!
2. Tervezze meg az alkatrész gyártás technológiáját, nagysebességű marógépre és készítse el a szükséges dokumentációkat!
3. Írjon vagy generáljon CNC megmunkáló programot 3 tengelyes CNC marógépre az Ön által preferált programozási nyelvre Hypermill CAM program segítségével!
4. Végezzen összehasonlító elemzést a költségek tekintetében a HSC technológia és normál CNC marás esetére!

Intézményi konzulens neve: Burai István György

Külső konzulens neve: Kovács Zoltán

Munkahelye: Continental Automotive Hungary Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 12. 14.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Aranyos Gábor [REDACTED] hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022.12.14

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
1. Az alkatrész 3D modellje és műszaki rajza	4
1.1 Az alkatrész felhasználása és funkciója	6
1.2 Az alkatrész felületei.....	6
1.3 Előgyártmány választás.....	7
2. Az alkatrész gyártástechnológiája nagysebességű marógépre.....	10
2.1 Szerszámterv	13
2.1.1 Szerszámválasztás.....	17
2.2 Forgácsolási számítások.....	20
3. CNC program készítése	23
3.1 Kézi programozás FANUC nyelven	23
3.2 Kézi programozás Heidenhain nyelven	26
Program és szimuláció készítése hyperMill CAM szoftverrel, előnyök a többi programozási rendszerrel szemben.....	28
3.3 Program és szimuláció készítése EdgeCAM szoftverrel	33
4. Összehasonlító elemzés készítése HSC technológia és normál CNC marás esetén a költségek tekintetében.....	38
4.1 Programozási idő elemzése, optimalizálása egyedi gyártások esetén.....	40
5. Összefoglalás	43
6. Summary.....	44
Ábrajegyzék	45
Felhasznált irodalom.....	47
Mellékletek	50

Bevezetés

A szakdolgozatom fő célja egy szivárgásteszt adapter megmunkálási terveinek az elkészítése.

A Continental Automotiv Hungary Kft. autóiprai cégnél merült fel a probléma, hogy az alkatrésznek több változata létezik, amik hasonlóak és a gépműhely kapacitásának növelése érdekében a programozási idő csökkentését szeretnénk elérni.

A választásom azért esett, erre a témára, mert ez egy közelálló téma a választott szakirányomhoz, amivel a jövőben is foglalkozni szeretnék. Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karon elsajátított szakmai tudásommal véleményem szerint egy valós megoldást tudok kínálni a problémára, amely a cég számára kivitelezhető a jövőben.

A forráskutatás során többféle szakirodalmat tanulmányozva és felhasználva oldottam meg a problémát. Fontos szempont volt a friss forrás, ezért belföldi és külföldi internetes cikkekből és folyóiratokból dolgoztam, de nem mellőzhettem ezek mellett a hagyományos nyomtatott szakirodalmak sem.

A választott témát négy fő fejezetben dolgozom fel.

Az első fejezetben elkészítem a munkadarab 3D modelljét és műhelyrajzát SolidEdge CAD szoftverben, majd ismertetem az alkatrészt felhasználása és funkciója szerint, majd a megmunkálendő felületeket mutatom be.

A második fejezetben gyártástechnológiát készítek nagysebességű marógépre. Ebben szerepelni fog a szerszámterv, szükséges számítások a munkadarab elkészítéséhez és a költségek meghatározása.

A harmadik fejezet a CNC programkészítés többféle programozási móddal. A programot FANUC és Heidenhein programnyelven kézzel készítettem el, majd CAM szoftver felhasználásával SolidEdge és Hypermill rendszerben, amiből Hypermill szoftver előnyeit emelem ki a többivel szemben.

A negyedik fejezetben összegzem az elvégzett munkát, összehasonlítom a HSC technológiát hagyományos marási technológiával. Elemzem a programozási időket és meghatározom a legoptimálisabbat kihasználtság és költségek szempontjából.

Cégismertető:

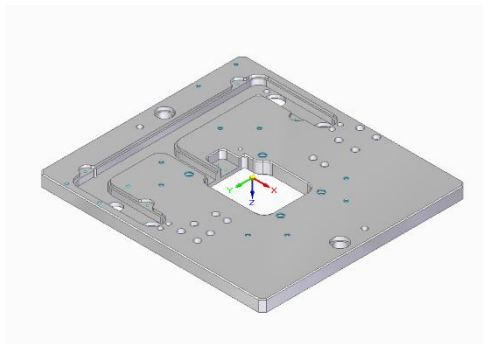
A Continental Automotiv Hungary Kft.-t 1871-ben gumigyártó cékként alapították, ma már egy vezető német autóipari vállalat, amely autógumik, fékrendszerek, tachográfok, erőátviteli és alvázalkatrészek, valamint autóbiztonsági berendezések gyártására specializálódott.

Én ennek a vállalatnak a budapesti telephelyén dolgozom, mint karbantartó mérnök gyakornok. A budapesti gyár az autóelektronikai termékek gyártásával foglalkozik. Elektromos vezérlőegységeket, meghajtó rendszereket, kijelzőket, készítenek. A gyártáshoz elengedhetetlen a cég fejlesztése, így a berendezéseket folyamatosan az ipar 4.0-át megtestesítő rendszerekre cseréljük.

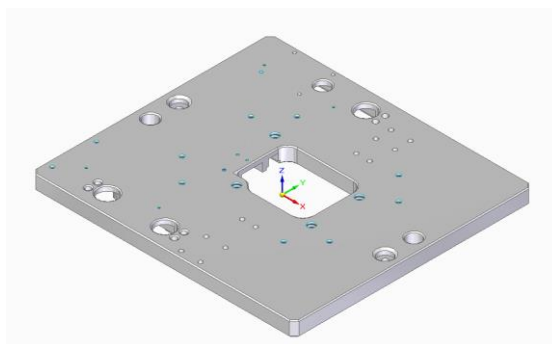
A mi területünkön a fékrendszerekbe beszerelhető elektronikai vezérlőegységek gyártása a fő termék. Ez a termék az ABS rendszerébe kerül beépítésre, amely SMT technológiát felhasználva készül. Az SMT technológia olyan felületszerelési módszer, amely láb nélküli alkatrészeket forraszt a nyomott huzalozású lemezre. Ezek a nyáklapok csomagolás után teszteken mennek át, mint például szivárgásteszt, amihez a szakdolgozatomban szereplő alkatrész legyártása szükséges. Cégünk saját gépműhellyel rendelkezik, amely kettő CNC marógéppel és egy CNC esztergagéppel van felszerelve a hagyományos gépeken kívül. Ennek a gépműhelynek a kapacitásán szeretnék javítani a szakdolgozatom segítségével, az adott alkatrész programozási idejének csökkentésével és az egyedi gyártások optimalizálásával.

1. Az alkatrész 3D modellje és műszaki rajza

Az alkatrész modelljét, a Solid Edge 2022-es diákverziójának segítségével készítettem el, amely lehetővé teszi az adapterlapok gyors és egyszerű elkészítését szinkronmodellezés módban.



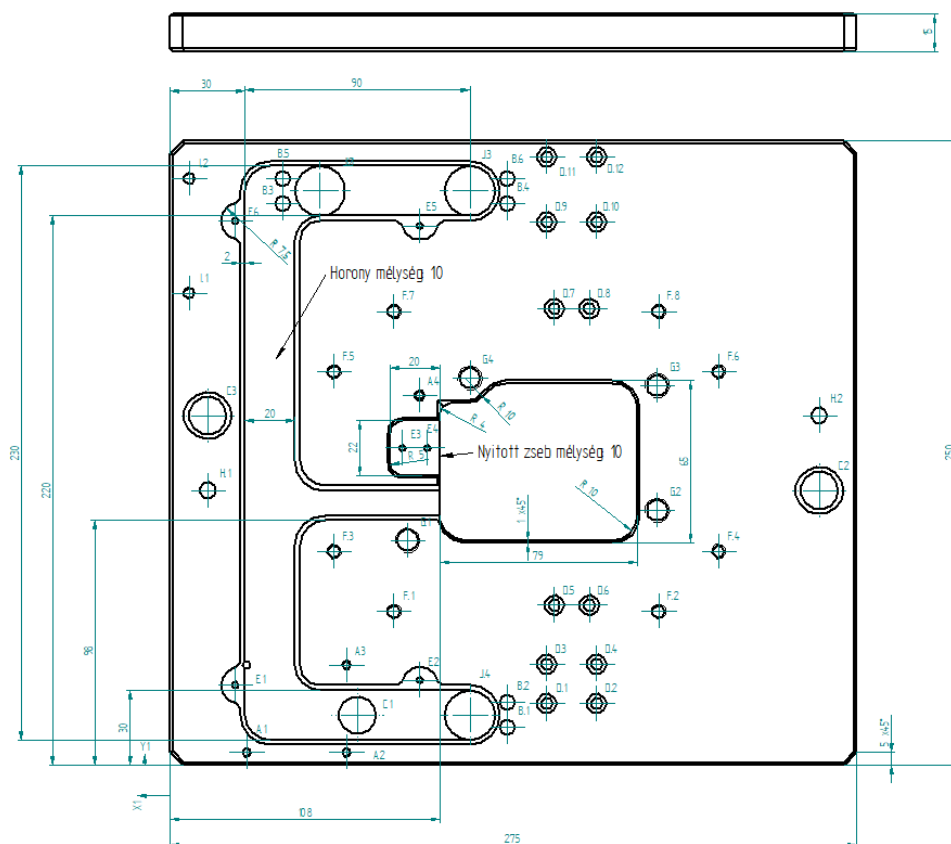
1.ábra: Adapterlap 3D modell [Saját kép]



2.ábra: Adapterlap 3D modell [Saját kép]

A modellt a cég által készített műszaki rajz alapján alkotottam meg, majd utána a modelltől én is készítettem újabb 2D-s műszaki rajzot, amely által az alkatrész programozása egyszerűbb és gyorsabb. A modell létrehozásához először egy téglalap alakú test kihúzását készítettem el. Ezt a lépést követően készíték egy vázlatot a munkadarab felső síkjára, ahol megrajzolom a zseb és a horony határait. Egy negatív kihúzás paranccsal elkészítem a hornyot és a zsebet. Szintén erre a síkra berajzolom a furatok középpontját vázlat nézetben X és Y koordináta alapján, amely a cég által készített műhelyrajzon szerepel. A furatparancs opcióval egyből kész furattípusokat tudok készíteni, megadható benne a sülyesztés mélység, átmérője és szöge, valamint a menet méretei. Ezzel a paranccsal egy kattintással elkészíthető a kívánt furat, ha a furat tulajdonságait helyesen megadtuk. Ha elkészült a munkadarabunk el kell menteni, itt szükséges szem előtt tartani az adott alkatrészt, milyen fájlkiterjesztésben mentjük el,

hiszen kompatibilisnek kell lenni a CAM szoftverrel. Én az stl fájlkiterjesztést választottam, mert ezt a kiterjesztést mindkettő CAM szoftver felismeri és gond nélkül kezeli. A műhelyrajzon a furatok pozíciójára és méretére furattáblázatot használok, amely az általam meghatározott munkadarab nullponthoz képest jelöli a furatok X és Y koordinátáit, valamint a furat átmérőjét és a süllyesztés, vagy letörés méretét. A furattáblázat segítségével könnyen átlátható a rajz, nem veszünk el a méretvonalak sokaságában, akkor sem, ha az alkatrészen sok furat szerepel, mint esetünkben. Ennek a kézi programozásnál van nagy szerepe, hogy a technológus, vagy mérnök könnyen átlátható rajzot kapjon és kicsi hibaszázalékkal tudja megírni a programkódot. A furatok betűkkel vannak jelölve. Az azonos méretű furatokat a program automatikusan csoportosítja, ezzel is könnyítve a programozást és minimálisra csökkenthető a szerszámcseré menynyisége. Az alkatrész teljes műhelyrajza a [1] számú mellékletben található.



3.ábra: Adapterlap 2D műszaki rajz [Saját kép]

1.1 Az alkatrész felhasználása és funkciója

Az alkatrész egy szivárgástereszt gépbe kerül beépítésre, ahol a csatlakozások közötti átmenetet, megvezetést és az alkatrész pozicionálását fogja biztosítani. Ez a berendezés egy félautomata gép, ahol emberi munka szükséges. Erre az adapterlapra felszerelt ütközőkre és pozicionálókra helyezett ABS fékrendszer szivárgás tesztelését fogjuk elvégezni. A munkavállaló ráhelyezi az alkatrészt a pozicionálókra, majd behelyezi a gumitömítést. Kézi erővel rácsukja ennek az adapterlapnak az ellendarabját az alkatrészre és ezzel légmentesen zárja. Ezután elindul a tesztelés, amely különböző mennyiségű és erősségű levegőt fúj be, majd szív ki az alkatrészből. Ezzel megállapítja, hogy mennyi levegő szivárog ki, belőle. Az érték a vezérlőről leolvasható. Ha a vezérlőben megadott határértékek között van az érték, az alkatrész megfelelt, és tovább mehet a soron csomagolásra, ha nem az alkatrész selejtezésre kerül.

1.2 Az alkatrész felületei

Az alkatrészen különböző furatok, hornyok és zsebek szerepelnek, ezeknek a szerepét szeretném bemutatni, hogy megismerjük a szerepeiket a gép működése közben.

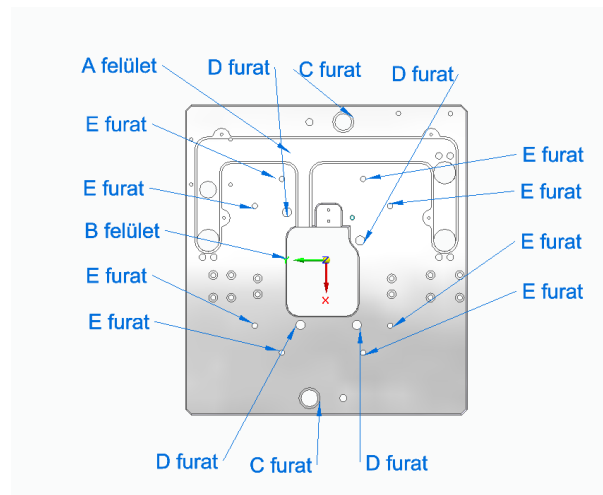
Az „A” horony a pneumatikus csövek elvezetésére szolgál, melyen keresztül a levegő eljut a munkadarabhoz, ahol a szivárgást vizsgáljuk.

A „B” felület az alkatrész fedelének pozicionálására szolgál, ez miatt a munkadarabot csak egyféleképpen lehet betenni a gépbe, így kizárva az emberi hiba lehetőségét. Cégünknel minden munkát úgy kell tervezni, hogy megfeleljen a Poka-Yoke módszernek. A Poka-Yoke módszer egy ellenőrző mechanizmus, amely nehezíti, vagy teljesen lehetetlenné teszi a munkavállaló hibázását. Elveit Shingo Shigeo fektette le az 1960-as évek környékén. A Toyotánál dolgozott mérnökként és itt alkotta meg a kezdetben még Baka-Yoke „bolondbiztos” névre hallgató módszert. Alkalmazni olyan berendezéseknél szükséges, ahol gyakoriak az átállások, mint a mi esetünkben, mivel szinte minden autó modellhez más típusú adapterlapot kell felszerelnünk a gépre [1].

A „C” furatokra vákuum pipetták csatlakoznak majd, melyek a munkadarab belsejébe vákuumot képeznek, hogy a szivárgást tudjuk ellenőrizni. Ehhez az ellenőrzéshez már a fékrendszerbe beszerelt membránok segítenek.

A „D” jelű M10-es méretű furatokba egy-egy rugós pozicionáló menetes csap fog kerülni, mely az alkatrész Z irányú elmozdulását fogja biztosítani játékkal.

Az „E” jelű furatokhoz ütközőket rögzítünk csavarkötéssel, melyek az alkatrész elmozdulását biztosítják X-Y irányban.



4.ábra: Adapterlapon lévő furatok szerepe [Saját kép]

1.3 Előgyártmány választás

Az előgyártmány anyagának kiválasztásához figyelembe kellett venni néhány fontos feltételt, amelyek az alkatrész működése, gyártása céljából és a gyártásban előírt követelmények betartása végett nélkülözhetetlenek. A következő tulajdonságokat kell figyelembe venni: jó elektromos vezetőképesség, mivel a gyártásban meg kell felelni az ESD védelemnek. Az ESD védelemmel szabályait az MSZ EN 61340 szabványsorozat foglalja magában. Ez a szabvány az elektronikus eszközök védelmére szolgál az elektrosztatikus jelenségekkel szemben [2]. Az alapanyag legyen jól forgácsolható, rendelkezzen alacsony hőtágulási képességgel és nagy kopásállósággal.

Ezek alapján egy alumínium-szilícium ötvözetet választottam, amely megfelelő lesz az adapter elkészítéséhez és funkciójának betöltéséhez. Megfelelő anyagi jellemzői miatt több alkatrészt is készítettünk belőle a cég részére [3].

1.táblázat: Az előgyártmány tulajdonságai[Saját táblázat]

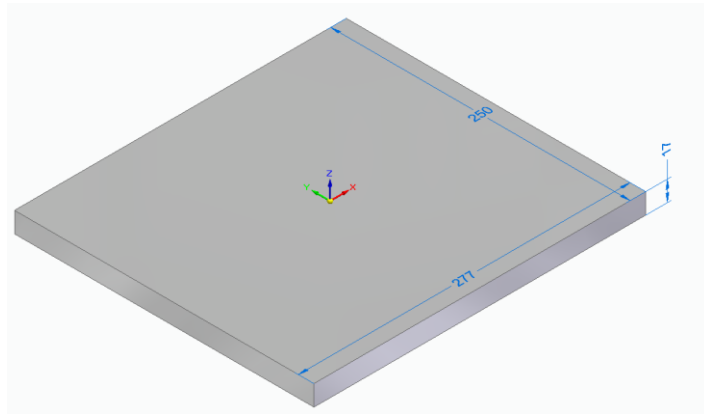
	Alumínium	Szilícium	Réz	Nikkel	Magnézium
Jól alakítható		-	+		
Növeli a kopásállóságot	-	+			
Jól forgácsolható		-	+		+
Jó elektromos vezetőképesség			+		
Növeli a hővezető képességet	+		+		
Csökkenti a hőtágulást	-				
Jó korrózióállóság	+	+		+	+
Növeli a szilárdságot		+			+
Kis sűrűség	+				
Növeli a szakítószilárdságot	-				
Jól önthető		+	-		+

Az általam választott anyag az AlSi12CuNiMg ötvözet, melynek anyagi összetétele az alábbi táblázatban található. Az anyag fizikai és mechanikai tulajdonságai pedig a következők. Elektromos vezetőképesség: $0,043-0,067 \Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$, hővezető képessége: $130-160 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$, folyáshatár $185-200 \frac{N}{mm^2}$, keménység 90-110 HB [4].

2.táblázat: Az alapanyag összetétele[Saját táblázat]

Al	Si	Cu	Ni	Mg
Alapanyag	12%	0,8-1,5%	0,7-1,3%	0,8-1,5%

Ezt a típus egy jól önthető alumínium ötvözet. Kokillaöntéssel állítják elő, ezzel az öntési technológiával már kifejezetten jó felületi minőség készíthető el. Az általános felületi érdessége 1,6-6,3 határok között mozoghat. Az öntéssel elérhető IT tűrésfokozata IT9 és IT11 közé tehető[5]. Az előgyártmányom befoglaló méretei 277x250x17 mm, ez azt jelenti, hogy 1mm-es ráhagyást hagyok az előgyártmány tetején és alján, valamint két szemközti oldalon [6].



5.ábra: Előgyártmány modellje[Saját kép]

A 250 mm-es méretet már nem kell megmunkálnunk, az már kész méret a munkadarabunkon. Egy külsős cég megkeresésével kaptam árajánlatot az előgyártmányomra, mert ebben az állapotban a kereskedelembe nem kapható. Az előgyártmány ára 7400 Ft-ba kerül a cég külső beszállítójánál.

2. Az alkatrész gyártástechnológiája nagysebességű marógépre

A High Speed Cutting (HSC) technológia sokban hasonlít a hagyományos marásra. Itt is beállítható az előtolás sebesség és szükséges a fogásmélységek meghatározása. Amiben különbözik, hogy a lassú nehéz vágásokat, kisebb, gyorsabb és könnyebb vágások váltják fel.

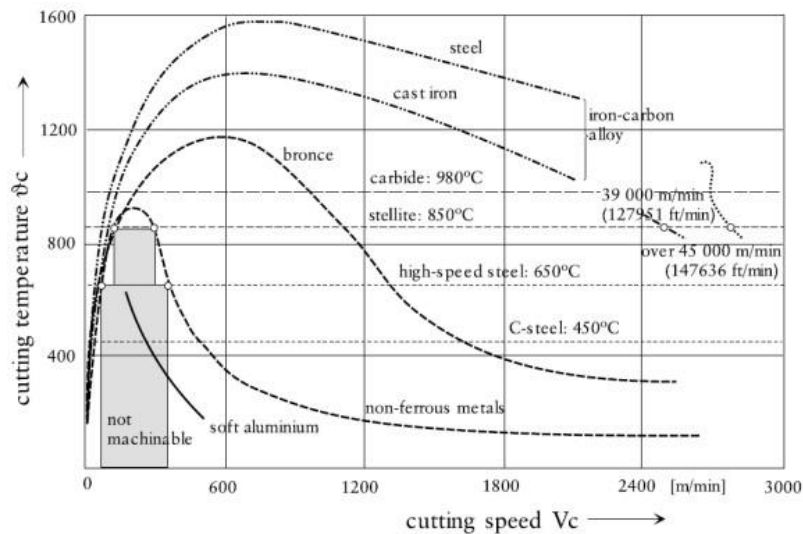
Jellemzői:

- Megmunkálás nagy forgácsoló sebességgel (v_c)
- Megmunkálás nagy orsófordulatszámmal (n)
- Megmunkálás nagy előtolással (v_f)

A nagy sebességű megmunkálás során viszont, az anyagleválasztási sebesség kicsi, kis fogásmélység axiális (a_p) és radiális (a_e) irányban is.

A gép kiválasztása egy kritikus pont a technológia megvalósításához, ugyanis nem elegendő csak a magas orsófordulatszám. Meg kell vizsgálnunk a gép felépítését, merevségét, mozgásvezérlő rendszerét, hőkompenzációt és sok más jellemzőt is, mire eldönthetjük, hogy alkalmas-e a feladatra.

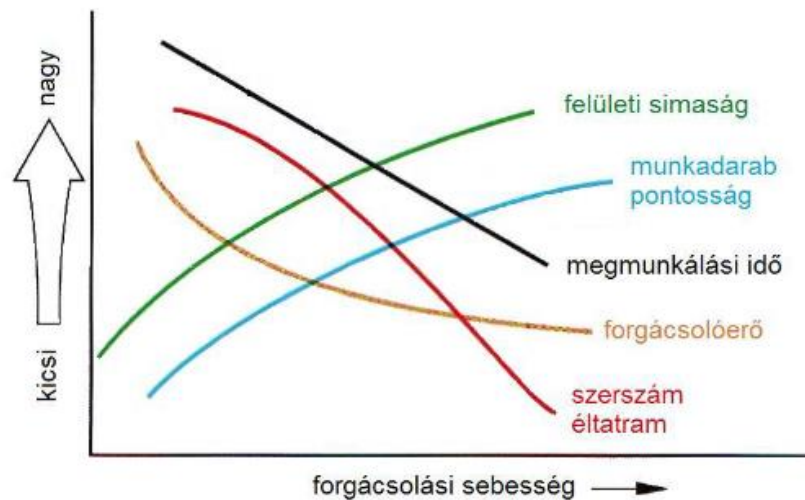
Az első kísérletek a nagysebességű megmunkálásra, már az 1920-as évek elején kezdődtek Carl Solomon javaslatára. Megfigyelte, hogy az öt-tízszer nagyobb forgácsolási sebesség esetén a forgács eltávolítási hőmérséklet a forgácsolóélen csökkenni kezd. Ez a hőmérséklet csökkenés az alábbi képen látható, különböző anyagokat vizsgálva, melyet Solomon-görbének neveztek el [7].



6.ábra: Solomon görbe[8]

Az első korai alkalmazója a Lockheed repülőgépgyártó cég volt a nyolcvanas években. Napjainkban egyre elterjedtebb. Megfigyelhető kisebb, nagyobb gépműhelyekben is. Ami lassította, a nagysebességű technológia elterjedését, hogy a gyártóüzemekben hiányzott a megfelelő technika és stratégia. Manapság viszont, a CNC gépek és a CAM rendszerek, már a nagysebességű megmunkálást szem előtt tartva tervezik.

A nagysebességű megmunkáláshoz egy különleges szerszámpálya generálását kell a szoftvernek lehetővé tenni, amely biztosítja a kicsi radiális fogásmélységet és a nagy axiális fogásmélységet. Erre fejlesztették ki a torchoid megmunkálást, amely egy olyan marási módszer, ami a vágószerszám átmérőjénél szélesebb hornyot alakít ki. A torchoid szerszámút körkörös vágásokkal valósítható meg. A szerszámpálya programozásánál oda kell figyelni a forgácsvékonyodásra, mivel a szerszám sugárirányú kapcsolódása a munkadarabhoz a szerszám átmérőjének 50 százaléka alá esik. Ezt megfelelő mértékű axiális fogásmélységgel szükséges ellensúlyozni, hogy megmaradhasson a maximum forgácsvastagság. A munkadarab és szerszám viszonyának alakulása a 6. ábrán látható a forgácsolási sebesség függvényében. [9]



7.ábra: Nagysebességű megmunkálás hatásai[10]

Az éles sarkok kialakítása egy kritikus pont a nagysebességű megmunkálás esetén, mivel az éles sarok kialakításánál a CNC gép előtolási sebességének rögtön nullára kell csökkennie, mikor eléri a sarokpontot. Ekkor nagymértékű lassulás/gyorsulás lép fel, amely megemeli a megmunkálási időt és kontúrhibák keletkezhetnek. Ennek megoldására lineáris hajtásokat szerelnek fel a CNC gép nagysebességű orsójára és minden tengelyére [11].

A munkadarab megmunkálásához figyelembe vettem a géppel szemben támasztott követelményeket, ez alapján esett a választásom az alábbi megmunkáló központra. A megmunkáláshoz egy EML-610HS CNC megmunkáló központot választottam, mivel ez a gép megfelel a nagysebességű marás megvalósítására, $24000 \frac{1}{min}$ -es fordulatszámra és $30 \frac{m}{min}$ -es előtolásra képes. 24 szerszám helyezhető el a szerszámtárban és a szerszámcseréje ideje mindössze 2,5 másodperc. A gép öntöttvas ágy, állvány és szánrendszerrel rendelkezik, a főorsó hűtése pedig digitális olajhűtő segítségével van megvalósítva. Az adapterlapon elhelyezkedő furatok pontossága is fontos tényező, ennek a gépnek a pozicionálási pontossága kisebb, mint 0,005 mm és az ismétlődő ciklusok esetén a szerszámpályát kevesebb, mint 0,003 mm-es pontossággal követi. Ezen tulajdonságok alapján az NCT által gyártott megmunkálóközpont képes ellátni a feladatot a megfelelő pontossággal, az NCT 304-es vezérlő segítségével.



8.ábra: Nagysebességű megmunkálóközpont[12]

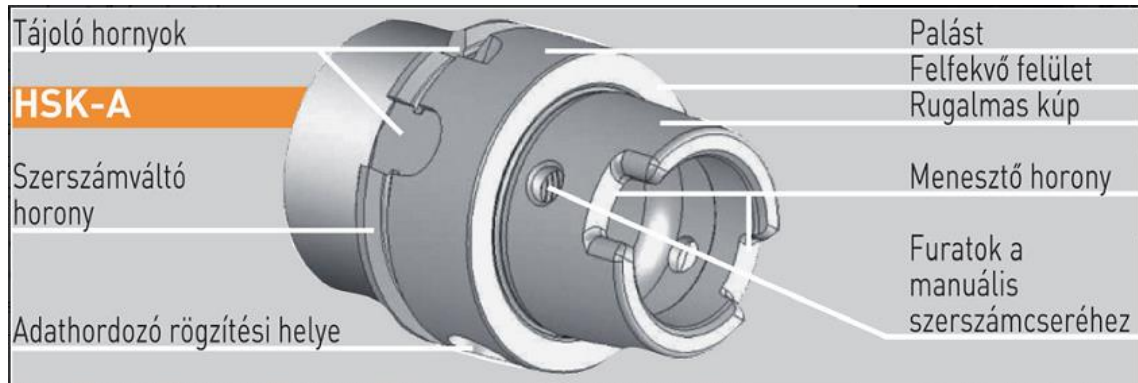
2.1 Szerszámterv

Az adapterlap marásához és fűréséhez a FRAISA Hungary Kft. által gyártott nagy teljesítményű High Speed Cutting szerszámaiból választottam ki a számomra megfelelőeket, a menetfűrészekhez pedig a SECO Tools Kft. által gyártott menetfűró szerszámokat fogom használni.

A szerszámok megfogásához a HSK-A és HSK-E típusú szerszámtartókat helyezzük előnybe, ugyanis ezek kialakítása teszi lehetővé a HSC technológia megvalósítását. Definiált homlokfelfekvő felülettel rendelkeznek, amely kiegyensúlyozottabbá teszi a magas orsófordulatszám létrejötténél. A stabil HSC-folyamat megvalósulásánál követnünk kell az előírásokat, amelyek szerint ellenőrizzük a szerszámtartó kiegyensúlyozottságát, furatpontosságát. A rosszul kiegyensúlyozott, vagy ütéssel futó szerszámrendszereknél gyakran előfordul a rövid szerszámélettartam, rosszabb felületi minőség és akár a maróorsó is sérülhet.

A kiegyensúlyozás minősége nagyban befolyásolja a marógép forgó rendszerének dinamikus viselkedését. Ez alatt egy excentrikusan körbeforgó tömeget értünk, amely centrifugális erőket okoz, amik a fordulatszámmal négyzetesen nőnek. Tehát egy 42 000

$\frac{1}{min}$ -es orsófordulatszámnál ugyanaz a kiegyensúlyozottság 441-szer nagyobb centrifugális erőt okoz, mint egy $2000 \frac{1}{min}$ -es orsófordulatnál.

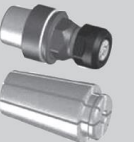


9.ábra: Szerszámtartó felépítése[13]

A HSC területén elterjedt szerszámbefogási technikák körében gyakori a patron és zrugorkötések a nagy pontosság és nagy rezgéscsillapítás tulajdonságaik miatt. Weldon befogók használata nem ajánlott a HSC megmunkáláshoz különböző specifikus hátrányai miatt, mint például a kis furatpontosság.

A patronos befogókat a nagy rezgéscsillapítási tulajdonságuk miatt inkább a nagyolási műveletekhez használjuk, míg a zrugorbefogókat az ismétlési pontosságuk és merevségük miatt simítás furatok készítésére tartjuk kitűnően alkalmasnak.

A helyes szerszámbefogás követelményei, hogy a kinyúlás mindig a lehető legrövidebb legyen. A befogó felület teljes hosszának kihasználása a legkedvezőbb, ezen kívül lehetőleg ne használjunk közdarabokat és hosszabbítót.

SCHAUBLIN			Befogástechn.		
Típus	Patrontartó ESX patronnal DIN 6499-B	Patrontartó EX patronnal DIN 6499-A	Patrontartó D patronnal	Zsugor- befogó	Weldon befogó
					
Futáspontosság	< 0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.005	< 0.05
Merevség	gyenge	nagy	nagy	nagy	közepes
Rezgés- csillapítás	nagy	nagy	nagy	gyenge	közepes
Szorító erő	gyenge	gyenge	közepes	nagy	nagy

10.ábra: Szerszámbefogók összehasonlítása[13]

A megfelelő szerszámbefogó kiválasztásához szükséges megismernünk az alábbi típusokat. Mivel nagysebességű technológiát alkalmazunk a munkadarab legyártása közben, ezért a Weldon szerszámbefogó nem felel meg a számunkra. Ez a befogási módszer általánosságban elég erősen rögzíti a szerszámot, de a nem megfelelő kiegyensúlyozottsága miatt nem ajánlott ennél a technológiánál. A lehetőségek közé tartozik még a hidro- és erőbefogók, de ezek a szerszámbefogók több alkatrészből vannak összeszerelve, így költségessé tehetik a munkadarab megmunkálását. Ez a módszer további hibázási lehetőséget ad az emberi tényezőre, hiszen az összeszerelés sikeressége nagyban függ az operátor tapasztalatától tudásától és a motivációjától. Olyan megoldás nem létezik az iparban, ami mindenre jó, de a zsugorbefogás ezen problémák nagy részére kielégítő megoldást nyújt. A zsugorbefogók hasonlóan a weldon-hoz egyféle szár átmérő megfogására képesek. Ahhoz, hogy a szerszámot behelyezhessük a megfogóba, egy indukciós elven működő melegítő eszközzel a szerszámbefogót felhevítjük. Ezt az erre kialakított zsugorgéppel oldhatjuk meg. Miután a szerszámot behelyeztük a felhevített befogóba, néhány másodpercet várva kihűl a megfogó. Ezzel a szorító kötés létrejött a szerszám és a befogó között. Ez a rögzítés technika miatt a szerszámunkat 360 fokban egy szorítóerő stabilan tartja a befogóban. Ezáltal a szerszám megfogása stabil és kiegyensúlyozott lesz, ami a pontos megmunkálás elengedhetetlen követelménye. A zsugorbefogás könnyítésére alkalmazható egy ütköző, aminek a szerszám behelyezésekor nekítoljuk, így nem kell mérni a szerszám kinyúló részét, ezzel is csökkentve a hibázási lehetőséget. A zsugorbefogóknak nincsenek további kiegészítői, amiket hozzá kellene szerelni. Ezzel spórolhatunk a cég részére, hiszen a kiegészítő elemek sérülhetnek,

elveszhetnek. A zsugorszerszámok előnyei nem csak a pontosságban, a szorítóerőben, vagy az ütések minimalizálásában figyelhetők meg, hanem a mellékidőket is csökkentik. A szerszámbefogó szerelése nagyon kevés időt vesz igénybe, körülbelül 40 másodpercet és a szerelési módszer illesztése és körülményei meggátolják, hogy szennyeződés kerülhessen a szerszámbefogó és a szerszám közé, így ez nem okozhat problémát a teljesítmény magas hatásfokú kihasználtságában. A használata nem igényel komoly szaktudást, ezért a működése nem függ a munkavállaló tudásától, tapasztalatától. Fontos természetesen, hogy a szerszámbefogó önmagában nem elegendő, ehhez szükség van a megfelelő merevségű szerszámgépre, aminek merevségét a váza adja.

Többféle zsugorbefogó létezik a piacon, sajnos egyetlen típus sem képes mindenféle feladat elkészítésére. Más típusú zsugorbefogó létezik nagy fordulatú megmunkáláshoz, illetve más típusú létezik kis átmérők megfogásához és teljesítmény alapú megmunkáláshoz.



11.ábra: Zsugorbefogók típusai[14]

A gépműhelyünkben nem használták eddig ezt a szerszámrögzítési technikát, ezért az áttérés rá valószínűleg nehezen lesz kivitelezhető a jövőben. Ennek oka a magas ár, a módszerhez szükséges zsugorgép megvásárlása, ami elég magas szintű befektetést igényelne a cég részéről. A másik ok a gépműhely mérete, ahol már most helyszűkében dolgoznak a gépbeállítók, így az áttérés erre a technológiára időbe fog kerülni, de megfelelő adatokkal alátámasztva véleményem szerint nem lehetetlen. Összefoglalva a zsugorbefogók előnyei közé tartozik, a nagy és elosztott szorítóerő 360 fokban, az emberi

tényező minimalizálása a szerelés tekintetében, nagy mértékű szerszámkiegyensúlyozottság, radiális ütések minimalizálása, megnövekedett szerszáméltartam és jó felületi minőség, kicsi szerszámtartó átmérő, ezáltal biztosított a jó hozzáférhetőség a munkadarabhoz.

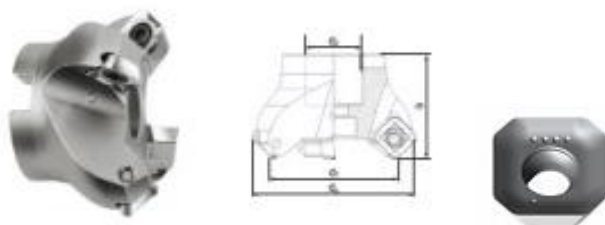
A szerszámok kiválasztása előtt különböző geometriai szempontokat is figyelembe kell venni, amelyek alapján a HSC szerszámok készülnek. Az alábbi szempontok pozitívan hatnak a forgácsolóerő viszonyokra: rövid élhosszokat a merevség miatt, nagyfokú éltárfedést és nagy futáspontosságot eredményeznek.

Ezen szempontok alapján választottam ki a szerszámokat a megmunkáláshoz. A szerszámokat online katalógusokból választottam és a katalógus által ajánlott forgácsolási paramétereket használtam a HSC technológia kivitelezéséhez.

2.1.1 Szerszámválasztás

A szerszámokat a műveleti utasítás sorrendje alapján választottam, melyet [5] és [6] számú mellékletben találhatunk.

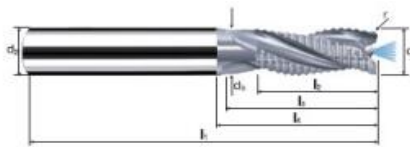
A síkmaráshoz egy Ø80 mm-es átmérőjű, 45° -os váltólapkás síkmarót választottam, amely belsőhűtéssel van ellátva. A belső hűtés előnye, hogy a nagy nyomással beáramló hűtőfolyadék magával ragadja a forgács részeit és ezzel elősegíti a könnyebb eltávolítást a munkadarab és a szerszám közül. A katalógus által ajánlott a 10%-os emulzió, ez az érték az olaj koncentrációját jelenti egy adott vízmennyiségben. Ezzel a szerszámmal eltávolítottam az előgyártmányon hagyott 1 mm-es ráhagyást, amelyet a [12] ábrán láthatunk.



12.ábra: Síkmaró szerszám és lapka [15]

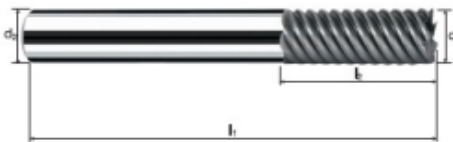
Az előgyártmány oldalfelületeinek megmunkálásához választottam egy AX-FPS típusú Ø20mm-es szármarót, amely rendelkezik a homlokfelületeken kialakított élekkel. Az

alkatrészen szereplő horony és zseb nagyolásához egy Ø12 mm-es és Ø8 mm-es szármárót választottam, mely szintén rendelkezik a homlokfelületen kialakított élekkel, ezzel lehetővé teszi számunkra a fúró típusú megmunkálásokat. Ezt a szerszámot a [13] ábrán láthatjuk.



13.ábra: Nagyoló keményfém szármáró belsőhűtéssel[15]

A simítási műveletek elkészítéséhez Ø10 és Ø8 mm-es MulticutXF típusú simító maróra esett a választásom, amely alkalmas az axiális és radiális simítási műveletek elvégzésre egyaránt. Ezt a szerszámot a [14] ábrán láthatjuk.



14.ábra: Simító keményfém szármáró [15]

Az adapterlapon sokféle különböző átmérőjű furat szerepel. A magfuratok elkészítéséhez, lépcsős fúrókat használok, melyek a menethez szükséges 45°-os kitörést is elkészítik, így szerszámcseréi időt, programozási időt és szerszámköltséget spórolhatunk. Ezt a típusú fúrókat használok mindegyik magfurat megmunkálásához, ezért választottam belőle 2.5, 3.3, 4.2, 4.5, 5, 8.5-ös átmérőjű típusokat. Ezt a szerszámot a [15] ábrán láthatjuk.



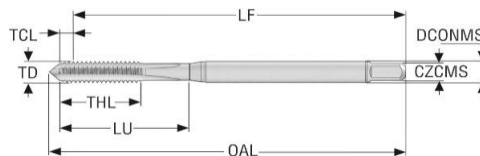
15.ábra: Keményfém fúró 45°-os letöréssel belsőhűtéssel[15]

A szimpla átmenő menetes furatok elkészítéséhez, pedig a Supradrill termékcsalád keményfúrói közül választottam ki a megfelelő átmérőjű fúrókat, 6 mm-es és 6,5 mm-es fúrókra van szükségünk a megmunkáláshoz. Ez a típusú fúró is rendelkezik belső hűtéssel, ami megkönnyíti a forgács eltávolítását a furatból. Ezt a szerszámot a [16] ábrán láthatjuk.



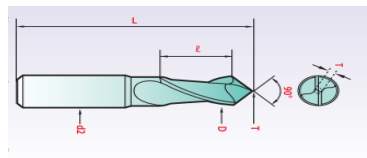
16.ábra: Keményfémfúró belsőhűtéssel [15]

A menetek elkészítéséhez a Seco Tools Kft. által gyártott menetfúrókból választottam ki az adapterlap megmunkálásához. Ez egy gépi menetfúró típus átmenő furatok elkészítéséhez, így a menet megmunkálása alatt kialakuló sorját a menetfúró tolni fogja és az alkatrész másik oldalán távozik a furatból. A menetek megmunkálásához szükségem van M3, M4, M5, M6 és M10 méretű menetfúrókra. A mentfúrásokat merevszárú menetfúró ciklussal készítem el, ezért a szerszám megfogásához patronos befogót használok. Ezt a szerszámot a [17] ábrán láthatjuk.



17.ábra: Menetfúró[16]

Végül az élek letöréséhez a Perfor szerszámgyártó cégtől választottam egy 90° -os sarokletörő szerszámot a jelölt letörésekhez és az éltompítás elvégzéséhez. A sarokletörőből egy 12-es átmérőjű szerszámot választottam, mert ez a méret az amelyik kényelmesen hozzáfér az összes letöréshez. Ezt a szerszámot a [18] ábrán láthatjuk.



18.ábra: 90°-os sarokletörő[17]

A szerszámok kiválasztásánál figyelembe vettem a munkadarab alapanyagát, így olyan szerszámokat választottam, amelyek „N” azaz a nemvas anyagok csoportjába tartoznak és alkalmasak alumínium megmunkálásához. A teljes szerszámterv a [4] számú mellékletben található.

2.2 Forgácsolási számítások

A forgácsolási paramétereket a katalógus alapján választottam ki, amelyeket az alábbi [3] táblázatban láthatjuk. A programírás közben eltértek, kiválasztom az általam vélt legoptimálisabb forgácsolási paramétereket.

A főorsó fordulatszámának meghatározására az alábbi képletet használtam:

$$v_c = \frac{d * \pi * n}{1000}$$

ahol: v_c – forgácsoló sebesség $\left[\frac{m}{min}\right]$

d - szerszám átmérője [mm]

n – gépen beállított főorsó fordulatszám $\left[\frac{1}{min}\right]$

Az előtolás meghatározására pedig az alábbi képletet használtam:

$$v_f = f_z * z * n$$

ahol: v_f - előtolómozgás sebessége $\left[\frac{mm}{min}\right]$

f_z – fogankénti előtolás [mm]

z – a szerszám fogszáma

n – gépen beállított főorsó fordulatszám $\left[\frac{1}{min}\right]$

A forgácsolási adatok kiszámításához az [18] számú hivatkozásból kerestem ki a képleteket. A katalógus adatokat, pedig a Fraisa online katalógusból [15] kerültek a táblázatba.

3.táblázat: Szerszámtábla[Saját táblázat]

Szerszám	z [db]	v_c [m/min]	v_f [mm/min]	a_p [mm]	a_e [mm]	n [min ⁻¹]	Q [cm ³ /min]	Ár [Ft]
Ø80mm-es síkmáró	6	420	3000	4	60	1670	720	177.594
Ø20mm-es szármáró	3	360	3782	30	12	5730	1360	130.833

Ø12mm-es szármaró	3	300	3340	18	9,6	7960	580	61.082
Ø8 mm-es simító maró	7	380	6138	19	0,5	15120	58	36.924
Ø6 mm-es szármaró	3	300	3820	9	4,8	15910	165	29.031
Ø2.5 mm-es menet magfúró	2	160	1222	-	1,25	20370	-	10.292
Ø3.3 mm-es menet magfúró	2	160	1215	-	1,65	15440	-	12.517
Ø4.2 mm-es menet magfúró	2	160	1222	-	2,1	12130	-	22.058
Ø5mm-es menet magfúró	2	160	1222	-	2,5	10185	-	14.363
Ø8.5 mm-es menet magfúró	2	160	1191	-	4,25	5990	-	35.821
Ø4.5 mm-es keményfém fúró	2	160	1222	-	2,25	11320		16.587
Ø6 mm-es keményfém fúró	2	180	1376	-	3	9550	-	21.039

Ø6.5 mm-es keményfém fűrő	2	180	1376	-	3,25	8820	-	22.058
M3-as menetfűrő	3	15	819	-	0,25	1365	-	10.240
M4-es menetfűrő	3	15	836	-	0,35	1194	-	10.720
M5-ös menetfűrő	3	15	764	-	0,4	955	-	11.680
M6-os menetfűrő	3	15	796	-	0,5	796	-	11.040
M10-es menetfűrő	3	15	716	-	0,75	477	-	15.320
Ø12-es sarokletörő	2	320	3400	5	5	8500	-	31.164

3. CNC program készítése

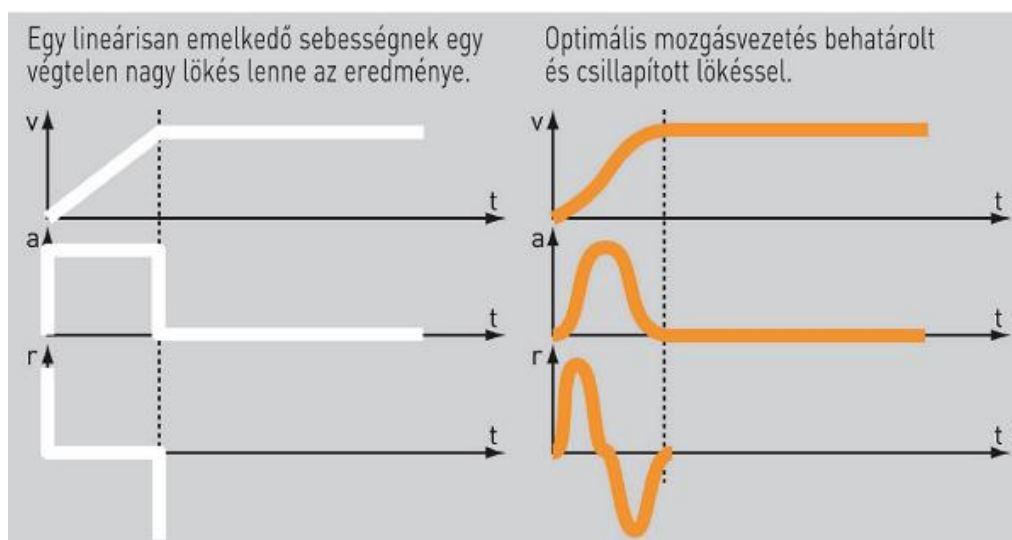
A CNC programot négy féle módon készítem el, ezzel elemezve a program megírásának idejét, ezáltal kiválasztva a legkisebb időigényű programozási módszert. Célom, hogy megmérjem, hogy mennyi időbe telik a programok megírása számomra a különböző módszerekkel. Ezáltal tudom elemezni majd, hogy melyik módszer a legoptimálisabb. A munkadarab megfogására készítettem felfogási tervet mindkét oldalról, melyet a [2] és [3] számú mellékletben találhatunk.

3.1 Kézi programozás FANUC nyelven

A FANUC programnyelv szinte teljesen kompatibilis az általam választott nagysebességű megmunkáló központtal. Az NCT 304-es vezérlő is G kódokat használ. Néhány eltérés van a kódokban, de a megmunkálandó alkatrészhez szükséges kódok teljesen megegyeznek és lefutnak a megmunkálóközpont vezérlőjén.

Az NC vezérlő fő feladata, hogy a géptengelyek mozgásával leírt sebességek létrejőjenek, a munkadarab és a szerszám között. Az NC vezérlő az interpolációs pontok alapján meghatározza a programban szereplő összes műveletet és előtolásokat, ez alapján generálja le a szerszám pályát. A HSC technológia megvalósításához a vezérlőnek extrém körülményekben kell megfelelnie, mint a hagyományos marási technológiánál. Szükséges, hogy rendelkezzen felgyorsított mondatfeldolgozó képességgel, intelligens pályatervezési stratégiákkal, mondatok közötti előre tekintéssel, ezt (Look-ahead-nek) nevezzük. Ez az előre tekintés biztosítja a géptengelyek nagy dinamikájú mozgását. Erre a géptengelyek mozgásánál kialakuló tömegtehetetlenség miatt van szükség, mivel az irányváltási sebességek, hajtási gyorsulások és a gépkonstrukció dinamikai merevsége miatt kell optimalizálni.

A nagysebességű technológia fő feladata a pályatervezés. Pályatervezéskor törekedni kell, hogy az előtolás és a pályatűrés betartása mellett a gép által keltett rezgések minimális értékűek legyenek. Amennyiben a szerszám pálya eltér a lineáris interpolációtól, akkor a pálya előtolást folyamatosan nem lehet betartani. Figyelembe kell vennünk a tengelygyorsulás maximumát, megengedett tengelylökést és a maximális tengely előtolást. Ezeket biztosítani, csak akkor lehet, ha a szerszám pálya a tűréshatáron belül, de minimális mértékben eltér az előre programozott szerszám pályától.



19.ábra: Szerszámpálya sebességének optimalizálása[19]

Élek, sarkok kialakításának pontos elkészítéséhez az egyik megmunkálótengelyt a sarokpont elérésekor teljesen meg kell állítani és csak ezután gyorsítható fel a másik tengely. A vezérlő viszont még az él elérése előtt elindítaná a második tengely mozgását, hiszen a megengedett kontúreltéren belül maradna, de a mozgás így elmosódik. A pályasebesség a szűk sarokpontoknál is optimális kell legyen, a gép dinamikai határértékein belül maradva. [19]

NC program készítése során többféle interpoláció közül választhatunk:

- lineáris interpoláció
- körinterpoláció
- Spline-interpoláció

Ezeknek az interpolációknak a segítségével írható le a munkadarab geometriája.

Program készítése

Kézi programozásnál NCT és Fanuc nyelvű vezérlőknél G-kódokat használunk, ezekkel leírva a szerszámpályát. A kiegészítő funkciókat, pedig M kódokkal definiáljuk.

Az NCT szimulátor, amelyben a programot megírom egy DEMO verzió, ezért a horony és zsebmarás funkciókat nem tudom szimulálni. Mielőtt a gyártás megtörténne, a megmunkálóközponton szimuláció futtatása mindenféleképpen szükséges.

A megmunkálást az előgyártmány befogása után síkmarással kezdem, amely egyen és ellenirányú marást is végez, amíg el nem távolítja a munkadarab tetején hagyott ráhagyást. Amikor ez elkészült beváltom a 3 élű keményfém szármarót, amely a horony és a zseb nagyolását készíti el. Kézi programozásnál a torchoid szerszámpálya megírása

nem lehetséges, ez egy CAM technika így hagyományos horony és zsebmaró ciklust használok hozzá. Minden szerszámváltás után meghívom az M13-as kódot, amely a főorsó forgását indítja el a hűtőfolyadékkal együtt. Ehhez a ciklushoz G65-ös kódra van szükség és egy P9999-es alprogramot kell hozzá meghívni. Ez az alprogram nem fut le a szimulátor DEMO verziójában. A ciklushoz meg kell adnunk, az X-paraméterrel a horony hosszát Y paraméterrel a horony szélességét, Z paraméterrel pedig a horony mélységét. Ezeken a paramétereken kívül szükség van még, R, K, D, E, Q, F értékekre is.

R-az üreg sarkainak sugara

K- biztonsági távolság

D- szerszám sugárkorrekciója

E- fogásszélesség, a a maróátmérő százalékában,

+előjel: óramutató járásával ellentétes irányú megmunkálás

-előjel: óramutató járásával megegyező irányú megmunkálás

Q- fogásmélység

F- előtolás

Ezért nem valósul meg a kicsi radiális fogásmélység és a nagy axiális fogásmélység, így itt a nagysebességű megmunkálás nem alkalmazható. Hagyományos maró technológiával készül el, ez mind időben, mind pedig az alkatrész felületi minőségére negatívan hat. Ezután a simítási művelet következik, amely a 0,5 mm-es simítási ráhagyást távolítja el. Ezzel a zseb és horony része el is készült a munkadarabnak és a már csak a furatok, süllyesztések és menetfúrások vannak hátra.

Először a magfuratokat készíttem el a munkadarabon, majd a szimpla átmenő furatokat. Ehhez G81-es parancsot használok, amely forgácstöréssel készíti el a furatot, 5 miliméterenként visszahúzza a fúrót a biztonsági távolságig, így könnyítve meg a forgács eltávolítását a furatból.

Ezután a furatok süllyesztését készítem el, végül a menetfúrást. A menetfúráshoz G84-es parancsot kell hívnom, amelyhez szükséges a furat középpontja, ezt X és Y koordinátákkal adom meg, a menet mélységét pedig Z paraméterrel. Szükséges megadnunk még ezen kívül megközelítési pontot, ameddig a szerszám gyorsjárattal megközelíti a munkadarabot, ezt R-rel jelöljük. A menet méretéhez tartozó menetemelkedést P paraméterrel adom meg és az előtolást pedig F-fel jelöljük a művelet

elvégzéséhez. Ezzel a lépéssel elkészült az első felfogásunk. A második felfogáshoz megfordítjuk a munkadarabot, majd a satu oldalának ütköztetve megszorítjuk. Az első felfogásban elkészült zsebet használom az alkatrész bemérésére. Erről az oldalról is elkészítem a síkmarást, ezzel beállítva az alkatrész vastagságát. Megmunkálom a munkadarab oldalát, ezzel kialakítottam a befoglaló méretit. Elkészítem a süllyesztéseket és végül letöröm az éleket, éltompítást végzek az éles felületeken. A programkód a [8] számú mellékletben található.

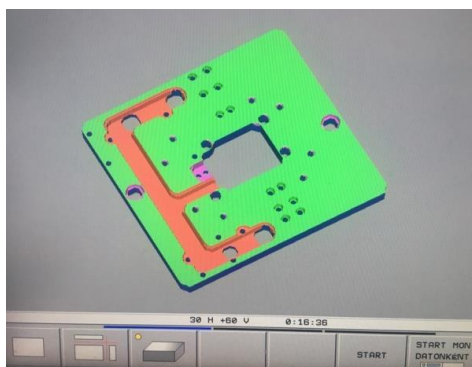
3.2 Kézi programozás Heidenhain nyelven

A Heidenhain vállalatot Dr. Johannes Heidenhain alapította 1889-ben Berlinben. Ez a dél-bajorországi vállalat, különböző megoldásokat és termékeket kínál a következő területekre, mint például a szerszámgépek, automatizálás, elektronika és az orvosi technológia területén.[20]

Az általuk kifejlesztett Heidenhain TNC 320-as vezérlőre is készíték megmunkálási programkódot, amelyet szintén CAM szoftver segítségével készítek el. Ez a vezérlő programozható G kódokkal, mint például az előbb kipróbált NCT 304-es vezérlő, de a Heidenhain elkészített egy párbeszéd alapú programozó felületet is. Ezt Heidenhain klartexnek nevezik, amely egy számomra kényelmesebb és átláthatóbb programozási felület, mint az NCT által kifejlesztett típus. Ezt a programírási módszert az informatív párbeszédablakok és a súgógrafikák könnyítik meg. A szimulációk között nincs különösebb eltérés köztük mind a kettő vezérlő magas szintű grafikai ellenőrzést nyújt, a munkadarab ellenőrzésére. A program futtatása közben a vezérlő különféle információkat közöl velünk a programról, szerszámról, az adott ciklusról és a hátralévő megmunkálási időről. Ezért minden fontos adat a megmunkálás közben is megtekinthető és intuitív módon csoportosítva látható. [21]

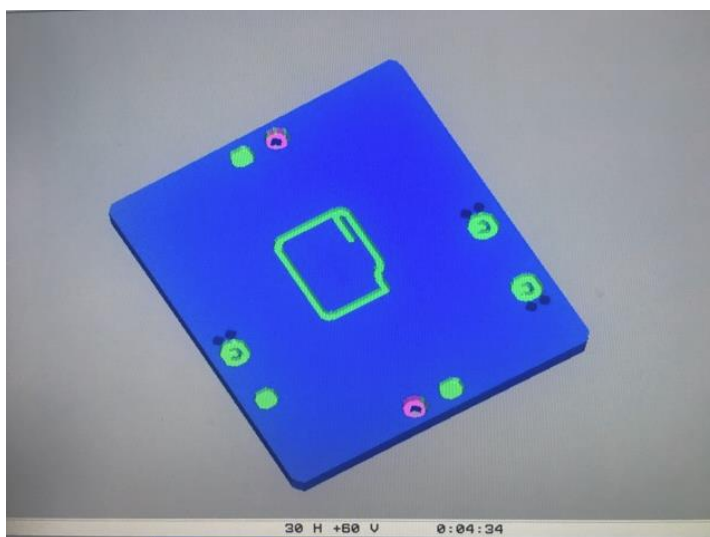
Ezen programozási módon az előgyártmány befoglaló méreteit határozom meg a programozás kezdetén ezt itt Block Form-nak hívjuk. Az előgyártmányt a satu oldalának ütköztetem, a kilógása pedig 5 mm lesz a satu síkjából. Ezután következhet a síkmarás, amelyre a vezérlőben meghívok egy ciklust. Kitöltésével el is készül az első lépés. Ezek a ciklusok és a teljes programkód a [7] számú mellékletben megtalálhatóak. Az elkészített síkmarás után következik a kontúr nagyolása, ezt egy Ø20mm- es szármarróval készítem el. Ehhez be kell kapcsolnom a szerszámkorrekciót, ezt RL-nek jelöljük, ha balra és RR-

nek, ha pedig jobbra történik a szerszám eltolása. G kódoknál, ez a G41 és a G42 kódnak felel meg. A következő lépésben elkezdem a zseb és a horony kimunkálását, amit zsebmaró ciklussal készítek el. A ciklus különböző Q paraméterből áll, amelyből néhányat alapértelmezetten tölt ki a gép, de mindegyik módosítható. Ezen paraméterek alapján készül el a zseb. A vezérlő grafikusan és szövegesen is leírja, hogy mi mire szolgál, ellentétben a G kódokkal. Ez nagy segítség a kisebb rutinnal rendelkező programozóknak is. Akár ellenőrzés szempontjából, akár tanulás szempontjából, hiszen nincs szükségünk a kódok bemagolására. A kinagyolt zseb és horony után elkészítem a végleges simított méretüket, ehhez beváltom az Ø8mm-es simítómarót. Ezután már csak a furatok elkészítése marad vissza, melyhez szintén ciklust használok, amely megkönnyíti a gyors és pontos programozást. Ebben a ciklusban elegendő egyszer megadni a Q paramétereket, amelyben az előtolás fordulatszám, biztonsági távolság és még egyéb adatokat adok meg, ezután elegendő a furatpozíciókat megadni külön mondatokban az alábbi módon: L X+30.5 Y+5 R0 FMAX M99. Ebben a mondatban az X és az Y a furat pozícióját jelenti a munkadarab nullponthoz képest. Az R0 paraméter segítségével van kikapcsolva a szerszámkorrekció, így a fúró közepe a vezérelt pont. Az FMAX paraméter a gyorsjáratot biztosítja a megközelítési pontig, majd a furat elkészítése után a gyors elállást szolgálja. Az M99-es kód pedig meghív egy előre elkészített alprogramot, amely a ciklusok működéséhez szükséges. A furatok süllyesztését és simítását furatmarás ciklussal készítem el, amelyben csak néhány különbség van. Például itt egy süllyedési léptéket kell megadni, hogy egy fordulat alatt hány mm-t süllyed a szerszám. Én ezt az értéket 1 mm-ben határoztam meg. A furatok simítása után elkészítem az élettöréseket és sorjázom a munkadarabot aztán a menetfúrásokat készítem el a különböző méretű furatokba. Ezzel elkészült a munkadarab első felfogása. Szimulációjának lefutása utáni fénykép az alábbi [20] ábrán látható.



20.ábra: Adapterlap felső oldalának megmunkálása[Saját kép]

Az adapterlap másik oldalának megmunkálásához újra megadom az előgyártmány befoglaló méreteit. A munkadarab beméréséhez univerzális 3D tapintótó használatát ajánlom a gépbeállítónak, mert az alkatrészen kialakított zsebet mérem be, a munkadarab nullpont meghatározásához, majd nullpont eltolást alkalmazva a munkadarab bal alsó sarkába helyezem át. Ezen az oldalon a megmunkálást szintén a síkmarással kezdem, majd a kontúr megmunkálásával folytatom és végül az élek letörésével fejezem be. Ez az oldal már csak befejező munkákat tartalmaz, így ez a felfogás gyorsan elkészül. A gép által készített szimuláció eredménye az alábbi [21] ábrán tekinthető meg.



21.ábra: Adapterlap felső oldalának megmunkálása[Saját kép]

Program és szimuláció készítése hyperMill CAM szoftverrel, előnyök a többi programozási rendszerrel szemben

A hyperMILL egy automatizált CAM szoftver, amely nagyban lerövidíti a programozási és megmunkálási időket a különböző alkatrészekben. Erre többféle funkció szolgál a

programozó segítségével. Intelligens makrókat hozhatunk benne létre, amelyben a programozó elmenthet szokásos megmunkálási lépéseket, így azokat nincs szükség újra és újra megírni, a program automatán képes a hozzárendelt geometriai alaksajátosságokhoz hozzárendelni. Lehetőséget nyújt több különböző, de azonos szerszámmal készülő műveletek összevonására. Előnye a többi CAM szoftverrel szemben, hogy ezt a biztonsági távolság elérése után teszi meg, így az ütközési lehetőségeket szinte teljesen elkerüli, míg például EdgeCAM-ben szükséges plusz szerszámpályát a szerszámhoz rendeli a biztonsági távolság eléréséhez. Ez megelőzi a programozó figyelmetlenségéből adódható ütközéseket, szerszámtöréseket. Természetesen szimulációval ellenőrizni itt is szükséges, csak akkor lehetünk biztosak a felmerülő akadályok elkerülésében. Ezen kívül a hyperMILL szoftver a minimálisra csökkenti a ki és belépő mozgásokat, ütközésmentesen átköti a munkadarab azon részeit, amit nem szeretnénk, vagy nem az adott szerszámmal munkálunk meg. Esetünkben 2D megmunkálást alkalmazunk, így a szoftver előnyeit erre a megmunkálás típusra is ismernünk kell. A 2D marási stratégiák közé tartozik a homlokmarás, kontúrmarás, zsebmarás, maradékanyag megmunkálása és a fúrás. A szoftver a Feature Machining funkciónak köszönhetően képes felismerni a 2D marási stratégiák alaksajátosságait és ezeket csoportosítja. Ilyenek például a zsebek és a furatok. A modelltől felismeri a furatok típusait és ez által a hatékonyan programozhatóak. A furatok megmunkálására a következő lehetőségeket kínálja fel nekünk a program: normál furat, forgácstörős és forgácskihordós furat, furatkiesztergálás központfúrás, menetfúrás és a menetmarás. A hyperMILL szoftver támogatja a nagysebességű megmunkálást és a régebbi verziókhoz képest. Már az új fejlesztések segítségével szigorú követelményeket állít a szerszámpályák generálásával szemben, szem előtt tartva a pontosságot, magas felületi minőséget, hosszú szerszámélettartamot és a gépdinamikát. A szoftver érzékeli az éles sarkokat és nagy előtolási sebesség esetén a folyamatos mozgás megtartásához lekerekíti a sarkokat. Természetesen, ha az alkatrészen éles sarokra van szükségünk utómegmunkálással a maradékanyag eltávolítható. Lágy fogásvételt biztosít a szerszámnak axiális és radiális irányból is az optimális forgácsolási paraméterekhez számítva és megtartja a szerszámpályák közötti optimális szerszámmozgást. A szerszámpályák spirális és elliptikus pályát követnek, a nagysebességű marási technológia megvalósításához.

A mi megmunkálásunk esetén még egy hatalmas előnye van a szoftvernek. Mivel cégünknek a jövőben több hasonló adapterlapra lesz szüksége különböző alkatrésztípusok gyártásához, a program képes áthidalni az alkatrészek közötti minimális különbséget. Nincs szükségünk a nagyon hasonló alkatrészek megmunkálásához újra elkészítenünk a CAM programot, elegendő ezt másolni és a szoftver automatán képes a szerszámpályákat újra generálni, így nincs szükségünk egyéb programozásra. A munkadarabok közötti különbség, csak a furatok pozíciójára, illetve a zseb és horony szélességére és mélységére értendő. Természetesen a befoglaló méretek, a furatok méretei megegyeznek az alap alkatrésszel. A programozás kezdetén több alkatrészt tudunk beilleszteni a munkatérbe, így ezzel előállítva a lehetőséget a hasonlóságok felismerésére. Aktiváljuk a fő alkatrészünket, elkészítjük a szerszámpályákat a megfelelő forgácsolási paraméterekkel, majd elmentjük. Ezután, már csak annyi a teendő, hogy deaktiváljuk azt a munkadarabot, amelyen a programot elkészítettük, aktiváljuk a másik beillesztett munkadarabot lefrissítjük, a szerszámpályákat és el is készült a következő alkatrészünk programja. Ezt egy egyszerű mentés másként gombbal elmentjük az adott alkatrész nevével és ezután gyártható az alkatrész. Ezzel a módszerrel a jövőre nézve rengeteg programozási időt tudunk a gépműhely számára megspórolni. Az alábbi [22] ábrán láthatóak a különbségek a két munkadarab között a furatok pozíciójában. Itt látható, hogy a feketével jelölt furatok az első alkatrészen elhelyezkedő furatok, míg a sárgával a másik alkatrészen. A kicsi eltérés miatt látható rosszul, sok helyen részben fedik egymást és van, ahol nem is változnak.

A művelet után hozzá tudunk kezdeni a program készítésének és a szerszámpályák generálásának. Első műveletünk az alkatrész felső ráhagyását eltávolítani, ezt síkmaró ciklussal tesszük meg. Ezután kontúrmaró ciklussal az alkatrész oldalát a megfelelő felületi minőség eléréséhez tisztára marom, az alkatrész befoglaló méretének pontos megmunkálását az alkatrész fordítása után készítem el. Erről az oldalról nekünk az a fontos, hogy a fűrészelés által okozott hibákat az alkatrészen a megfelelő minőségűre készítem el. Kontúrmarás után a zsebmarás és horonymarás következik, amelyhez a torchoid szerszámpályát alkalmazom a nagysebességű megmunkálás miatt. Ezért a horony szélességénél kisebb maró választása szükséges, amely körinterpolációk sorozatából tevődik össze. Ezáltal a megmunkálási ciklusidőnk kisebb lesz, míg a szerszám éltartama növekszik. Általában a maró átmérőjének kiválasztásakor figyelembe vesszük, hogy az a horonyszélesség 50-70%-a közé essen, a radiális fogásmélység ne haladja meg a maró átmérőjének 10-35%-át [9]. A horony és a zseb megmunkálása után elkészítem a magfuratokat a modell alapján, a műveletterv alapján meghatározott sorrendben. A furatok is magas fordulatszám és használatával készülnek. A furatok süllyesztéseit itt is furatmaró ciklussal készítem el, hasonlóan az EdgeCAM szoftverhez a hyperMILL is asszociatívan készíti el a felületeket a modellhez képest. Ez azt jelenti hogy a modelltől felismeri, adott esetben a süllyesztés mélységét, átmérőjét és ez alapján készíti el a furatsüllyesztést. Ezzel a módszerrel képesek vagyunk R_a 1,6 alatti felületi érdességet elérni. Az elkészített süllyesztések után a sarokletörés következik. Mind a furatoknál, mind a munkadarab kontúrjánál az éleket letöröm a kívánt méretre és a jelöletlen letöréseket pedig sorjázom. Ezután elkészítem a meneteket az adapterlapba, ügyelve arra hogy az egyszerre megmunkált menet mélysége ne legyen nagyobb, mint a menetfűrő átmérőjének háromszorosa. Például az M3-as menetfűrővel ne készüljön el egy fogásban a 15 mm mély menet, mivel annak a névleges átmérőjének a háromszorosa csupán 9 mm. Az elkészített menetek után a munkadarab első felfogása elkészült, kivesszük a gépbe és a fordítás után visszahelyezzük. A megfordított munkadarabot a satu oldalához pozicionálom és a zsebet 3D tapintó segítségével bemérem a munkadarab közepét. Az így meghatározott nullpontot eltolom a munkadarab bal alsó sarkába, hogy a furatpozíciók megegyezzenek a rajzon szereplő értékekkel. A beállított munkadarabon végrehajtom a síkmaró ciklust erről az oldalról is, így eltávolítva az előgyártmányon hagyott ráhagyást, beállítva az adapterlap pontos vastagságát. Innen is elvégzem a

kontúrmarást, ezzel a művelettel az alkatrész befoglaló méretei már el is készültek. A második felfogásban már sokkal kevesebb munkánk van, mint az első oldal megmunkálásával. Erről az oldalról is furatmaró ciklussal elkészítem a furatok süllyesztéseit, amit az előző oldalról nem tudtam megmunkálni. A süllyesztések után itt is az élek letörése és sorjázása következik. Ezzel a befejező művelettel el is készült a munkadarabunk. Az elkészült programot szimulációval ellenőrizzük, hogy nem e történt ütközés és az összes furatot elkészítettük-e. Véleményem szerint a hyperMILL biztosítja kényelmes, gyors és pontos programozást, a kevesebb tapasztalattal rendelkező felhasználók számára is. A szoftver könnyen tanulható és hamar nagy rutint lehet benne szerezni. Megfelelő licenz hiányában a programról G kódokat nem generálok, így az nem fog a mellékleteim között szerepelni. Ha a cég ezt a szoftvert választja a megmunkálás elkészítéséhez, akkor a programkód az elkészített CAM programból bármikor legenerálható [22].

3.3 Program és szimuláció készítése EdgeCAM szoftverrel

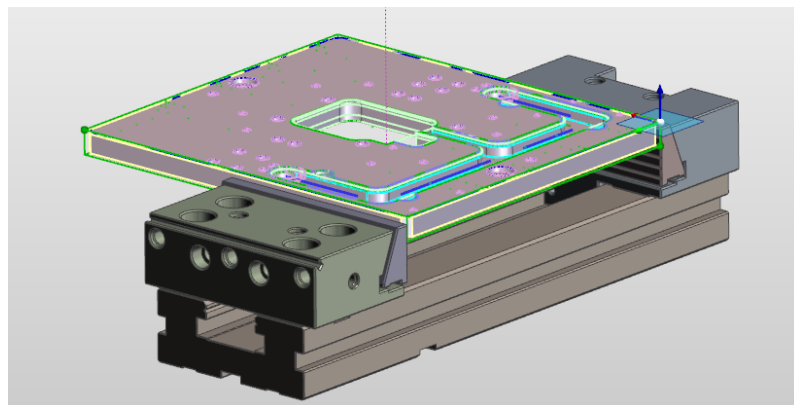
A modell programját és szimulációját EdgeCAM 2022-es diákverziója segítségével is elkészítem, hogy a szoftver által legenerált szerszámpályákat, ciklusidőket és a CAM program elkészítés idejét összehasonlíthassam, a kézi programozással és a másik CAM szoftverrel. Az EdgeCAM diákverziójának viszont vannak bizonyos korlátai. A diákverzióban nem szerepel a teljeskörű szerszámgép lista, így csak hagyományos háromtengelyű marógépet tudtam választani. A következő korlát pedig a házi feladat üzemmód, ami nem ad hozzáférést a G-kódok legenerálásához, így az EdgeCAM által készített programkód nem fog szerepelni a mellékletek között. Viszont, ha a munkadarab ezzel a CAM szoftverrel lesz legyártva és teljeskörű licenc lesz a birtokomban az elkészített gyártásterv alapján gyorsan elkészíthető a programkód.

Az EdgeCAM szoftver lehetővé teszi huzalváz, vagy tömör modell alkatrészek programozását különböző szerszámgépeken. Szerszámpályákat képes generálni összetett felületekről, legyen szó 2,5 tengelyes 3, vagy 5 tengelyes megmunkálásról. Az EdgeCAM intuitív párbeszédekkel kommunikál a felhasználóval, amely átláthatóvá és egyszerűvé teszi a programozást az új felhasználók részére. Az EdgeCAM az összes főbb CAD szoftverrel kompatibilis, így a tervezési adatokkal asszociatív kapcsolatot tart fenn. Ez

főként az alkatrész módosításánál jelent nagy előnyt. A különbség, a hyperMILL szoftverrel szemben, hogy amikor a hasonló alkatrészeket szeretnénk megmunkálni, itt gyorsabb, ha az adott modellt módosítom, míg a hyperMILL szoftverben pedig egyszerűen elegendő a modellek közötti elkészített CAM program másolása. Természetesen ez felhasználótól is függ, hogy kinek melyik módszer a gyorsabb. Ha a modellen változtatás történik az EdgeCAM figyelmezteti a felhasználót a változásokról, például hogy a szerszámpálya mely részekben változott. Az EdgeCAM a Renishaw tapintó alkatrész beállítási ciklusait támogatja, ez lehetővé teszi a nullponteltolásokat, amely a tényleges megmunkálás elengedhetetlen követelménye [23].

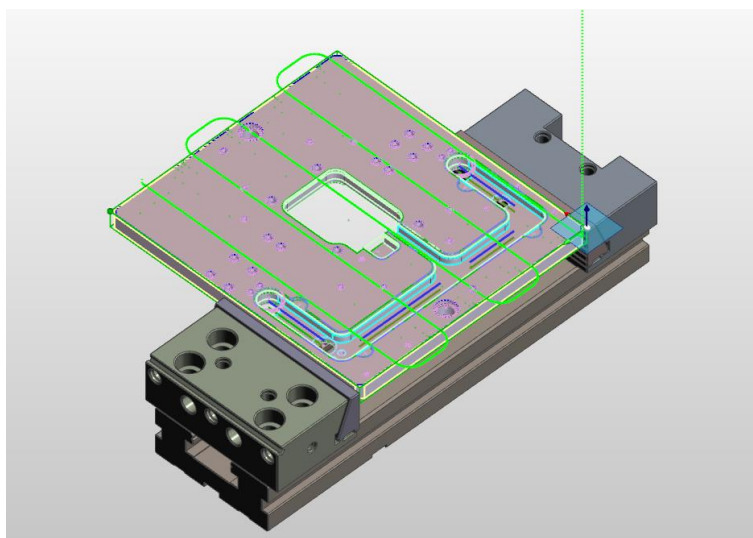
Az program készítését az előgyártmány illesztésével kezdem, mely a Hámori Kft. által vásárolt előgyártmány méreteivel egyezik. Az illesztett előgyártmány méreteihez kiválasztom a megfelelő satut, ami egy Gerardi Vice típusú satu, amely 420 mm hosszúsággal 125 mm szélességgel és 100 mm-es magassággal rendelkezik. A munkadarab 5 mm-t lóg ki a satu magasságából. Ez a magasság megfelelő a biztonságos megfogáshoz és a szerszám munkadarab ütközések elkerüléséhez. A munkadarab oldalát a satu oldalával ütköztetem, a két felületnek párhuzamosnak és egybevágónak kell lennie. A munkadarab pozicionálását alulról acél mérőhasábokkal ütköztetem, és állítom be a vízszinteségét.

Ezt a műveletet a [24]-es ábra mutatja meg.



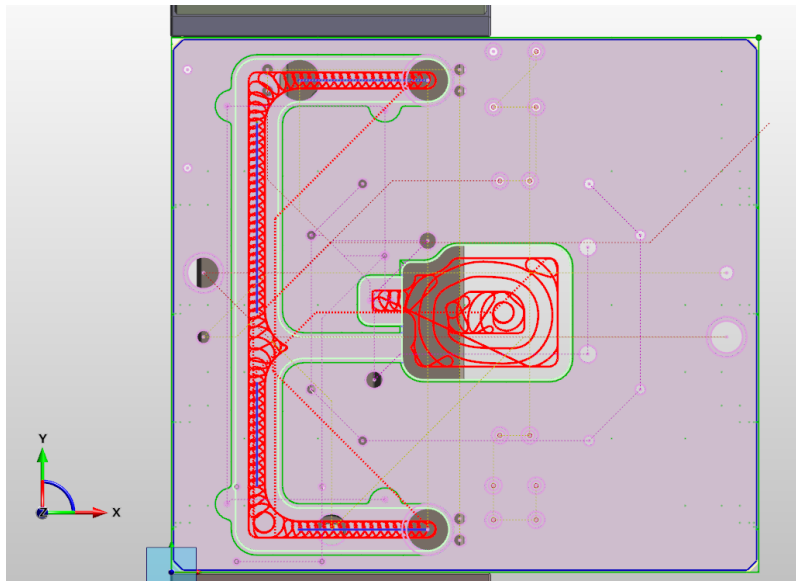
24.ábra: Munkadarab befogása[Saját kép]

Első műveletként eltávolítom, az előgyártmány tetején hagyott 1 mm-es ráhagyást, síkmaró technológia segítségével, ahol a maró egy optimalizált szerszámpályát követ 60%-os lépésközzel. Ezt a műveletet a [25]-es ábra mutatja meg.



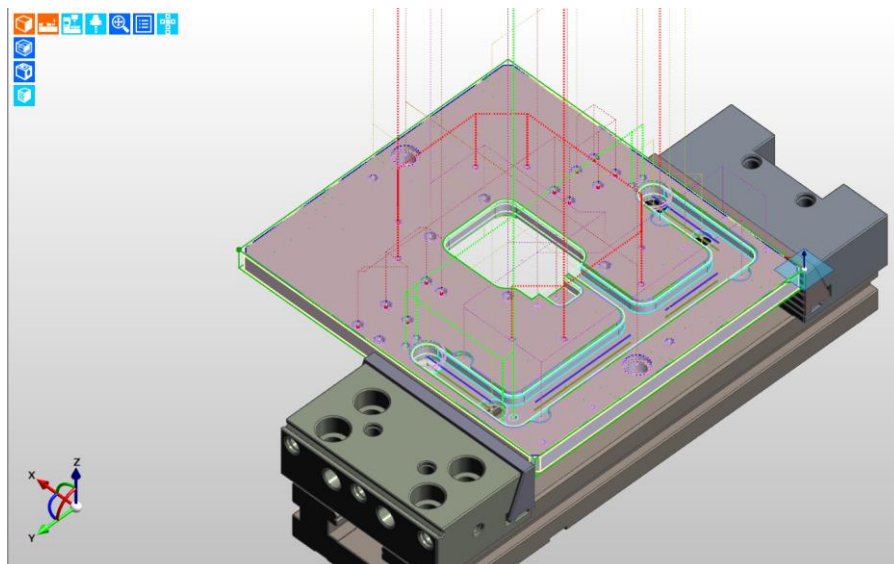
25.ábra: Síkmarár szerszámpályája[Saját kép]

Második műveletként a horony és a zseb nagyolását készítem el. Ennél a lépésnél figyelhető meg a nagysebességű technológia egyik legfontosabb része, a torchoid szerszámpálya [25] ábra. A nagyolás nagy axiális fogásmélységgel, de kicsi radiális fogásmélységgel megy végbe, míg az előtolás és a fordulatszám is a hagyományos marás ötszöröse. A művelet elvégzése közben a szerszám belső hűtést kap. Ezután beváltok egy szintén nagyoló marót, de kisebb átmérővel, ami eltávolítja a maradék anyagot szintén nagyoló technológiával, olyan sarkoknál, lekerekítéseknél, ahova az előző nagyolószereszám nem fért be. Erre a műveletre, azért van szükség, hogy a simító szerszám állandó fogásmélységen dolgozzon és így egyaránt egyforma és megfelelő felületi érdességet és pontos méretet készíthessen az alkatrészben.



26.ábra: Nagyoló művelet torchoid szerszámpályája [Saját kép]

A felületek simítása után a fúróműveletek következnek, melyeket csoportosítva, azonos méretű furatokat egymás után készítek el, ezáltal csökkentve a szerszámcseréket és a furatok közötti gyorsjáratú távolságokat. A furatok szerszámpályáját, az alábbi [27] ábrán láthatjuk. A furatok után beváltom a maradékanyag nagyolásához használt keményfém szármarót, amivel elkészítem a furatok süllyesztéseit.

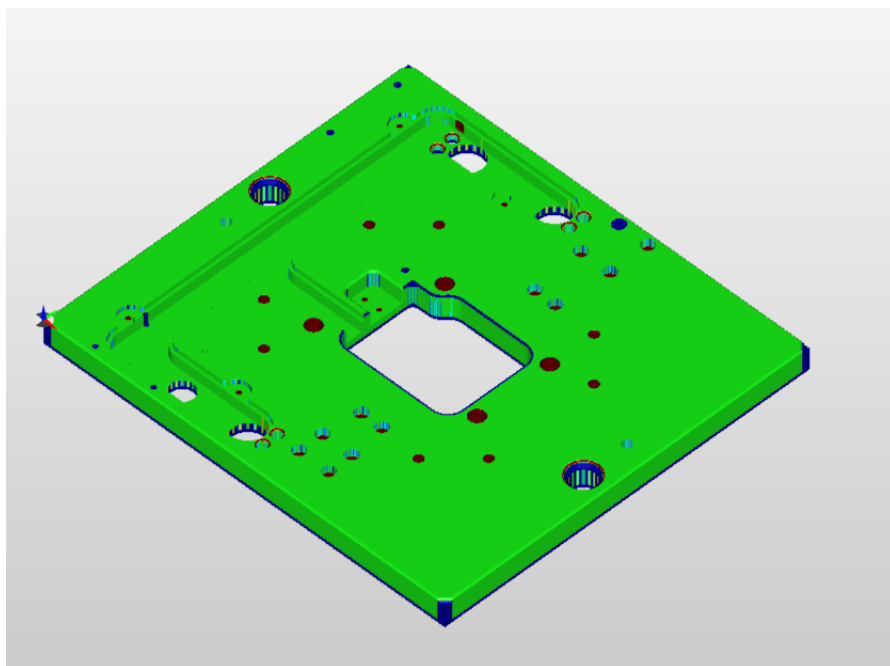


27.ábra: Furatok szerszámpályája [Saját kép]

Következő lépés a menetfúrás, melyet a SECO Kft által gyártott szerszámok segítségével készítek el. Ennél a műveletnél elkészítjük a menetfúrást az előfúrt

magfuratokba. Végezetül pedig behívom a sarokletörőt, elkészíteni az alkatrészen szereplő letöréseket és eltávolítani a megmaradt sorját. Az első felfogásnak ez a befejező művelete. Az első felfogás 33 perc 34 másodperc alatt készül el.

Ezután a munkadarab fordítása következik. A fordítás után ezen az oldalon is eltávolítom az előgyártmányon hagyott ráhagyást síkmaró technológiával., majd erről az oldalról is elkészítem a furatokban szereplő süllyesztéseket. Végül ezen az oldalon is elkészítem a letöréseket és elvégzem a sorjázást a sarokletörő maró segítségével. A második felfogás 3 perc 4 másodperc alatt készül el. A szimuláció lefutása után megtekinthetjük a kész munkadarabunkat, és ellenőrizni tudjuk, hogy maradt e valahol a modellhez képest felesleges maradékanyag.



28.ábra: Adapterlap szimulációjának eredménye[Saját kép]

4. Összehasonlító elemzés készítése HSC technológia és normál CNC marás esetén a költségek tekintetében

A hagyományos megmunkálás több szempontból is különbözik a nagysebességű megmunkálástól. Hagyományos megmunkálás esetén a munkadarab és a szerszám közötti érintkezési idő sokkal több és nagyobb forgácsolóerővel jár, mint a nagysebességű marás. Ráadásul a hagyományos megmunkálás esetén a munkadarab pontossága és felületi minősége kevésbé pontos, mint a nagysebességű technológia alkalmazásakor.

Hagyományos megmunkáláskor tervezett szerszám pálya mintázata egyszerűen követi a munkadarab alakját, ezért a szerszám ebben az esetben változó mennyiségű anyaggal találkozhat, főleg a sarkokban. Az egyenetlen anyageltávolítás miatt megnövekednek a lineáris erők és ennek kompenzálására csökkentenünk kell a fogásmélységet, előtolást és a fordulatszámot, ugyanakkora szerszáméltartam eléréséhez.

A forgácsolás költségei két részből adódnak össze. Az első a szerszámköltségek egy munkadarabra jutó része, a második pedig a gép üzemeltetéséből származó költségek. Ennek kiszámítására az alábbi képletet használjuk, amit a [18] hivatkozásban találhatunk:

$$K_{m\ddot{u}v} = K_G * t_d + \frac{K_S}{n_T} = [Ft]$$

Ahol,

K_G - A gép fogyasztása, melybe beletartozik a gép által felhasznált villamosenergia, sűrített levegő, hűtőfolyadék stb. és a munkavállaló egy percre jutó bérének az értéke. $(Ft/perc)$.

K_S - szerszámköltség, a szerszám árának egy élre vetített hányadát jelenti $(Ft/\acute{e}l)$.

t_d – munkadarabidő

n_T – szerszám éleinek száma

A teljes szerszámköltség árajánlat alapján 689915Ft-ba kerül, mivel a gépműhelyünk nem rendelkezik az adott szerszámokkal. Viszont ezt az értéket nem tekinthetjük valósnak az egy alkatrész megmunkálásához, hiszen a munkadarab alatt nem kopik el teljesen, a szerszám a jövőben még használható. Költségelemzésnél a szerszám árának valódi értékét az éleinek a száma jelenti, ezért azt úgy kaphatjuk meg, ha a szerszám árát elosztjuk a szerszám éleinek számával.

$$K_s = \frac{F_t}{z} = \frac{\text{Szerszám ára}}{\text{Szerszám éleinek száma}}$$

Az így megkapott érték a szerszámárak körülbelül harmadára csökken, 212.835 Ft-ba kerül a szerszámok élekre számított ára. A szerszámok árain kívül hozzá kell adnunk a munkadarab előgyártmányának költségét is, amit a külsős cég 7400 Ft-os árra határozott meg.

A gép üzemeltetésének költsége óránként 18 000 forint cégünknel, a megmunkálás ideje pedig a gép felszerszámozásával, előgyártmány befogásával és a megmunkálási főidővel együtt körülbelül 8 órába telik. Ezáltal az üzemeltetési költség 144 000 forintba kerül egy darab legyártása esetén.

Ideális esetre kalkulálva egy gépbeállító alkalmazott havi bére bruttó 400.000 forint. Az alkalmazott 8 órás műszakban dolgozik, így az alkatrész gyártása alatt járó bérének értéke $2380 \left(\frac{Ft}{óra} \right)$, ami $39,6 \left(\frac{Ft}{perc} \right)$ -nek felel meg.

A programozó bérét havi bruttó 600.000 forintra kalkulálom, az így kapott órabére 8 órás műszakban $3570 \left(\frac{Ft}{óra} \right)$, ami $59,5 \left(\frac{Ft}{perc} \right)$ -es díjnak felel meg. Mivel a programozási idő optimális esetben hyperMILL szoftver használatával 1 óra 15 percre kalkulálható, de minden megkezdett óra után kap bért, így két órára 7140 Ft-os fizetést kap cégünkötől. Ehhez szintén a [18] számú hivatkozást használtam.

A munkadarabhoz felhasznált szerszámok költségét, továbbá egyéb gyártási költségeket az alábbi [29] ábrán láthatjuk.

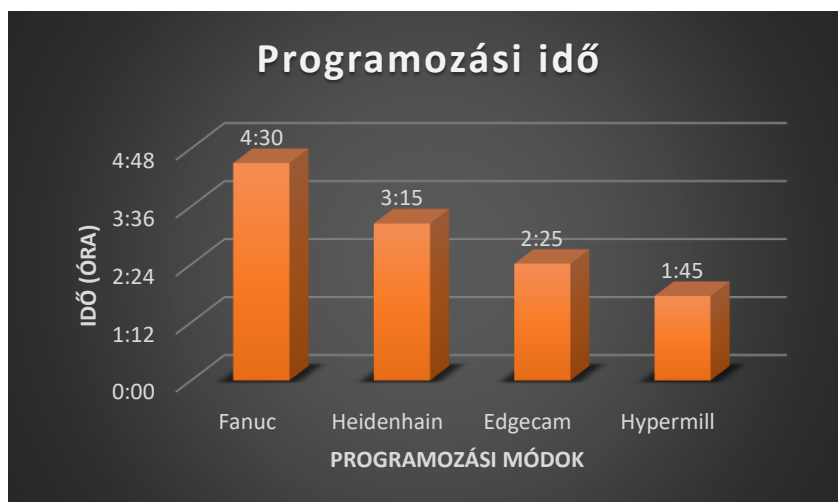


29. ábra: Munkadarab gyártásának költségei [Saját kép]

Ezen költségek összegzésével kaptam meg a gyártás végső költségét, mely 410.415 forintba fog kerülni. A költségek számítása egy darab alkatrész megmunkálásához lett elvégezve. A gyárunknak több hasonló méretű és furatelrendezésű alkatrészre lesz szüksége, akkor a költségek újraszámítását kell elvégeznem, hiszen a gépbeállítás már kevesebb időt vesz igénybe.

4.1 Programozási idő elemzése, optimalizálása egyedi gyártások esetén

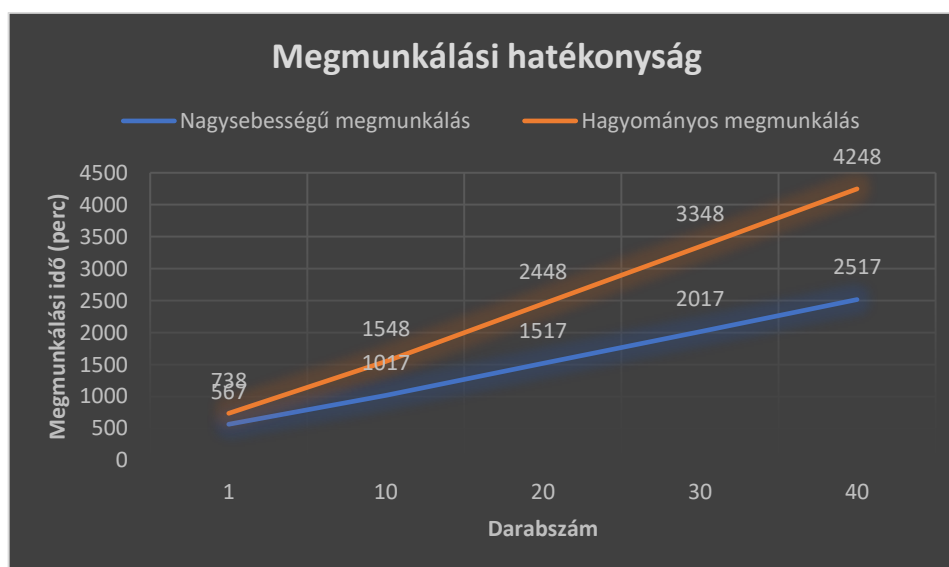
A 30. ábráról leolvasható, hogy nekem mennyi időre volt szükségem a programok elkészítéséhez úgy, hogy a rajz a modell és a műveleti utasításokat már előtte elkészítettem. Mivel magamat nem sorolom a rutinos programozók sorába, így az időadatok tapasztalatszerzéssel javulhatnak. Viszont így is látható a lemért programozási idő mérésével a módszerek hatékonysága és eredményessége. A ráfordított idő csökkentésével további kapacitást sikerülhet elérni, a gépműhely számára.



30.ábra: Programozási idődiagram[Saját kép]

A nagysebességű megmunkálást alkalmazva az alábbi idő adatokat összegezve egy munkadarab gyártására 9 óra és 45 perc szükséges. Ez az adat magában foglalja a hyperMILL szoftver segítségével elkészített programozási időt, a gép felszerszámozását és a munkadarab megmunkálását. Ebből az idő mennyiségből a megmunkálási idő mindössze 50 percet vesz igénybe. Ha ezt a munkadarabot hagyományos marási technológiával gyártjuk le a munkadarab megmunkálási ideje körülbelül 90 perc, ami majdnem a duplája a nagysebességű megmunkáláshoz képest. Ezért készítettem egy diagrammot, hogy szemléltetni tudjam hány darab alkatrész legyártásától érne meg

befektetni a CAM szoftverbe. A diagramm készítéséhez figyelembe vettem a CAM szoftver licenszének egy éves árát, ami 10000 euróba kerül, ha a teljes szoftver megvásároljuk. Ez forintba átszámolva a napi árfolyamot használva 4.000.000 forintba kerül. Hagyományos gyártás esetén a szerszámok ára csökken, hiszen nincs szükség olyan jó minőségű szerszámokra, mint a nagysebességű marás esetén. Az így kiválasztott szerszámok ára 387.649 forintba kerülnek.



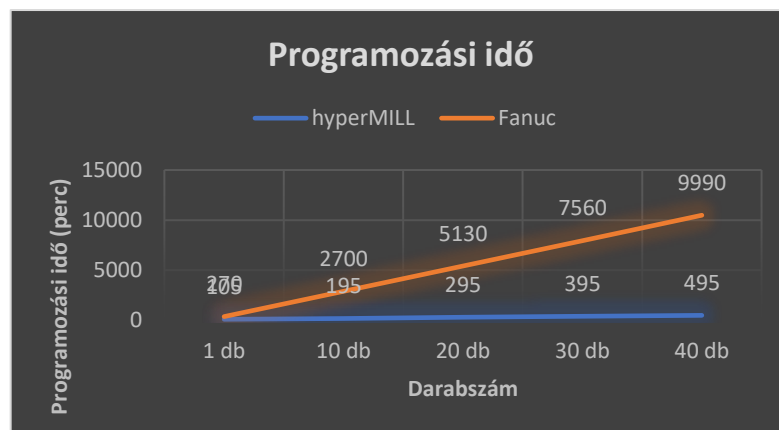
31.ábra: Megmunkálási hatékonyság[Saját kép]

Ha ezeket az idő adatokat felhasználva összegzem a szerszámok árát, dolgozók bérét, a gép költségeit és az előgyártmány árát figyelembe véve a diagrammról leolvasható időadatokkal, akkor megkapom 40 darab gyártása esetén a munkadarabok költségeit, hagyományos marási technológiát alkalmazva. Az így meghatározott érték 2.131.789 forint, amibe a végleges gyártásunk fog kerülni.

Nagysebességű marási technológiát figyelembe véve, összegezem a szerszámok árát, a gépbeállító bérét, a megmunkálóközpont költségeit és az előgyártmány árát 40 darab alkatrész elkészítésére a diagrammról leolvasható időadatok alapján. Az így meghatározott érték 1.848.115 forint, amibe végleges gyártásunk fog kerülni.

Véleményem szerint ekkora mennyiség esetén már megéri a cégnek befektetni a CAM szoftver megvásárlásába, mert amellet, hogy megtakarítottunk 283.674 forintot még a gépműhely kapacitásán is jelentős mennyiségben tudtunk növelni. Sikerült 29 órával lerövidítenünk a gyártás folyamatát, amikor a gépműhelyben egyéb alkatrészek is elkészülhetnek, ezzel növelve a bevételüket.

Összehasonlítom a FANUC kézi programozás idejét és a hyperMILL CAM szoftver által elkészített programok idejét 40 különböző típusú alkatrésze. Az alábbi diagramban megfigyelhetjük, hogy kézi programozás esetén minden programot egyesével az elejétől meg kell írunk, ezért egy meredeken növekvő lineáris egyenest kapunk a programozási időre. Ha a hyperMILL szoftvert alkalmazzuk, akkor elég a programot egyszer elkészíteni és másolni a további típusokra. Ezáltal a programozási idő egy nagyon enyhe emelkedésű, szinte vízszintes lineáris egyenest eredményez.



32.ábra: Programozási idő[Saját kép]

Ha a programozó órabérét összegezzük a Fanuc programozás használatakor 594.400 forint bért kell a számára eljuttatni míg, ha hyperMILL CAM szoftvert használunk ez az összeg mindössze 29.450 forintra csökken. És a programozási időt is megtakarítottunk, amikor a programozó más feladatokra is tud összpontosítani.

Ez alapján a cégnek megéri befektetni a CAM programba, mivel a szoftver ára 4.000.000 forint, ez a befektetett összeg ilyen termelékenység javulással körülbelül egy év alatt megtérül.

5. Összefoglalás

A szakdolgozatomban kitűzött célok nagy részét a szakdolgozat beadási határ idejéig teljesítettem és sikeresnek könyveltem el.

A dolgozat első fejezetében ismertetem a munkadarabom funkcióját a szivárgást tesztelő gépben, majd ismertetem az alkatrész felületeinek szerepét a munkafolyamatban. Elkészíttem a szilárdtest modellt és a műszaki rajzot az adapterlapról, hogy ez alapján el tudjam készíteni a megmunkálási tervet.

A második fejezetben kiválasztom a HSC marási technológiát, mely segítségével megmunkálom az alkatrészt. Ismertetem a technológia előnyeit, hátrányait és alkalmazhatóságát a munkadarabon szakirodalmak segítségével. Kiválasztom a megmunkáláshoz szükséges szerszámgépet és eszközöket, szerszámokat.

A harmadik fejezetben elkészíttem a programkódokat több programnyelven és módszerrel. Ebben segítségemre volt az egyetemen elsajátított tudás, melyet Forgácsolástechnológia alapjai, valamint Forgácsolástechnológia Számítógépes Tervezése I-II tantárgy tananyagának elsajátításával szereztem meg, valamint az eddigi munkáim során tanult programnyelvek ismerete.

Az utolsó fejezetben összehasonlítom a nagysebességű marási technológiát a hagyományos marási technológiával szemben, majd elemzem a munkadarab elkészítésének költségeit és a ráfordított időt. Végül levonom a következtetést, hogy melyik programozási módszer bizonyul a leghatékonyabbnak és melyik módszerrel ajánlom az alkatrész gyártását. Összehasonlítom a két marási technológia költségeit és megállapítom, hogy melyik módszer éri meg jobban a gépműhely számára.

Igyekeztem munkám során részletes leírást nyújtani a feladatkiírásban szereplő feladatokról és alkalmazni az egyetemen elsajátított elméleti tudást a gyakorlatban.

Munkám során arra jutottam, hogy nagysebességű megmunkálás és hyperMILL CAM szoftver használatával eredményesebb megmunkálás hajtható végre mind az alkatrész minőségének szempontjából, mind pedig a költségek optimalizálásának céljából.

6. Summary

I completed most of the objectives set in my thesis by the deadline and I considered it a success.

In the first chapter of the thesis, I describe the function of my workpiece in the leak testing machine, and then I describe the role of the component surfaces in the workflow. I will prepare a solid model and a technical drawing of the adapter plate, so that I can prepare the machining plan based on it.

In the second chapter I select the HSC milling technology to machine the part. I will describe the advantages, disadvantages and applicability of the technology on the workpiece with the help of literature. I will select the machine tool and the tools and dies required for machining.

In chapter three, I will prepare program codes using several programming languages and methods. I have used the knowledge I acquired at university by studying the fundamentals of metal cutting technology and the computer-aided design of metal cutting technology I-II, as well as the knowledge of the programming languages I have learned in my previous work.

In the last chapter, I compare high-speed milling technology with conventional milling technology and then analyse the cost and time required to produce the workpiece. Finally, I will conclude which programming method proves to be the most efficient and which method I recommend to manufacture the part. I compare the costs of the two milling technologies and determine which method is more cost-effective for the machine shop.

In my work I have tried to provide a detailed description of the tasks described in the terms of reference and to apply the theoretical knowledge acquired at university to practical applications.

My work has shown that using high-speed machining and hyperMILL CAM software, more efficient machining can be achieved, both in terms of part quality and cost optimisation.

Ábrajegyzék

1.ábra:	Adapterlap 3D modell [Saját kép]	4
2.ábra:	Adapterlap 3D modell [Saját kép]	4
3.ábra:	Adapterlap 2D műszaki rajz [Saját kép]	5
4.ábra:	Adapeterlapon lévő furatok szerepe [Saját kép]	7
5.ábra:	Előgyártmány modellje[Saját kép]	9
6.ábra:	Solomon görbe[8]	11
7.ábra:	Nagysebességű megmunkálás hatásai[10]	12
8.ábra:	Nagysebességű megmunkálóközpont[12]	13
9.ábra:	Szerszámtartó felépítése[13]	14
10.ábra:	Szerszámbefogók összehasonlítása[13]	15
11.ábra:	Zsugorbefogók típusai[14]	16
12.ábra:	Síkmaró szerszám és lapka [15]	17
13.ábra:	Nagyoló keményfém szármaró belsőhűtéssel[15]	18
14.ábra:	Simító keményfém szármaró [15]	18
15.ábra:	Keményfém fúró 45°-os letörésselés belsőhűtéssel[15]	18
16.ábra:	Keményfémfúró belsőhűtéssel [15]	19
17.ábra:	Menetfúró[16]	19
18.ábra:	90°-os sarokletörő[17]	19
19.ábra:	Szerszámpálya sebességének optimalizálása[19]	24
20.ábra:	Adapterlap felső oldalának megmunkálása[Saját kép]	28
21.ábra:	Adapterlap felső oldalának megmunkálása[Saját kép]	28
22.ábra:	Munkadarabok beillesztése[Saját kép]	31
23.ábra:	Adapterlap alaksajátosságai[Saját kép]	31
24.ábra:	Munkadarab befogása[Saját kép]	34
25.ábra:	Síkmarár szerszámpályája[Saját kép]	35
26.ábra:	Nagyoló művelet torchoid szerszámpályája[Saját kép]	36
27.ábra:	Furatok szerszámpályája [Saját kép]	36
28.ábra:	Adapterlap szimulációjának eredménye[Saját kép]	37
29.ábra:	Munkadarab gyártásának költségei[Saját kép]	39
30.ábra:	Programozási idődiagram[Saját kép]	40

31.ábra:	Megmunkálási hatékonyság[Saját kép]	41
32.ábra:	Programozási idő[Saját kép].....	42

Felhasznált irodalom

- [1] G. Dr. Péczely, C. Péczely, és G. Péczely, *LEAN3 Termelékenyséfejlesztés egységes rendzserben*, Első. Debrecen: A.A Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft, 2009.
- [2] „ESD védelem szabvány”. <https://ugyintezes.mszt.hu/webaruhaz/szabvany-adatok?standard=146200> (elérés 2022. december 4.).
- [3] Könnny S., „SZABVÁNYOS KÖNNYŰFÉMEK ÉS ÖTVÖZETEI K JELLEMZŐI, ALKALMAZÁSA”.
- [4] „Total Materia :: Mechanikai tulajdonságok”.
<https://portal.totalmateria.com/hu/search/quick/materials/3212286/mechanical>
(elérés 2022. október 24.).
- [5] „Turesek.pdf”. Elérés: 2022. november 18. [Online]. Elérhető:
<http://www.sze.hu/~szalai/szabvanyok/Turesek.pdf>
- [6] T. Fenyvessy, R. Fuchs, C. Gürtler M., és A. Plósz, *Műszaki táblázatok*, Első javított, Bővített kiadás. 1045 Budapest, ősz u. 133: TCS Media Kft., 2015.
- [7] „A HSC technológia részletes bemutatása 1.rész | CNC”.
<https://www.cnc.hu/2012/08/a-hsc-technologia-reszletes-bemutatasa-1-resz/> (elérés 2022. október 8.).
- [8] „Mi az a nagy sebességű megmunkálás? | HSM | Peak Machine Sales”.
<https://www.peakedm.com/WhatIsHighSpeedMachining.html> (elérés 2022. október 12.).
- [9] „Trochoid marás”. <https://perfor.hu/trochoid-maras> (elérés 2022. november 9.).
- [10] „Vállalati profil DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH”.
<https://www.heidenhain.com/company/corporate-profile> (elérés 2022. november 27.).
- [11] „A HSC technológia részletes bemutatása 2.rész | CNC”.
<https://www.cnc.hu/2012/08/a-hsc-technologia-reszletes-bemutatasa-2-resz/> (elérés 2022. október 8.).

- [12] „EML-610HS CNC megmunkálóközpont”.
https://www.nct.hu/machine3.php?szam=M0025&menu=szerszamgepek/cnc_marogepek/nagysebessegu&ms=CMN (elérés 2022. október 14.).
- [13] „A HSC technológia részletes bemutatása 3.rész | CNC”.
<https://www.cnc.hu/2012/09/a-hsc-technologia-reszletes-bemutatasa-3-resz/> (elérés 2022. október 10.).
- [14] „Zsugorbefogók pro és kontra | CNC”.
<https://www.cnc.hu/2021/04/zsugorbefogok-pro-es-kontra/> (elérés 2022. november 3.).
- [15] FRAISA, „FRAISA | Home”, FRAISA. <https://www.fraisa.com/hu/> (elérés 2022. október 10.).
- [16] „Üdvözljük! | Secotools.com”. <https://www.secotools.com/?language=hu> (elérés 2022. október 10.).
- [17] „Multi-V 90° VHM”. <https://perfor.hu/multi-v-90-vhm> (elérés 2022. október 10.).
- [18] B. Dr. Mikó, S. Dr. Sipos, Dr. Zentay Péter, és P. Hervay, *Forgácsolás technológia alapjai*, Budapest. Budapest: ÓE BGK 3050.
- [19] „A HSC technológia részletes bemutatása 4.rész | CNC”.
<https://www.cnc.hu/2012/10/a-hsc-technologia-reszletes-bemutatasa-4-resz/> (elérés 2022. október 8.).
- [20] „Corporate profile of DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH”.
<https://www.heidenhain.com/company/corporate-profile> (elérés 2022. november 14.).
- [21] „TNC 320 control | Analog control technology”.
<https://www.heidenhain.com/products/cnc-controls/tnc-320> (elérés 2022. november 14.).
- [22] „BRO_hyperMILL_2D_5AXIS_Ung_web.pdf”. Elérés: 2022. november 20.
 [Online]. Elérhető: https://cad.cads.hu/wp-content/uploads/2014/08/BRO_hyperMILL_2D_5AXIS_Ung_web.pdf

- [23] „EDGE CAM | Milling”. [//www.edgecam.com/edgecam-milling](http://www.edgecam.com/edgecam-milling) (elérés 2022. november 18.).

Mellékletek

1. sz. melléklet: Az alkatrész műhelyrajza
2. sz. melléklet: Felfogási terv 1
3. sz. melléklet: Felfogási terv 2
4. sz. melléklet: Szerszámterv
5. sz. melléklet: Műveleti utasítás 1
6. sz. melléklet: Műveleti utasítás 2
7. sz. melléklet: Programkód Heidenhain nyelven
8. sz. melléklet: Programkód Fanuc nyelven