



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

# **Az Ipar 4.0 koncepció – digitális iker alkalmazása gyártási folyamatokra valós ipari környezetben**

**OE-BGK  
2022.**

Hallgató neve:  
Hallgató törzskönyvi száma:

**Lénárt Dániel  
T008575/FI12904/B**



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem  
**Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar**  
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

## SAKADOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Lénárt Dániel

Szakdolgozat száma: SZD22052513068357

Törzskönyvi száma: T008575/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

**A dolgozat címe:** Az Ipar 4.0 koncepció - digitális iker alkalmazása a gyártási folyamatokra valós ipari környezetben

**A dolgozat címe angolul:** The Industry 4.0 concept - Application of the digital twin concept in manufacturing processes

**A feladat részletezése:**

1. Röviden mutassa be vállalatot, ismertesse a megoldandó feladatot!
2. Végezzen kutatást a szakirodalomban a megoldandó feladattal kapcsolatban!
3. Mutassa be és dokumentálja a jelenlegi megoldást a feladaton keresztül!
4. Készítse el a megoldás tervezetét, javasoljon megfelelő eljárást és dokumentálja a megoldást!
5. Foglalja össze az eredményeket, hasonlítsa össze a régi és a javasolt megoldást, fogalmazzon meg további fejlesztési javaslatokat!

**Intézményi konzulens neve:** Dr. Czifra György

**Külső konzulens neve:** Kiss Tibor

**Munkahelye:** Enterprise Group

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

**Beadási határidő:** 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 21.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens

15.

Enterprise Communications Magyarország Kft.  
1138 Budapest, Váci út 117-119.  
Adószám: 13835462-2-41 • Cégjegyzékszám: 01-09-875754



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem  
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

### HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott 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, 2022.12.15

.....  
hallgató aláírása

## Tartalomjegyzék

|     |                                                                          |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Bevezetés .....                                                          | 5  |
| 2.  | Az Ipar 4.0, Intelligens gyártás, Digitális Iker fogalma.....            | 7  |
| 2.1 | Ipar 4.0 .....                                                           | 7  |
| 2.2 | Ipar 4.0 alappillérei .....                                              | 11 |
| 2.3 | Ipar 4.0 alapja, az Intelligens Gyártás:.....                            | 14 |
| 2.4 | Digitális Iker.....                                                      | 19 |
| 3.  | Forgácsolási idők összehasonlítása Digitális Iker segítségével.....      | 22 |
| 3.1 | Előgyártmány kiválasztása, megmunkálási felületek meghatározása.....     | 22 |
| 3.2 | Szerszámok kiválasztása és forgácsolási paraméterek meghatározása: ..... | 27 |
| 3.3 | Megmunkálási idők összehasonlítása .....                                 | 41 |
| 3.4 | NCSIMULal történő összehasonlítás.....                                   | 44 |
| 3.5 | NCSIMUL alkalmazásának lehetőségei: .....                                | 49 |
| 4.  | Összefoglalás .....                                                      | 52 |
| 5.  | Summary .....                                                            | 54 |
| 6.  | Felhasznált irodalom.....                                                | 56 |
| 7.  | Mellékletek .....                                                        | 57 |

## 1. Bevezetés

A szakdolgozati témaválasztásomat az Ipar 4.0 iránti érdeklődésem és az új technológiai fejlődések iránti kíváncsiságom motiválta. A technológia rohamos fejlődésével a minket körülvevő világ is felgyorsult és ez a mérnöki tervezésben sincs másképp. A digitalizáció és a technológiák fejlődésével mind a mérnökök, mind más szakmában dolgozók számára más az elvárás, nap mint nap új kihívásokkal kell szembenézni, és bátran kijelenthetjük – enyhébb túlzásokkal-, hogy ami még az egyik nap újdonság volt, azt a következő nap már rutinszerű tudásként, gyakorlatként kell kezelni. Ez segített abban, hogy a témaválasztás segítségével jobban belemerüljek a negyedik ipari forradalom és az Intelligens gyártás világába, hogy milyen fejlődésen ment keresztül az ipar, jelenleg milyen ütemben fejlődik és merre tart.

A dolgozatom során szeretném bemutatni az Ipar 4.0 kapcsán bevezetésre került Digitális Iker koncepciót, edukációs szinten milyen lehetőségek rejlenek benne, hogy a hallgatók megismerjék, valamint valós ipari környezetben hol tart a fejlődése.

A szakdolgozat első részében bemutatom az Ipar 4.0 fogalmát, hogyan alakult ki, milyen alapelvei vannak, valamint az Intelligens Gyártást és azon belül a Digitális Iker fogalmát és felépítését. A dolgozat második részében egy alkatrész gyártásának elvi tervezését mutatom be, milyen szempontok szerint lehet meghatározni a megmunkálási igényeket adott megmunkáló gépre. Ezt követő részben EDGE CAM programban elkészítem az ideálisnak vélt forgácsolási paraméterek alapján a szerszámpályákat, végül egy Digitális Iker, az NCSIMUL program segítségével optimalizálom a pályákat és összehasonlítom a kapott értékeket. Az eredmények alapján további javítási és fejlesztési lehetőségeket fogalmazok meg. Szakdolgozatom utolsó részében pedig bemutatom, hogy ipari környezetben milyen lehetőségek rejlenek benne és elsődlegesen milyen iparágakban használják az NCSimult, mint Digitális Ikert. A dolgozat megírása során figyelembe vettem a téma nagyságát, ami behatárolta a bemutatás terjedelmét. Ennek megfelelően igyekeztem röviden és mindenre kitérően egy átfogó képet alkotni az Ipar 4.0-ról és a Digitális Iker koncepcióról.

Ezúton szeretném megköszönni belső konzulensemnek, Dr. Czifra György tanár úrnak, hogy elméleti és gyakorlati szaktudásával hozzájárult a szakdolgozatom elkészítéséhez, valamint tapasztalati, észrevételei által értékes tudással gazdagíthattam

ismereteimet. Továbbá szeretném megköszönni az Enterprise Communications Magyarország Kft, két ügyféltámogató mérnökének, Kiss Tibornak és Récsei Richárdnak az önzetlen, kitartó, nagyon értékes segítségét és munkáját, mint külső konzulenseim. Az Ő útmutatásukkal volt szerencsém megismerni az NCSIMUL programot és azt, hogy milyen lehetőségek vannak egy digitális iker technológián alapuló szoftver alkalmazásának a CNC forgácsolásban.

## 2. Az Ipar 4.0, Intelligens gyártás, Digitális Iker fogalma

### 2.1 Ipar 4.0

Az ipar 4.0 olyan ipari modell, ami a jelenleg is zajló 4. ipari forradalmat testesíti meg, olyan módon, hogy a gyártási folyamatokat és az Internetet kapcsolja össze a gyártásba beépített szenzorok és a mesterséges intelligencia segítségével. [1] [2] [3].

Az Ipar 4.0 megfogalmazás a német kormány által kifejlesztett stratégiából ered, ez a stratégia intelligens gyártást és annak előnyeit hivatott népszerűsíteni, oly módon, hogy gazdasági fellendülést érjen el. Az Ipar 4.0 koncepció az öt megelőző három ipari forradalomból jött létre és mint mindegyik, ez is az öt megelőző forradalom továbbfejlesztése [1] [2] [4]. Az első ipari forradalom (1.0) a késői 1700-as években kezdődött, ahol a gőz segítségével termelt energia felhasználásával történő mechanikus termelés tört utat magának [1] [2]. A második ipari forradalom (2.0) az 1900-as évek elején történő iparosodás, ahol az ipari villamosítás, a tömeggyártás és a belső égésű motorok megjelenése lendítette előre a gazdaságot [1] [2]. A harmadik ipari forradalom (3.0) az az automatizálás forradalma volt, ami az 1950 és kora 1980-as évek elejére tehető, ahol főleg az elektronikai és informatikai rendszerek térhódítása zajlott [1] [2]. A negyedik ipari forradalom, amely elsődlegesen az intelligens automatizálás irányába történő fejlődést foglalja magában, az alábbi fő alapelvek tovább gondolása [1] [2]:

- autonóm döntéshozatal;
- munkaerő szerepek változása;
- kiberfizikai rendszerek;
- kiberbiztonság;
- IT és OT fejlesztése a jobb döntéshozatal érdekében.

Az Ipar 4.0 olyan keretrendszer, amely a gyártás különböző fázisait köti össze [2], ez a keretrendszer hat tervezési elvet foglal magába, ezek a „tervezési elvek” elősegítik a felhasználók számára a régebbi rendszerekből történő átállási folyamatot az új, modernebb rendszerek irányába. Ezek az elveket decentralizációnak, virtualizációnak, interoperabilitásnak, modularitásnak, valós idejű adaptáció képességnek és szolgáltatásorientáltságnak nevezzük [2].

Decentralizáció, másnéven központosítás csökkenése, nem más, mint nagyobb vállalatok vagy gyártók esetén a kisebb részegységek nem függenek a központi

irányítástól vagy hierarchiai rendszertől, hanem a gyártás során felmerülő döntéseket saját maguk hozhatják meg. A helyi kiszolgáló egységek valós időben reagálhatnak a felmerülő problémákra, ez az elv rugalmasságot biztosít és megkönnyíti a szakmai tudás használatát. Az elvet nem csak gépekre és gyártási sorokra alkalmazzák, hanem a gyártást felügyelő szakemberek számára is függetlenséget biztosít. Nagyobb szabadságjuk van a hibák feltárásában, a gyártási paraméterek elemzésében, szükség esetén pedig az önálló és gyors döntéshozatalban [2].

Virtualizáció az az elv, ahol egy rendszer a gépek közötti kommunikációt és vizsgálatot teszi lehetővé virtuális iker segítségével. A folyamat során a gyártás helyszínén különböző szenzorokat használnak az információk kinyerésére, ami összeköttetésben áll a virtuális modellel. Elsődleges feladata, hogy az ember által végzett munkafolyamatokat segítse, leegyszerűsítse az elemzés a döntéshozatal idejét a gyártásért felelős alkalmazottak és csapatok számára, úgy, hogy gyors és valós idejű információkat biztosít a kialakított és szinkronizált kommunikációs hálózat segítségével [2].

Interoperabilitás vagy együttműködési képesség, a gyártás olyan során intelligens gyártógépeket- és tárolási rendszereket alkalmaznak, ezek a rendszerek képesek önállóan információt cserélni, cselekvéseket kezdeményezni egymás felé és egymást önállóan ellenőrizni. Ezeket a rendszereket kiber-fizikai rendszereknek hívjuk, röviden CPS (az angol Cyber-Physical Systems rövidítése) [2].

Modularitás során a gyártási folyamatokat önálló modulokként kezelik és úgy alakítják ki őket, hogy bármelyik modul paramétereinek megváltoztatása során, akár cserélik, akár eltávolítják a rendszerből az adott modult, úgy a többi ezekhez a megváltozott körülményekhez képes legyen alkalmazkodni. Az ilyen módon kialakított gyártási rendszerek úgy képesek alkalmazkodni a különböző környezeti, rendszerszintű vagy vásárlói szükségletek változására, hogy a bekövetkező hiba, termelési veszteség vagy vevői elégedetlenség nélkül menjen végbe [2].

Valós idejű feldolgozás során a gyártási folyamatokat előre beállított, speciális szoftverrel rendelkező intelligens gépekkel irányítják, ezek a berendezések a szoftverek segítségével automatikusan alkalmazkodnak a gyártási folyamat körülményeihez, valamint a CPS által hozott döntésekhez a termelési szükségletek kielégítésének szem előtt tartásával. A rendszer folyamatos monitorozás alatt tartja a gyártás folyamatát, követi a termék minőségét, így minden egyes pillanatban képes döntést hozni, ha



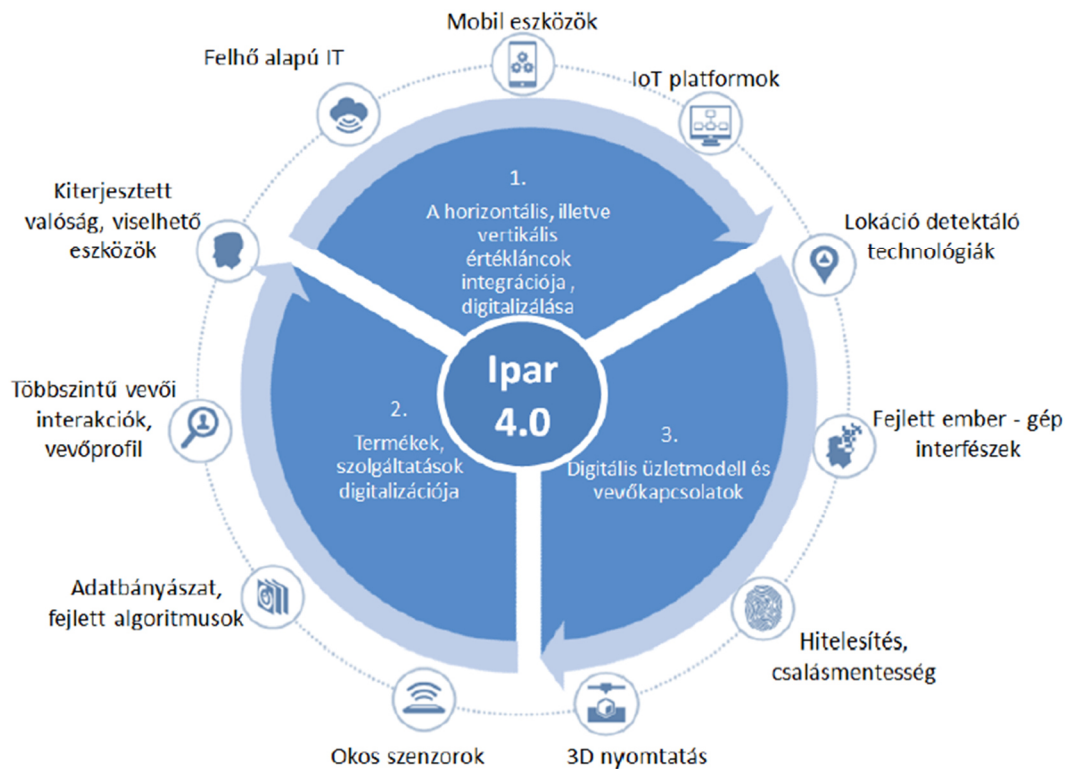
szükségesnek ítéli meg. Ez a fajta összekapcsolás minimalizálni tudja a keletkező hulladék mennyiségét, optimalizálni tudja az anyagfelhasználást és képes növelni az energiahatékonyságot. A valós idejű feldolgozási elv az egyik legkiemelkedőbb komponense az Ipar 4.0-nak, ugyanis ez biztosítja, hogy a teljes rendszer a lehető leggyorsabb válaszidővel rendelkezzen a külső és belső tényezők változására [2].

Szolgáltatás orientáltság elve szerint egy gyártóról akkor tudhatunk meg a legtöbbet, ha a legtöbb információ birtokában vagyunk. Ezt hivatott képviselni ez az alapelv. Ezen információk elérése érdekében célszerű olyan virtuális és digitális platformokat biztosítani, ami bármikor bárki számára elérhető és információt nyújt az aktuális szolgáltatásokról, termékekről [2].

Az Ipar 4.0 alapvető célja, hogy olyan összevont CPS rendszereket hozzon létre a fejlődés reményében, ahol a kölcsönös együttműködésre alapozva, a vevőt a gyártási folyamat részeként tekinti. A termékek elemzése és a tesztelése már a piacra kerülés előtt megtörténik, lehetőséget adva a gyártók számára, hogy előre megjósolják, hogy mi fog történni a termékkel még azelőtt, hogy az bekövetkezne, ezzel növelve a beruházás hatékonyságát. Az Ipar 4.0 megalapozta a lehetőséget az Intelligens gyárak kialakulásának, ahol a piacvezető cégek nem csak utólagos információk alapján tudják termékeiket fejleszteni, hanem lehetőség nyílik számukra olyan irányított gyártórendszerek létrehozására is, ahol a valós idejű interakciók segítségével és a különböző forrásokból származó információk birtokában képesek legyenek gyors és rugalmas termelési rendszereket kialakítani [2]. Az intelligens gyárak elterjedésével, valamint a nagymértékű automatizálásnak és digitalizálásnak köszönhetően elindult a negyedik ipari forradalom, amit röviden Ipar 4.0-nak (későbbiekben I4.0) hívnak [1].

Az I4.0 elsődleges feladatai közé tartozik az automatizálás, az optimalizálás, valamint a folyamat és gyártás tervezés javítása, fejlesztése. További célok lehetnek a még az előrehaladottabb automatizálások, új üzleti modellek kialakítása, valamint új bevételi források keresése tudás és szolgáltatás útján [1] [2] [3].

A megjelenő új technológiai Alappillérek, mozgatják a negyedik ipari forradalmat. Ezek a pillérek a fejlett robotika, a nagy adatfelhasználás, a kiberfizikai rendszerek, a mesterséges intelligencia, a gépi tanulás, a kiterjesztett valóság, a „dolgok internete”, Kiberbiztonság, a felhő alapú számítástechnika, az additív gyártás és az 5G hálózat [1] [2] [3]. Ezeket a pilléreket az (1.ábra) szemlélteti [5]:



1. ábra. Ipar 4.0 keretrendszere, kapcsolódó technológiák [5]

A fejlett gyártórendszerek gyártása során a beépített szenzorok közvetlen kapcsolatban állnak a felhőalapú tárolóhellyel, ahova az adat rögtön megérkezik, amit későbbi vagy akár azonnal történő feldolgozásra lehet felhasználni. Látható, hogy a nagy adatfelhasználás ezekre pillérekre épít, viszont ekkora mennyiségű adat biztonságos tárolására rendkívül fejlett biztonsági rendszerre van szükség, ahhoz, hogy ekkora adatot képes legyen a rendszer egyik pontból a másikba eljuttatni, ahhoz fejlett hálózatra van szükség, és így tovább. Ebből látható, hogy a különféle alappillérek mennyire szoros kapcsolatban állnak egymással [1] [2].

## 2.2 Ipar 4.0 alappillérei

### **Fejlett robotika:**

Számos olyan folyamat található egy gyártáson belül, amit robotok végeznek emberi beavatkozás nélkül. Napjainkra viszont a robotika szó kezd más értelmet nyerni. Az elődjeikhez képest az I.4.0-n belül ezek a robotok már az emberekkel együttműködve dolgoznak és hajtanak végre feladatokat. Ehhez olyan biztonsági készülékek, cellák vannak beépítve, amik megakadályozzák a munkavégzés során bármilyen sérülést okozzanak az operátorokban, ilyenek például a rendkívül érzékeny erőérzékelők. Az újabb és újabb technológiai fejlesztések egyre nagyobb teret adnak a robotok fejlődésének, egyre több robot képes magától felállni, érzékelni az őt érő erőket, energiákat és ezek alapján a saját mozgáskoordinációjukat szabályozni [1] [2].

### **Kiterjesztett valóság:**

A minket körülvevő világot, valós időben digitális tartalmakkal bővítjük ki és ezáltal szerzünk tudást. A fő motiváló erőt az adta, hogy a megvizsgálni kívánt hétköznapi és normál dolgokhoz adjunk hozzá egy kis digitális információt, ami alapján jobban megértjük az adott dolog működését. Egy kiterjesztett valóság létrehozásához szükség van egy kamerához és hozzá kapcsolt rendszerre, egy GPS rendszerre, egy 3D lépték kezelőre és a valóságot a virtuális térrel összekötő algoritmusra. A kiterjesztett valóság segítségével a jelentkező hibákat akár azonnal ki tudjuk javítani, olyan hibákat, amik feltárásához jóval több időre lenne szükség [1] [2].

### **Szimuláció:**

A szimulációs modell egy valóságos vagy tervezés alatt álló rendszer virtuális megfelelője, amin kísérleteket, szimulációkat hajthatunk végre és a kinyert információkat a későbbiekben felhasználhatjuk. A szimulációk segítségével csökkenthetjük a gyártási költségeinket és a tervezésre fordított időt, valamint növelni tudjuk a gyártott termék minőségét is. Egy teljes gyártási terület digitális elemzése segíthet rávilágítani, hogy a gyártósoron melyik területen található hibák, ami a gyártás idő növekedéséhez, akár fennakadásához vezethet [1] [2].

### **Additív gyártás:**

Az additív gyártási technológia képes segíteni új termékek, új üzleti modellek és ellátási láncok kialakításában. Olyan technológiák halmazát tartalmazza, amelyek 3D nyomtatás segítségével építenek fel egy fizikai objektumot. Jobb megközelítés lehet a következő kifejezés, „Az additív gyártás a semmiből állít elő komplex alkatrészeket, rétegről rétegre haladva, egy 3D modell alapján.” [1] A 3D nyomtatási technológia kihasználásával képesek vagyunk olyan egyedi formákat, geometriai alakzatokat alkotni, amik ezelőtt komoly fejtörést okoztak [1] [2].

### **Kiberbiztonság:**

A kiberbiztonsági rendszer felelős a begyűjtött és tárolt adatok védelméért függetlenül attól, hogy fizikai vagy felhő alapú tárolásról beszélünk. Mindkét esetben szükséges, hogy a megőrizni kívánt adatainkat meg tudjuk óvni külső behatolók ellen. Ilyen veszélyforrások lehetnek, számítógépes vírusok és azok számtalan formái, valamint a fizikai behatolások, de akár más adataival való visszaélés is ide sorolható [1] [2].

### **„A dolgok internete” és felhő alapú tárolás:**

A „dolgokat” vagy objektumokat csatlakoztatjuk az internethez. A szenzorok és vezérlők iparba történő bevezetése lehetővé tette, hogy nagy mennyiségű valós idejű adatot gyűjtsön be a felhasználó, viszont ezt az adathalmazt tárolni is kell. Megoldásként a felhő alapú tárolás ad módot, ahol nagy mennyiségű adatot lehet tárolni. Hatalmas előnye, hogy számos cég biztosít ilyen szolgáltatást - manapság egy különálló iparág épült erre -, így se a működtetésről, se a tárolási helyről, se a karbantartásról nem kell a felhasználónak gondoskodnia, ugyanis a szolgáltató biztosítja a szoftvert és az infrastruktúrát [1] [2].

### **Nagy adat felhasználás:**

A gyártóknak működésük során rengeteg információt kell tudniuk kezelni, nem csak a gyártásból származó-, hanem egyéb közösségi médiából, különböző platformokról érkező adatokat, böngészési előzményeket, kampányreklámokat, minden olyan adatot, ami a gyártó vállalattal szoros összefüggésben van. Ezeket az információkat rendszerezni

és elemezni kell, így a gyártó jobb rálátást szerez a piaci szükségletekre, valamint piacra bocsátás előtt ki tudja javítani a hibáit [1] [2].

**Mesterséges Intelligencia:**

A Mesterséges Intelligencia, röviden MI egy olyan számítógépes program, amit komplex feladatok végrehajtására hoztak létre és általában robotok vezérlőegységeként használják, hogy rájuk bízott feladatokat, munkavégzéseket hajtsanak végre. Továbbá lehetőséget ad a robotok számára az őket körülvevő környezetből nyert információk alapján az alkalmazkodásra, ezáltal képesek gyorsabban elvégezni az utasítások végrehajtását. Az MI segítségével a robotok képesek önállóan fejlődni, logikusan cselekedni és egymással kommunikálni [1] [2].

**5G hálózat:**

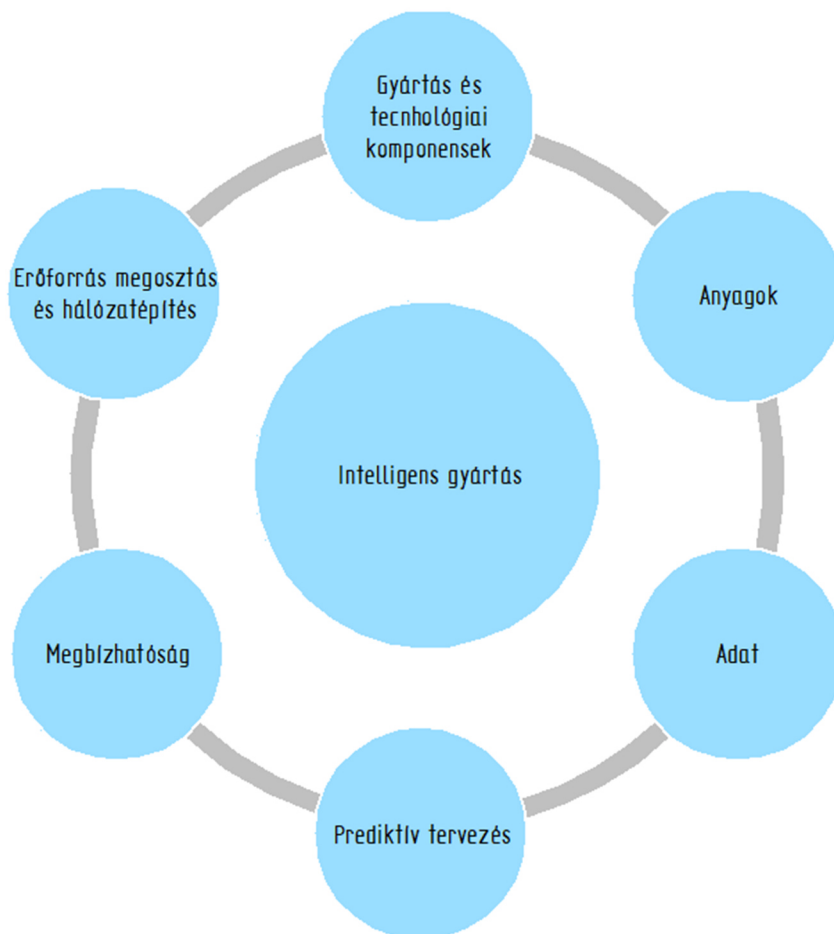
Egy szoftver alapú architektúra, amely dinamikus programozást tesz lehetővé, a különböző alkalmazásokat elkülönített „fóliákban” kezeli. Az 5G hálózat az „dolgok internet” -ének motorja, ami mozgékonyt biztosít és segíti a hálózatra kapcsolt, rendkívül magas számú eszközök gyors és akadástmentes kommunikációját. A 4G lite elődjéhez képest 100-szor gyorsabb internetkapcsolat biztosítására képes [1] [2].

### 2.3 Ipar 4.0 alapja, az Intelligens Gyártás:

Az intelligens gyárak teljesen integrált és kollaboratív gyártási rendszerek, amik valós időben reagálnak a változó igényekre és körülményekre, valamint figyelembe veszik az ellátási lánc és a fogyasztói társadalom szükségleteit [1] [2] [3].

Az intelligens gyártás elsődlegesen az automatizálás, az információs és kommunikációs rendszerek gyártási folyamatainak beállításainál jelentenek előnyt. Az Intelligens gyártásnak nincs konkrét megfogalmazása, mivel minden felhasználó mást és mást jelent és időről időre fejlődik: az, ami tegnap még átütő siker volt, az mára már normál felszereltségnek tekinthető holnapra pedig már lehet, hogy elavult lesz [1] [2].

Jamie O' Sullivan szerint 6 alappillére van az Intelligens gyártásnak, ezeket akadémiai, valamint ipari kutatások és fejlesztések alapján határozta meg [1] [2]. A (2.ábrán) ez a hat pillér látható.



2. ábra. Intelligens gyártás 6 pillére [1]

A Gyártás és technológiai komponensek csoport az alkatrész gyártás folyamatos technológiai fejlődését tartalmazza. Ilyen lehet pl.: az additív gyártás vagy biogyártás [1].

Az Anyagok csoportja nem csak az új anyagok és fejlesztéseket foglalja magába, hanem az életciklusuk végére ért anyagok újra felhasználásának lehetőségét is. A felvetés szerint a hulladéklerakók lehetnek a gyártás során felhasznált alapanyagok új forrásai [1].

Az Adat és a prediktív tervezés, mint két pillér azt a célt szolgálja, hogy a gyártási adatok feldolgozása és elemzése miként segíthet abban, hogy tapasztalatok és a hozzájuk kapcsolódó, különböző forrásokból származó adatok alapján megértsük milyen hibákat követtünk el a múltban és ezek alapján fel tudjunk készülni a jövőben ezekre a hibákra és körülményekre már a gyártás tervezési fázisában. Ezek alapján szűrni és minimalizálni tudjuk a veszélyfaktorokat [1].

Az erőforrás megosztás és hálózatépítés talán a legfontosabb pillére az Intelligens gyártásnak, ugyanis a korábban „külön álló” munkaerők és feladatok digitálisan összekapcsolásra kerültek [1].

Az Intelligens gyártás elsődleges célkitűzése, hogy a gyártási adatokat tudássá alakítsa. Enélkül a „titkos” vagy „rejtett” tudások nélkül nem lenne fejlesztés és innováció, ami előre lendítené a gyártóipart. Ami elsődlegesen megkülönbözteti az Intelligens gyártást a hagyományos gyártástól az az, hogy a fejlesztés érdekében valós idejű adatokat gyűjtünk elemző és monitorozó rendszerek segítségével [1]. Az Intelligens gyártási stratégia sikeres alkalmazásának három fázisa [1]:

- 1.fázis - Adatintegráció és kontextualizáció: Fel kell mérni, hogy milyen információk állnak a rendelkezésünkre és melyek azok, amelyek hiányosak, így egyértelművé válik, milyen adatokat kell még begyűjteni egy adott munka elvégzéséhez [1].
- 2.fázis - Szimuláció, modellezés és analízis: A megszerzett információk birtokában, a hasznos adatok kiszűrését követően fejleszteni tudjuk a gyártáshoz szükséges döntéseinket [1].
- 3.fázis – Folyamat- és termékinnováció: Az adatok felhasználásával nyert gyártási ismeretek segíthetnek a további fejlesztésekben és termékek innovációjában [1].

### **Kiberfizikai rendszerek**

Kulcsfontosságú komponens az intelligens gyártás tervezése során a CPS, amely összeköti a fizikai és kiber világot, ezzel növelve a gyártás intenzitását. Ezek az új generációs rendszerek integrált számítási és fizikai képességekkel rendelkeznek, képesek valós időben kölcsönhatásba lépni egymással és az emberekkel egyaránt. Fő feladata, hogy képes legyen valós idejű adatokat gyűjteni a fizikai világból és ezeket az információkat a virtuális világban hasznos tudásként feldolgozni, majd tárolni [1] [2] [3] [4]. Az intelligens gyártás fejlesztéséhez a CPS nélkülözhetetlen tulajdonságai a következők:

- a kommunikáció;
- a számítás;
- és a vezérlés [1].

A kibertérben történő kommunikációt csoportosítani lehet fontossági szempontból, ez alapján két nagy csoport kerül megkülönböztetésre, az egyik az alárendelt alacsony szintű Digitális Iker, a másik pedig a magasabb szintű Digitális Iker. Egy művelet végrehajtása közben a központi rendszer el tudja dönteni, hogy fizikális- vagy kibertérben történt a feladat és milyen módszert kell alkalmazni a megoldás elvégzéséhez. Ezek alapján a számítás és irányítás között lehet fizikai-fizikai, kiberfizikai vagy kiber-kiber típusú kapcsolat [1] [3].

### **Kiberfizikai rendszerek az iparban.**

Valós termelési környezetben ezeket a rendszereket Kiberfizikai Termelő Rendszereknek (megnevezése az angol Cyber Physical Production Systems kifejezésből származik és a továbbiakban CPPS-nek rövidítjük) nevezzük és magába foglalják a teljes kommunikációs hálózatot, a tároló egységeket, az irányítást és a vezérlő egységeket, amelyek szinkronban működnek egymással, felügyelik egymást és bármilyen külső tényező hatására egymástól független döntéshozatalra képesek [1]. Egy ilyen rendszer működéséhez három fő jellemzőnek kell egy időben jelen lennie [1] [6]:

1. Intelligencia: a rendszernek bizonyos mértékű önállósága van és alapvető számítások végrehajtására képes, a beérkező információk alapján, külső beavatkozás nélkül egyéni döntéshozatalra alkalmas.



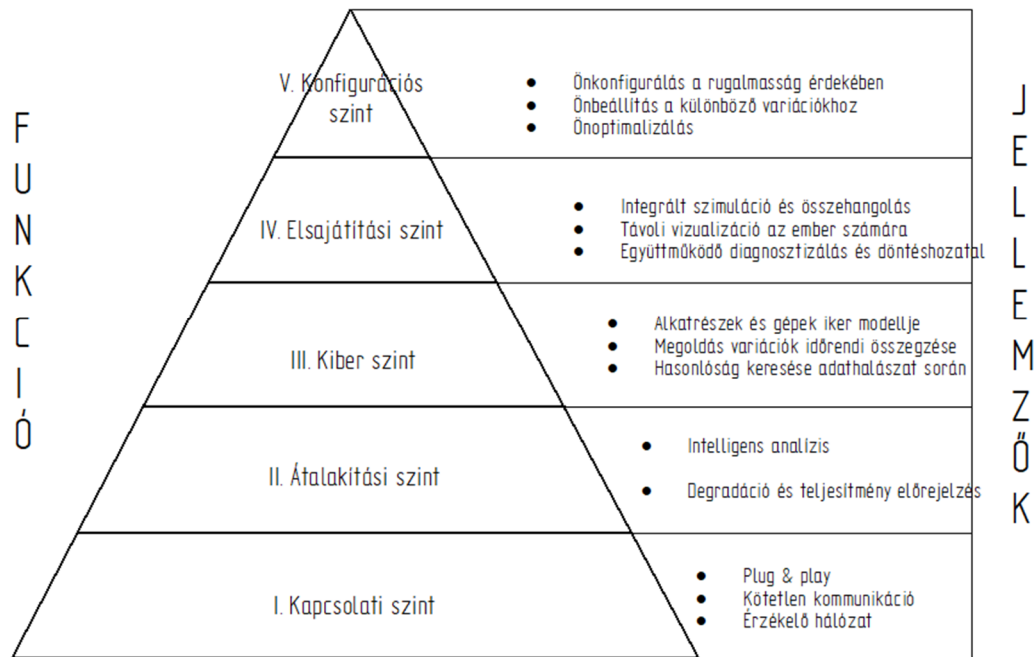
2. Összekapcsolás: a teljes rendszer csatlakoztatása egy hálózaton belül, ahol egymással képesek kommunikálni és együttműködni az alrendszerek és ennek hatására valós idejű információáramlás jöhet létre.
3. Válaszkészség: a rendszer termelési döntéshozatal kapacitását jelenti, megmutatja, hogy a rendszer a termelési környezetben bekövetkező változás hatására milyen termelésirányítási döntést képes hozni [1].

Természetesen egy jól felépített rendszer üzemeltetéséhez szükség van egy szakképzett csapatra is, akik a megfelelő működést biztosítják, felügyelik a rendszert és kezelik a fellépő hibákat, valamint szükség esetén elvégzik a karbantartást [1] [6]. A rendszer sikereinek elérése érdekében olyan szakmai csoportra van szükség, akik együttműködve képesek támogatni a termelést. Ez a szekció magába foglalja az operatív technológiai csapatot (OT), az informatikai csapatot (IT) és az elemzésért felelős csapatot (AT) [1] [6]. Az operatív csapat felel az automatizált hálózatért és a termelési adatok szolgáltatásáért. Az informatikai csapat fejleszti az informatikai rendszereket és eszközöket, mint az adat menedzsmentet és integrációt, a szoftveres támogatást stb. Az elemző csapat készíti el a modelleket, végzi el a szimulációkat, ami támogatja a termelési döntéshozatalt [1] [6].

Egy használható rendszer fejlesztéséhez szükség van egy szisztematikus megközelítésre, erre alkalmas az 5C architektúra, amely szekvenciális munkafolyamatot biztosít és bemutatja, hogyan épül fel egy CPPS [1] [3] [6]. Az 5C kifejezés az alábbi öt angol szó rövidítését foglalja magába:

- Kapcsolat (Connection) – pontos és megbízható adatok gyűjtése az alkatrészekről, adatgyűjtés a gyártáshoz [1].
- Átalakítás (Conversion) – a begyűjtött adatokat alakítjuk át hasznos információvá. Ide tartoznak a helyzet- és állapotinformációk, valamint bármilyen, a gyártáshoz szükséges paraméterek [1].
- Kiber (Cyber) – digitális (kiber) reprezentáció elvégzi a változásokat a gép vagy alkatrésztől származó információk alapján és az új adatokat összehasonlítja a régebbi adatokkal és a rendelkezésre álló információk alapján elemzést hajt végre [1].

- Elsajátítás (Cognition) – a korábban megszerzett információk alapján a rendszer tudást generál, ezáltal az önálló döntéshozatali képesség elérhetővé válik [1].
- Konfiguráció (Configuration) – a digitális tér visszajelzése a fizikai térbe. Lehetőség nyílik a korrekciós vagy prediktív döntések alkalmazására [1].



3. ábra. CPS rendszer 5C architektúrája [1]

A (3.ábra) lépéseinek elvégzését követően létrehozható a CPPS. Az ábra leírásában látható „alkatrészek és gépek iker modellje”, a virtuális másolatot hivatott jelölni. Ez a virtuális másolat vizsgálja az alkatrész vagy egy gép komponenseinek műszaki állapotát, jövőben bekövetkező eseményeket szimulál és képes elvégezni a gép beállítását. Ezt a másolatot digitális ikernek hívjuk és lényeges szereplő az intelligens gyártás evolúciójában. [1].

## 2.4 Digitális Iker

A Digitális Iker (angol elnevezéséből Digital Twin, továbbiakban DT) egy fizikai eszköz virtuális másolata, amely tükrözi a hozzá kapcsolt ikerpáron végrehajtott összes műveletet és utasítást. A DT képes kiemelni a fizikai másolat hibáit már a tervezés pillanatától egészen a gyártás befejezéséig, emellett fogalmakat alkot, összehasonlítást végez és együttműködik a fizikai ikerrel kapcsolatos kérdésekben. Életciklusa során rengeteg tapasztalati tudást készít a begyűjtött és generált adatok birtokában [1].

A DT kifejezés egy új fogalom, elsőként a michigani Egyetem hozta nyilvánosságra egy 2002-es, az iparról szóló konferencia keretein belül, ahol legtöbb említést a repülőgépipar témakörben kapta. Maga a fogalom viszont csak az elmúlt években került a köztudatban az I4.0 keretein belül [1] [4] [6].

A digitális iker három alapvető komponenst tartalmaz; egy fizikai objektumot, egy digitális objektumot, valamint a két „tárgy” között létrejövő adat és információs kapcsolatot biztosító hálózatot. Az első digitális ikrek alkalmazásának lehetőségei korlátozva voltak, monitorozás céljából használták, hogy feltérképezzék a fizikai eszközön keletkező anomáliákat, repedéseket és deformációkat. Ezt az évek alatt kibővítették analitikai optimalizálással, mely során a DT-t használják fel az emberi döntéshozatal támogatására. [1].

Ipari környezetben a DT használatától függően különböző méretekben alkalmazzák, attól függően, hol van rá szükség, egy gyártógép egy bizonyos alkatrészétől elkezdve akár hatalmas méretű ipari folyamatokat is magába foglalhat. Méretétől függően három szintet tudunk megkülönböztetni [1] [4]:

1. Egység szint (Unit level) – Egy adott alkatrészt vagy felszerelést tartalmaz, amit valamilyen tulajdonsága alapján választunk. A kiválasztott eszközöket bonyolultabb gépek esetén különböző tulajdonságok alapján rendszerezünk, pl.: geometria, funkcionalitás, anyagcsoportok stb [1].
2. Rendszer szint (System level) – Ezen a szinten több gépet, akár egész folyamatokat digitalizálunk, melyek egység szintű komponensekből állnak [1].
3. Rendszerek rendszere (System of Systems, SoS) – Ezen a szinten már rendszereket kapcsolunk össze, ezek lehetnek egymástól különállóak, mint

ellátási lánc, logisztika, viszont lehetnek hasonló rendszerek, amik a világ számos pontján találhatók és külön-külön már egy kidolgozott rendszer szintű Digitális Ikerrel rendelkeznek. [1].

A DT előnye, hogy hatalmas méretű tudás birtokába juthatunk a gyártásunkat körülölelő környezettel kapcsolatban és ezt a tudást hogyan tudjuk a saját hasznunkra fordítani. Három fő területet lehet kiemelni, ahol hasznosítható ez a tudás [1] [4]:

- Karbantartás: Folyamatos monitorozás segíthet bennünket abban, hogy egy előrelátó karbantartási stratégiát tudjunk létrehozni, ami növelheti a gyártás minőségét, a gyártás idő csökkenését, ezáltal növelhető a kapacitás, nem utolsósorban pedig karbantartási költségeket csökkenthetünk vele [1].
- Életciklus – Segíthet bennünket egy eszköz különböző életciklusfázisaiban, így a tervezésben, előgyártásban, gyártásban vagy akár a leselejtezésben. Továbbá segíthet az első tervezési iterációban is, így a későbbi verziókhoz már hasznos tudásunk az eszközzel kapcsolatban [1].
- Előrejelzés – A Digitális Iker képes megjegyezni az eszköz viselkedését a környezetében bekövetkező változásokra és későbbi hasonló szituációkban képes lesz ezeknek megfelelően reagálni, így megelőzve a szükségtelenül bekövetkező hibákat [1].

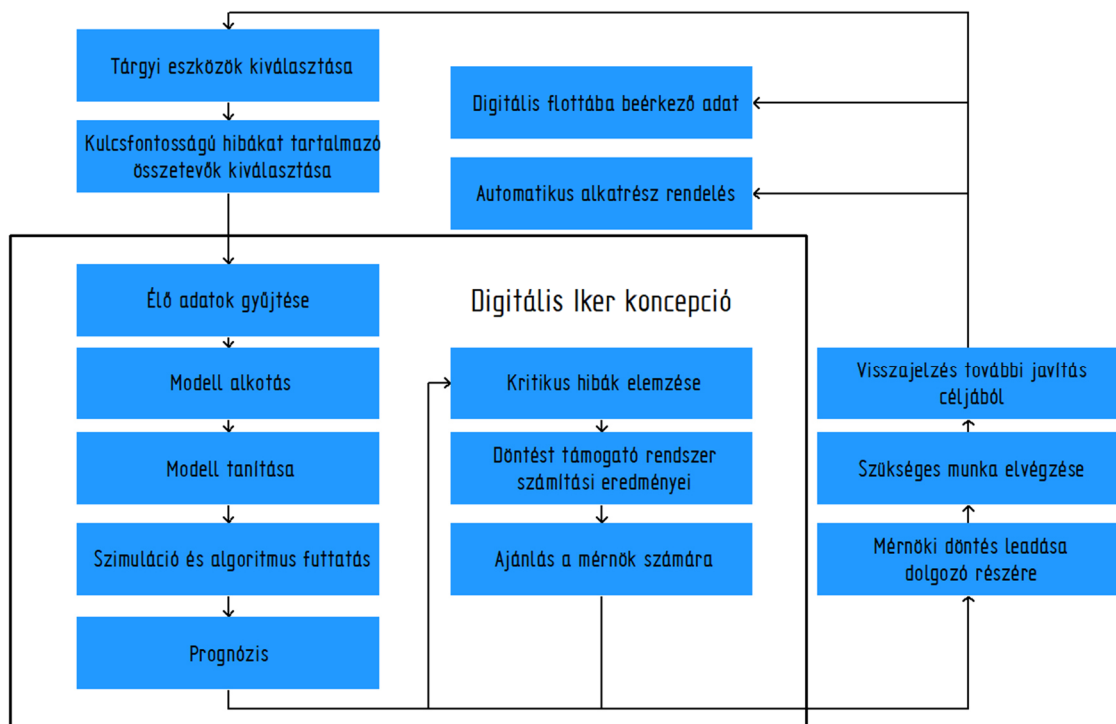
Ahogy a legtöbb rendszernek, úgy a DT rendszernek is vannak hátrányai, melyeket felismerni és kezelni kell. Alapvető tévhit, hogy egyetlen Digitális Iker modellt kell létrehozni, ami képes minden információt begyűjteni és minden célt kielégíteni. Helyette célszerű több modellt készíteni konkrét feladatok elvégzésére, ezáltal egy átfogóbb képet kaphatunk az egész folyamat körülményeiről [1] [4]:

- Átjárhatóság – Különböző gyártóknak és cégeknek információt kell cserélniük egymással, annak érdekében, hogy jól működjön a rendszer, a kölcsönös együttműködés során megosztott tapasztalati tudás alapján egy mindenki számára elérhető adatbázist lehetne létrehozni [1].
- Adat minősége – A rendszer működése szempontjából kihívás, hogy a beérkező nagy mennyiségű nyers anyagot milyen módon lehet kezelni, ebből a hasznos

információt hogyan lehet szűrni és ezt a teljes életciklus alatt, hogyan lehet fenntartani [1].

- Adat biztonsága – A globális szintű adatátvitel és a felhő alapú rendszerek biztonsági protokollnak az ipari létesítményekben egész komoly kihívást jelentenek a cégek számára [1].

A Digitális Iker koncepciót egy keretrendszerbe lehet foglalni, ahol az egyes szekciók összekapcsolása során biztosítani lehet az adatáramlást a fizikai és digitális másolat között, ezekből az adatokból meghatározható egy fizikai eszköz vagy rendszer műszaki állapota is [1] [4]. A keretrendszer felépítését és az egyes szekciók közötti kapcsolatot a (4.ábra) illusztrálja.



4. ábra. Digitális Iker keretrendszer [1]

### 3. Forgácsolási idők összehasonlítása Digitális Iker segítségével

#### 3.1 Előgyártmány kiválasztása, megmunkálási felületek meghatározása

Szakdolgozatom második részében egy legyártandó alkatrész elvi tervezési fázisain keresztül szeretném bemutatni a megmunkálendő felületeket, a megmunkálási igények tekintetében a választott szerszámokat, az elméleti és gyártó által javasolt paraméterek függvényében a számított ciklusidőket. Ezután elkészítem a számított értékek alapján a szerszám pályákat EDGECAM programban, amit egy Digitális Iker segítségével optimalizáltam.

##### **Előgyártmány kiválasztása:**

Előgyártmányunk egy DIN17350 / EN-ISO 4957 szerint C45-ös (1.1730) ötvözetlen, hidegalakító szerszámacél, ami rendszerint lágyított állapotában, 190-es Brinell keménységgel alkalmazható. Alapanyagunk a kereskedelemben is kapható 1030x100x36,4mm-es kivitelben, előköszörült állapotban érkezik, amit darabolással és sorjázással 65mm-es hosszúságú munkadarabokra lehet vágni. Az így elkészült darabok alkalmasak célgepen történő megmunkálásra. Az így előkészített előgyártmány x irányban 1,4mm-es ráhagyással és 3,2 $\mu$ m-es felületi érdességgel rendelkezik.

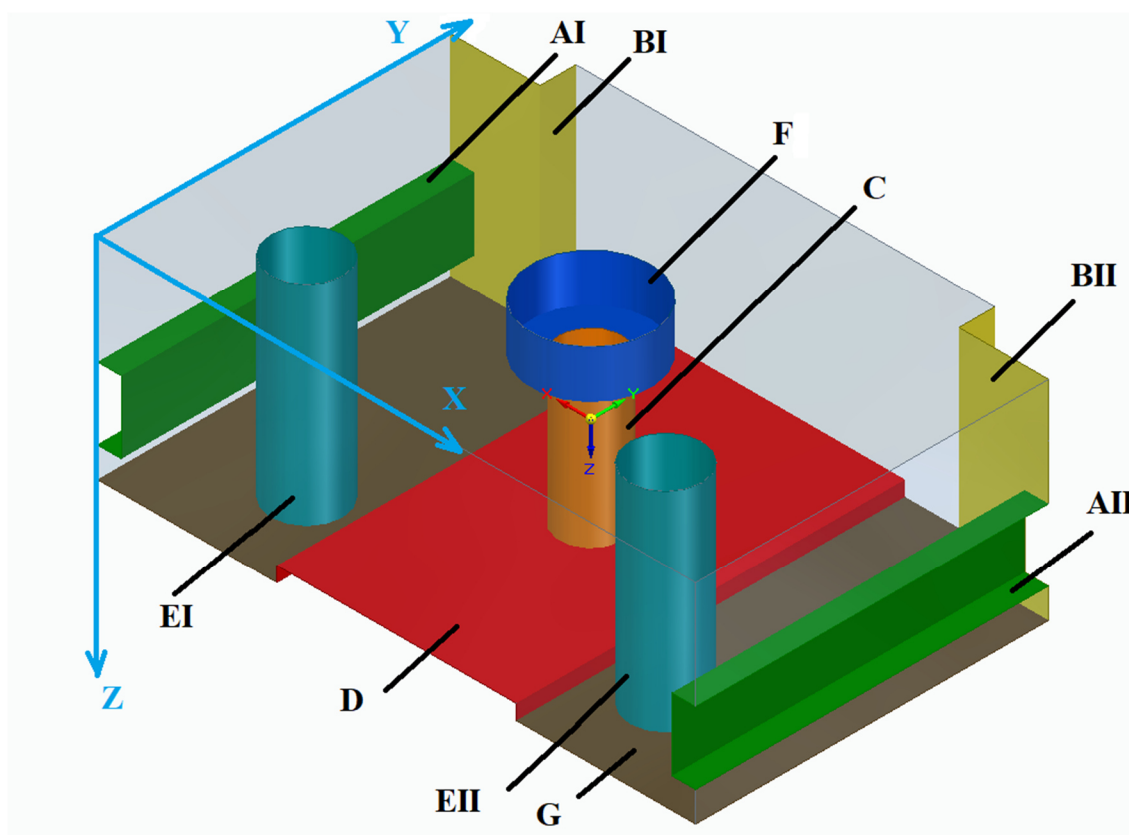
##### **Rajzbírálat és forgácsolhatóság vizsgálata:**

A rajzbírálat során ellenőrizzük (1. sz. mellékleten) látható műhelyrajzon a gyártás szempontjából fontos tűrés és felületi érdesség előírásokat. Esetünkben a műhelyrajzról leolvasható, hogy az előírt általános felületi érdesség 3,2 $\mu$ m, aminek az előgyártmány teljes egészében eleget tesz. Furatok esetében az újabb típusú szerszámoknak köszönhetően az elérhető pontosság IT9-IT10 közötti érték lehet, ami szintén elfogadható. Egy furat esetén az előírt lyuktolerancia Ø10 H7, ami minden nehézség nélkül kivitelezhető. Alak és helyzettűrés nem található, hossz méreteket a rajzon feltüntetett MSZ ISO 2768 általános tűrési szabványnak megfelelően kell értelmeznünk. Forgácsolhatóság szempontjából mértékadó értékünk a következő:

$$R_m = 640 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] (\text{Szakítószilárdság})$$

$$HB = 190 \text{ (Brinell – Keménység)}$$

Az előgyártmány anyaga C45, ötvözetlen acél, nem igényel különleges megmunkálást vagy az általánosnál eltérő megmunkálási technológiát, így a folyó forgácsképződés se jelent kihívást. Miután megállapításra kerültek a tűrésekre vonatkozó követelmények és forgácsolhatóság szempontjából elfogadható az előgyártmányunk, meg kell határozni, hogy melyek a megmunkálni kívánt felületek, ezt az (5.ábra) reprezentálja. Látható az ábrán, hogy 10 megmunkálendő felület van ebből 3 azonos, ezek az AI és AII, a BI és BII, valamint az EI és EII jelűek.



5. ábra. Megmunkálendő felületek

Következő lépésben a támadási irányok kerülnek meghatározásra egy Descartes-i derékszögű koordináta-rendszerben. A támadási irányokat a forgácsolást végző szerszámok megközelítési irányai adják és jelölésük a tengelyelnevezésekből származik. Minden szerszámmozgás megközelítési iránya lehet negatív, illetve pozitív tengelyirányú, így összesen 6 darab támadási direktívát lehet meghatározni, ezek a következők: X+; X-; Y+; Y-; Z+; Z-.

Ezekhez a direkciókhoz már hozzá lehet rendelni a különböző felületeket:

X+ támadási irány:

- AII.1.b – horony marás;
- BII.1.b – lépcső marás;
- D.1.a – nyitott kontúr marás.

X- támadási irány:

- AI.1.a – horony marás;
- BI.1.b – lépcső marás.

Y+ támadási irány:

- BI.1.a – lépcső marás;
- BII.1.a – lépcső marás.

Y- támadási irányból egyetlen felületet sem lehet megmunkálni.

Z+ támadási irány:

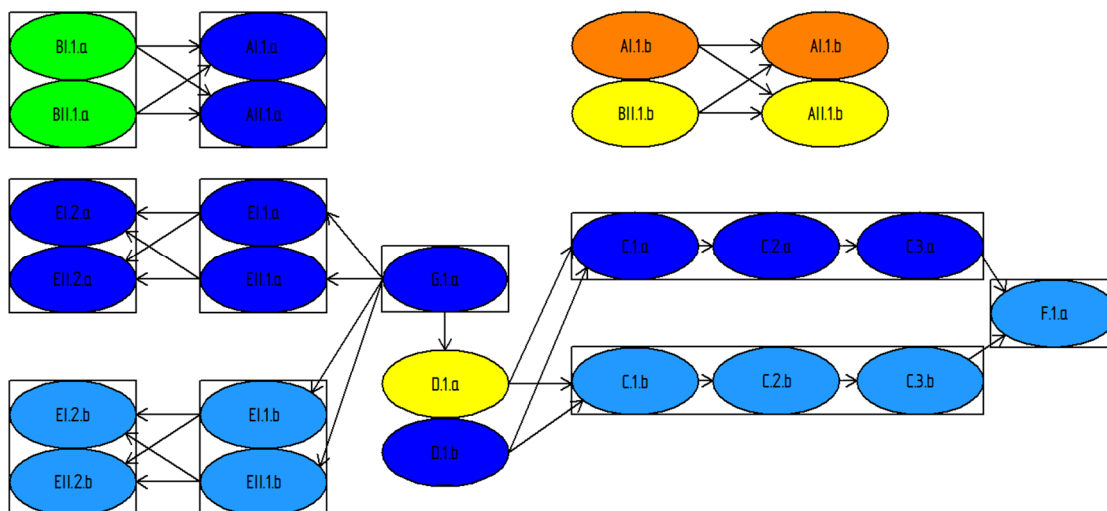
- AI.1.b – horony marás;
- AII.1.a – horony marás;
- C.1.a – központfűrés;
- C.2.a – fűrés;
- C.3.a – dörzsárazás;
- D.1.b – nyitott kontúr marás;
- EI.1.a – központfűrés;
- EI.2.a – fűrés;
- EII.1.a – központfűrés;
- EII.2.a – fűrés;
- G.1.a – síkmarás.

Z- támadási irány:

- C.1.b – központfűrés;
- C.2.b – fűrés;
- C.3.b – dörzsárazás;
- EI.1.b – központfűrés;
- EI.2.b – fűrés;
- EII.1.b – központfűrés;
- EII.2.b – fűrés;
- F.1.a – süllyesztés.

Az irányok meghatározása után célszerű csoportosítani a megmunkálási módszereket, hogy az azonos megmunkálást igénylő és egy felfogásban, egy szerszámmal elvégezhető forgácsolási műveletek egy felületkomplexumot alkossanak. Így minimalizálni lehet a szerszámváltásból adódó ciklus idő többleteket. Meg kell vizsgálni azokat a felületeket is, amiknek előfeltétele valamely más műveleti elem, így meg lehet határozni a leghatékosabb műveleti sorrendet. Ezt a legegyszerűbben egy gráffal lehet modellezni, ami az előzési mátrixot és a felületkomplexumokat hivatott szemléltetni. Az előzetes műveleti sorrendterv mátrixredukció segítségével alakítható ki.





6. ábra. Előzési gráf

A (6.ábrán) látható gráf az összevont felületkomplexumokkal, az (2. sz. melléklet) pedig az előzési mátrixot és a végső sorrendet mutatja be. A 2. sz. melléklet táblázata alapján látható, hogy Z pozitív irányból végezhető el a legtöbb művelet. Figyelembe kell venni, hogy a lépcső marás előfeltétele a horonymarásnak, viszont a síkmarás pedig a lépcsőmarásnak, a többi felület megmunkálása ebben az esetben nem befolyásolja döntésünket. A döntéshozatal során mérlegelni kell, ha a síkmarás kerül előbb elvégzésre, akkor számolni kell két plusz felfogásváltással és további szerszámcserevel. Ebben az esetben célszerű első felfogásban végrehajtott lépcsőmarással kezdeni, ahol 2x1,6mm-es többletmarást kell elvégezni, viszont a munkadarabon nem szükséges további felfogás váltás.

#### A felületkomplexumok összevonása:

Az A horonymarások és B lépcsőmarások tekintetében két felől lehet megközelíteni a felület, így célszerű azt az irányt választani, ahol a BI és BII, valamint AI és AII felület is egy irányból munkálható meg, így kialakult az első két csoport. A síkmarás az első lépés a további megmunkálások tekintetében és csak egy irányból lehet elvégezni.

A D felületet két irányból lehet megmunkálni, de ebben az esetben már figyelembe kell venni, hogy a síkmarás megelőzi és a hozzá tartozó irány a mérvadó, így ez a negyedik csoport. A C és E átmenő furatokat is két irányból lehet megmunkálni.

Egyik opció, hogy a már meglévő fogásban kerülnek megmunkálásra, így egy felfogásban elvégezhető a legtöbb műveletünk Z pozitív irányból. Másik opció, mivel a C furathoz tartozik egy F jelű süllyesztési művelet, így az E furatok is Z negatív irányból kerülnek megmunkálásra. Az így kialakult csoportok a következők, az egymás utáni műveleteket a  $\rightarrow$ , míg az egyszerre történő műveleteket a  $\parallel$  hivatott jelölni [8].

I.komplexum: [BI.1.a]  $\parallel$  [BII.1.a]  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  [BI.2.a]  $\parallel$  [BII.2.a]

II.komplexum: [AI.1.a]  $\rightarrow$  [AII.1.a]

III.komplexum: [G.1.a]

IV.komplexum: [D.1.b]

V.komplexum: [EI.1.a]  $\parallel$  [EII.1.a]

VI.komplexum: [EI.2.a]  $\parallel$  [EII.2.a]

VII.komplexum: [C.1.a]  $\rightarrow$  [C.2.a]  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  [C.3.a]

VIII.komplexum: [F.1.a]

Műveleti sorrendünket az (1.táblázat) -ban foglaltuk össze.

*1. táblázat: Műveleti sorrend*

| Műveletelem | Komplexum | Felület         | Művelet megnevezése    |
|-------------|-----------|-----------------|------------------------|
| 1           | I.        | BI.1.a, BII.1.a | Váll nagyolása         |
| 2           | I.        | BI.2.a, BII.2.a | Váll simítása          |
| 3           | III.      | G.1.a           | Síkmarás               |
| 4           | IV.       | D.1.a           | Nyitott kontúr marás   |
| 5           | IV.       | D.2.a           | Nyitott kontúr simítás |
| 6           | V         | EI.1.a, EII.1.a | Ø12 központozás        |
| 7           | VI        | EI.2.a, EII.2.b | Ø12 fúrás              |
| 8           | VII       | C.1.a,          | Ø10 központozás        |
| 9           | VII       | C.2.a           | Ø10 fúrás              |
| 10          | VII       | C.3.a           | Ø10 dörzsárazás        |
| 11          | II        | AI.1.a, AII.1.a | Hornyok marása         |
| 12          | VIII      | F.1.a           | Ø20 süllyesztés        |

### 3.2 Szerszámok kiválasztása és forgácsolási paraméterek meghatározása:

A feladat elvégzése során a (7.ábrán) látható 3 tengelyes, vertikális kialakítású HAAS által gyártott, MiniMill típusú marógép áll a rendelkezésünkre. A forgácsolási műveletek és a készüléktervezés során figyelembe kell venni, hogy a megmunkálóasztal 914x730x305 mm-es befoglaló mérettel rendelkezik. A forgácsolási adatok meghatározása során a (2. táblázat) -ban foglalt paraméterek az irányadók.



7. ábra. HAAS MiniMill [6]

2. táblázat: HAAS MiniMill típusú gép adatai [6]

|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| Maximális teljesítmény          | 5,6 [kW] (7,5LE)      |
| Maximális fordulatszám          | 6000 [1/min]          |
| Maximális leadott nyomaték      | 45 [Nm]               |
| Maximális vágási sebesség       | 7,6 [m/min]           |
| Maximális tolóerő x,y,z irányba | 8896 [N]              |
| Levegő szükséglet               | 113 [L/min] (6,9 bar) |

A szerszámok kiválasztása során a megmunkáló géppel kompatibilis szerszámok kerültek kiválasztásra. Szerszám befogásra BT40-es kúpos csatlakozót alkalmaztunk, ami elérhető mind szerelt kivitelű, mind tömör marószerszámokhoz. Fúró szerszámok esetén BT40 NPU13 típusú fúrótokmányra esett a választás, ami 1 mm és 13 mm-es fúró

szerszám befogására alkalmas. A kiválasztott szerszámok és befogó készülékeket a (3. sz. melléklet) szerszámterve tartalmazza.

### Marási műveletek meghatározása

Az I. komplexum esetén két váll felület egymást követő nagyolását és simítását végezzük el egy szerszámmal. A váll jellemzően 35 mm hosszú, 15 mm széles és 6 mm mély. A választott szerszám egy 16mm átmérőjű, 5 fogszámmal és 90°-os főél elhelyezési szöggel rendelkező AlTiN bevonatú végmaró. A megmunkáláshoz a gyártó által javasolt forgácsolási paramétereket választjuk [6]. A kiindulási adataink így:

Forgácsolási sebesség:  $V_c = 152$  [m/min]; Fordulatszám:  $n = 3030$  [1/min];  
 Fogankénti előtolás:  $f_z = 0,1041$  [mm]; Előtolási sebesség:  $V_f = 1575$  [mm/min];  
 Maximális fogásmélység:  $a_p = 1,5 \cdot D$ ; Maximális fogásszélesség:  $a_e = 0,5 \cdot D$ ;  
 Forgácsoló fogak száma:  $z=5$ ; Főél elhelyezési szög:  $\kappa_r = 90$  [°].  
 Szerszámátmérő:  $D=16$  [mm];

Mindkét művelet esetében a megmunkálás két fogásban valósul meg, így  $i = 2$ ,  $a_p = 2,75$  mm, 0,5 mm-es simítási ráhagyással. A megmunkálendő hossz  $l_w = 35$  mm és a rá- és túlfutási út pedig  $l_{rá,túl} = 2 \cdot 10$  mm. Továbbá figyelembe kell venni, hogy a szerszám esetén a fogásszélesség maximum értéke  $0,5 \cdot D$  lehet, így:

$$ae(=bw) = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ [mm]}.$$

A fentiek figyelembevételével, és tekintve, hogy a felület megmunkálási szélessége 15 mm, így egy fogás esetén a megmunkálási úthosszt kétszer járja be a szerszám két fogási szélesség mentén, ezekhez tartozó paraméterek rendre,  $b_{w1} = 8$  mm és  $b_{w2} = 7$  mm. A fenti adatok függvényében, nagyoló művelet esetén a teljes úthossz a (3.1) -es képlet segítségével számítható [7]:

$$L = 2 \cdot l_w + l_{rá,túl} + D = 2 \cdot 35 + 2 \cdot 10 + 16 = 106 \text{ [mm]}. \quad (3.1)$$

Így forgácsolás gépi ideje nagyoló eljárásnál a következő [7]:

$$t_g = \frac{i \cdot L}{V_f} \cdot 60 = \frac{2 \cdot 106}{1575} \cdot 60 = 8,1 \text{ [s]}. \quad (3.2)$$

A szükséges forgácsolóerő és teljesítmény meghatározása során egy aszimmetrikus elrendezésű homlokmarásra jellemző értékeket kell kiszámolni, ezt illusztrálja a (8.ábra).

Aszimmetrikus elrendezés esetén a ki- és belépési forgácsív szöge nem azonos, ezt az értéket a jellemző geometriai adatok ismeretében és a (8.ábrán) látható módszer segítségével az alábbiak szerint állapítható meg [7]:

1.esetben:

$$\psi_1 = \frac{\text{érintkezési szög}}{\text{fogosztás szög}} = \frac{(\varphi_{be1} + \varphi_{ki1}) * z}{\delta} = \frac{(0 + 90) * 5}{360} = 1,25, (3.3)$$

2.esetben

$$\begin{aligned} \psi_2 &= \frac{\text{érintkezési szög}}{\text{fogosztás szög}} = \frac{(\varphi_{be2} + \varphi_{ki2}) * z}{\delta} = \frac{\left(-tg^{-1}\left(\frac{a}{b}\right) + 90\right) * 5}{360} = \\ &= \frac{\left(-tg^{-1}\left(\frac{r - b_{w2}}{r}\right) + 90\right) * 5}{360} = \frac{\left(-tg^{-1}\left(\frac{8 - 7}{8}\right) + 90\right) * 5}{360} = \\ &= \frac{(-7,125 + 90) * 5}{360} = 1,15, (3.4) \end{aligned}$$

ahol:  $a$ : szerszám szimmetria tengely és a belépési pont közötti távolság [mm];

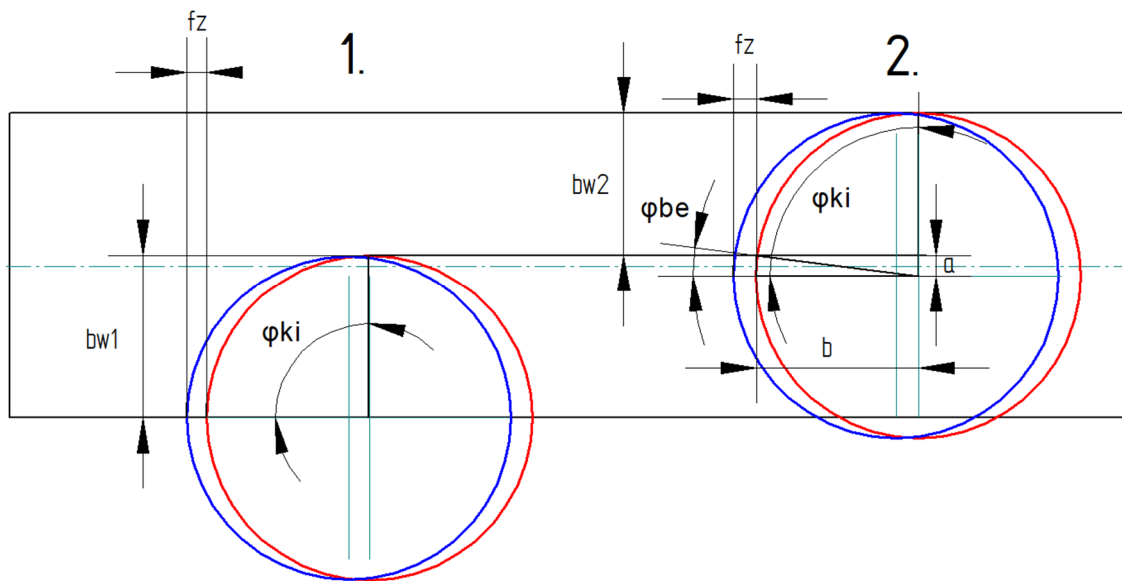
$b_w = a_e$ : fogásszélesség megmunkálás adott fázisában [mm];

$\varphi_{ki}$ : kilépési forgácsív szöge [°];

$\varphi_{be}$ : belépési forgácsív szöge [°];

$r$ : szerszám sugara [mm];

$\psi$ : egyidejűleg átlagosan fogásban lévő fogak száma.



8. ábra. Aszimmetrikus elrendezésű homlokmarás [7]

A meghatározott érintkezési szögekből a forgácsolási ívhossz is megállapítható [7]:

$$i = \frac{D * \pi * (\varphi_{be} + \varphi_{ki})}{360}. \quad (3.5)$$

Követve az előző metodust, itt is mindkét esetre elvégezzük a számítást:

1.esetben:

$$i_1 = \frac{D * \pi * (\varphi_{be1} + \varphi_{ki1})}{360} = \frac{16 * \pi * (0 + 90)}{360} = 12,566 [mm], \quad (3.6)$$

2.esetben:

$$i_2 = \frac{D * \pi * (\varphi_{be2} + \varphi_{ki2})}{360} = \frac{16 * \pi * (-7,125 + 90)}{360} = 11,57 [mm], \quad (3.7)$$

ahol: D: forgácsoló szerszám átmérője [mm];

i: forgácsolási ívhossz [mm].

Szükséges még az átlagos forgácsolóerő meghatározása szempontjából a területegyenlőségből számolható közepes forgácsvastagság értéke is, amit átrendezés után az alábbiak szerint számolhatunk ki [7]:

1.esetben:

$$\bar{h}_1 = \frac{f_z * a_{e1}}{i_1} = \frac{0,1041 * 8}{12,566} = 0,066 [mm], \quad (3.8)$$

2.esetben:

$$\bar{h}_2 = \frac{f_z * a_{e2}}{i_2} = \frac{0,1041 * 7}{11,57} = 0,062 [mm], \quad (3.9)$$

ahol:  $\bar{h}$ : közepes forgácsvastagság [mm];

$f_z$ : fogankénti előtolás [mm].

Az „egy fog által leválasztott közepes forgácskeresztmetszetnél a szerszám élén fellépő forgácsolóerő” [7] nagysága [7]:

1.esetben:

$$\bar{F}_{c1,1} = \bar{k} * A = \frac{k_{c1,1}}{\bar{h}_1^{q_c}} * \bar{h}_1 * a_p = \frac{1570}{0,066^{0,24}} * 0,066 * 2,75 = 547 [N], \quad (3.10)$$

2.esetben:

$$\bar{F}_{c1,2} = \bar{k} * A = \frac{k_{c1,1}}{\bar{h}_2^{q_c}} * \bar{h}_2 * a_p = \frac{1570}{0,062^{0,24}} * 0,062 * 2,75 = 521 [N], \quad (3.11)$$

ahol:  $\bar{k}$ : átlagos fajlagos forgácsolóerő [N];

A: forgácskeresztmetszet [mm<sup>2</sup>];

$k_{c1.1}$ : fajlagos forgácsoló erő főértéke 1mm széles és vastag forgácsnál [N/mm<sup>2</sup>];

$q_c$ : forgácsvastagság kitevő;

$a_p$ : fogásmélység [mm].

A  $k_{c1.1}[\frac{N}{mm^2}]$  és a  $q_c$  értékei anyag és szerszámfüggő mennyiségek és ezek általában kísérletek útján meghatározhatók, viszont a mai időnkben számos táblázat áll rendelkezésünkre ezeknek az értékeknek a gyors felkutatására, a mi esetünkben a [9] táblázatában összefoglaltak szerint választottuk ki C45-ös anyagminőségre. Miután minden adat rendelkezésünkre áll az átlagos forgácsolóerő kiszámításához, a következőket kapjuk. [7]:

1.esetben:

$$\bar{F}_{c,1} = \bar{F}_{c1,1} * \psi_1 = 547 * 1,25 = 684 [N], (3.12)$$

2.esetben:

$$\bar{F}_{c,2} = \bar{F}_{c1,2} * \psi_2 = 521 * 1,15 = 600 [N]. (3.13)$$

Az átlagos forgácsolóerő ismeretében meghatározható az átlagos forgácsolási nyomaték és az átlagos forgácsolási teljesítmény is [7]:

1.esetben:

$$\bar{M}_{c,1} = \frac{\bar{F}_{c,1} * D}{2000} = 5,47 [Nm], (3.14)$$

$$\bar{P}_{c,1} = \frac{\bar{M}_{c,1} * n}{9550} = 1,74 [kW], (3.15)$$

2.esetben:

$$\bar{M}_{c,2} = \frac{\bar{F}_{c,2} * D}{2000} = 5,472 [Nm], (3.16)$$

$$\bar{P}_{c,2} = \frac{\bar{M}_{c,2} * n}{9550} = 1,74 [kW]. (3.17)$$

Az II. komplexum esetén az első művelethez hasonlóan egy szerszámmal történő megmunkálást láthatunk két ugyanolyan felület marási műveletének elvégzésére. A hornyok jellemzően 65 mm hosszúak, 12 mm szélesek és 4mm mélyek. A választott szerszám egy 25 mm átmérőjű, 10 fogszámmal rendelkező, jellemzően HSS-EC05

gyorsacél reteszhoronymaró. A megmunkáláshoz a gyártó által javasolt forgácsolási paramétereket választjuk [6]. A kiindulási adataink így:

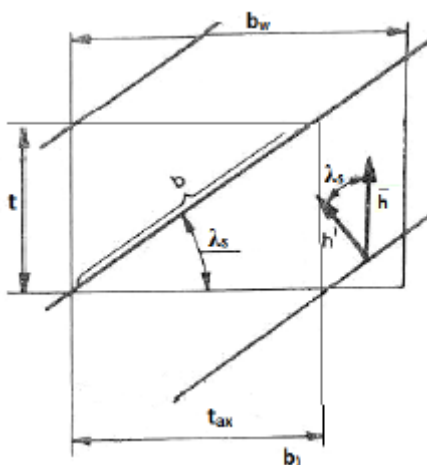
Forgácsolási sebesség:  $V_c = 152$  [m/min]; Fordulatszám:  $n = 1940$  [1/min];  
 Fogankénti előtolás:  $f_z = 0,07$  [mm]; Előtolási sebesség:  $V_f = 1358$  [mm/perc];  
 Forgácsoló fogak száma:  $z = 10$  Maximális fogásmélység:  $a_p = 6$  [mm];  
 Horonyemelkedés szöge:  $\lambda_s = 10$  [°]; Szerszám átmérő:  $D=16$  [mm].

Mindkét művelet esetében a megmunkálás két fogásban valósul meg, így  $i = 2$ , a megmunkálendő hossz  $l_w = 65$  mm és a rá- és túlfutási út pedig  $l_{rá, túl} = 2 \cdot 20$  mm. Jellemző fogásszélesség pedig  $a_e = 4$  mm. A fenti adatok függvényében a (3.1) -es képlet felhasználásával a teljes hossz a következő [7]:

$$L = l_w + l_{rá, túl} + D = 65 + 2 \cdot 20 + 25 = 125 \text{ [mm]}. \quad (3.18)$$

Így forgácsolás gépi ideje nagyoló eljárásnál a következő [7]:

$$t_g = \frac{i \cdot L}{V_f} \cdot 60 = \frac{2 \cdot 125}{1358} \cdot 60 = 11,05 \text{ [s]}. \quad (3.19)$$



9. ábra. Ferdehornyú palástmarás forgácsleválasztása [7]

A (9.ábra) egy ferdehornyú palástmarással történő forgácsleválasztását szemlélteti. A forgácsvastagság szempontjából figyelembe kell venni a horonyemelkedési szöget [7]:

$$h' = \bar{h} \cdot \cos \lambda_s = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{d}} \cdot \cos \lambda_s = 0,07 \cdot \sqrt{\frac{4}{25}} \cdot \cos 10^\circ = 0,275 \text{ [mm]}, \quad (3.20)$$



ahol:  $h'$ : élre merőleges forgácsvastagság [mm];

$\lambda_s$ : horonyemelkedési szög [°];

$f_z$ : fogankénti előtolás [mm];

$d$ : szerszámátmérő [mm];

$a_e$ : fogásmélység [mm].

A (9.ábrán) látható, hogy szükséges egy sugárirányú fogosztás és a hozzá tartozó íven fogásban lévő élvonalhossz meghatározása ezek után a forgácsolási keresztmetszet számítással megadható [7]:

$$t = \frac{d * \pi}{z} = \frac{25 * \pi}{10} = 7,85 \text{ [mm]}, (3.21) \text{ és } b = \frac{t}{\cos \lambda_s} = \frac{7,85}{\cos 10^\circ} = 7,97 \text{ [mm]}, (3.22)$$

$$\text{valamint } A_1 = h' * b = 0,0275 * 7,97 = 0,219 \text{ [mm}^2\text{]}, (3.23)$$

ahol:  $t$ : sugárirányú fogosztás [mm];

$b$ : fogásban lévő élvonalhossz [mm];

$A_1$ : forgácskeresztmetszet [mm<sup>2</sup>].

Az axiális osztás ismeretében meghatározható a kapcsolási szám, ahol  $b_w = a_p$  [7]:

$$t_{ax} = t * \operatorname{ctg} \lambda_s, \text{ valamint } \psi_{ax} = \frac{b_w}{t_{ax}}, (3.24)$$

így,

$$\psi = \psi_{ax} + \psi_{rad} = \frac{z}{\pi} * \left( \sqrt{\frac{a_e}{d}} + \frac{a_p}{d} * \operatorname{tg} \lambda_s \right) = \frac{10}{\pi} \left( \sqrt{\frac{4}{25}} + \frac{6}{25} * \operatorname{tg} 10^\circ \right) = 1,4. (3.25)$$

ahol:  $t_{ax}$ : axiális osztás [mm];

$\psi_{ax}$ : axiális kapcsolási szám;

$\psi_{rad}$ : radiális kapcsolási szám.

Az ismert összefüggés alapján az egy fog működtetéséhez szükséges átlagos forgácsolóerő meghatározható [7].

$$\bar{F}_{c1} = \bar{k} * A_1 = \frac{k_{c1.1}}{h'^{q_c}} * A_1 = \frac{1570}{0,0275^{0,24}} * 0,219 = 815 \text{ [N]}. (3.26)$$

Végül meghatározható a (3.13), (3.14) és (3.15) képlet segítségével az átlagos erőigény és nyomaték, valamint a teljesítményigény is [7]:

Az III. komplexum esetén az első művelethez hasonlóan egy aszimmetrikus homlokmarást kell elvégezni egy felületen. A megmunkálandó sík 65 mm széles és 100

mm hosszú és az előgyártmány ráhagyása pedig 1,6 mm. A választott szerszám egy 50 mm átmérőjű, 90°-os fő él elhelyezési szöggel és 5 fogszámmal rendelkező, szerelt kivitelű síkmaró. A megmunkáláshoz a gyártó által javasolt forgácsolási paramétereket választjuk [6]. A kiindulási adataink így:

Forgácsolási sebesség:  $V_c = 210$  [m/min]; Fordulatszám:  $n = 1340$  [1/min];  
 Fogankénti előtolás:  $f_z = 0,05$  [mm]; Előtolási sebesség:  $V_f = 335$  [mm/min];  
 Forgácsoló fogak száma:  $z = 5$ ; Maximális fogásmélység:  $a_p = 1,6$  [mm];  
 Fogások száma:  $i = 1$ ; Elhelyezési szög:  $\kappa_r = 90$  [°].

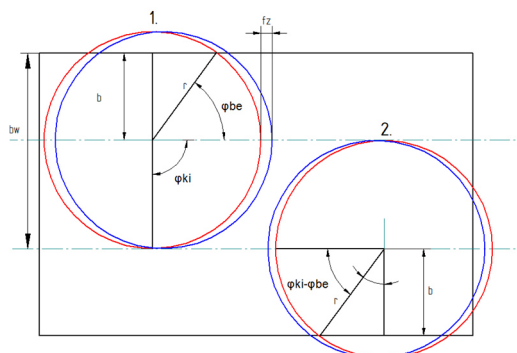
A gépi főidőt, a forgácsoló erőt és a szükséges teljesítményt az I. komplexum esetén használt (3.1-es) és (3.2-es) képleteket felhasználva tudjuk meghatározni, az alábbi módosítás figyelembevételével, a megmunkálási hossz  $l_w = 65$  mm, rá- és túlfutás értéket pedig  $l_{rá, túl} = 2 \cdot 30$  mm. A síkmaró esetén a kapcsolási szám meghatározása során a (10.ábrán) jelölt pályák vonalát kell figyelembe venni így a ki és belépési szög függvényében a kapcsolási szám az alábbiak szerint határozható meg,  $b_w = 45$  mm [7]:

$$\begin{aligned}\psi &= \frac{\text{érintkezési szög}}{\text{fogosztás szög}} = \frac{(\varphi_{be2} + \varphi_{ki2}) \cdot z}{\delta} = \frac{\left(\cos^{-1}\left(\frac{b}{r}\right) + 90\right) \cdot 5}{360} = \\ &= \frac{\left(\cos^{-1}\left(\frac{r-5}{r}\right) + 90\right) \cdot 5}{360} = \frac{\left(\cos^{-1}\left(\frac{20}{25}\right) + 90\right) \cdot 5}{360} = \\ &= \frac{(53,13 + 90) \cdot 5}{360} = 1,98. \quad (3.27)\end{aligned}$$

Mivel mindkét esetben a szögek ismeretében lehet meghatározni a forgácsolási ívhosszt, és szemmel láthatóan az első pálya megmunkálása során közel kétszer akkora íven dolgozik a szerszámunk, így várhatóan a forgácsolási erő ennek függvényében kétszer akkora lesz.

Első pálya esetén a forgácsolási ívhossz [7]:

$$i = \frac{D \cdot \pi \cdot (\varphi_{be} + \varphi_{ki})}{360} = \frac{50 \cdot \pi \cdot 143,13}{360} = 62,45 \text{ [mm]}. \quad (3.28)$$

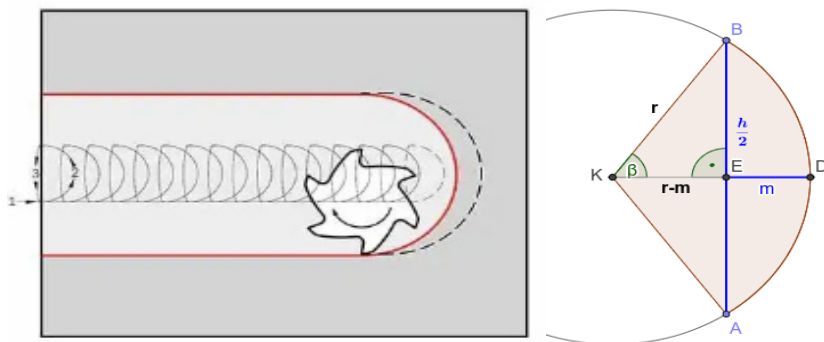


10. ábra. Aszimmetrikus elrendezésű síkmarás [7]

Az IV. komplexum esetén egy trochoid marási stratégiát alkalmazunk, ahol a szerszámtátmérő a 0,6-07-szerese a megmunkálási szélességnek, ami esetünkben 40 mm, a felület 65 mm hosszú, mélysége pedig 5 mm. A választott szerszám egy 25 mm átmérőjű, 90°-os főél elhelyezési szöggel rendelkező AlTiN bevonatú végmaró. A megmunkáláshoz a gyártó által javasolt forgácsolási paramétereket választjuk [6]. A kiindulási adataink így:

|                                                     |                                                  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Forgácsolási sebesség: $V_c = 84$ [m/min];          | Fordulatszám: $n = 1330$ [1/min];                |
| Fogankénti előtolás: $f_z = 0,0965$ [mm];           | Előtolási sebesség: $V_f = 610$ [mm/min];        |
| Forgácsoló fogak száma: $z = 5$ ;                   | Maximális fogásmélység: $a_p = [4,9\text{mm}]$ ; |
| Előtolás értéke: $a_e = 0,05 \cdot 25 = 1,25$ [mm]; | Elhelyezési szög: $\kappa_r = 90$ [°].           |
| Fogások száma: $i = 1$ ;                            |                                                  |

A gépi főidőt, a forgácsoló erőt és a szükséges teljesítményt az I. komplexum esetén használt képleteket felhasználva tudjuk meghatározni, az alábbi módosítás figyelembevételével: [7]:



11. ábra. Trochoid marás horonymarás esetén [10] [11]

A megmunkálási hossz  $l_w = (40 \cdot 6,53 \cdot 2) \cdot (25 \cdot 0,05)$  amit a megmunkáláshoz tartozó körív ismeretében állapítunk meg, geometriai elrendezést a (11.ábra) szemlélteti, rá- és túlfutás értéket pedig  $l_{rá, túl} = 2 \cdot 15$  mm. A megmunkálási hossz és a gépi főidő a (3.1-es) és (3.2-es) képletek felhasználásával számítható.

A trochoid marásnál a kapcsolási szám számítása során  $\varphi = 70^\circ$ -os érintkezési szöget kell figyelembe venni, a többi adat ismeretében az előzőekhez hasonlóan meghatározható a forgácsolási erő, nyomaték és teljesítmény.

### Fúrési műveletek meghatározása:

Az VI. komplexum esetén két  $\emptyset 12$ -es átmenő furat kialakítása a cél. A furatok jellemzően 35 mm hosszúak. A választott szerszám egy 12 mm átmérőjű, 2 fogszámmal rendelkező, jellemzően egy TiAlN bevonatú keményfém fúró. Meg kell vizsgálni a furat elkészítés szempontjából az  $l/d$  viszonyt, esetünkben  $\frac{l}{d} \leq 5, \frac{35}{12} = 2,9$ , így a fúrókiemelést nem indokolt alkalmazni a megmunkálás során. A megmunkáláshoz a gyártó által javasolt forgácsolási paramétereket választjuk [6]. A kiindulási adataink így:

|                                             |                                           |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Forgácsolási sebesség: $V_c = 100$ [m/min]; | Fordulatszám: $n = 2650$ [1/min];         |
| Fogankénti előtolás: $f_z = 0,125$ [mm];    | Előtolási sebesség: $V_f = 665$ [mm/min]; |
| Forgácsoló fogak száma: $z = 2$ ;           | Csúcshöszög: $\sigma = 140$ [°];          |
| Szerszám átmérő: $D = 12$ [mm];             |                                           |

Mindkét művelet esetében egy fogásban el lehet végezni a fúrási műveletet, így  $i = 1$ , a megmunkálendő hossz  $l_w = 35$  mm és a rá- és túlfutási út pedig  $l_{rá, túl} = 2 \cdot 3$  mm, valamint a fúrócsúcs kúpszögéből adódó távolság  $l_{cs} = d/2 \cdot \tan(\sigma/2)$  [7]. A fenti adatok függvényében teljes úthossz a következő [7]:

$$L = l_w + l_{rá, túl} + l_{cs} = 35 + 2 \cdot 3 + 2,18 = 43,18 \text{ mm. (3.29)}$$

Így forgácsolás gépi ideje nagyló eljárásnál a következő [7]:

$$t_g = \frac{i \cdot L}{V_f} \cdot 60 = \frac{1 \cdot 43,18}{665} \cdot 60 = 3,89 \text{ [s]. (3.30)}$$

Fúrési megmunkálás során az elméleti forgácsolási paraméterek a következők:  
Elméleti forgácsvastagság [7]:

$$h = f_z * \sin \kappa_r = f_z * \sin \frac{\sigma}{2} = 0,125 * \sin 70 = 0,11 \text{ [mm]}. \quad (3.31)$$

Anyagleválasztás [7]:

$$b = \frac{d}{2 * \sin \kappa_r} = \frac{d}{2 * \sin \frac{\sigma}{2}} = \frac{12}{2 * \sin 70} = 6,38 \text{ [mm]}. \quad (3.32)$$

Kinzle-képlet szerinti fajlagos forgácsolóerő [7]:

$$k = \frac{k_{c1.1}}{h^{qc}} = \frac{1570}{0,11^{0,24}} = 2666 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]. \quad (3.33)$$

Egy élre eső forgácsolóerő [7]:

$$F_{c1} = k * A_1 = k * b * h = 2666 * 0,11 * 6,38 = 1871 \text{ [N]}. \quad (3.34)$$

Forgácsolóerő [7]:

$$F_c = z * F_{c1} = 2 * 1871 = 3742 \text{ [N]}, \quad (3.35)$$

Előtolás irányú erő [7]:

$$F_{ax} = 0,9 * F_c = 0,9 * 3742 = 3368 \text{ [N]}, \quad (3.36)$$

Végül a már jól ismert teljesítmény és nyomaték [7]:

$$M_c = F_{c1} * \frac{d}{2} = 1871 * 0,006 = 11,226 \text{ [Nm]}, \quad (3.38)$$

$$P_c = \frac{M_c * n}{9550} = \frac{11,226 * 2650}{9550} = 3,11 \text{ [kW]}. \quad (3.39)$$

A VII. komplexum esetén a Ø10H7-es átmenő furat elkészítésénél egy telibefúrás és egy dörzsárazás műveletet végzünk el. A két eljárás elvégzéséhez alkalmazott szerszám adatok a következők:

Fúrás esetén:

|                                                      |                                                    |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Forgácsolási sebesség: $V_c = 100 \text{ [m/min]}$ ; | Fordulatszám: $n = 3180 \text{ [1/min]}$ ;         |
| Fogankénti előtolás: $f_z = 0,125 \text{ [mm]}$ ;    | Előtolási sebesség: $V_f = 795 \text{ [mm/min]}$ ; |
| Forgácsoló fogak száma: $z = 2$ ;                    | Csúcsszög: $\sigma = 140 \text{ [°]}$ .            |
| Szerszám átmérő: $d = 9,5 \text{ [mm]}$ ;            |                                                    |

Dörzsárazás esetén:

|                                                      |                                                    |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Forgácsolási sebesség: $V_c = 100 \text{ [m/min]}$ ; | Fordulatszám: $n = 3180 \text{ [1/min]}$ ;         |
| Fogankénti előtolás: $f_z = 0,041 \text{ [mm]}$ ;    | Előtolási sebesség: $V_f = 795 \text{ [mm/min]}$ ; |
| Forgácsoló fogak száma: $z = 6$ ;                    | félkúpszög: $\kappa_r = 20 \text{ [°]}$ ;          |
| Szerszám átmérő: $d = 10 \text{ [mm]}$ ;             | előmunkált átmérő: $d_e = 9,5 \text{ [mm]}$ .      |

Mindkét művelet során a Ø12-es furat elvégzéséhez alkalmazott képletekbe történő behelyettesítéssel számolható, a megmunkálási hossz  $l_w = 30$  mm, rá és túlfutási út  $l_{\text{rá, túl}} = 2 \cdot 3$  mm, a szükséges forgácsolási erő, teljesítmény és nyomaték. A dörzsárazás tekintetében ettől eltérő adatok a következők [7]:

Elméleti forgácsvastagság [7]:

$$h = f_z * \sin \kappa_r = \frac{f}{z} * \sin \kappa_r = 0,041 * \sin 20 = 0,014 \text{ [mm]}. \quad (3.40)$$

Anyagleválasztás esetén pedig []:

$$b = \frac{d - d_e}{2 * \sin \kappa_r} = \frac{10 - 9,5}{2 * \sin 20} = 0,73 \text{ [mm]}. \quad (3.41)$$

A VIII. komplexum felülete egy felfúrási művelettel alakítható ki, ahol az előmunkált furatunk,  $d_e=10$ -es átmérő, megmunkálás mélysége 8 mm. A szükséges számítások a fúrási ciklusok során vett képletek felhasználásával elvégezhetők.

|                                             |                                           |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Forgácsolási sebesség: $V_c = 100$ [m/min]; | Fordulatszám: $n = 3180$ [1/min];         |
| Fogankénti előtolás: $f_z = 0,125$ [mm];    | Előtolási sebesség: $V_f = 795$ [mm/min]; |
| Forgácsoló fogak száma: $z = 2$ ;           | Csúcsszög: $\sigma = 140$ [°].            |
| Szerszám átmérő: $d = 9,5$ [mm];            |                                           |

### Végső forgácsolási paraméterek összegzése:

A könnyebb áttekinthetőség érdekében, az előző fejezetek során felhasznált számítási képletek függvényében a forgácsolási paramétereket (3.táblázat) -ban összegeztük. A táblázatból leolvasható az a maximális igény, amit a készüléktervezés során szorítási erőként figyelembe kell venni. A táblázat alapján a legnagyobb forgácsoló erő a sülllesztés felfúrási művelet során keletkezik, mivel a megmunkálás a készülék bázisára merőleges, így azt a marási műveletet kell figyelembe, aminek a legnagyobb a terhelése, esetünkben ez az AI és AII felületekre értendő.

3. táblázat: Felületekhez tartozó forgácsolási erők, teljesítmények

| Felület | $v_c$ | $f_z$  | $v_f$ | $n$  | $F_c$ | $M$   | $P$  |
|---------|-------|--------|-------|------|-------|-------|------|
| BI, BII | 152   | 0,1041 | 1575  | 3030 | 684   | 5,47  | 1,74 |
| GI      | 210   | 0,05   | 335   | 1340 | 376   | 9,4   | 1,32 |
| DI      | 84    | 0,0965 | 610   | 1330 | 191   | 2,38  | 0,33 |
| EI, EII | 100   | 0,125  | 665   | 2650 | 3742  | 11,26 | 3,11 |
| AI, AII | 152   | 0,07   | 1358  | 1940 | 1141  | 14,26 | 2,89 |
| C       | 100   | 0,125  | 795   | 3180 | 3120  | 15,6  | 5,19 |
| F       | 100   | 0,175  | 555   | 1590 | 4538  | 22,69 | 3,77 |

„Az összeszorító erőből adódó súrlódó erőnek kell legyőznie az egyes megmunkálásokhoz tartozó előtoló erőket” [8]:

$$F_s = \mu * F_{sz} \rightarrow F_{sz} = \frac{1}{\mu} * F_s = \frac{1141}{0,1} = 11410 \text{ [N]}. \quad (3.42)$$

A HAAS gyártó cég által elérhető és a megmunkáló géppel is kompatibilis pneumatikus önközpontosító szorító készülék, amit marási megmunkálásra alkalmaznak az egy 100mm Air Vise típusú készülék. Ebben az esetben a maximális szorító erő 14680 [N], ami a megmunkálás tekintetében megfelelő.

### Készüléktervezés:

A készülék egy irányból központosít, figyelembe kell venni, hogy felfogás váltás során a C és F felületek központosítása biztosított legyen, ellenkező esetben a furat és a

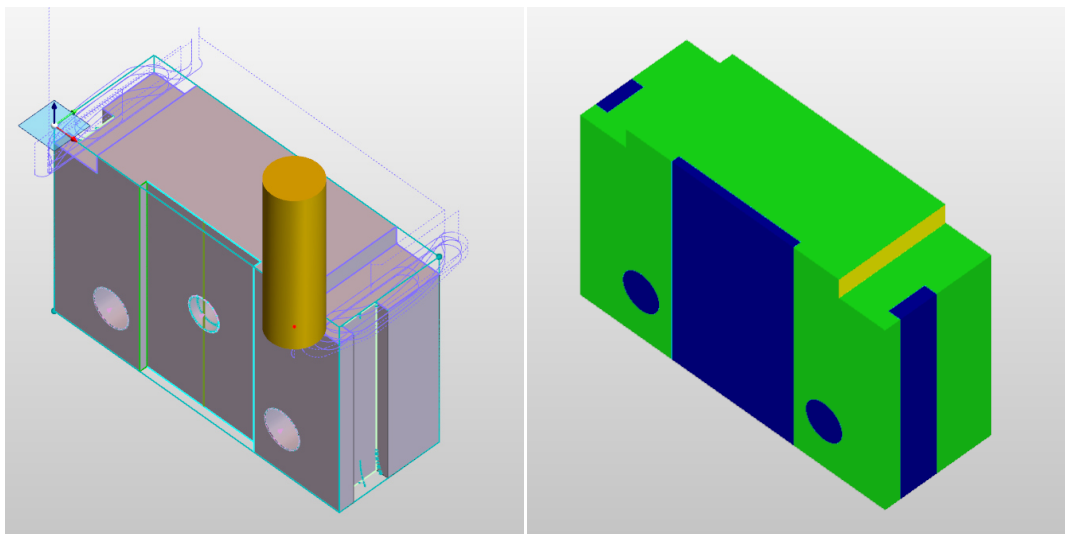
süllyesztés nem egy szimmetria tengelyre esik és nem lesz központos. Ahhoz, hogy ezt biztosítani tudjuk, bázis felületekre van szükség. Az ilyen bázisfelület kiválasztása során elsődleges szempont lehet, hogy olyan felületek válasszunk ki, amit ütköztetni tudunk, nincs rajta megmunkálni kívánt terület és a többi marási feladat elvégzése során sem akadályozza a marási pályán a szerszámot, ezzel elkerülve az esetleges szerszámtörést. Ilyen felület lehet a BI és BII-vel ellentétes oldal. Tökéletes bázisként szolgál az X és Y síkon fekvő 1-es és 2-es oldalak felülete is.



### 3.3 Megmunkálási idők összehasonlítása

Miután meghatároztuk a forgácsolási paramétereket számítás és gyártó által javasolt optimálisnak vett értékek alapján, elkészítjük a szerszám pályákat az EDGECAM programban.

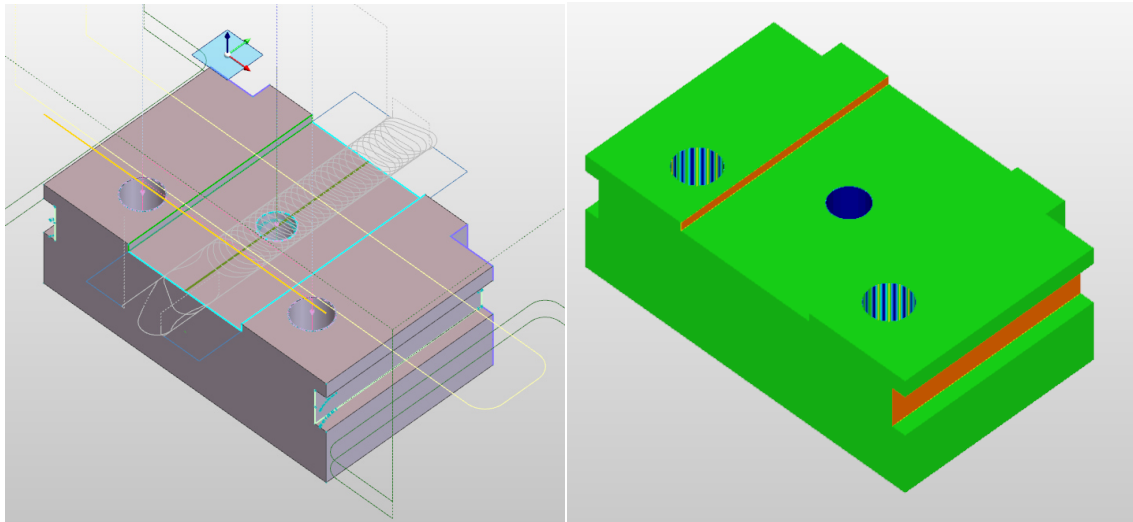
Az első felfogásban egy megmunkálási műveletet kell elvégezni, ami az I. komplexumban található váll felületek nagyolását és simítását tartalmazza. A számítás során a gépi főidőt láncolt stratégia alkalmazása esetén határoztuk meg, viszont a szerszám geometriájából és a megmunkált felület nagyságából adódóan hullámforma stratégiát alkalmaztunk, így csökkentve a szerszámterhelést, a ciklusidő 37 másodperc, simítási művelet esetén pedig 14 másodperc, a szerszámcsere ideje 6 másodperc, így a teljes megmunkálási idő 57 másodperc volt. Az első felfogáshoz tartozó szerszám pályája és megmunkált felület minősége a (12. ábrán) látható.



*12. ábra. Első felfogás megmunkálási ciklusa*

A második felfogásban a [III]., [II]., [IV]., [VII]., [VI]. és [V]. komplexumok megmunkálását végezzük el. Síkmarás és horonymarás esetén láncolt stratégiát alkalmazunk, a rá és túlfutási hossz a szerszám átmérőjéből adódóan síkmarás esetén 30mm, horonymarás esetén 20mm. Nyitott kontúr marást a szerszám geometriai adottságaiból kifolyólag az I. komplexumban alkalmazott hullámforma stratégiát alkalmazunk, csökkentve a szerszámterhelést, túl és ráfutási hossz pedig 15mm. A fűrészi ciklusok esetén 3mm-es túlfutást hossz alkalmazunk, illetve a pontos elhelyezést

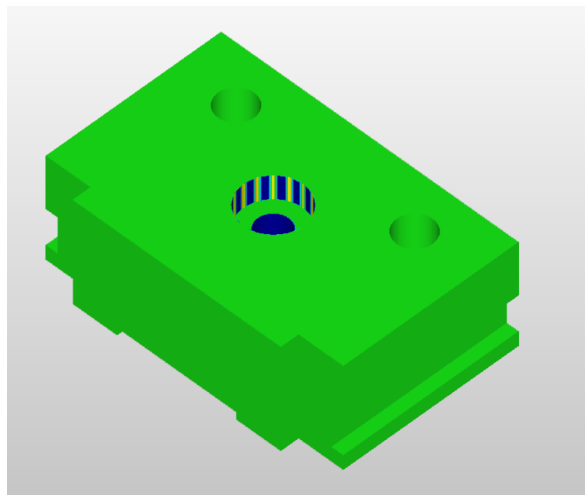
központozó szerszámmal érjük el. A (13.ábrán) láthatók a második felfogáshoz tartozó megmunkált felületek minősége, valamint a ciklusok szerszámpályái.



*13. ábra. Második felfogás megmunkálási ciklusai*

### **3.Felfogás:**

A (14.ábrán) látható harmadik felfogás során az elsőhöz hasonlóan egy megmunkálási műveletet kell elvégezni, ami az VIII. komplexum süllyesztése, amit felfúrási műveletként hajtunk végre. A számítások során a dörzsárazáshoz használt képleteket alkalmaztuk.



*14. ábra. Harmadik felfogás megmunkálási felülete*

### Normaidők összehasonlítása:

Az 3.2-es fejezetben kiszámított gépi főidők mellé szükségünk van a szerszámok által nem forgácsolásban töltött időkre, amit mellékidőnek nevezünk. A két adat összegével meghatározható a műveletek elvégzéséhez szükséges normaidő. A mellékidőket a szerszámcserek és gyorsjáratú pozicionálásban töltött időintervallum alapján határozhatjuk meg. A meghatározás során a szerszámcserek idejét  $t_{szcs} = 0,15$  min-nek, a gyorsjáratú pozicionálás idejét  $t_{gy} = 0,10$  min-nek vesszük.

4. táblázat: Számított és EDGECAM ciklusidők összehasonlítása

| Műveletelem | Számított értékek |           | EDGECAM ciklusidő |           |
|-------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
|             | Főidő             | Ciklusidő | Főidő             | Ciklusidő |
| 1,2*        | 00:00:33          | 00:00:48  | 00:00:52          | 00:00:57  |
| 3           | 00:00:54          | 00:01:09  | 00:01:04          | 00:01:12  |
| 4,5*        | 00:01:27          | 00:01:42  | 00:01:21          | 00:01:28  |
| 6           | 00:00:01          | 00:00:16  | 00:00:01          | 00:00:04  |
| 7           | 00:00:08          | 00:00:23  | 00:00:10          | 00:00:19  |
| 8           | 00:00:01          | 00:00:16  | 00:00:01          | 00:00:04  |
| 9           | 00:00:03          | 00:00:18  | 00:00:04          | 00:00:09  |
| 10          | 00:00:03          | 00:00:18  | 00:00:06          | 00:00:10  |
| 11          | 00:00:22          | 00:00:37  | 00:00:45          | 00:00:54  |
| 12          | 00:00:03          | 00:00:18  | 00:00:04          | 00:00:09  |
| Összesen    | 00:03:35          | 00:05:55  | 00:04:28          | 00:05:27  |

\*Felületek esetén a nagyolási és simítási műveletek összevonásra kerültek, mivel szerszámcsere nem történik.

A (4. táblázatban) összefoglalt értékekből látható, hogy az elméleti számítás és az EDGECAM megmunkálás között majdnem 1 perces eltérés van, ez abból adódik, hogy egyes műveletek esetén láncolt stratégiával számoltunk. Továbbá látható az is, hogy revolverfej alkalmazása során az EDGECAM-ben végzett ciklusokhoz tartozó Főidő és ciklusidő között jelentősen kisebb a differencia, valamint a számított ciklusidőhöz képest 28 másodperccel javult a teljes megmunkálás időtartama.

### 3.4 NCSIMULal történő összehasonlítás

Az elkészített pályák önmagukban alkalmasak az alkatrész egyedi gyártásba történő bocsátására, viszont, ha szériagyártást szeretnénk az adott alkatrészből, akkor a nem forgácsolásban eltöltött időt csökkenteni kell. Ennek egyik módja, hogy egyenként átnézve a ciklusokat, manuálisan beállítjuk és optimalizáljuk a mellékmozgásokhoz tartozó értékeket. Másik megoldás egy Digitális Iker alkalmazásának lehetősége, ami adott szerszámpályákhoz tartozó forgácsolási paraméterek, NC kód és a gyártásban résztvevő megmunkálógép digitális másolatának birtokában képes a forgácsolásban töltött időt és a hozzájuk tartozó mellékmozgási időket csökkenteni. A megmunkálást az Enterprise Group NCSIMUL Machine és Optitool modulok segítségével optimalizáltuk. Az optimalizálást három vizsgálat keretein belül valósult meg.

Első lépésben, megmunkálási időket és mellékmozgásokat vizsgáltattuk meg a beállított paraméterek és a megmunkáláshoz tartozó NC kód függvényében. Az így kapott eredményeket az (5.táblázatban) foglaltuk össze.

*5. táblázat: NCSIMUL által optimalizált megmunkálási és mellékmozgási idők*

| Műveletelem | EDGE CAM                        |           | NCSIMUL                         |           |
|-------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
|             | Forgácsolásban<br>eltöltött idő | Ciklusidő | Forgácsolásban<br>eltöltött idő | Ciklusidő |
| 3           | 00:01:04                        | 00:01:12  | 00:01:04                        | 00:01:05  |
| 4,5         | 00:01:21                        | 00:01:28  | 00:01:21                        | 00:01:22  |
| 6           | 00:00:01                        | 00:00:04  | 00:00:01                        | 00:00:02  |
| 7           | 00:00:10                        | 00:00:19  | 00:00:10                        | 00:00:13  |
| 8           | 00:00:01                        | 00:00:04  | 00:00:01                        | 00:00:02  |
| 9           | 00:00:04                        | 00:00:09  | 00:00:04                        | 00:00:05  |
| 10          | 00:00:06                        | 00:00:10  | 00:00:06                        | 00:00:06  |
| 11          | 00:00:45                        | 00:00:54  | 00:00:45                        | 00:00:48  |
| Összesen    | 00:03:32                        | 00:04:35  | 00:03:32                        | 00:03:48  |

Az első és harmadik felfogás során 1-1 másodperces különbségeket tudott optimalizálni a gép, viszont a második felfogás tekintetében ez az érték jóval jelentősebb,

a táblázat alapján látható, hogy egyes műveleteknél, mekkora időt vett igénybe a megmunkálás és mekkora volt a mellékmozgásokból származó többletidő az EDGECAM-ben és ehhez képest mennyivel csökkentette ezeket az időket az NCSIMUL. A gyorsjáratban töltött idők optimalizálásával az eredeti 4 perc 35 másodperces teljes megmunkálási idő a második felfogásban 3 perc 43 másodpercre csökkent, így 52 másodperccel csökkent a teljes megmunkálás.

A második megoldásként az egy-egy művelethez tartozó forgácsolási értékeket változtattuk, a gyártó által Optimálisnak vett paraméterektől. Ebben az esetben megvizsgáltuk a 10-es (9) és 12-es furatokhoz (7), a horonymaráshoz (11) és a nyitott kontúr maráshoz (4,5) tartozó előtolási értékeket. A változtatott értékeket és a hozzájuk tartozó megváltozott műveleti időket a (6.táblázatban) foglaltam össze. A legnagyobb eltérést a 3-as számú nyitott kontúrmarás esetén tapasztalunk, ahol a változtatás hatására 22 másodpercet javult a megmunkálás, továbbá a 12-es furatok megmunkálása esetén, ahol 2 másodpercet javított az időn, a maradék két művelet esetén a ciklusidő változatlan.

*6. táblázat: Összehasonlítás 1-1 művelet megváltoztatásával*

| Műveletelem | n    | v <sub>f</sub> | Ciklusidő |            | Teljes megmunkálás ideje |            |
|-------------|------|----------------|-----------|------------|--------------------------|------------|
|             |      |                | Eredeti   | Módosított | Eredeti                  | Módosított |
| 9           | 3240 | 724            | 00:00:04  | 00:00:04   | 00:03:32                 | 00:03:32   |
| 7           | 2760 | 791            | 00:00:10  | 00:00:08   | 00:03:32                 | 00:03:30   |
| 11          | 2864 | 1432           | 00:00:45  | 00:00:45   | 00:03:32                 | 00:03:32   |
| 4,5         | 3215 | 2411           | 00:00:50  | 00:01:12   | 00:03:32                 | 00:03:10   |

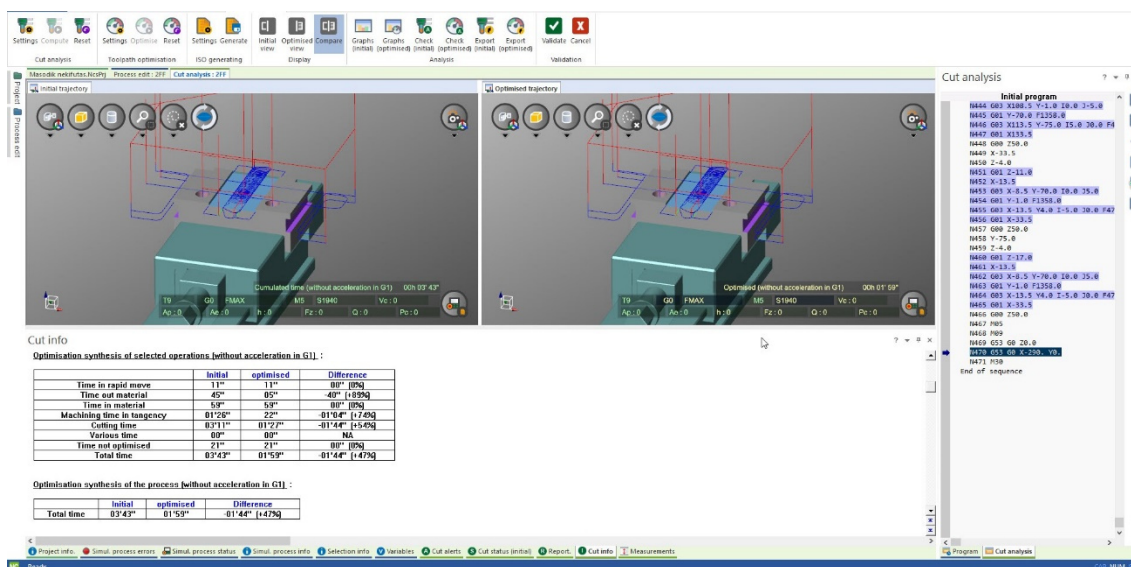
A harmadik feladatrészen, pályaoptimalizálást alkalmaztunk, ahol a pálya-elemeket megvizsgáltattuk a programmal és 1 mm-es nyersanyag megközelítésig nagyobb előtolási értékeket engedtünk meg a szerszámgépnek, majd 1 mm-es távolságon belül pedig az optimalizált előtolási értékekkel fejeztük be a megmunkálásokat. A pályaoptimalizálás során a (7.táblázat) az egyes megmunkálásokhoz tartozó idő értékek és megváltozott forgácsolási paraméterek kerültek összegzésre. A teljes forgácsolási idő

3 perc 32 másodpercről 1 perc 48 másodpercre csökkent, a teljes ciklusidő pedig 4 perc 35 másodpercről 1 perc 59 másodpercre csökkent.

7. táblázat: Pályaoptimalizáció NCSIMULban

| Műveletelem | Forgácsolásban<br>töltött idő | Ciklusidő | Előtolás 1mm<br>felett | Előtolás 1mm<br>alatt |
|-------------|-------------------------------|-----------|------------------------|-----------------------|
| 3           | 00:00:07                      | 00:00:08  | 3000-6000              | 335                   |
| 4,5         | 00:01:03                      | 00:01:04  | 1000-6000              | 610                   |
| 6           | 00:00:01                      | 00:00:02  | 665                    | 665                   |
| 7           | 00:00:10                      | 00:00:13  | 795                    | 665                   |
| 8           | 00:00:01                      | 00:00:02  | 795                    | 795                   |
| 9           | 00:00:04                      | 00:00:05  | 795                    | 795                   |
| 10          | 00:00:06                      | 00:00:06  | 795                    | 795                   |
| 11          | 00:00:17                      | 00:00:20  | 475-6000               | 555                   |
| Összesen    | 00:01:48                      | 00:01:59  |                        |                       |

A (15. ábrán) látható, hogy a megmunkálási pályaminták változatlanul maradtak, az „levegő vágás” lecsökkent 40 másodperccel, a vágási idő 1perc 44 másodperccel, a tangenciális megmunkálási idő pedig 1perc 4 másodperccel. A program továbbá képes a beolvasott kódokat újra generálni, azokat a sorokat, ahol a szimuláció módosítást hajtott végre, kék színnel kiemelni.



15. ábra: Pályaminta és NC kód dinamikus változása

Annak ellenére, hogy időt lehet megtakarítani az értékek változtatásával, viszont éltartam szempontjából az optimalistól való eltérés nagyban befolyásolja adott szerszám használhatóságának időtartamát, viszont megfelelő hűtés alkalmazása mellett ezek az eljárások nagyban lecsökkentik a megmunkálási ciklusidőket.

Összességében tekintve az NCSIMUL Machine program segítségével optimalizálásra kerültek a szerszám mellékmozgásban töltött ideje, az Optitool segítségével pedig adott megmunkálások forgácsolásban eltöltött idejét is sikerült csökkenteni úgy, hogy a végső felületi minőséget ne befolyásolja.

## Fejlesztési javaslatok

Az előző fejezetek során a megmunkálni kívánt alkatrész tekintetében megnéztünk egy gyártási folyamatot az optimálisnak vett szerszámok és forgácsolási paraméterek függvényében. Minden rendszernek megvan az a sajátossága, hogy mindig lehet és célszerű is fejleszteni, ezt legkönnyebben paraméterek változtatásával, illetve szerszámok cseréjével, esetleg anyagiak vonzatában akár szerszámgép cserével is meg lehet valósítani. Szerszámcserek esetén ajánlott azokat az eszközöket megvizsgálni, amelyek a legnagyobb felületeket munkálják meg. Az alkatrészünk tekintetében 4 művelet esetén érdemes megvizsgálni, ezek rendre a váll marás, síkmarás, nyitott kontúr marás és horony marás.

Racionális döntés lehet, hogy a forgácsoló szerszámokat az élettartamuk alapján vizsgáljuk meg, ez esetben érdemes a már meglévő paraméterek függvényében a jelenleg választott szerszámokat, valamint nagyobb átmérőjű szerszámot élettartam szempontjából összehasonlítani és eldönteni, melyik megoldás költséghatékonyabb, megmunkálási idők, szerszámcserék és egyéb költséget jelentő műveletek tekintetében.

Másik megoldás lehet, ha a jelenleg választott 3 tengelyes megmunkáló egység helyett egy 5 tengelyes megmunkológépet választunk, így csökkenthetjük az egyes felfogás váltásokból származó többletidőt, továbbá minimalizálható a váltásból adódó központosítás hibák száma is.

Megoldási lehetőség lehet még a ciklusidő csökkentésre, hogy a VII-es és VIII-as komplexumok összevonásával olyan összetett fúró szerszámot alkalmazunk, amely képes egy fúrási cikluson belül elvégezni a 10-es furat és a 20-as süllyesztés elkészítését.



### 3.5 NCSIMUL alkalmazásának lehetőségei:

A szakdolgozatom során az összehasonlító elemzést az NCSIMUL alap moduljának felhasználásával készítettem el, viszont a program több egymásra épülő modulból épül fel. Az NCSIMUL egy olyan CNC tervezést támogató szoftver, ami segíti a teljes gyártási folyamatot az NC programozástól az alkatrész elkészítésének utolsó fázisáig [12].

A különböző modulok külön-külön is segíthetik a felhasználót a tervezés egyes szakaszaiban, de összehangolásukkal elérhető egy teljes gyártás automatizálása. Ezek a modulok a következők, NCSIMUL Machine, Optitool, 4CAM, Monitor, Tool, DNC, Publisher, Modules & Addons [12].

A következőkben nézzük meg ezeknek a moduloknak a felépítését:

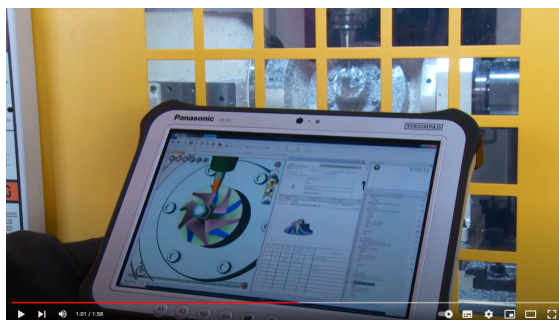
NCSIMUL Machine egy csúcskategóriás CNC szimulációs program 3 és 5 tengelyes megmunkálógépekre tervezve, segítségével G-kód alapú pályaszimuláció történik, majd az így felépített pályákon végezhetjük el az ütközésszimulációkat és optimalizálásokat. Valós gép szimuláció során a szoftver külön hangsúlyt fektet a programozási hibák ellenőrzésére és a feltételezhető ütközések elkerülésére [12].

Az Optitool modul egy analízis orientált szoftver, alkalmazása során „levegő vágás” csökkentést, előtolás optimalizációt és jobb megmunkálási stratégiákat érhet el a felhasználó, ezáltal ciklusidőt képes csökkenteni, vágási műveleteket képes javítani. A Machine modult kibővítve, képes javaslatot tenni a szerszámkinyúlások módosítására a felépített pályák, a hozzájuk tartozó szerszámalakok, a befogók, a készülékek és a gépelemek alapján, megvizsgálja azt, hogy hol csökkenthetők a kinyúlási értékek, ezáltal csökkentve a szerszámkinyúlásból származó rezonancia mértékét. A rövid kinyúlások esetén (ütközések) pedig jelzi a javasolt minimális kinyúlási értékeket [12].

A 4CAM modul segítségével a bármilyen programozási nyelvből származó CNC kódolást képest G-kód alapú programmá generálni, ezáltal egy kattintás segítségével képes újra programozni külső posztprocesszor felhasználás nélkül bármilyen megmunkáló gépre, lefuttatja a célgépre küldött programkódot és hiba esetén képes visszacsatolással a problémát megoldani [12].

A Monitor modul a kiterjesztett valóság elvén alapuló szoftver, amely a gyártás során jelentkező hibákat valós időben képes jelezni a megmunkáló géphez kapcsolat

monitorozó rendszeren, és az operátor valós időben tudja korrigálni az előre nem látott felmerülő hibákat. A felmerült hibák státuszáról egy jelentés készíthető, amit elemzés segítségével későbbi tervezések folyamán fel lehet használni [12].



16. ábra. Virtuális kiterjesztés elvén alapuló Monitor Modul ipari környezetben [13]

DNC modul segítségével egyszerre több megmunkáló állomás állapotát tudjuk nyomon követni, egy felületen elérhető az összes gyártásban résztvevő gép valós idejű állapota, ilyen irányíthatók a folyamatok, felmerülő hibák esetén azonnali reakciókészséget biztosít, ezzel csökkentve a gyártás leállításából származó kieséseket időtartamát, ezzel növelve a megmunkálások termelékenységét [12].



17. ábra. DNC modul megvalósítása ipari környezetben [14]

A Publisher és további hozzáadott modulok segítségével az előre beállított és gyártáshoz szükséges dokumentációk készítése pillanatok alatt elkészíthető, továbbá nagy mennyiségű adat kinyerhető, amit a felhasználó tudásbázisát növeli [12].

Összességében tekintve, az egyes modulok tartalmazzák az Intelligens Gyártáshoz szükséges alappilléreket, ezeket összekapcsolva pedig egy automatikusan működő, valós időben monitorozott és azonnali reakcióképességet biztosító gyártórendszer kialakítása lehetséges [12].

A fent említett rendszer számos nagy vállalat integrált rendszerében beépítésre került, ezáltal növelve termelékenységüket minimalizálva a gyártási hibákat. Valós ipari környezetben olyan gyártások során alkalmazzák, ahol tömegszerű gyártás a jellemző, nagy alkatrészek kerülnek megmunkálásra és ebből kifolyólag nagy az egyes megmunkálások ciklusideje. Olyan iparágak, mint például autógyártás, repülőgépgyártás, hajógyártás stb. Egyedi gyártás során is felmerülhet a rendszer alkalmazásának gondolata, viszont a költségek kiépítés és fenntarthatóság miatt, abban az esetben indokolt, ha a gyártásra bocsátott termék értéke magas és a beruházás megtérül. A (17.ábrán) néhány, az iparban is ismert és integrált gyártási rendszerrel rendelkező cég logóját mutatom be.



18. ábra. NCSIMUL felhasználói egyes ipari területeken [12]

## 4. Összefoglalás

Szakdolgozatom tárgya egy tömeggyártásba bocsátandó téglatest alapú alkatrész marási gyártási folyamatának megtervezése egy 3 tengelyes HAAS MiniMill típusú megmunkálógépre, majd Digitális Ikerrel történő optimalizálása volt. A dolgozat első részében ismertetem az Ipar 4.0, az Intelligens Gyártás és Digitális Iker koncepció kialakulásának és felépítésének elméleti hátterét.

A saját munkám első részében elemeztem a gyártásba szánt alkatrészt forgácsolhatóság szempontjából, valamint elkészítettem a rajzbírálatot, ezután meghatároztam a megmunkálni kívánt felületeket előzési gráf és mátrix segítségével. A feladat során 10 megmunkálandó felület, ebből egy síkmarás, két horonymarás, két váll kialakítás, egy nyitott kontúrmarás, három furat és egy süllyesztés elvégzése került meghatározásra.

Saját munkám második részében kiválasztottam a felületekhez tartozó szerszámokat, meghatároztam a szükséges forgácsolási paramétereket a gyártó által javasolt feltételek mellett. A legnagyobb megmunkáláshoz szükséges erőt a süllyesztés művelet esetén számítottam ki, ami 4538N volt, míg a legnagyobb teljesítmény igényt a nyitott kontúr marása esetén jelentkezett, ami 5,19kW volt. A szerszámok befogására a megmunkálógéppel kompatibilis CT 40 és BT40 típusú patronok közül választhatunk. Választásom a BT40 típusú kúpos szerszámbe fogóra esett, amely különböző méretekben elérhető maró és fúró szerszámokhoz egyaránt. A választott szerszámok szintén HAAS oldalán elérhető végmarók, síkmarók és fúrók. Sík felület megmunkálásához egy szerelt kivitelű szerszámot, a többi felület megmunkálásához pedig tömör kivitelű szerszámot választottam. Következő lépésben a forgácsolási paraméterek ismeretében EDGE CAM program segítségével elkészítettem az egyes felületekhez tartozó ciklusokat. Az így kapott értékeket összehasonlítottam a számított értékekkel, a megmunkálási idők között 53 másodperc, míg a teljes ciklusidők között csupán 28 másodperces eltérés mutatkozott.

A következő alfejezetben az NCSIMUL Machine modul segítségével megvizsgáltam a ciklusidőket. Jelentős csökkenés a második felfogásban volt tapasztalható, ahol csökkenteni tudtam a kész megmunkálásokhoz tartozó szerszámcserek és a szerszám nem forgácsolásban töltött idejét a, ennek köszönhetően 52 másodperccel csökkent a teljes megmunkálás időtartama. A második felfogás ciklusideje

így már csak 3 perc 43 másodperc volt a kiinduló 4 perc 35 másodperchez képest. Ezután megvizsgáltam, hogy egyes műveletek paraméter változtatásai esetén mennyivel módosul a forgácsolásban töltött idő. Két esetben tapasztaltam változást, a nyitott kontúr marás esetén 22 másodpercet, a 12-es furat esetén, pedig 2 másodpercet javult a ciklusidő. Ezután megvizsgáltam szerszámpálya optimalizálással az Optitool modul segítségével a második felfogás műveleteit. A pálya-elemeket megvizsgáltattuk a programmal és 1 mm-es nyersanyag megközelítésig nagyobb előtolási értékeket engedtünk meg a szerszámgépnek, majd 1 mm-es távolságon belül pedig az optimalizált előtolási értékekkel fejeztem be a megmunkálásokat. Ennek köszönhetően a megmunkálás ideje 1 perc 48 másodpercre csökkent.

A szakdolgozatom utolsó részében bemutattam a Digitális Iker koncepció alkalmazásának lehetőségeit ipari környezetben. Továbbá kitértem arra, hogy milyen iparágakban használják elsődlegesen és melyek azok a nagy gyártócégek, ahol működik az Ipar 4.0 által bevezetésre került Intelligens Gyártási rendszer.

## 5. Summary

The subject of my thesis was the design of the milling production process of a block-based part to be mass-produced on a 3-axis HAAS MiniMill type machining machine, and then its optimization with a Digital Twin. In the first part of the thesis, I describe Industry 4.0, the background to the development of the Intelligent Manufacturing and Digital Twin concept.

In the first part of my own work, I analyze the component intended for production from the point of view of machinability, as well as prepare the drawing evaluation, based on which we determine the surfaces to be machined using a pre-processing graph and matrix. During the task, 10 surfaces to be machined, including one face milling, two groove milling, two shoulder formations, one open contour milling, three holes and one countersinking, are defined.

In the second part of my work, I select the tools for the surfaces and determine the necessary cutting parameters under the conditions recommended by the manufacturer. The greatest power required for machining was in the case of countersinking operations, which was 4538N, while the greatest power requirement occurred in the case of open contour milling, which was 5.19kW. We can choose from the compatible CT 40 and BT40 type cartridge tools that can be machined. I chose the BT40 conical tool holder, which is available in different sizes for both milling and drilling tools. The tools of choice are end mills, face mills and drills also available on the HAAS website. I chose a mounted tool for working flat surfaces, and a solid tool for working other surfaces. In the next step, knowing the cutting parameters, I prepared the cycles for each surface using the EDGE CAM program. I compared the values obtained in this way with the numbered values, there was a difference of 53 seconds between the machining times, and only 28 seconds between the total cycle times.

In the next subsection, I examined the cycle times using the NCSIMUL Machine module. A significant reduction was observed in the second concept, where I was able to reduce the tool changes for finished machining and the time spent by the tool not in cutting, thanks to which the duration of the entire machining was reduced by 52 seconds. The cycle time of the second perception was thus only 3 minutes 43 seconds compared to the initial 4 minutes 35 seconds. Then I examined how much the time spent in cutting

changes in case of parameter changes for some operations. I saw a change in two cases, the cycle time improved by 22 seconds in the case of open contour milling, and 2 seconds in the case of the Ø12 hole. After that, I examined the operations of the second perception with toolpath optimization using the Optitool module. We had the track elements checked with the program and allowed higher feed values for the machine tool until it approached the raw material of 1 mm, and then finished the machining with the optimized feed values within 1 mm. Thanks to this, the processing time was reduced to 1 minute and 48 seconds.

In the last part of my thesis, I presented the possibilities of applying the Digital Twin concept in an industrial environment. Furthermore, I will cover the industries in which it is primarily used, and which are the large manufacturing companies where the Intelligent Manufacturing system introduced by Industry 4.0 operates.

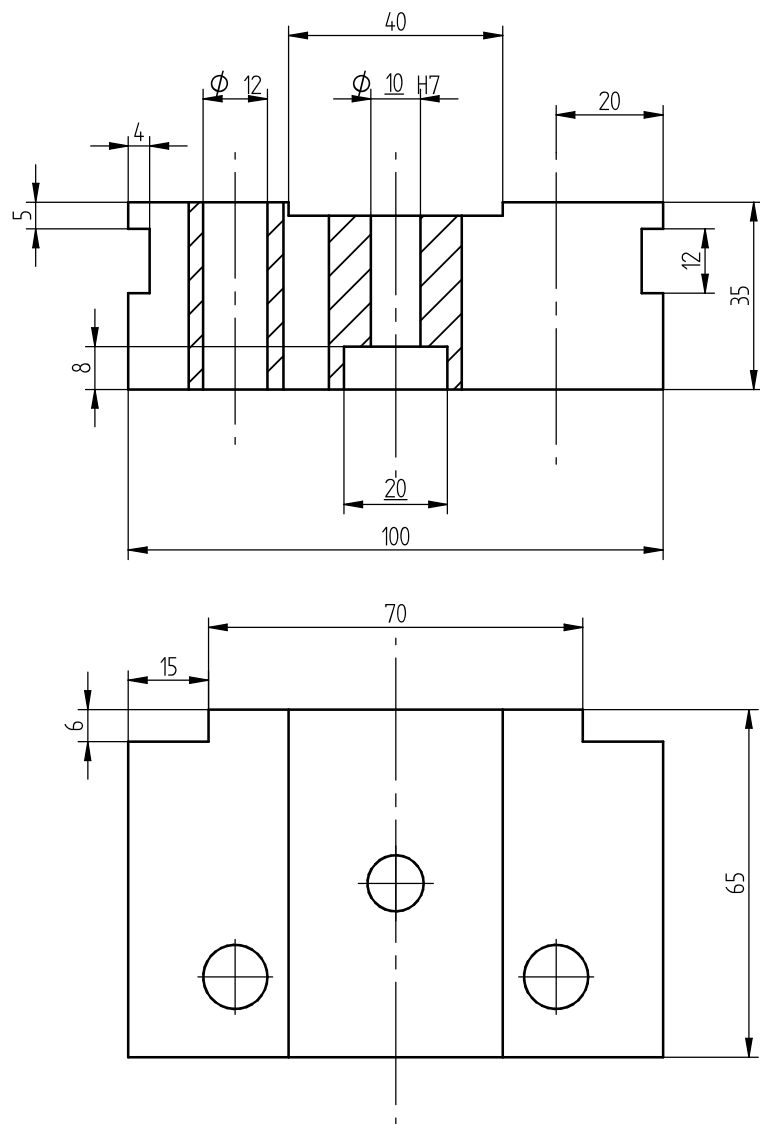
## 6. Felhasznált irodalom

- [1] Jamie O Sullivan: A case-study in the introduction of a digital-twin in a large-scale manufacturing facility. University College Cork. Cork, Ireland, 2020.
- [2] Jesús Hamilton Ortiza: Industry 4.0 – Current Status and Future Trends. IntechOpen. London, United Kingdom, 2020. Chapter 1-4, p. 1-66.
- [3] Tan Yen Kheng: Smart Manufacturing - When Artificial Intelligence Meets the Internet of Things. IntechOpen. London, United Kingdom, 2021. Chapter 1-2: p. 3-48.
- [4] Tamás Bányai, Antonella Petrillo, Fabio De Felice: Industry 4.0 Impact on Intelligent Logistics and Manufacturing. IntechOpen. London, United Kingdom, 2020. Chapter 4: p. 40-53. Chapter 7: p. 95-130.
- [5] Fehér Norbert: Logisztika 4.0. Budapest, BGE, 2016.  
[https://www.researchgate.net/publication/327534679\\_Ipar\\_40\\_-\\_Logisztika\\_40\\_Industry\\_40\\_-\\_Logistics\\_40](https://www.researchgate.net/publication/327534679_Ipar_40_-_Logisztika_40_Industry_40_-_Logistics_40) (Megtekintés dátuma: 2022.11.20)
- [6] <https://www.haascnc.com/> (Megtekintés dátuma: 2022.12.01)
- [7] Dr Sipos Sándor – Dr. Palásti-Kovács Béla – Horváth Richárd: Forgácsoló technológiák és szerszámai. ÓE-BGK 3057 jegyzet. Budapest, 2015.
- [8] Takács György – Zsiga Zoltán – Szabóné Makó Ildikó – Hegedűs György: Gyártóeszközök módszeres tervezése. Nemzeti Tankönyvkiadó. Miskolc, 2011.
- [9] Kulcsár Tamás: Gépipari technológiai ismeretek. Pannon Egyetem jegyzet. Veszprém, 2012.
- [10] <https://perfor.hu/trochoid-maras> (Megtekintés dátuma: 2022.11.25)
- [11] <https://www.geogebra.org/m/aPBUrNbk> (Megtekintés dátuma: 2022.11.25)
- [12] <https://www.ncsimul.com/> (Megtekintés dátuma: 2022.12.09)
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=JO-RIIfRmME> (Megtekintés dátuma: 2022.12.10)
- [14] <https://www.youtube.com/watch?v=10Dn8RnTBh0> (Megtekintés dátuma: 2022.12.10)



## **7. Mellékletek**

- 1. sz. melléklet: Alkatrész műhelyrajza
- 2. sz. melléklet: Előzési mátrix
- 3. sz. melléklet: Szerszámterv



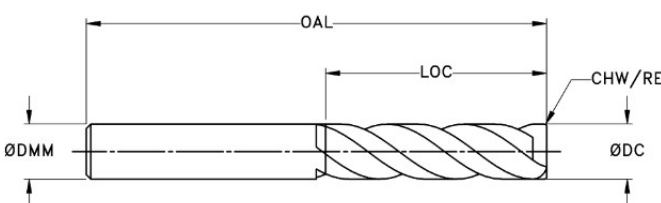
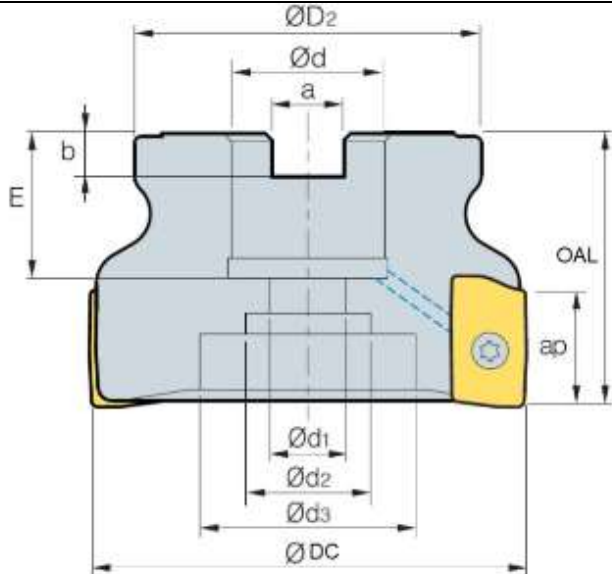
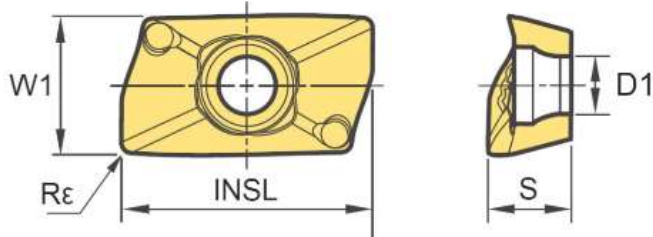
Általános hosszútűrések az MSZ ISO 2768 szerint.

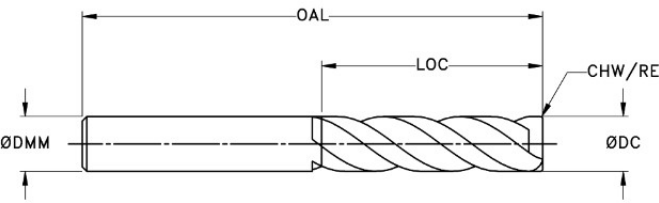
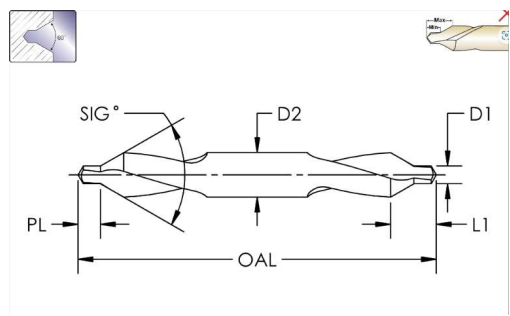
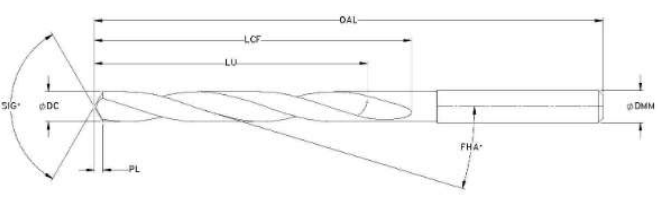
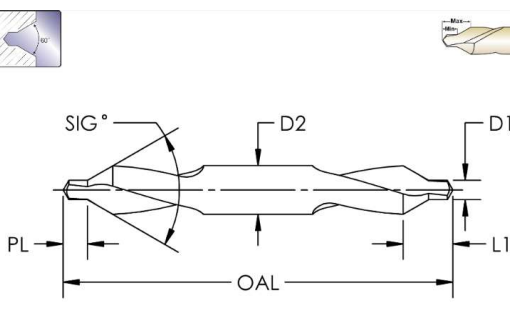
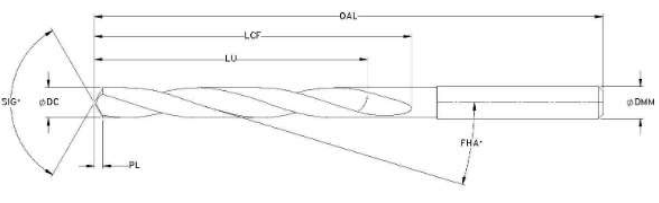
| <p>Óbudai Egyetem</p> <p>Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar</p> |                                            |                         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|--------|
| Ellenőrizte:                                                                      | 78-as Alkatrész                            | Méretarány: 1:1         | Tömeg: |
| Dátum: 2022.12.01                                                                 |                                            | Anyag: C45              |        |
| Sorszám: 01                                                                       | Név, Neptun, Kurzus: Lénárt Dániel, GZCN95 | Rajzsorszám: LD_2022/01 |        |

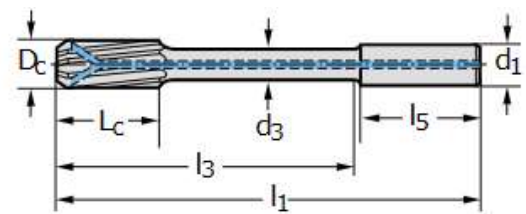
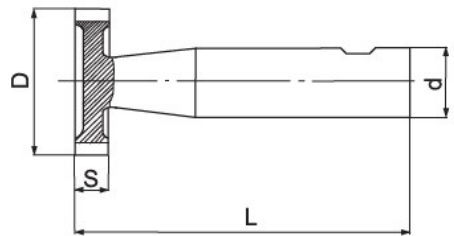
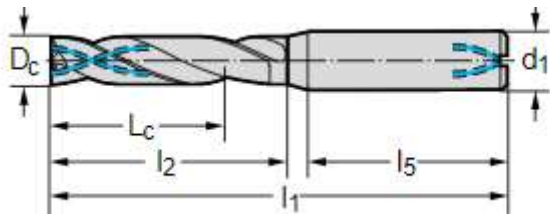
| 2. számú melléklet |                       |    | AI.1.a | AI.1.b | AII.1.a | AII.1.b | BI.1.a | BI.1.b | BII.1.a | BII.1.b | C.1.a | C.1.b | C.2.a | C.2.b | C.3.a | C.3.b | D.1.a | D.1.b | EI.1.a | EI.1.b | EI.2.a | EI.2.b | EII.1.a | EII.1.b | EII.2.a | EII.2.b | F.1.a | G.1.a |
|--------------------|-----------------------|----|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| AI.1.a             | Horony marása         | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| AI.1.b             | Horony marása         | X- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| AII.1.a            | Horony marása         | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| AII.1.b            | Horony marása         | X+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| BI.1.a             | Lépcső marása         | Y+ | 1      | 1      |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| BI.1.b             | Lépcső marása         | X- | 1      | 1      |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| BII.1.a            | Lépcső marása         | Y+ |        |        | 1       | 1       |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| BII.1.b            | Lépcső marása         | X+ |        |        | 1       | 1       |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| C.1.a              | Kp.fúrás              | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| C.1.b              | Kp.fúrás              | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| C.2.a              | Fúrás                 | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         | 1     |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| C.2.b              | Fúrás                 | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       | 1     |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| C.3.a              | Dörzsárazás           | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       | 1     |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| C.3.b              | Dörzsárazás           | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       | 1     |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| D.1.a              | Nyitott kontúr marása | X+ |        |        |         |         |        |        |         |         | 1     |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| D.1.b              | Nyitott kontúr marása | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         | 1     |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EI.1.a             | Kp.fúrás              | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EI.1.b             | Kp.fúrás              | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EI.2.a             | Fúrás                 | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EI.2.b             | Fúrás                 | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EII.1.a            | Kp.fúrás              | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EII.1.b            | Kp.fúrás              | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EII.2.a            | Fúrás                 | Z+ |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| EII.2.b            | Fúrás                 | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| F.1.a              | Süllyesztés           | Z- |        |        |         |         |        |        |         |         |       |       | 1     | 1     |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
| G.1.a              | Síkmarás              | Z+ |        | 1      | 1       |         |        |        |         |         | 1     |       | 1     |       | 1     |       |       | 1     | 1      |        | 1      |        | 1       |         | 1       |         |       |       |
|                    |                       | X- |        | 2      |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
|                    |                       | X+ |        | 3      |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
|                    |                       | Y- |        | 0      |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
|                    |                       | Y+ |        | 2      |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
|                    |                       | Z- |        | 8      |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |
|                    |                       | Z+ |        | 11     |         |         |        |        |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |         |         |         |         |       |       |

|         |               |    |      |
|---------|---------------|----|------|
| BI.1.a  | Lépcső marása | Y+ | I.   |
| BII.1.a | Lépcső marása | Y+ | I.   |
| G.1.a   | Síkmarás      | Z+ | II.  |
| AI.1.b  | Horony marása | Z+ | II.  |
| AII.1.a | Horony marása | Z+ | II.  |
| D.1.b   | Horony marása | Z+ | II.  |
| C.1.a   | Kp.fúrás      | Z+ | II.  |
| C.2.a   | Fúrás         | Z+ | II.  |
| C.3.a   | Dörzsárazás   | Z+ | II.  |
| EI.1.a  | Kp.fúrás      | Z+ | II.  |
| EII.1.a | Kp.fúrás      | Z+ | II.  |
| EI.2.a  | Fúrás         | Z+ | II.  |
| EII.2.a | Fúrás         | Z+ | II.  |
| F.1.a   | Süllyesztés   | Z- | III. |

### 3.számú melléklet: Szerszámterv

|                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                      |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Óbudai Egyetem<br>BGK AGI                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Szerszám terv                                                                        | Tervezte: Lénárt Dániel |
| Oldalalak száma<br><br>3                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                      | Dátum: 2022.11.19       |
| Program száma: 001                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Szerszámgép, Vezérlés: HAAS MiniMill                                                 |                         |
| Alkatrész neve: 78-as alkatrész                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Alkatrész rajzszáma: LD_2022/01                                                      |                         |
| Szerszám befogók: BT 40 típusú tömör és szerelt kivitelű szerszámokhoz szerszámátmérőtől függően, BT 40 NPU13 típusú fúrótokmány |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                      |                         |
| T                                                                                                                                | Szerszám                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ábra                                                                                 |                         |
| 01                                                                                                                               | Végmaró: HAAS HTM, Ø16mm, Carbide End Mill, 16x32 LOC <ul style="list-style-type: none"><li><b>Méretek:</b></li><li>ØDMM: 16 mm</li><li>OAL: 92mm</li><li>LOC: 32mm</li><li>CHW/RE: 90°</li><li>ØDC: 16mm</li><li>z: 5</li></ul>                                                        |    |                         |
| 02                                                                                                                               | Síkmaró: HAAS HPSM, 55mm Shell Mill, 22mm*90° <ul style="list-style-type: none"><li><b>Méretek:</b></li><li>ØDC= 50mm</li><li>Ød<sub>2</sub>= 18mm</li><li>Ød= 22mm</li><li>OAL= 40mm</li><li>a= 10,4mm</li><li>b= 6,3mm</li><li>E= 21mm</li><li>Ap max= 16,48mm</li><li>z= 5</li></ul> |  |                         |
| 02                                                                                                                               | Lapka: HAAS, HIEX, Carbide Indexable End Mill Inster <ul style="list-style-type: none"><li><b>Méretek:</b></li><li>W1= 10,85mm</li><li>Rε= 0,8mm</li><li>INSL= 19,66mm</li><li>S= 6,53mm</li><li>D1= 4,5mm</li></ul>                                                                    |  |                         |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 03 | <p>Végmaró: HAAS, HTM, Ø25mm Carbide End Mill, 25x40mm LOC.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretek:</b></li> <li>• ØDMM: 25 mm</li> <li>• OAL: 104mm</li> <li>• LOC: 40mm</li> <li>• CHW/RE: 90°</li> <li>• ØDC: 25mm</li> <li>• z: 5</li> </ul>                      |    |
| 04 | <p>Központozó: HAAS, 1,6mm HSS Center Drill, 4x35,5mm LOC 60°</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretek:</b></li> <li>• D2= 4mm</li> <li>• D1= 1,6mm</li> <li>• OAL= 35,5mm</li> <li>• PL= 2mm</li> <li>• L1= 4,1mm</li> <li>• SIG°= 60°</li> <li>• z= 2</li> </ul>      |    |
| 05 | <p>Fúró: HAAS, Ø12mm Carbide Drill, 12x140°TiAlN coated</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretek:</b></li> <li>• ØDC= 12mm</li> <li>• ØDMM= 12mm</li> <li>• LU= 56mm</li> <li>• OAL= 118mm</li> <li>• SIG°= 140°</li> <li>• PL= 2,18mm</li> <li>• FHA°= 30°</li> </ul>  |   |
| 06 | <p>Központozó: HAAS, 1,6mm HSS Center Drill, 4x35,5mm LOC 60°</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretek:</b></li> <li>• D2= 4mm</li> <li>• D1= 1,6mm</li> <li>• OAL= 35,5mm</li> <li>• PL= 2mm</li> <li>• L1= 4,1mm</li> <li>• SIG°= 60°</li> <li>• z=2</li> </ul>       |  |
| 07 | <p>Fúró: HAAS, Ø9,5mm Carbide Drill, 12x140°TiAlN coated</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretek:</b></li> <li>• ØDC= 9,5mm</li> <li>• ØDMM= 10mm</li> <li>• LU= 35mm</li> <li>• OAL= 89mm</li> <li>• SIG°= 140°</li> <li>• PL= 1,73mm</li> <li>• FHA°= 30°</li> </ul> |  |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 08 | Dörzsárazó: Walter,F2481TMS-10 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretetek:</b></li> <li>• <math>\varnothing DC = 10\text{mm}</math></li> <li>• <math>d_1 = 10\text{mm}</math></li> <li>• <math>d_3 = 7,5\text{mm}</math></li> <li>• <math>L_c = 20\text{mm}</math></li> <li>• <math>l_3 = 76\text{mm}</math></li> <li>• <math>l_1 = 120\text{mm}</math></li> <li>• <math>l_5 = 40\text{mm}</math></li> <li>• <math>z = 6</math></li> </ul> |   |
| 09 | T-horony maró: FairTool, D125 005, 25,5x6 HSS-E-Co5 gyorsacél <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretetek:</b></li> <li>• <math>D = 25,5\text{mm}</math></li> <li>• <math>S = 6\text{mm}</math></li> <li>• <math>L = 63\text{mm}</math></li> <li>• <math>d = 10\text{mm}</math></li> <li>• <math>z = 6</math></li> </ul>                                                                                                                    |   |
| 10 | Süllyesztés: Walter, DC118-02-20.000A1-WJ30ET <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méretetek:</b></li> <li>• <math>D_c = 20\text{mm}</math></li> <li>• <math>d_1 = 20\text{mm}</math></li> <li>• <math>L_c = 51,9\text{mm}</math></li> <li>• <math>l_2 = 70\text{mm}</math></li> <li>• <math>l_1 = 131\text{mm}</math></li> <li>• <math>l_5 = 55\text{mm}</math></li> <li>• <math>z = 2</math></li> </ul>                                      |  |