



**DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK**

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

**ADAPTÍV GRIPPER TERVEZÉSE
KÜLÖNBÖZŐ MÉRETŰ SPECIÁLIS
CSŐCSATLAKOZÓK GYÁRTÓSORI
MOZGATÁSÁHOZ, ALTERNATÍV
ROBOTOK ALKALMAZÁSA
SZAKDOLGOZAT**

Baczó Ferencz

Gépjárműtechnikai specializáció

Debrecen

2026

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	VI
Jelölések jegyzéke	VIII
1 Bevezetés.....	1
2 Alternatív robotok és gripperek, amelyek gyártósorokhoz alkalmazhatóak. 2	
2.1 Ipari robotok áttekintése	2
2.1.1 Alapfogalmak:	3
2.1.2 Főbb kategóriák.....	4
2.2 Alternatív robottechnológiák.....	7
2.2.1 Kollaboratív robotok.....	7
2.2.2 Mobil robotok gyártósorokhoz	8
2.2.3 Moduláris és soft robotics megoldások	9
2.3 Gripperek típusai és működése	9
2.4 Integráció és vezérlés	10
2.4.1 PLC/MES és Ipar 4.0 követelmények	11
2.4.2 Szenzorok, látórendszerek és erőmérés	11
2.4.3 Offline szimulációk	12
2.5 Előnyök-hátrányok, gazdasági elemzés	13
2.5.1 Rugalmasság, megtérülés (ROI)	13
2.5.2 Karbantartás, energiahatékonyság	14
2.5.3 Kihívások	14
2.6 Jövőbeli irányok	15
2.6.1 Mesterséges intelligencia és gépi tanulás.....	15
2.6.2 Öntanuló rendszerek	15
3 Speciális csőcsatlakozók termékcsalád bemutatása	16
3.1 Modellválaszték, és alkalmazási célok	16

3.1.1	Modellválaszték	16
3.1.2	Termékcsalád funkcionális célja.....	19
3.2	Modellek közötti különbségek.....	19
3.3	Sorozatgyártás sajátosságai a csőcsatlakozó termékcsalád esetén ...	20
3.3.1	Méretcsoport alapú gyártósor kialakítása.....	20
3.3.2	Moduláris szerszámválasztás a típus gyártásához	21
4	Gripper megtervezése	22
4.1	Bevezetés a tervezési feladathoz.....	22
4.1.1	Miért szükséges az adaptív gripper	23
4.2	A tervezés folyamata és lépései	24
4.2.1	A problémák feltárása	24
4.2.2	Tervezés megkezdése.....	24
4.2.3	A végső dizájn	27
4.3	A tervezés folyamata.....	28
5	Alternatív robotok alkalmazása ebben a gyártósori közegben	39
5.1	Delta robotok	40
5.2	Autonóm mobil robotok (AGV-k) alkalmazása	40
5.3	Mesterséges intelligenciával vezérelt adaptív robotrendszerek	41
6	Gyártás irányítás és elemzés.....	41
7	Összegzés	43
	Irodalomjegyzék	45

Jelölések jegyzéke

1 Bevezetés

A robotika és gépészmérnöki iparágak szorosan összekötődnek, főleg a gyártási optimalizálásánál, szervezésénél, kivitelezésénél. Az iparban elterjed robotikai megoldások, a két szakterület közös együttműködése nélkül nem tudnak megfelelően és hatékonyan működni. Szakdolgozatom célja, egy robotkar megfogó „gripper” szerkezetének az elkészítése, olyan módon, hogy adaptív legyen, egy meghatározott termékcsalád lehetőleg összes tagjára, különösebb személyzeti beavatkozás nélkül. A szóban forgó termékcsalád, speciális csőcsatlakozók, melyeket az olaj, gáziparban használnak, különböző méretű, falvastagságú teherbírásúak, különböző komponensűek. Ezeket a csőcsatlakozókat világvezető szinten a Tenaris cégcsoport gyártja. Található Romániában is egy leányvállalata, Tenaris Silcotub néven.

A Tenaris Silcotub, Romániában Zilah-on található gyártóüzeme, a környék mozgatómotorja, itt kisebb átmérőjű, hegesztés nélküli csövek, és csőcsatlakozók a fő profilja. A Tenaris csoport vezető szerepet tölt be a csőgyártás területén, integrált acélgyártás, csőhengerlési, hőkezelési, menetképzési és felület-készítési folyamatokkal rendelkezik, ezek mind elengedhetetlenek, hogy megtartsák a világvezető szerepüket. Zilahon közel 2000 embert foglalkoztat a Tenaris cégcsoport [1].

A Tenaris cégcsoportnál nagyon magas standard-elvárások vannak [1], ezek közül a dolgozat szempontjából fontos az ISO-9001:2015 „nemzetközi szabvány, amely meghatározza a minőségirányítási rendszer követelményeit” [2], API Q1-7326 „Ez a szabvány meghatározza a kőolaj- és földgázipar számára termékeket gyártó vagy gyártási folyamatokat nyújtó szervezetek minőségirányítási rendszerének minimális követelményeit.”[3], API Spec 5CRA-0030 „Ez a nemzetközi szabvány meghatározza a korrózióálló ötvözetekből készült varrat nélküli csövek műszaki szállítási feltételeit, amelyeket béléscsőként, termelőcsőként vagy köpenyanyagként alkalmaznak.” [4], API Spec 5CT-0387 „Ez a szabvány meghatározza a béléscsövek, termelőcsövek, rövid csőszakaszok, valamint a köpeny- és kiegészítő anyagok műszaki szállítási feltételeit, és előírásokat ad három termékspecifikációs szintre”[5], API Spec 5L-0245 „A szabvány célja olyan csövek követelményeinek meghatározása, amelyek alkalmasak gáz, víz és kőolaj

szállítására a kőolaj- és földgáziparban. A szabvány a varrat nélküli és a hegesztett acél vezetékcsővekre (line pipe) vonatkozik.”[6].

A dolgozat első fejezetében megtudhatjuk mi is az a robot, milyen fajtái vannak, alkalmazási területek, technológiai megoldások, fejlődési irány. Ezeknek az összessége alkotja majd a későbbiekben kidolgozott, megtervezett megfogó szerkezetnek az alap robotját. Az első fejezetben több részben taglalom pontosan mi is az a robot, a fajtáit, de a fő fókusz az ipari robotokon, azoknak az alkalmazási területein, vezérlésén, van a hangsúly. A robot amelyiknek megtervezem, elkészítem a megfogó szerkezetét a stációk közötti mozgásra lesz specializálva, tehát a választott robot paramétereit, méreteit, adatait is megismerhetjük, amellet hogy több robotot is összehasonlítok, hogy a pontosabb, és a határfokában, is megfelelő legyen a feladatnak. Az első fejezetben egy alfejezetet szántam a megfogó „gripper” szerkezeteknek, itt röviden taglalom azt amiről majd a harmadik fejezet szólni fog.

A dolgozat második fejezetében magának a választott termékcsaládnak a bemutatása történik, ebben a fejezetben taglalom a modellválasztást, geometriai méreteit, alkalmazási területeit. A termékcsaládon belüli méretkülönbségeken kívül a konstrukciós különbségeket is be fogom mutatni, össze fogom hasonlítani egymással, és példát adva a bizonyos modell használati területéről. Közös jellemzők megtalálhatóak kifejtve.

2 Alternatív robotok és gripperek, amelyek gyártósorokhoz alkalmazhatóak.

2.1 Ipari robotok áttekintése

Az ipari robot (lásd 1. ábra) definíciója a Nemzetközi szabványügyi szervezet (ISO 8373:2012) szerint: *„olyan automatikusan vezérelt, újraprogramozható, többtengelyű manipulátor, amely ipari automatizálási környezetben anyagok, alkatrészek, szerszámok vagy speciális eszközök mozgatására alkalmas, rögzített vagy mobil kivitelben”[7].*

1. ábra. ipari robot [56]



Az ipari robotok olyan automatizált berendezések, amelyek ismétlődő, precíz, fizikai feladatokat végeznek el, egy gyártósoron. Ide beletartozik a stációk közötti mozgatás, festés, hegesztés, szerelés, és szinte minden amire egy emberi kéz képes, csak gyorsabban, fáradhatatlanul, azaz magas teherbírással, feladatismételhetőséggel és óriási pontossággal [8]. Ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően szerves részei lettek a gyártósori automatizálásoknak, automatizált raktárrendszereknek, amelyek ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően óriási termelésnövekedést, és alacsony hibalehetőségi százalékot mutatnak [9]. A robotok mozgása limitált, vagy egy mechanikailag rögzített módon, például gyártósoroknál, vagy egy előre meghatározott koordináta rendszerben, egy raktári robot esetében. Ezek felett, ami közös mindkettőben, hogy az előre meghatározott pontokon felül, programozhatóak, és a fizikai tényezői határáig programozhatóak, taníthatóak. Ezt a mozgástartományt DOF-nak nevezzük [8], [10]. Az ipari robotokat általában 6 szabadságfokkal látják el, ez teszi lehetővé a tárgyak gyors és precíz manipulálását [11].

2.1.1 Alapfogalmak:

DOF „Degrees of freedom” a szabadságfoka egy robotnak, azt jelenti hogy hány irányba tud függetlenül mozogni, vagy elfordulni a robot [12]. Egy három dimenziós térben, a pontos mozgás érdekében legalább 6 szabadságfok szükséges, három transzlációs (X,Y,Z), és három rotációs (Rx,Ry,Rz) tengely mentén [13]. A DOF határozza meg a robot rugalmasságát és alkalmazhatósági körét. Reach „munkatartomány” a robotkar által előírt maximális távolság a bázisponttól, egy adott irányba. Ez háromdimenziós térré alakul, másneven „work envelope”. A munkatartomány a robot geometriájától, ízületi mozgástartományától, és a robot DOF-jétől függ. A túl kicsi munkatartomány pontosabb, viszont korlátozza a felhasználást, a magas munkatartomány növeli a felhasználást, viszont egyaránt az instabilitást, és a hibalehetőséget is. A gyártósori tervezés során, fontos hogy a

feladatnak megfelelő robotot válasszuk ki, hogy biztonságosan elérje az összes kívánt pontot.

Payload azaz a teherbírás, a maximális tömeget jelöli, amelyet a robot megfogó „gripper” szerkezettel együtt tud mozgatni, az előírt mozgáspontosság és sebesség megtartása mellett, biztonságos körülmények között. Ez tartalmazza a mozgatandó anyagot, a grippert, és minden más szerkezetet ami a robot fején túl kerül felszerelésre. A teherbírás átlépése túlmelegedéshez, pontatlansághoz, akár mechanikai meghibásodáshoz is vezethet bizonyos helyzetekben. A robotokat gyártó, forgalmazó cégeknél általában segítséget nyújtanak a pontos teherbírású robot kiválasztásához, ez elősegíti a folyamatbiztonságot, robotélettartamot és a hatékonyság megfelelő szinten tartását.

Repeatability avagy, ismétlési pontosság, azt az adatot adja meg a felhasználónak, hogy a robot milyen pontossággal képes elérni újra, és újra ugyan azt a pozíciót [14]. Ipari környezetben általában ez az érték 0.01 és 0.1 mm között van. Ez elengedhetetlen a precíziós műveleteknél, például, hegesztés, összeszerelés, adagolás, mozgatás. A repeatability a robot enkóder rendszerének, és mechanikai stabilitásának a függvénye.

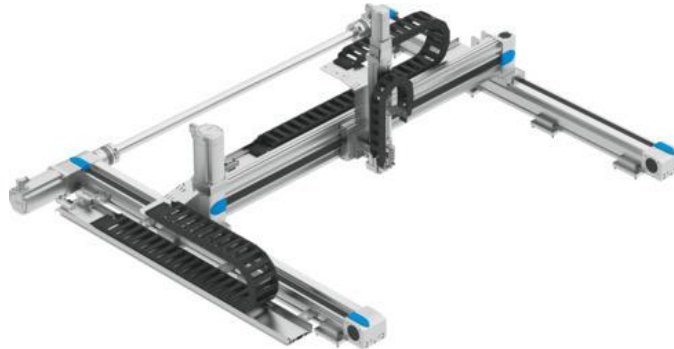
Singularity a robot instabilitásával foglalkozik, ezek olyan pontok a robot mozgásgeometriájában, ahol a szabadságfokok elvesznek, és a mozgás instabillá, kiszámíthatatlanná válik. Ezeket a pozíciókat előnyös elkerülni, mert csökkentik a vezérlés megbízhatóságát, általában a robot programozó rendszerek már figyelmeztetnek erre a pozícióra, és nem engedik ennek a pozíciónak a felvételét a robot lefutási programjába.

Resolution az a legkisebb mozgás, amelyet a robot vagy annak aktuátora érzékelni tud, majd végrehajtani. Meghatározza hogy a robot milyen precízen, és finoman tudja szabályozni a mozgását, vagy pozícióját egy adott tengely mentén. Általában az enkóder rendszerek határozzák meg ezt a változót és a vezérlőrendszer képességei.

2.1.2 Főbb kategóriák

Karteziánus robotok (lásd 2. ábra), három lineáris tengely mentén mozognak, egy háromdimenziós koordinátarendszer (X,Y,Z) mentén. Jellemzően síkban és térben mozgatják a végszerszámot egyenes vonalban, rotáció nélkül [11]. Erre a robot típusra egy példa lehet a Yamaha YKX-G, amely nagysebességű, viszont kis helyigényű, precíz pozícionális pontossággal [15]. Ezeket a robotokat általában elektronikai összeszereléseknél, CNC gépeknél, Pick&Place rendszereknél alkalmazzák [11].

2. ábra. karteziánus robot [57]



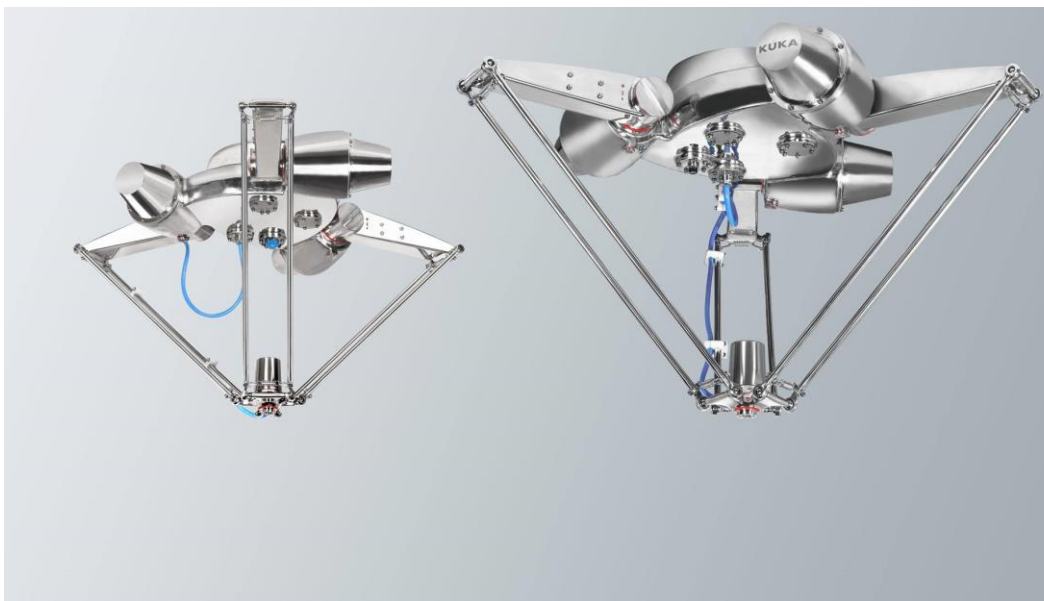
A SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) (lásd 3. ábra) vízszintes síkban rugalmasak, viszont függőleges irányban igencsak merev robotok. Kifejezetten nagy sebességű összeszerelési és betöltési feladatokra használják. 4 szabadságuk van, nagy ismétlési pontossággal, függőleges merevsége miatt, precíz pozicionálása van [11], [10]. Nagyon kompakt, viszont magas hatékonysággal rendelkezik. Egy elterjedt modell az Epson LS10-B, mely kompakt kialakítása ellenére akár 10 kg teherbírásra is képes, precíz összeszerelési feladat közben [15]. Kisméretű tárgyak válogatása, gyors alkatrészösszeszerelésre is alkalmas, viszont a leggyakoribb használata a nyomtatott áramkörök összeszerelése közben, precízisége.

3. ábra. SCARA [58]



Delta robotok (lásd 4. ábra) párhuzamos kinematikával rendelkeznek, ami azt jelenti hogy a grippert, több kar mozgatja szimultán módon. Nagyon gyors, könnyű, szerkezetek kis terhelésre, nagy sebességre, és nagy pontosságra optimalizálva [16]. Párhuzamos szerkezetű, 3-4 szabadságfokkal, hihetetlenül gyors mozgás, akár 200 repetitív feladat végzés/perc [16]. Kisebb, vagy könnyű munkadarabok kezelésére ideális. Vezető példa az ABB gyártmányú, IRB 360 FlexPicker. Csomagolásban, élelmiszeriparban, vagy nagysebességű adagolásnál használják [15].

4. ábra. delta robot [59]



Az artikulált robotok hasonlítanak a legjobban az emberi kézre a több forgó ízületük miatt, általában 6 DOF-al rendelkeznek, így igen rugalmasak, bármilyen térbeli pozíciót elérnek a munkatartományukon belül [11], [10]. Ipari szintű gyártásnál, a KUKA KR AGILUS (lásd 5. ábra) termékcsalád egy tökéletes választás lehet, univerzális használatuk miatt. Hegesztés, festés, szerelés, pakolás, mindenre alkalmasak, méretükben kompakt szerkezetek, összetett a programozásuk, viszont a feladat ismétlési mutatójuk magas [15].

5. ábra. KUKA KR AGILUS [60]



2.2 Alternatív robottechnológiák

2.2.1 Kollaboratív robotok

A kollaboratív robotokat, más néven cobotokat (lásd 6. ábra), úgy tervezték hogy biztonságosan együttműködhessenek emberekkel, elkerülve a balesetvesztést, beépített szenzorjai segítségével, ellenállás érzékelők, szoftveres védelmi funkciókkal, és egyéb biztonsági lépésekkel hozzák közelebb egymáshoz az emberi beavatkozást, és a gépi gyártást [17]. Ezek alacsony teherbírásúak, Max 10kg-ig, biztonsági okokból [18]. Általában 6 DOF-fal rendelkeznek. Nem szükséges biztonsági kerítés [19]. Egyszerű programozás, tanítás kézzel, grafikus felületen, szenzoros kesztyűvel [17], [20]. Típus példa az UR10e (lásd 7. ábra), ez a modell ideális ergonomikus munkaterületen való alkalmazásra és ember-robot kooperációra [20]. Ezeknek a robotoknak az alkalmazási területei még nem nevezhetők ipari szintűnek, kisebb alkalmazásai vannak inkább, például könnyű szerelések, minőségi ellenőrzések, tesztelés, más gépek, robotok kiszolgálása [18].

6. ábra. kollaboratív robot [61]



7. ábra. UR10e [62]



2.2.2 Mobil robotok gyártósorokhoz

A mobil robotok, önjáró egységek, amelyek képesek autonóm módon mozogni a gyártóüzemekben, miközben alapanyagokat szállítanak a raktárból a munkaállomásokra, vagy egyik munkaállomásról a másikra [21]. 2 Fő kategóriájuk van, AGV (Automated guided vehicle) (lásd 8. ábra), amely egy előre meghatározott útvonalon közlekedő robot. Ez az előre meghatározott út, lehet mágnesszalag, vagy QR-kód, optikai jelölés, de akár előre beprogramozott, koordináta alapú tájékozódás is [22]. Előnye hogy stabil, viszont hátránya hogy kevésbé adaptív, egy merev útvonalat követ [21]. A másik fő kategória az AMR (Autonomous mobile robot), intelligens, dinamikusan alkalmazkodó navigációjú robot. Ez szenzorokkal közlekedik, például LIDAR, kamera, ultrahang, és térképezéssel (SLAM) dolgozik [23]. Képes útvonalat újratervezni, adaptálódik a környezetéhez, rugalmas és gyors telepítés jellemzi, skálázhatóság intelligens gyártósorokhoz, viszont drága beruházás, komplex vezérlés [24]. Általános alkalmazási területe, belső logisztika, termelésközi szállítás, autóipar, gyógyszeripar és egyebek [21], [23].

8. ábra. AGV [62]



2.2.3 Moduláris és soft robotics megoldások

A moduláris robotok, könnyen kombinálható, cserélhető elemekből épülnek fel, a modulok lehetnek aktuátorok, szenzorok, karok, vagy akár különféle gripperek is [25]. Ezeket a robotokat a könnyű újrakonfigurálhatóságuk miatt könnyen lehet alkalmazni új termékcsaládok gyártása folyamán, támogatják a rugalmas, kis szériás gyártást [26]. Alacsony leállási idejük jellemzik modellcserénél, változatossága, könnyű karbantarthatósága nagy előnyt jelent egy cég számára [25]. Nagyon hasznos oktatásban és kutatásban is, mivel könnyen kezelhetőek, és a plug-and-play modulcsere opciójuknak köszönhetően [27]. Hátránya viszont hogy korlátozott ipari terhelhetőség, és a kompatibilitási problémák bizonyos rendszerekre [26].

A soft Robotok olyan rugalmas, elasztikus anyagból készülnek, mint például szilikon, vagy poliuretán, amelyek lehetővé teszik hogy biztonságosan és óvatosan manipuláljanak érzékeny, törékeny, vagy szabálytalan alakú tárgyakat [28]. Általában biológiai mozgásokat utánoznak, pneumatikus és/vagy elektromos vezérlésűek [29]. Egy nagyon jó példa erre a Festo BionicSoftHand, amely emberi kéz mozgását utánzó szenzoros megfogó rendszer [30]. Ez a típusú robot biztonságos emberi interakcióra, rugalmas tárgyalakhoz való illeszkedés, és a precíz pozicionálás sem kötelező. Korlátozott ereje van, és alacsony teherbírása, és maga a megfogás rendszere egy komplex vezérlési logika eredménye [28], [29].

2.3 Gripperek típusai és működése

A gripperek, más nevükön megfogó szerkezetek, olyan végszerszámok, amelyeket a robotkarokra szerelnek, és a munkadarabok megragadásáért, mozgatásáért illetve manipulálásáért felelősek [11]. A megfelelő gripper kiválasztása, megtervezése kulcsfontosságú a robotizált gyártási folyamat hatékonysága, és termékminősége érdekében [11]. A különböző gripperek eltérő működési elven, erőhatáson, vagy anyagtulajdonságon alapulnak. Három fő gripper típus van, amelyeket megkülönböztetünk a működési elvük miatt [31].

Elsősorban pneumatikus, és elektromos gripperek; a pneumatikus megfogó rendszerek működési elve sűrített levegőn alapul, egy vagy több dugattyút mozgatja a megfogó rendszer részeit. Ez egy költséghatékony megoldás, viszont ez nem adaptálódik a megfogott anyag alakjához, méretéhez, nyitott-zárt módjai vannak csak a dugattyúnak [32]. Alkalmazni sorozatgyártás, egyszerű fel-le, nyit-zár, szorít-enged, módszereknél lehet. Az elektromos gripperek egy elektromotorral, vagy szervomotorral működnek, ezek könnyebben vezérelhetőek, adaptívabbak,

pontosabb nyomatékbeállítás, pozícióvezérlés, és érzékelők is beépíthetőek [11], [32]. Komplex feladatokhoz szokták használni, például szorítás visszacsatolású rendszereknél. Ez egy kicsit drágább megoldás, viszont ha van egy pozíció változó a kezdeti pozíciónál, amit ki kell küszöbölni, akkor ez a drágább megoldás, sokat spórolhat a cégnek, hosszútávon.

Vákuum és mágneses gripperek, ezeknek a működési elvük nem a szorítás, hanem a tapadó/szívó hatás. A vákuumgrippert egy vákuumgenerátor működteti, amely a kellő szívó hatást hoz létre a munkadarab területén, így az mozgatható lesz. Alacsony az esély az anyag deformációra, ezek mellett a festett, kezelt felületeket is könnyebben, és biztonságosabban tudják pakolni stációról stációra [33]. Viszont a textúrált, szennyezett felületeknél a hatékonyság csökken. A mágneses gripperek mágneses mezőt használnak a ferromágneses tárgyak megfogására, ezen belül is van a folyamatosan mágneses gripper, és az elektromágneses gripper. A mágneses gripperek, gyors, olcsó, és egyszerű a működésük, nincsenek mozgó alkatrészeik, alacsony a karbantartási szükségletük is, és összességében költséghatékonyak [33]. Viszont csak mágneses anyagokon alkalmazható, elektromágneses mágnesnél, áram kimaradás esetén, balesetveszélyes.

Bioinspirált adaptív, 3D nyomtatott gripperek, a legújabb generációjuk a megfogó szerkezeteknek. A bioinspirált gripperek természetes mechanizmusokat utánoznak, például a polip csápjait, az emberek kezét, a tárgyfüggetlen manipulációra is alkalmasak ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően. Általában valamilyen szintetikus anyagból készülnek, poliuretán, vagy szilikon (pl: Dragon Skin, Ecoflex), összességében elasztomer anyagok dominálnak, a folyamatos deformációjuk miatt [33]. A 3D nyomtatott grippereket általában egy gripper prototípusaként használják, kutatási célból. Könnyen testreszabhatóak, átalakíthatóak, cserélhetőek. Ennek alacsony a terhelhetősége, viszont a funkcionális célját ellátja, alacsony előállítási költsége is mellette szól [33].

2.4 Integráció és vezérlés

Az ipari robotrendszerek hatékony és megbízható működésének a legfontosabb része, a megfelelő integráció, és vezérlés, amely biztosítja a különböző eszközök közötti egységes koordinációt [34]. Az eszközök közé beletartoznak a gripperek, szenzorok, látórendszerek, több robot, összeszerelő stációk, biztonsági zsilipek, és bármi egyéb ami a gyártósor rendszerébe beletartozik. Ezeknek a vezérlő rendszereknek a gyártó informatikai architektúrájával, PLC-vezérlőkkel, MES rendszerekkel kell illeszkedniük [35].

2.4.1 PLC/MES és Ipar 4.0 követelmények

Az ipari automatizálás alappillére a programozható logikai vezérlők (PLC-k) és a gyártáskövető rendszerek (MES „Manufacturing Execution System”) beépítése a rendszerekbe. A modern robotok biztonságos, és nyomon követhető működése nem lehetséges ezeknek a vezérlő rendszerek együttműködése nélkül [36]. Az Ipar 4.0 elvi célja az adatok átlátható, valós idejű feldolgozása, és nyomon követése, és a gyár digitális leképezése [37].

A PLC rendszerek szerepe, a valós idejű vezérlés, folyamatos összeköttetésben van a robothoz tartozó szenzorokkal, gripperekkel, stációk szenzoraival, biztonsági zsilipek, hajtásokkal, ezeknek a jeleit feldolgozza, és egyben irányítja őket [34], [38]. A PLC vezérlők több adathálózaton keresztül is kommunikálhatnak az eszközökkel, ilyen adathálózatok például a PROFINET, EtherCAT, Modbus, IO-Link [38]. A PLC-k felelősek a biztonsági fényfüggönyök, zsilipek által küldött jelen keresztül a biztonsági leállásra, gépsebesség lassításra, a biztonságos keretek közé.

A MES rendszerek, a gyártási folyamat pontos nyomon követésére szolgál, melyik termék mikor, milyen gyártási folyamatban van, milyen műveleten esik éppen át, mennyit áll bizonyos stációnál [35]. A gyártandó termékhez igazítja a robot mozgását, a stációk programváltozását, gripperek nyitását-zárását, festési, vagy hegesztési paramétereket, és egyéb változókat. Minőségellenőrzési adatok tárolására is használja, ha egy munkadarabot úgy érzékel hogy nem megfelelő valamelyik paraméternek, a MES visszajelzi azt a központi rendszerbe [36].

Ahhoz hogy egy gyártósort az Ipar 4.0-ba tudjunk besorolni, néhány követelménynek eleget kell tenni, a gyártási rendszer. Adatintegráció, minden eszköz a hálózatba kapcsolható kell legyen. Felhőalapú hozzáférés, a robotcellák állapota távolról is elérhető, megtekinthető kell legyen. Prediktív karbantartás, a szenzoros adatok elemzése alapján, előre jelezhető kell legyen a meghibásodás. „Digital twin” egy digitális „iker” kell legyen a gyártósorról, azaz a fizikai rendszerrel egyidejűleg, egy digitális modell is fut, amely kommunikál a többi rendszerrel, és valós időben szinkronizál a gyártósorral [37], [39].

2.4.2 Szenzorok, látórendszerek és erőmérés

A szenzorok és érzékelők jelentősége az utóbbi időben rohamosan megnőtt, az ipari gyártás folyamán. Ezek nem csak pozíció és jelenlét érzékelők, hanem lehetővé teszik a robotok számára az alkalmazkodást, a pontos illesztést, és a hibák felismerését, jelzését [10]. Több szenzortípust különböztetünk meg, a leggyakrabban a pozícióérzékelők (encoder, induktív), amely a tengely vagy a

gripper pozícióját jelzi vissza a vezérlő rendszernek [10], [34]. A közelségérzékelők, amelyek a munkadarab jelenlétét, vagy helyét jelzik, ezek lehetnek optikaiak, ultrahangosak, lézerek, vagy egyéb távolság mérésére alkalmas megoldások [34]. Erő nyomaték érzékelők, gyártásban az összeszerelési feladatoknál segítenek szabályozni az alkalmazott erőt, vagy nyomatékot amellyel szorít [40].

Látórendszerek 2D és 3D-s kamerák. A vonalkód, vagy QR-kód olvasására, színek érzékelésére, kontúrok, vagy térbeli pozíciók érzékelésére, esetleg rendezetlen adagoló rendszerekben a megfelelő modell kiválasztására használják [41].

2.4.3 Offline szimulációk

Az offline szimulációk és programozás, az ipari robotika alapja. Innen indul el a hatékony tervezés, optimalizálás, program felépítése, működése [42]. Egy virtuális környezetben, a valós üzembe helyezés előtt lehet megtervezni, ellenőrizni, optimalizálni a gyártás folyamatát. Ez különösen előnyös ha a termelés nem állhat le hosszabb időre, tesztelés vagy esetleg programozás miatt [11]. Az offline szimuláció során lehetőségünk van a robot mozgásának szimulációjára, pályatervezésére, vagy ütközés elkerülés ellenőrzésére [42], [43]. Meg tudjuk nézni elsődlegesen a ciklusidőt, azaz mennyi idő alatt megy végig egy egész gyártási kör, ezt tudjuk optimalizálni, vagy a biztonság érdekében lassítani, a robot képességein belül. Offline szimuláció során létre tudjuk hozni a digitális ikret, valós idő szinkronizálással, így nyomon követhető távolról is a gyártás [44]. Nagyon sok szoftver van a piacon, amivel lehet offline szimulációt futtatni, viszont ezek modell specifikusak, például a KUKA-robotoknak, a „KUKA.Sim”, ABB robotoknak „ABB RobotStudio” [43], viszont vannak általános hozzáférésű gyártásszimulációt biztosítanak, például a gyártási folyamatok teljes szimulációját a „Siemens Process Simulate”-el meg tudjuk tekinteni, MES, PLC, PLM integrációval [44]. Ezek a szoftverek a tesztelés mellett, edukáció célból is kiválóak, hiszen fizikai robot nélkül is megtanulható a programozás, és a cellatervezés [11].

Az offline szimulációk egy nagy előnye, az időmegtakarítás, a robotstációk fizika, mechanikai, és elektronikai kialakítása, párhuzamosan zajlik a gyártósor programozásával, beállításával [42]. Ennek köszönhetően, hatékonyabb a beüzemelés is, mivel a valós idejű telepítés ideje jelentősen lecsökken, mivel a vezérlő program már készen áll a telepítésre. Egy másik nagyon fontos szempont, a biztonsági tesztelés, ütközések, elérhetőségi problémák, és mindenféle hiba kockázatmentesen vizsgálható. Könnyen lehet offline szimuláció során módosítani

a gripper beállítását, a robotkar pályáját, esetlegesen a szenzorok érzékelési tartományát [43].

2.5 Előnyök-hátrányok, gazdasági elemzés

A gyártások robotizációja egyre gyakoribb jelenség a modern ipari környezetben, köszönhetően azoknak a pozitív tulajdonságoknak, amiket tud hozni egy gyártósor termelékenységénövekedése érdekében, és mostanra a rugalmasságuk is elérte azt a szintet hogy, szinte mindenre használhatóak [34]. Viszont egy robotizálási beruházásnál mérlegelni kell a potenciális, előnyöket, és hátrányokat, és a legfontosabb, a gazdasági szempontokat [10].

2.5.1 Rugalmasság, megtérülés (ROI)

Az ipari robotok egyik legnagyobb előnye a rendszerek rugalmassága, képesek különféle terméktípusok kezelésére, anélkül hogy különösen komoly gépészeti beavatkozást, átalakítást kéne végrehajtani. Könnyen programozhatóak, újra programozhatóak, állíthatók modellspecifikusan, vagy ha adaptív grippert használ a bizonyos termékcsaládra, akkor a sorozatgyártás termelékenysége könnyen növelhető [34], [45]. Ezek mellett a munkaerőpiacon lévő résekre is megoldásokat tud nyújtani, hiszen könnyen ki tudja tölteni a repetitív, monoton, vagy veszélyes feladatokat végző személyek helyét [10].

A megtérülés (ROI „Return on investment”) számítása közben figyelembe kell venni több tényezőt is. A kezdeti költségek, és üzemeltetési költségek mellett, a munkaerő kiváltásával spórolt anyagiakat is [46]. Hosszútávon jelentős megtakarítást jelent egy robot, a munkaerőköltségek csökkenésével, selejtarány csökkenésével, bizonyos stációk várakozó „idle” idejének csökkentésével, és a termelékenységénövekedésével [45], [47].

Általánosságban egy robotizált rendszer megtérülése másfél és három év között, de ez függ az automatizált folyamat komplexitásától, műszakok számától, de főképpen iparágtól függ, lehetséges hogy a befektetés csak öt-hat év alatt térül meg [46]. Fontos megemlíteni hogy a robotokkal könnyebben kontrollálható a termelés volumene, és könnyebben skálázható a gyártás, így a vállalat gyorsabban, rugalmasabban tud reagálni a piaci trendek változására [47]. Összességében a rugalmasság, és a megtérülés szoros összefüggésben állnak, a beruházás megtérülésének ideje számítása közben [10].

2.5.2 Karbantartás, energiahatékonyság

A karbantartás egy nagyon fontos szempont amikor robotizálásról beszélünk, hiszen az iparban használt robotokat általában megbízható és hosszú élettartamú rendszereknek tervezték, viszont ehhez kell az időszakos, és preventív karbantartás kombinációja [34]. A modern robotoknál a gyártók már gyakran kínálnak olyan preventív megoldásokat, hogy a szenzoradatokból előre jelzi a robot potenciális meghibásodását [48]. A karbantartási költségek csökkenthetőek a kopóalkatrészek moduláris tervezésével [34].

Másik nagyon fontos szempont, az energiahatékonyság, a robotok elektromos fogyasztása alacsonyabb mint a hidraulikus rendszereké, így energia megtakarítás jön létre [10]. A modern robotkarok energia visszatápláló rendszerrel vannak ellátva, így a mozgás során létrejött kinetikus energia részben visszatáplálásra kerül [49]. Emellett intelligens energiafelhasználási profilok, LED-es vészjelzők, és alvó mód segítségével is energiatakarékosság érhető el [10], [49]. Az automatizált rendszerek kevesebb selejtet termelnek, ennek köszönhetően újabb energiamegtakarítási ponthoz értünk, továbbá ez a pozitívum még alapanyag, és nyersanyag megtakarítást is eredményez [47]. A szervomotoros rendszerek, például elektromos grippereknél, finomabb vezérlést tesznek lehetővé, így a precíziós feladatokat is kevesebb erőforrásból oldják meg [47], [48].

2.5.3 Kihívások

Bár a robotizáció pozitívumai többségben vannak, de több komoly kihívás is felmerül. A legfontosabb kihívások, a sebesség, és a teherbírás közötti reláció. Az integrálás is komoly kihívást jelent, főleg már egy létező gyártósorba. Illeszkedni kell a PLC-hez, MES-hez, és ha van, akkor az emberi kezelőkhöz is [34]. A különböző gyártók eszközei nem feltétlenül kompatibilisek egymással, ilyenkor meg kell oldani a felmerülő problémát valami áthidaló megoldással, ami nem olyan egyszerű a gyakorlatban, mint amilyennek hangzik, ilyenkor egyedi integrációs megoldásokat kell kitalálni, fejleszteni [34], [42].

A munkaterület kialakítása során kompromisszumot kell kötni a helyigény, munkatartomány, és biztonsági zónák között [10]. A tanácsadási és a mérnöki költségek is megnövelik a beruházás értékét, főleg ha egyedi vagy testreszabott rendszereket igényel a gyártósor [42]. Emellett a képzettlen munkaerő is akadályozhatja az új rendszerek beintegrálását, főleg kis- és középvállalkozásoknál [47].

A karbantartás és a programozás sem egyszerű feladat, és a gépleállítás ideje kritikus lehet. A gyártók ezért egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a vizuális

programozói felületekre, ahol a programozás nélküli „blokk” alapú logikai programozás előre segítségével, ezzel lecsökkenteni a programozási időtartamot [42], [50].

Az utolsó, és talán a legfontosabb kihívás, az biztonságtechnika. Gyors és nagy erejű mozgásokat végző robotkarok veszélyt jelentenek a környezetükre, magukra, de a legfontosabb, az emberekre. Ezért kifinomult szenzorok, biztonsági zsilipek, biztonsági lézeres kapuk, biztosítják a biztonságos működést [51].

2.6 Jövőbeli irányok

Az ipari robotika fejlődése nem fog megállni az alapfeladatok automatizációjánál, sőt, a jövőben az olyan fejlett technológiák határozzák majd meg a gyártási folyamatot mint a mesterséges intelligencia integrálása, vagy az öntanuló rendszerek [10], amelyek már tesztfázisban, és helyenként már gyártásban segítik előre a gyártási hatékonyság növelését. Ezek segítenek majd az ember-robot együttműködés minőségi átalakítását is elősegítik [47].

2.6.1 Mesterséges intelligencia és gépi tanulás

A mesterséges intelligencia, mint technológia fejlődése egyre nagyobb szerepet játszik a mindennapi ember életében is, ezzel egyaránt az iparban is fejlődik, különösképpen a prediktív karbantartás terén, a szenzorok visszajelzéseinek a feldolgozásánál, vagy a gyártási folyamat optimalizációjánál [52]. A gépi tanulás (ML – Machine Learning) keresztül a robotok képesek adatminták alapján javítani a működésüket az adattapasztalatok alapján, amivel másodperceket, de lehet tizen-másodperceket is lehet nyerni, ami egy sorozatgyártott tárgynál nagyon költséghatékony [52], [53]. A mesterséges intelligencia segítségével gyártás közben is kamerákon, képfeldolgozáson keresztül a gyártandó termék hibás alkatrészeit is felismerheti [53].

A neurális hálózatok és a deep learning bevezetése lehetővé teszi a komplex feladatok, változó környezetekben való döntéshozatalt [10], [54]. A mesterséges intelligencia elsősorban jelenleg az adatfeldolgozásban tudja nagyon előre segíteni a gyártósorok fejlődését, optimalizálást, a robotkarok mozgási pályáját, és egyéb gyorsító, könnyítő ötlettel, adattal tud szolgálni egy vállalat számára [52].

2.6.2 Öntanuló rendszerek

Öntanuló rendszernek nevezzük, a külső programozás, saját tapasztalatból, minimális adat betáplálással, és ezek alapján tanítja magát, például reinforcement

learning alapon [54]. Ezek a rendszerek folyamatos visszajelzéseket kapnak a szenzorokból, kamerákból a környezetéről, és ez alapján próbálja folyamatosan javítani a teljesítményét egy adott cél eléréséhez. Például egy összeszerelő robot megtanítja magát hogy hogyan illesszen be különböző méretű alkatrészeket, anélkül hogy minden variációhoz külön programja legyen. Ez a rugalmas viselkedés teszi lehetővé hogy egyre komplexebb, emberközpontú feladatokat is automatizálni lehessen könnyedén [55]. Előreláthatólag ez a rendszer forradalmasítani fogja a dinamikus gyártási környezet kezelését.

3 Speciális csőcsatlakozók termékcsalád bemutatása

3.1 Modellválaszték, és alkalmazási célok

A Tenaris cégcsoport egy óriási spektrumon gyárt csőcsatlakozókat több iparág számára. A legkisebb 2 3/8" (2.375 col), a legnagyobb 42" (42 col) méretig. Ezek mind az OCTG (Oil Country Tubular Goods) keretein belül találhatóak meg. Jelenleg a Tenaris Zilahi gyártóüzemében, 2 7/8" (2.875 col) a legkisebb és 24" (24 col) a legnagyobb gyártott méretek. Mi ezek közül csak 5-öt veszünk figyelembe, mivel a modell-méretek szerint 2 külön részre van osztva a gyártás, GAMA MIC (kis méretű) és „GAMA MARE” (nagy méretű) gyártósorokra.

3.1.1 Modellválaszték

A modellválaszték a következőképpen épül fel, 4 fő része van, amikor egy ipari cég csőcsatlakozót választ. Első és legfontosabb az átmérő helyes kiválasztása, másodsorban a falvastagsága, ez határozza majd meg a menetvastagságot is. Ezek után a harmadik nagyon fontos szempont a csatlakozó ötvözetének kiválasztása, végül a csatlakozás típusát. Átfogóbb modell leírás lásd 1. táblázat, ezeket a Tenaris OCTG csőkonfiguráló oldalán található adatok alapján, és a cég által biztosított gyártási adatok által választottam [1].

1. Táblázat. Modell-választás segédlet

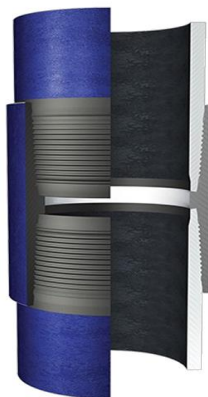
Átmérő, [Inch]	Falvastagság, [Inch]	Ötvözet	Csatlakozás típusa
2,875	0,405	P110	Blue®
5,000	0,500	L80 Type 13Cr	Wedge 513
9,625	0,545	L80 Type13Cr	Wedge 623 Dopeless®
10,750	0,734	P110	Blue ® Max Dopeless®
13,625	0,625	P110	Blue®

A választott modellek mind különféle méretekkel rendelkeznek, viszont ami még érdekesebb az maga a csatlakozás típusa. 4 különféle csatlakozási típust találunk meg. Blue®(lásd 9. ábra), Blue® Max Dopeless®(lásd 10. ábra), Wedge 513 (lásd 11. ábra) és Wedge 623 Dopeless®(lásd 12. ábra), mindezek különféle technológiák, melyek közül a legújabb az maga a Dopeless® technológia[63]. Ezek mindegyike a „GAMA MIC” gyártósoron készül [1].

9. ábra. Blue®-csatlakozó típus [63]



10. ábra. Blue® Max Dopeless® csatlakozó típus [63]



11. ábra. Wedge 513 csőcsatlakozó típus [63]



12. ábra. Wedge 623 Dopeless® csőcsatlakozó típus [63]



3.1.2 Termékcsalád funkcionális célja

A választott termékcsalád méreteitől függetlenül, inkább a csatlakozás típusától függ hogy milyen helyen, mire használják. A Blue® Max Dopeless® például tengeri olajfúró tornyoknál alkalmazzák, amelyek közel vannak a parthoz, de különösen olyan helyeken, ahol a csőtest teljes szerkezeti teljesítményét kell elérni. A Wedge 623 Dopeless® hasonló ehhez, viszont ezt inkább a mélytengeri kitermelésnél extrém körülmények között, magas nyomás és hőmérséklet mellett is kiválóan zárja a csöveket össze.

3.2 Modellek közötti különbségek

Alapvetően már említettük a méretkülönbségeket, viszont vegyük őket sorra.

1. 2,875" - 0,405" - P110 - Blue®, ez a fajta csőcsatlakozó P110 acélt használ, amely magas szakítószilárdsággal rendelkezik. Ennek összetevői nem teljesen nyíltak a nyilvánosság számára hogy a Tenaris milyen arányban használja az anyagokat viszont találhatunk információt arról hogy hozzávetőlegesen miből mennyi van benne. C (szén): 0,25-0,40%; Mn(mangán) 0,40-1,40%; Si(szilícium): 0,15-0,35%; Cr(króm): 0-0,30%; Mo(Molibdén) 0-0,30%; Ni(Nikkel) 0-0,30%; P(foszfor) illetve S(kén) szigorú korlátozás alatt áll, a ridegedés elkerülése miatt, <0,020-0,030% [5]. Ez a modell az acélminőségének is köszönhetően tipikusan nagy nyomású gázkutak termelőcsöveként használatos. A P110 acél nagy szakítószilárdsággal rendelkezik, jól alkalmazható nagy mélységű, nagy terhelésű kútszakaszokban, és a csatlakozási fajtájának köszönhetően pedig jó fáradási teljesítménnyel, és ellenállással rendelkezik, ami a keskeny termelőcsöveknél különösen fontos.

2. 5,000" – 0,500" – L80 Type 13Cr – Wedge 513® ebben az esetben az L80 Type 13Cr ötvözet, nevéből is adódóan magas (13%) króm tartalmú, de vegyük sorra pontosan miből is áll. C(szén): 0,15-0,22%; Cr(króm): 12-13,5%; Mn(Mangán) 0,20-1%; Si(szilícium) 0,15-0,35%; Ni(Nikkel): 0,50-1,00%, a kén és a foszfor itt is a minimális köré szorítódik, <0,020% [5]. Az összetételéből kifolyólag ez a csőcsatlakozó korrózióálló martenzites rozsdamentes acélok közé tartozik, kimondottan széndioxid dús, savas közegben használják, leginkább ipari gyártósoroknál, vízbesajtolási rendszereknél.

3. 9,625" – 0,545" – L80 Type 13Cr – Wedge 623 Dopeless®, az anyag ugyan az, viszont már ilyen alacsony méretkülönbségi változásnál is látszik hogy a csatlakozási pont kialakításából kiindulva, mennyire drasztikusan változik a

felhasználási hely, ezt a fajta csatlakozót már mélytengeri kitermelésnél is használják, főleg a kloridos, vagy magas sótartalmú vízzel érintkező szakaszoknál.

4. 10,750" – 0,734" – P110 – Blue® Max Dopeless®, ezt a fajta csőcsatlakozót mint egy bevonatként szokták használni szintén mélytengeri kitermeléskor, nagy falvastagsága miatt, a csatlakozó típusa nagy tengelyirányú és összenyomási terhelésre optimalizált, nagyobb igénybevételű kutakhoz. A Dopeless technológia minimalizálja a nyíltvízi szerelési kockázatot. Ez csatlakozó az „intermediate casing” egyik leggyakoribb mérete. Magas nyomás és hőmérsékletkörülmények között is tökéletesen zár, leginkább a nagy súlyterhelést kapó keskeny kútfurat szakaszok stabilizálására használják, míg a közepében a kitermelőfej halad.

5. 13,625" – 0,625" – P110 – Blue® ez a csőcsatlakozó hasonló az előző társához, szintén egy külső védő funkciót lát el, köztes bélésű, nagy terhelésű, mély vagy gázos kutakhoz. Az acél magas szakítószilárdsága miatt alkalmas mély gázkutak vagy túlnyomásos zónák esetén, csatlakozás típusa gyors, biztonságos összeszerelést tesz lehetővé. Geológiai instabil szakaszok lezárásra, vagy magas pórusnyomású zónák biztosítására is szolgál mélyfúrásoknál [1].

3.3 Sorozatgyártás sajátosságai a csőcsatlakozó termékcsalád esetén

3.3.1 Méretcsoport alapú gyártósor kialakítása

Mint már említettem, a gyártósorok méretcsoport alapú gyártósorok kialakítása nagyon sokat tud segíteni, és meg tudja növelni a gyártókapacitást. A méretcsoport alapú gyártósorok a gyártókapacitás megnövekedése mellett, anyagilag is fenntarthatóbb, hiszen nem mindegy, hogy egy 2,875" csőcsatlakozóknak a mozgatására milyen méretű robotot használunk, ideális lenne, ha a robot alulhasználtságát elkerülhetnénk, mert ez energiavesztéssel működik, ami pedig a gyártási költség rohamos megnövekedésével jár bizonyos robot típusoknál. Például egy robot, amely képes mozgatni a 24" csőcsatlakozót, veszteségesen működik a 2,875" esetében, magasabb fenntarthatósági igényei miatt.

Egy méretcsoport alapú gyártósor kialakítása során, előre segítjük a logisztika folyamán felmerülő problémák megoldását is, mert ha mindegyik modell egy gyártósoron menne, nem lehetne egy standardizált környezetet kialakítani, mert mindegyik modell, vagy méret más és más standardokkal rendelkezik, és a folyamatos át állás a modellek között, idővesztéssel jár, és így könnyebben is tárolhatóak.

Ez a fajta strukturálás csökkenti a gyártási átállások időigényét, és ezzel a költségeket is csökkentik, egy sokkal dinamikusabb munkafolyamatot biztosítva. Az iparági tanulmányok szerint a gyártósor átállás-idő jelentősen befolyásolja az OEE „Overall Equipment Effectiveness”-összes gépeffektivitás- értékét [64][65]. Ugyanakkor mivel ezek prémium csatlakozók, figyelembe kell venni nagyon sok paramétert, például az L80 Type 13Cr- nem szabad más fém-felületekkel érintkezzen, hogy ne sérüljön a kompozit integritása, és maradjon meg a magas korrózióálló tulajdonsága. A gyártósornak könnyű alkalmazkodóképességű kell legyen ahhoz, hogy mindezeket be tudja tartani, és a standardokat követni.

3.3.2 Moduláris szerszámválasztás a típus gyártásához

A moduláris szerszámváltás egy nagyon fontos szerepet tölt be a sorozatgyártásban, lehetővé teszi ugyanazon a gyártósoron több különböző csatlakozó típusú, méretű gyors átállását, minimalizálva a termeléskiesést. A lényege, hogy a menetvágó, forgácsoló, bevonatfelhordó, mozgatásért felelős gépezetek, és ellenőrző felszerelések, vagy ugyanazon alkatrész használatával tudjanak tovább dolgozni, vagy egy olyan mechanizmussal legyenek ellátva, amely lehetővé teszi a gyors és gördülékeny cserét, ezáltal a teljes átállás órákról, percekre, vagy akár másodpercekre is csökkenthető.

Az olajipari csatlakozók gyártásában a moduláris szerszámtechnológia, akár 15-25%-kal növelheti a gyártósor OEE-mutatóját, az átállási idők csökkentése miatt [9]. A prémium OCTG csatlakozók esetén a moduláris rendszer biztosítja a különböző bevonattal ellátott (pl. Dopeless) könnyen változtatható legyen az eszköz ami felviszi a réteget, ezek mellett a mérőműszereknek is könnyen alkalmazkodniuk kell, az adott típus specifikációihoz [63].

A moduláris szerszámváltás másik hatalmas előnye, a hibaarány csökkentése, mivel az előre beállított alkatrészek, szerszámok csökkentik a beállítási hibákból eredő kiesést. A gyártási modulok szabványosítása egyúttal lehetővé teszi a gyártási költségek alacsonyan maradását, abban az esetben is ha kisebb szériákban kell azt gyártani, ami a prémium piaci szegmens sajátossága. A karbantarthatóság is rugalmasabbá válik, mivel az egyes modulok külön is szervizelhetők, így a teljes gyártósor leállítása nélkül is javíthatóak [11].

Továbbá a moduláris szerszámtechnológia támogatja a digitális gyártásirányítást, a modulok RFID-vel „Radio Frequency Identification” [67] vagy QR-kóddal „Quick Response code” [76] elláthatóak, amelyek automatizált paraméterbetöltést tesznek lehetővé. Az OCTG-gyártásban a moduláris szerszámválasztás nemcsak hatékonysági tényező miatt fontos, hanem ez minőségbiztonsági követelmény is.

4 Gripper megtervezése

Ebben a részben fogom végig vezetni a tervezési folyamatot, milyen nehézségekbe ütköztem, hogyan sikerült felülkerekedni ezeken a problémákon, mi a fő célja a grippernek, miért olyan amilyen, miért azt az anyagot választottam, és még sok más egyéb amikkel a tervezés folyamán találkoztam.

4.1 Bevezetés a tervezési feladathoz

A tervezési feladathoz, elsősorban le kellett szögezni a célt, ami nem volt más, mint az adaptivitás. Az adaptív szerepet ebben az értelemben úgy fogjuk venni, hogy a csőcsatlakozókat a stációk közötti mozgatásban, egy robot végzi, és ennek a robotnak fogjuk a grippert megtervezni, mely többféle csőcsatlakozót is tud mozgatni, bármiféle külső beavatkozás nélkül, beállítás után.

A gripper alapvetően egy megfogó szerkezet, itt kellett törekedni arra hogy helyigényét minél jobban redukáljuk, a súlyhatárt alacsonyan tartsuk, és hogy a robotnak ne okozzon sok plusz megterhelést. A szóban forgó robot az ABB robotikai cégnek, az egyik artikulált robotja, ABB ROBOT - IRB 6700-205/2.80 (lásd 13.ábra)[66].

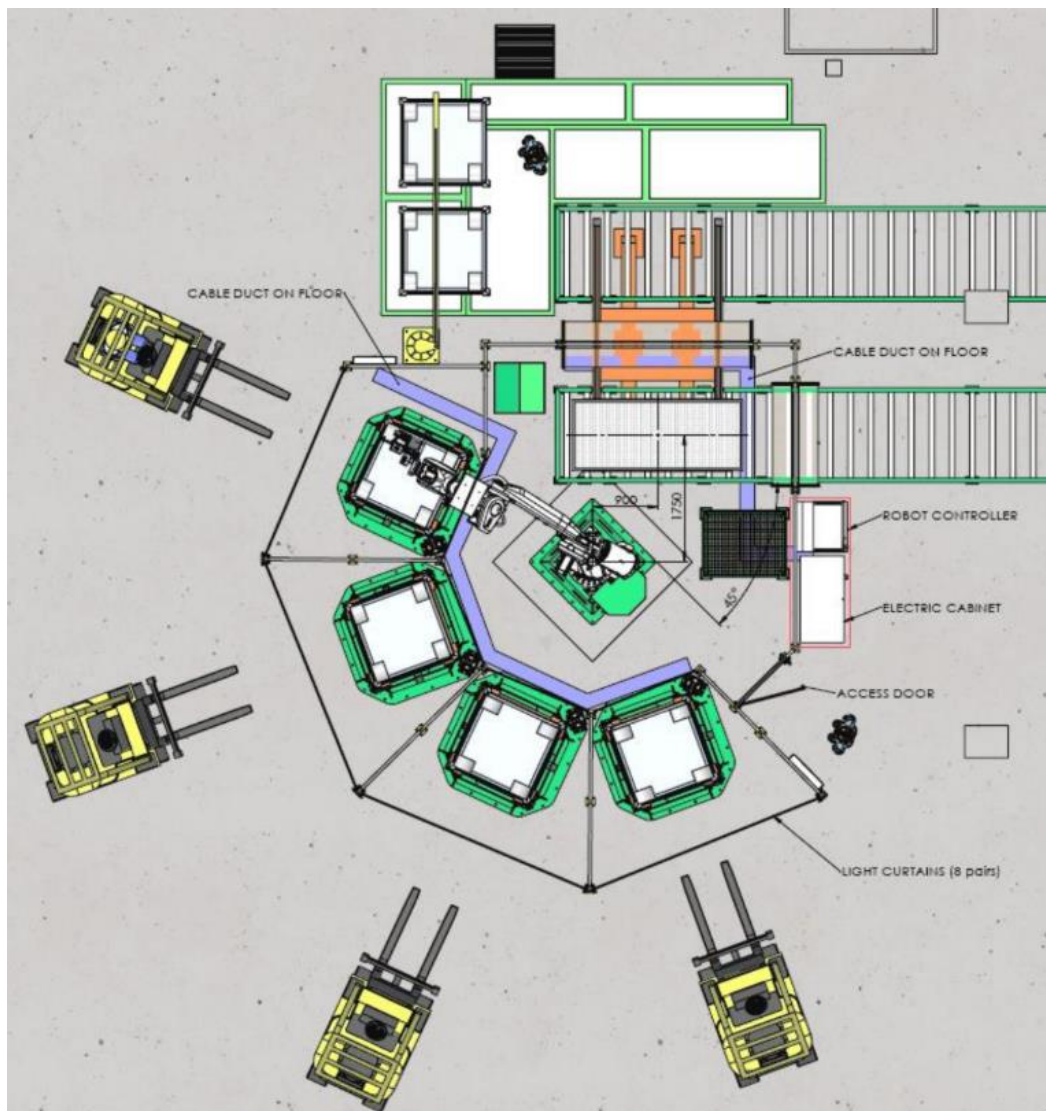
13.ábra. ABB Robot- IRB 6700-205/2.80 [66]



Ez a robot egy 6 tengelyű robot, ehhez jönni fog pluszba egy 7. tengely, ami a grippernek lesz a mozgástartománya. A robot nevéből kiindulva megtudhatjuk, hogy ez az ABB-Robotics IRB 6700 termékcsaládjának a 205/2.80- terméke, a 205 a terhelhetőséget (payload)-ot jellemzi 205-kg, a 2.80 pedig az elérési tartományt

(reach) 2.8m. A pozíciós ismétlőképessége (repeatability) 0.05mm pontosságú, ezeket a műszaki adatokat az ABB hivatalos oldaláról szereztem [66]. Ezt a robotot a GAMA MIC-nél használják, a gyártósor szerkezeti felépítése „layout” (lásd 14. ábra)

14. ábra. Robot layout



4.1.1 Miért szükséges az adaptív gripper

Ebben a munkakörnyezetben azért lesz szükséges egy adaptív gripper tervezésére, hogy A méretek közötti különbségeket könnyen áthidaljuk és ne kelljen folyamatosan külső beavatkozásnak külső beavatkozásnak lennie, hanem. minimális külső beavatkozással tudjunk gyártani. Ez a szempont a cső csatlakozók

esetében különösen fontos, a gyakran változó gyártandó csatlakozóknál, néha naponta 2-3 modellváltás is lehet, amely nagyon lelassítja a termelést.

4.2 A tervezés folyamata és lépései

A tervesei folyamat első lépéseként kapcsolatba léptem a Zilahi gyártóegységgel, a Tenaris cégcsoporttól. Amint a procedurális dokumentációkon átestem, kezdődhetett is a munka.

4.2.1 A problémák feltárása

Első találkozásomnál a cég által kijelölt személlyel (ing. Nicoda Paul), arról beszéltünk, hogy milyen problémák vannak a mostani gyártósorral, pontosabban a szóban forgó robottal. A problémák egymás után jöttek, de a legfontosabb amit megemlített legelőször, hogy a robot mostani fejének átállítása más modellre, akár 120 percet is igénybe vehet, ezt a problémát megvizsgálva, következett az új grippernek milyen problémákat kell leküzdenie.

A gripper elsősorban strapabíró kell legyen akár 50 kg-os terhelésnek, folyamatos mozgásnak, az átmérők közötti gyakori váltakozásnak. Ezekre mind megoldást nyújt a gripper.

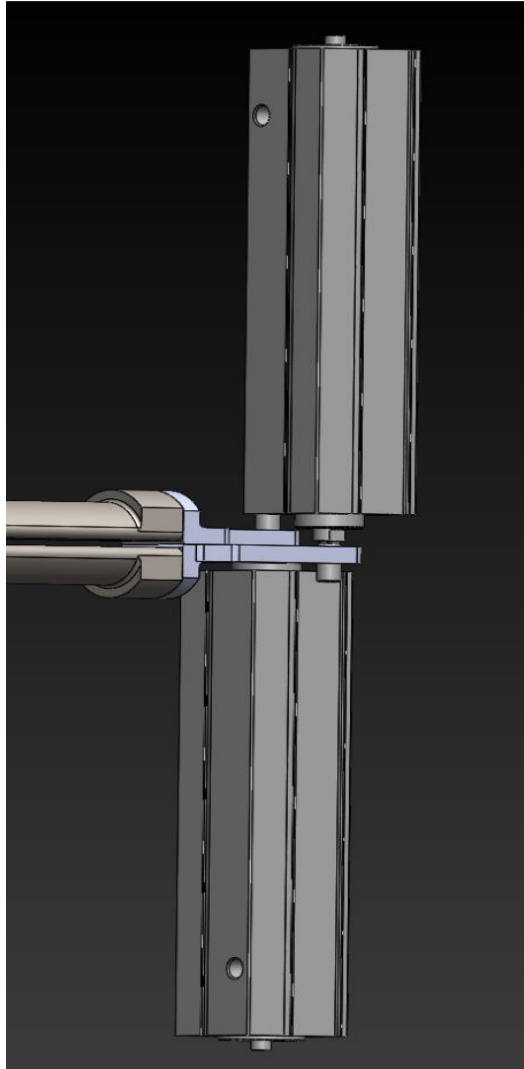
Ezeket leszámítva is szem előtt kellett tartani bizonyos dolgokat, biztonságtechnikai szempontokat, súrlódás kérdését, sérülésmegelőzést, helyigényt, szenzorok szükségessége, vagy a vezérlés olyan módú vezérlését, amely egy encoder *„egy olyan érzékelő, amely a tengely vagy lineáris elem pozícióját és mozgását elektromos jellé alakítja a pontos vezérlés érdekében”*, vagy egy szenzor által megfigyelt mozgástartomány, a pontos, beprogramozható szorítás miatt.

4.2.2 Tervezés megkezdése

Alapvetően 2 opció merült fel tervezéskor, 2 ötlet.

Az elsőnél 2 külön működtetett henger, amelyek 1-1 szervomotor által működtetettek lett volna (lásd 15. ábra), viszont ez nem volt elég hely takaros, és nem tudott volna a robot normális keretek között elérni mindent pontot.

15.ábra- 2 hengeres gripper 3D

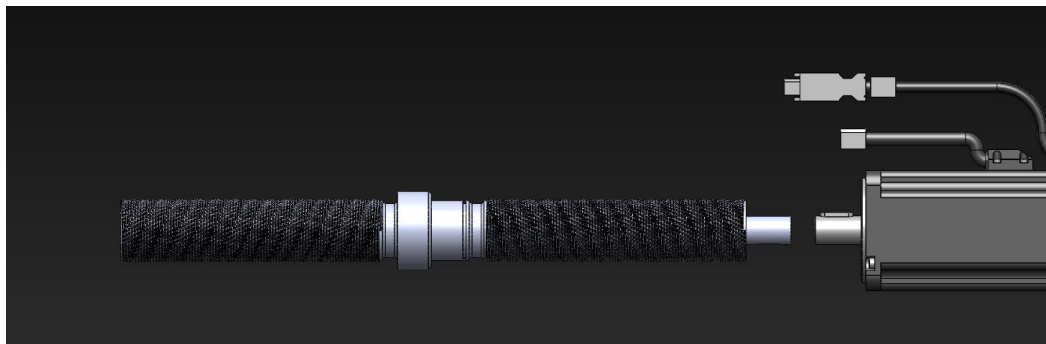


Ezek után jött egy újabb dizájn, amely egy sokkal gyorsabb, pontosabb, és egy teljesen más megközelítésből áll az egész meghajtási lánchoz. Itt egy menetelt tengely megoldással álltam elő. A tengely két végén (lásd 16. ábra) egy-egy menet található, amelyek különböző irányú mentek. Egyik az óra haladásával megegyező (CW), a másik pedig ellentétes (CCW). Jelen esetben a bal oldali CCW, a jobb oldali pedig CW. Ugyan olyan menetelt belső része van a megfogó szerkezet ujjait tartó résznek is (lásd 17. ábra).

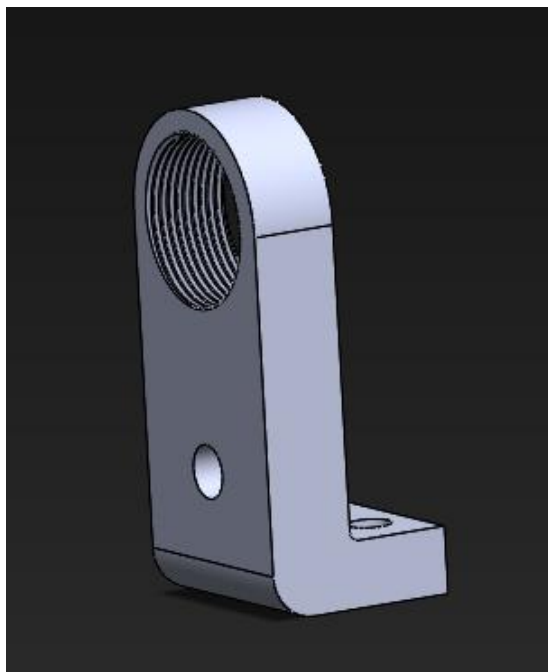
A meghajtás egy precíziós szervomotorral történik, amikor a szervomotor elkezd meghajtani a tengelyt, a megfogó szerkezet ujjait tartó alkatrésznek, belső menetének köszönhetően a két ujj, ellentétes irányban elkezd mozogni. Viszont ahhoz, hogy ne „forogjanak” az ujjak, kell egy fix pont is, amit egy merevítő rúd

szolgáltat (lásd 18. ábra). Ennek a 4 fő alkotóelemnek köszönhetően fognak a gripper ujjai kinyílni, majd záródni, a precíziós szervomotorok, köszönhetően ez egy nagyon pontos, gyors és tökéletes megoldás a lassúsági és pontossági problémára, viszont a szabadságfok (DOF) a kialakításból adódóan még mindig egy probléma, mivel a ketrec amiből elveszi a csöveket, azoknak a sarkaiba nem tud elérni, mert túlságosan széles, így nem praktikus megoldás ez sem, mivel nem tud minden csőcsatlakozót kivenni a ketrecből.

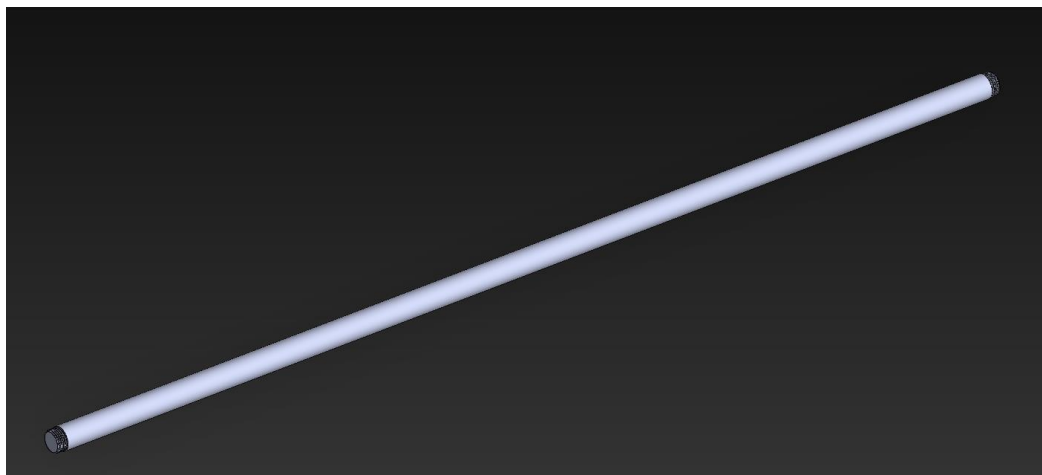
16. ábra. Csavaros megoldású működtetés.



17. ábra. Menetelt ujj megfogó alkatrész.



18. ábra. Merevítő rúd.



Ezek után következett a végső dizájn (lásd 19. ábra), ahol minden egyes eddigi problémát figyelembe vettünk, és leküzdöttük az utolsó nagy akadályt is.

4.2.3 A végső dizájn

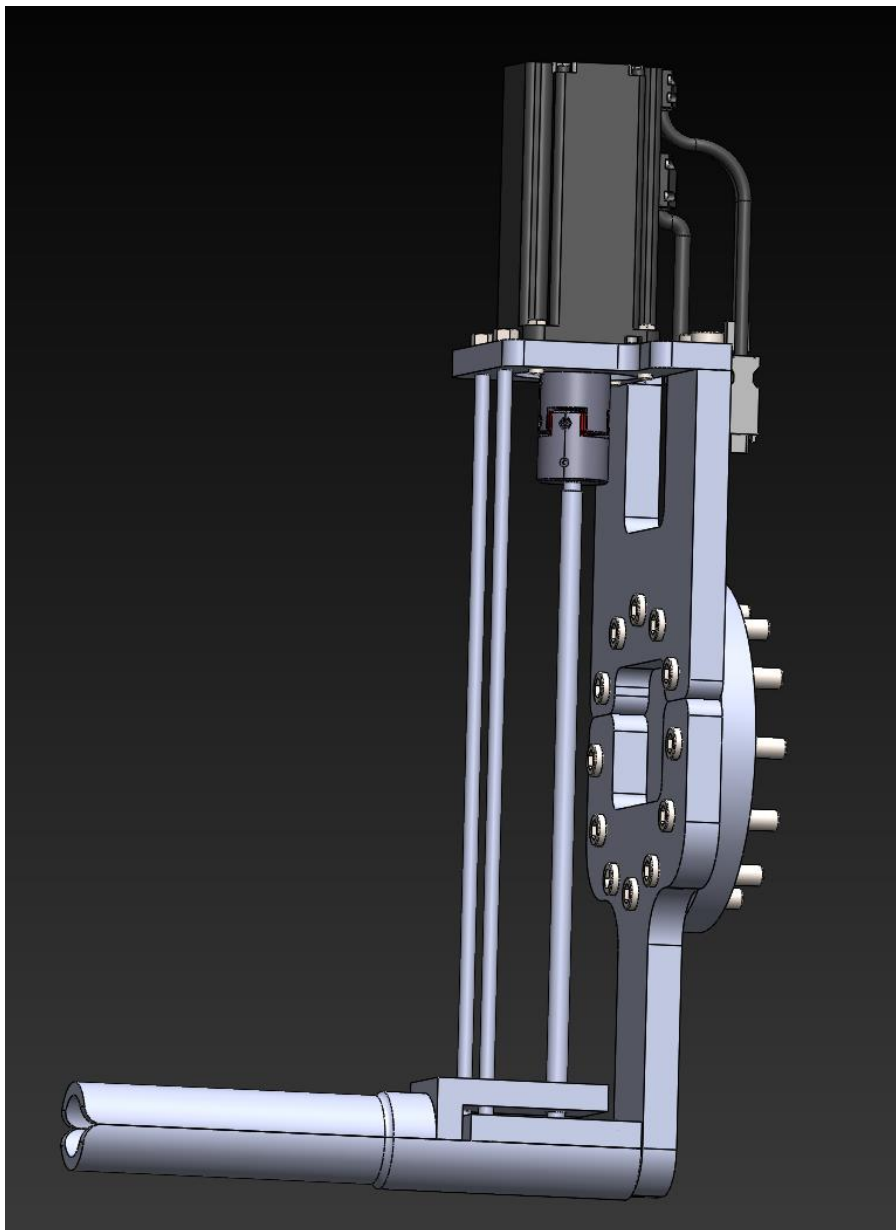
A végső dizájnban (lásd 19. ábra) a következő problémákkal találkoztam.

Elsősorban ugyebár le kellett küzdeni a problémát, hogy nem tudjuk elérni a sarokban lévő dolgokat. Ezt úgy tudtam megoldani, hogy egy teljesen más megközelítésből kezdtem hozzá az ujjak rögzítéséhez, így lett 2 külön dizájnú gripper ujj, az egyiket lefixáltam a robot fejéhez, a második pedig mozog egy tengelyen. Mivel az egyik része az fix, ezért az lesz a szélső pont, aminek köszönhetően sikeresen el lehet érni a sarokban lévő csőcsatlakozókat.

Mivel az egyik fele a grippernek, az egyik ujj teljesen fix maradt, ezért lassul egy kicsit a sebessége, de igazából ez sem probléma, mivel a precíziós motor nem muszáj teljesen mindig visszavigye a kezdő pozícióba a mozgatott felét a grippernek, maximum 10 mm-et húzódik vissza a csőcsatlakozó belső, szélső pontjától. Így igazából a szervomotornak köszönhetően ez nem egy probléma.

Problémaként maradt már csak az, hogy ha a régi, vaskosabb, vastagabb mozgató tengely dizájn marad, akkor közel kerülünk a Payload maximumához, így azt is vékonyabbra kellett készíteni, így pedig stabilitási probléma merült fel. Ezt úgy oldottam meg, hogy két merevítő rudat használok, így az oldalirányi hatásoktól is stabilabb lesz a szerkezet, Payload elérés közeli probléma sem kerül be a számításba, és a végső stabilitás is megmarad, mivel 3 különálló ponton van megtámasztva a mozgatott, második ujj.

19. ábra. Végső dizájn 3D



4.3 A tervezés folyamata

Sorrendben haladva, a tervezés folyamata:

Elsősorban el kellett dönteni, hogy milyen szervomotort használjak, aminek megfelelő a sebessége, pontossága, méretei is megfelelőek, és elég strapabíró ahhoz, hogy olyan munkakörnyezetben is megfelelő, és megállja a helyét. Itt a Festo

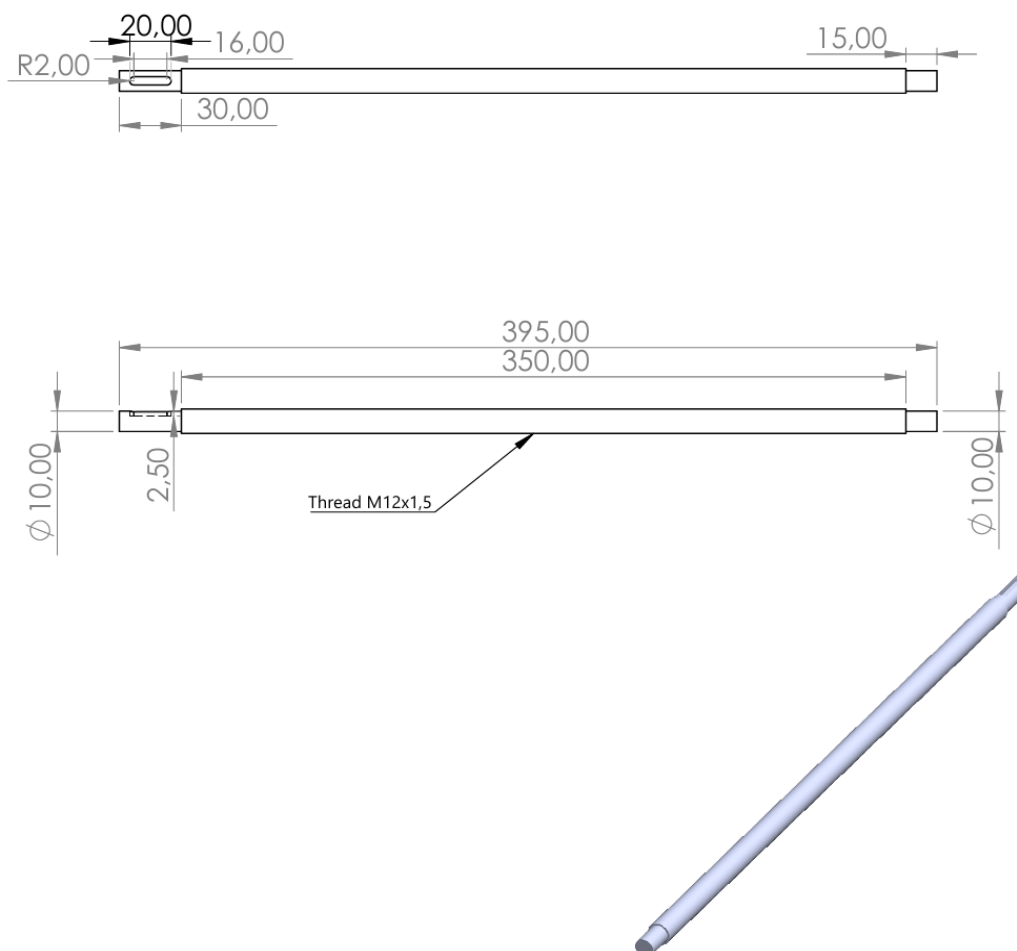
EMMB-AS-80-07-K-S30MB-t (lásd 20. ábra) választottam [68]. Ennek technikai tulajdonságai, 750 W teljesítményű, amely 3000 RPM-re képes, és 7,17 Nm nyomatékra képes, így bőséges tartalékot ad a gripper meghajtásához [68].

20. ábra. EMMB-AS-80-07-K-S30MB [68]



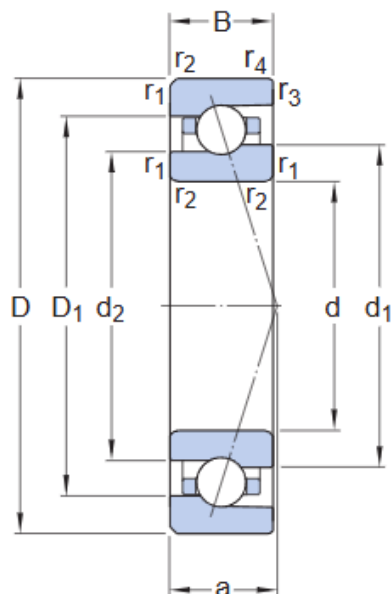
A motor adott, most jöjjön a mozgató szerkezet, a tengely rész megtervezése (lásd 21. ábra), itt fontos szempont volt, hogy annak ellenére, hogy megfelelően strapabíró legyen, a menetkopása is alacsony legyen, az alacsony karbantartási költség végett. A hosszúságának és menethosszúságának meghatározásakor figyelembe kellett venni, a legnagyobb méretet, amit ezzel a gripperrel fogunk mozgatni. 1.5 mm-es emelkedése van, amely egy gyors, viszont elegendően pontos a gripper haladásához. A tengely anyagának az AISI 4140-et választottam. Az AISI 4140 összetétele: C (szén): 0,38 – 0,45%; Cr (króm): 0,90 – 1,20%; Mo (molibdén): 0,15 – 0,30%; Mn (mangán): 0,60 – 0,90%; Si (szilícium): 0,10 – 0,40%; P (foszfor): $\leq 0,025\%$; S (kén): $\leq 0,035\%$. A választott anyag nagy szakítószilárdsággal rendelkezik (900-1100MPa hőkezeléssel), jó fáradási ellenállással, kiváló ütésállóság, hőkezelhető, alacsony repedési hajlam, jó megmunkálhatóság [69].

21. ábra. menetes tengely.

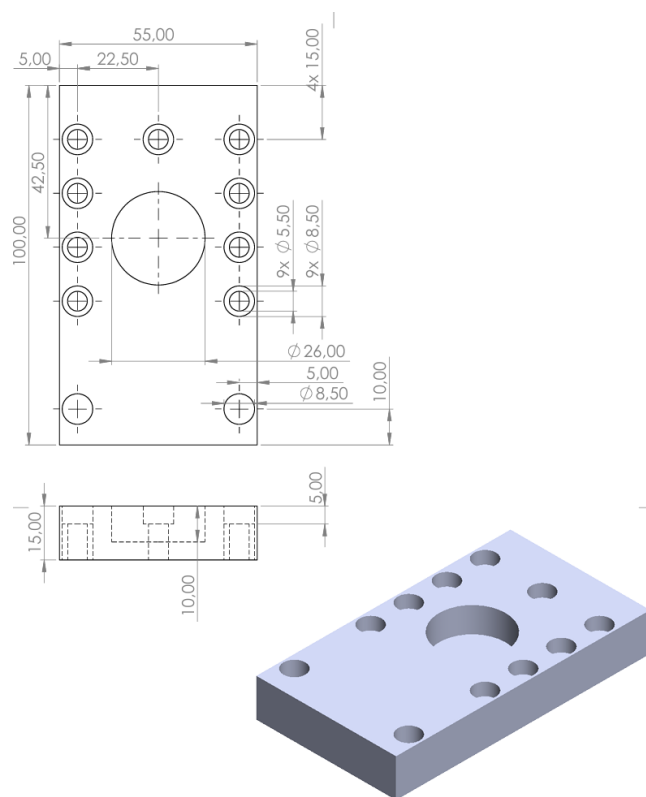


Szükséges volt egy helyre a rúdon, ahol egy merevítést, és egy fix pontot is be tudunk iktatni, ezt pedig egy csapággal (lásd 22. ábra) oldottam meg, amelyet hozzá rögzítünk a házhoz egy csapágházzal (lásd 23. ábra). A csapágháznak a rögzítése 9. ponton, M5 Hex csavarokkal történik, amelyek be vannak sülylesztve, mivel itt ütközne a csavar feje a mozgatott résszel, és ezek mellett a merevítő rúd is át halad rajta, a plusz stabilitásért. A csapágház anyagának a EN-GJS-400-15 gömbgrafitos öntöttvasat választottam, melynek összetételéből kiindulva magas szilárdság ($R_{p0,2} \approx 240$ MPa, $R_m \approx 400$ MPa), jó rezgéscsillapítás, jó mérettartóság, könnyen megmunkálható, nagyobb csapágyaknál is stabil. Összetétele, C (szén): 3,4–3,8; Si (szilícium): 2,2–2,8; Mn (mangán): 0,1–0,5; P (foszfor): max. 0,08; S (kén): max. 0,02; Mg (magnézium): 0,04–0,06 [69].

22. ábra. csapágó [70]



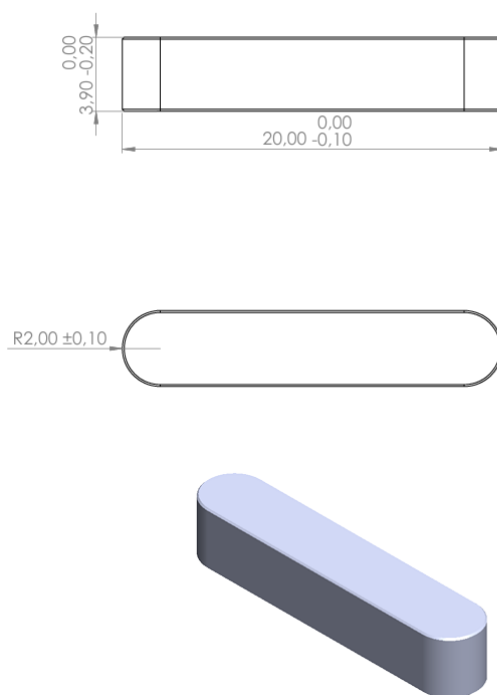
23. ábra. csapágyház



Szükségünk volt még egy reteszre „featherkey”-re (lásd 24. ábra), amely majd segít a motorhoz kapcsolásban. Itt a standardizált 4-4-20-as formát választottam,

az ISO 8743 szerint, mely C45-ös közepes széntartalmú anyagból készül, C (szén): 0,42 – 0,50; Mn (mangán): 0,50 – 0,80; Si (szilícium): 0,10 – 0,40; P (foszfor): $\leq 0,040$; S (kén): $\leq 0,040$ összetevő listával. [69]

24. ábra. Featherkey 4-4-20



A retesz segítségével, hozzá tudjuk kapcsolni a motorhoz a tengelyünket, viszont mivel a motornak is hasonló a kimente mint a tengelyünknek, kell egy megoldás, egy alkatrész, amely összekapcsolja a kettőt.

Egy megoldást kellett találni arra is hogy, a szervomotor gyakori irányváltozási sokkját, az átalakító elnyelje, így egy hosszabb kutatómunka után, a választásom a Rotex tengelykpcsoló „Rotex-Coupling” (lásd 25. ábra) szerkezetre esett, ez egy olyan csillagkapcsoló, amelynek a közepében egy rugalmas poliuretán betét található, és ez csillapítja a rezgéseket, kompenzálják a tengelyeltéréseket, és csökkenti az irányváltáskori sokk erejét is, megkímélve mint a motor tengelyét, a hajtott tengellyel együtt.

Ezzel a tengelykapcsolóval már könnyedén össze tudjuk csatlakoztatni a szerkezet tengelyét, a szervomotorunk tengelyével. Maga a tengelykapcsoló egy maximális csavaró elfordulási szögét 5° -ban határozzák meg. A fogaskerékszerű csatlakozó 2 csatlakozóból „HUB”-ból áll, és egy elasztomer (T-PUR) „spider” nevezetű elemből áll, amely rugalmasan átviszi a nyomatékot és csillapítja a tengelyirányú rázkódást. Maga a csatlakozó „HUB” többféle anyagból állhat,

használati helyétől függően, pl acél, rozsdamentes acél, alumínium, vagy gömbgrafitos öntvény. A „Spider” része is több keménységi változatban érhető el, pl 92ShA, 98ShA, 64ShD, ami lehetővé teszi a rugalmasság és nyomaték átvitel optimalizálását. A modell, amit én választottam rozsdamentes acél HUB-ból és 64ShD keménységű „spider”ből tevődik össze, 19 mm-es tengelymérettel, és 66mm külső átmérővel, és 25 mm hosszúságú HUB-kialakítással rendelkezik. A termékínálat általánosan: “0-35 000 Nm / torsionally flexible jaw coupling” tartományban kínálják a ROTEX Standard sorozatot [73].

25. ábra. Rotex coupling



Ezek után az egész szerkezet fő részének fogtam neki, ami a gripper egyik, a fix ujj (lásd 26. ábra). Itt az anyagválasztás kicsit bonyolultabb volt, hiszen a tartósság szempont, nagy kopásállóság és nagy szakítóellenállás volt a lényeg, annak ellenére, hogy a súly nagy részét a második ujj, a mozgatott ujj fogja cipelni. Erre a feladatra szintén az AISI 4140-re esett a választásom. Ezek mellett, ez az alkatrész felelős a csapágyház (lásd 23. ábra), és merevítő rudak (lásd 27. ábra) rögzítésére is, megtalálható rajta 9 darab, M5 furat, amelybe beleszorítjuk a csapágyházat, 2 darab M8x1.0 furat, aminek segítségével rögzítjük az egyik fő részhez (lásd 28. ábra), és megtalálható újabb 2 darab M8x1.0 furat, amelybe belecsavarjuk a merevítő rudakat. A merevítő rúdhoz és a fő részhez is az AISI 4140-re esett a választásom.

Technical drawing of a gripper component. The drawing includes a top view, a side view, and a 3D perspective view. The top view shows a rectangular component with a total length of 145.00 and a width of 180.00. It features a semi-circular end with a radius of R27.50, a central slot with a width of 10.00, and two rows of holes. The side view shows a total height of 50.00, a top flange width of 27.50, and a central slot with a width of 10.00. The 3D model shows the component in a dark blue color with a semi-circular end and a central slot.

Dimensions and features:

- Top view: 145.00 (total length), 180.00 (total width), 27.50 (top flange width), 10.00 (central slot width), 19.00 (distance from end to first hole), 10.00 (distance between holes), 8.00 (distance from last hole to end), 17.50 (distance from end to first hole in side view), 20.00 (distance between holes in side view).
- Side view: 50.00 (total height), 27.50 (top flange width), 15.00 (distance from top flange to first hole), 30.00 (distance from top flange to last hole), 90.00 (distance between first and last hole), 5.00 (distance from last hole to end), 4x 15.00 (distance between holes in side view), 2x M8x1.0 (top holes), 2x M5 (side holes).
- 3D model: SCALE 1:2

Revision table:

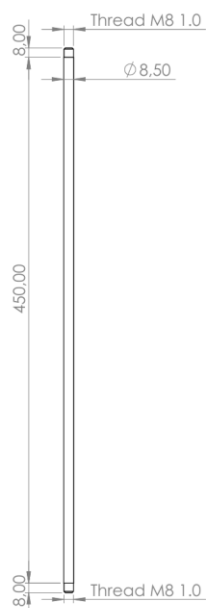
NAME	SIGNATURE	DATE	REVISION
DESIGN			
CHD			
APPROV			
IMP			
QA			

Notes:

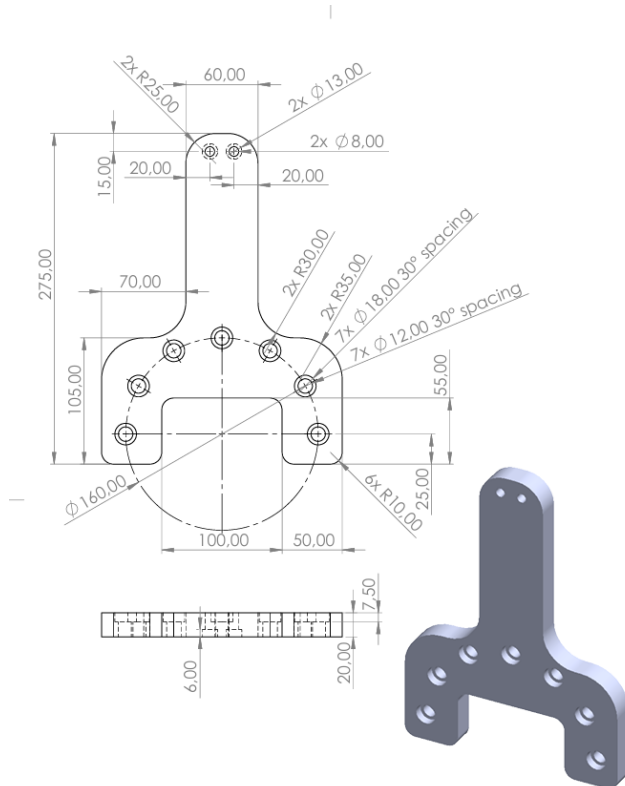
- UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
- SURFACE FINISH: TO SURFACE
- LINEAR: ANGULAR
- DO NOT SCALE DRAWING
- DO NOT SCALE DIMENSIONS
- DO NOT SCALE EDGES
- DO NOT SCALE DIMENSIONS
- DO NOT SCALE EDGES
- DO NOT SCALE DIMENSIONS
- DO NOT SCALE EDGES

gripper

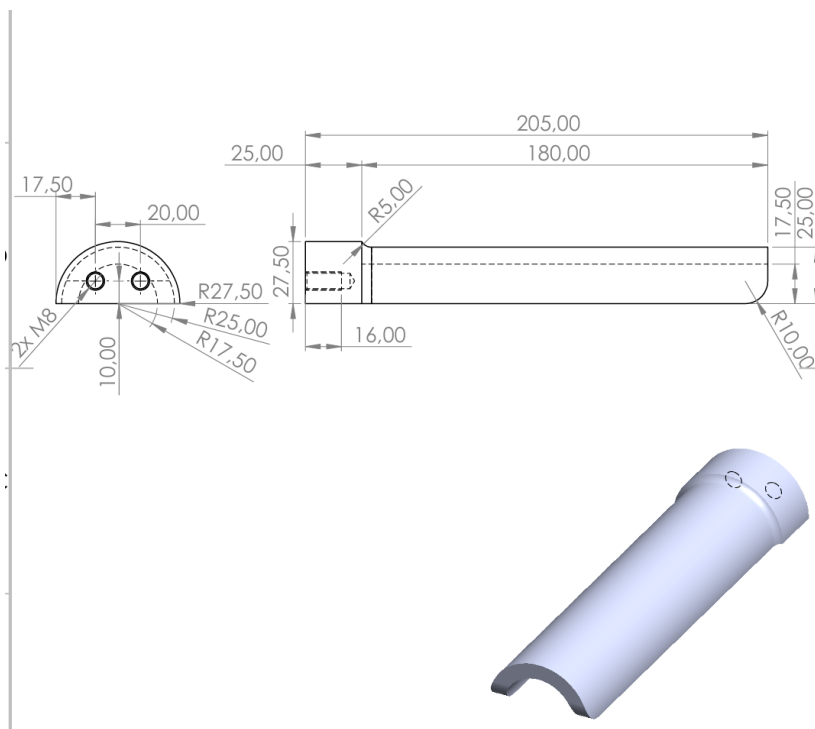
27. ábra. merevítő rúd



28. ábra. 1.alap „base plate_1”



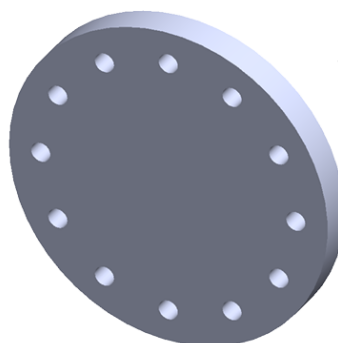
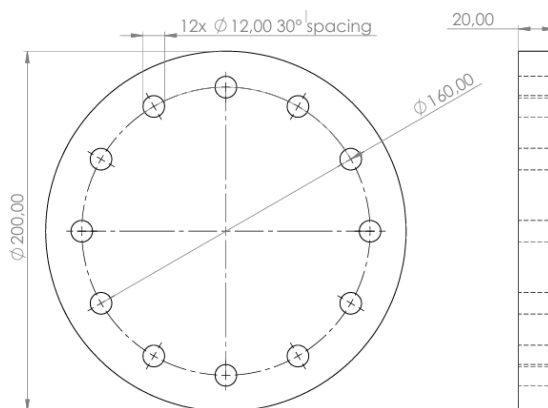
29. ábra. megfogó szerkezet mozgatott ujja



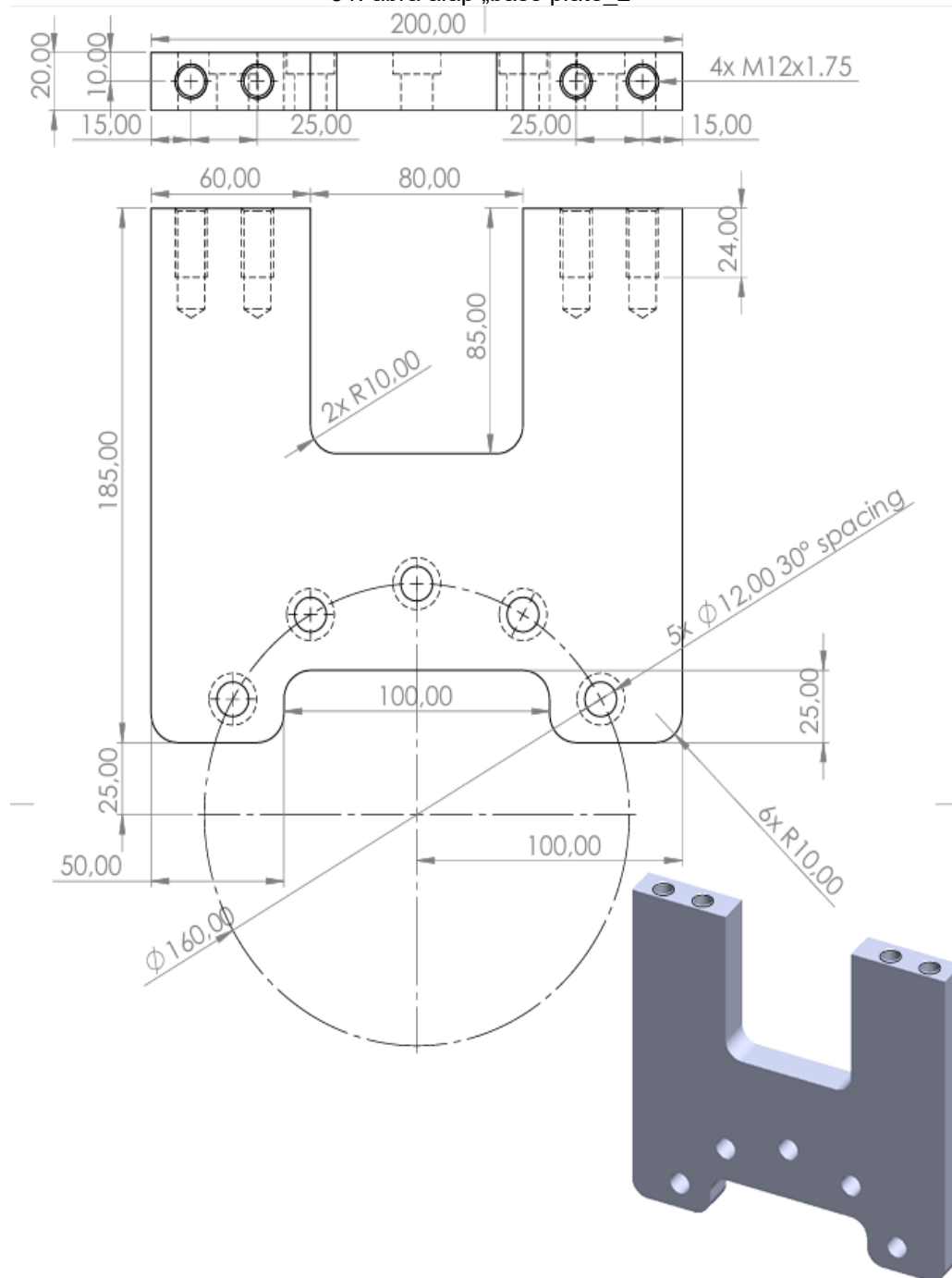
Eközben szintén ugyanazokat a szempontokat figyelembe véve, kiválasztottam az AISI 4140-et, szintén ugyan azt az anyagot választottam a második, mozgatott ujjnak (lásd 27. ábra). Itt gondolkodtam, hogy esetleg ez lehetne egy kicsit könnyebb anyagból, viszont akkor a kopásállósága, vagy magas szakító szilárdsága bánta volna. Gondolkodtam, hogy esetleg lehetne valamilyen rácsos megoldás, az szerkezet könnyítése érdekében, viszont az a gyártási költségeket jóval meg emelte volna, ezért ezen sem változtattam. Próbáltam minél rövidebbre készíteni az anyagot, robot fejének a súlypontja ne mozduljon el túlságosan, ne essen túl nagy terhelés a robot talpára, többi tengelyére. Így végül kicsit rövidebb az egész szerkezet, mint a csőcsatlakozók teljes hossza, de mindegyik esetben a csőcsatlakozó súlypontján áthaladnak az ujjak, és mivel minimálisan ráfeszítenek a csőcsatlakozóra, ezért ez is megfelelő hossz.

Összességében ez volt a legkomplexebb feladat az egészben, mivel itt minden kellett passzoljon mindennel. Ez az aminek köszönhető hogy az egyik rész fixen tud maradni, ez az a rész amelyik a robot fejébe kapcsolódik (lásd 30. ábra). Ez csak az egyik fele az egésznek. Lássuk a másik felét (lásd 31. ábra). A második alap „base_plate_2”.

30. ábra. robot fejének a tálcája



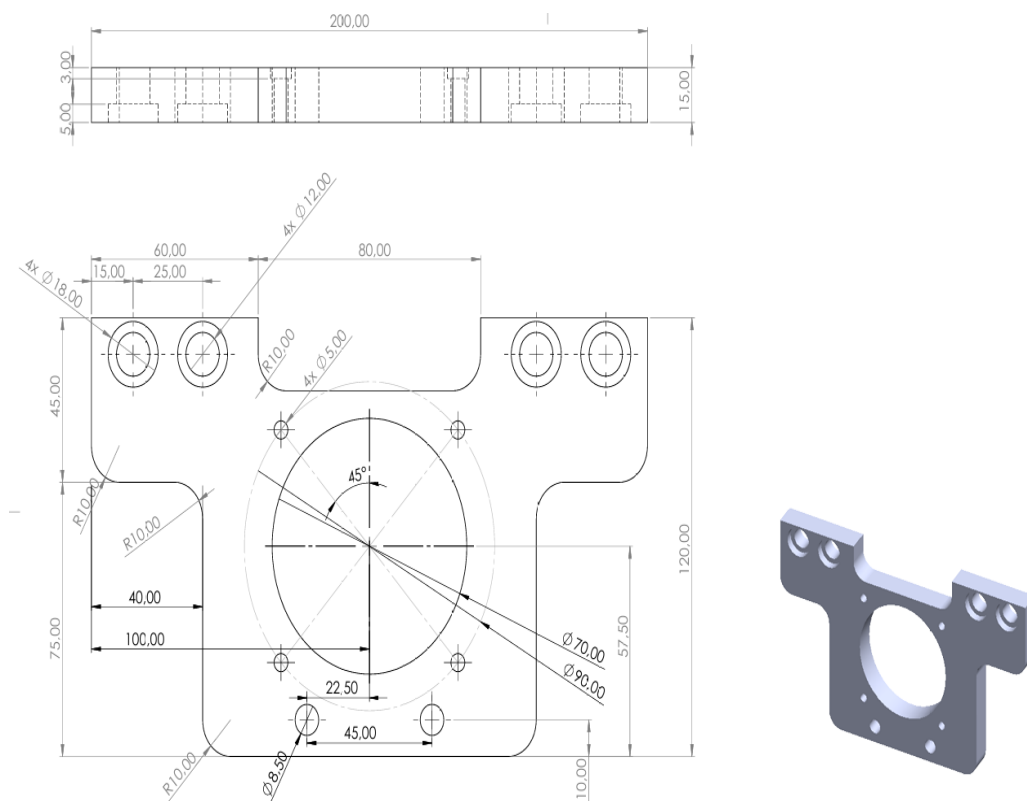
31. ábra alap „base plate_2”



A második alap „base plate_2” szintén egy elég nehéz kihívást hozott magával, hiszen ehhez fog hozzákapcsolódni a felső rész (lásd 32. ábra), amelyhez kerül rögzítésre a szervomotor, és a két merevítő rúd is. Anyagválasztás terén szintén

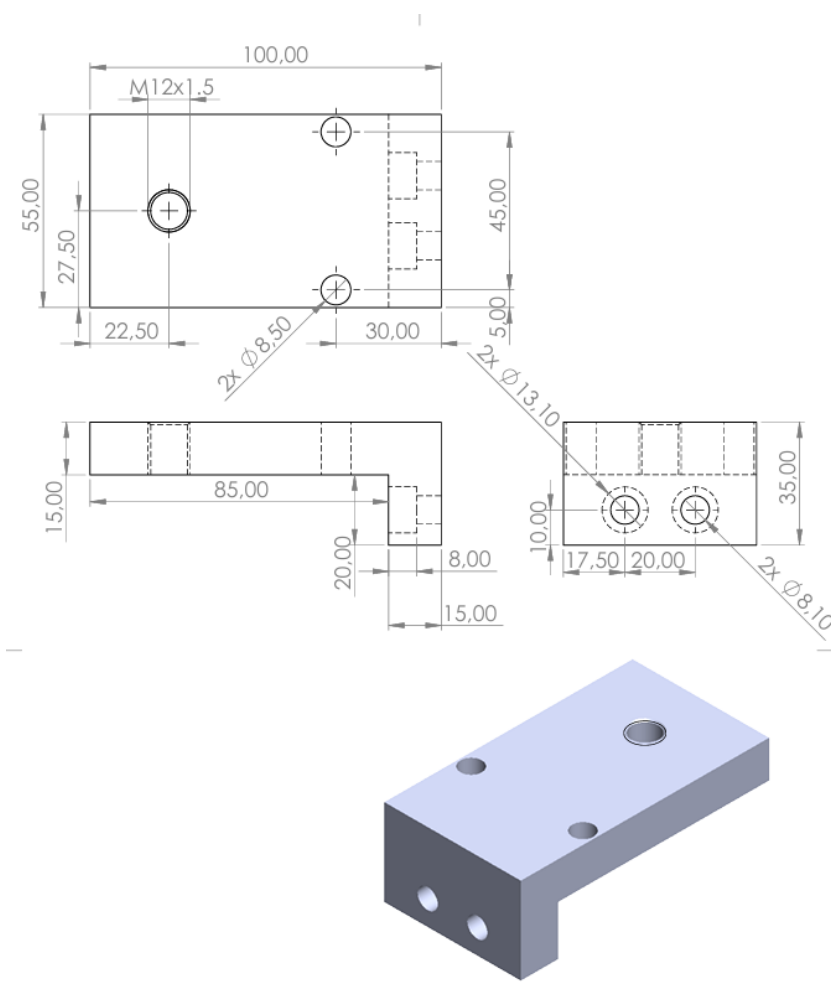
AISI 4140-et választottam mint a második alapnak, mint a felső résznek. Magas strapabíróságú, és magas szakító szilárdságú anyag, tökéletesen megfelel a célnak.

32. ábra. felső rész



Végül, de nem utolsó sorban elkészítettem a második ujj, és a mozgó részek közötti kapcsot, egy adaptert (lásd 33. ábra). Ezt az alkatrészt át kellett többször is gondoljam, hogy stabil legyen magas teher alatt is. Ezért döntöttem egy L alakú dizájnnál, egyszerű, és könnyű kivitelezésű. A menetelt vezető tengely külső lenyomataként, egy M12x1.5-ös furat van rajta, amely teljesen passzol a vezető tengely furatával. Ezen halad keresztül a két megvezető rúd is, egymással párhuzamosan, ezért nagyon magas a forgatási ellenállása, ezért mozog előre hátra a menetelt vezető tengelyén. Anyagnak a magas strapabírás miatt szintén AISI 4140-et választottam.

33. ábra. 2. ujj összekapcsoló



5 Alternatív robotok alkalmazása ebben a gyártósori közegben

A Tenaris Silcotub zilahi részlegen, a „GAMA MIC”-hez tartozó gyártósoron jelenleg üzemelő robotizált foszfátozó cella bizonyítja, hogy az ipari robotok képesek megbízhatóan integrálódni egy nagyprecíziós közegbe, az OCTG prémium csatlakozók magas precízióigénye, és a gyártás folyamán jelen lévő folyamatos, alacsony selejtarány tartásához. Viszont a robotika folyamatosan fejlődik, szóval

tekintsünk meg néhány újabb generációs robotot, amely megfelelő lenne a mi alkalmazási módunkhoz.

5.1 Delta robotok

A Delta, vagyis párhuzamos kinematikájú robotok elsődleges erénye, az extrém működési sebessége, esetenként akár 150-200 ciklus/perc teljesítményt is elérhetik, viszont a probléma velük az, hogy alacsony a teherbírásuk (Payload).

Viszont ennek ellenére, ha tovább tudnánk bontani a gyártandó részt, ahol maximum 7.5 kg lenne egy csőcsatlakozó, akkor lehetne alkalmazni ezeket a fajta robotokat is. Ennek ellenére lehetnek még más helyek, ahol segíteni tud. Festő részlegen, például az ABB IRB 360 FlexPicker sorozat, IP69K minősítéssel ellátott Delta robot, amely azt jelenti hogy folyadék, és vegyszerálló, kiválóan mosható, és direkt ilyen ipari környezetre lett tervezve, aminek köszönhetően egy festő rendszerben, ahol például a Dopeless® réteget viszik fel, kiválóan jól tudna működni. A párhuzamos kinematika másik fontos előnye, a rendkívül kis pozicionálási hiba, $\pm 0,1\text{mm}$ alatti ismételhetőség érhető el, ami egy nagyon nagy előny.

5.2 Autonóm mobil robotok (AGV-k) alkalmazása

AGV-ket is lehetne alkalmazni, a kiszolgálásnál. Konkrétan nem tud a cellán belül mozogni, viszont a belső logisztika automatizálása területén az AGV-k különösen nagy fejlődési potenciált jelentenek a teljes gyártósoron belül. A raktárból/-ba való anyaghordozás, vagy stációk közötti félkész alanyagok hordozása nagyon sok időt vesz igénybe, és folyamatosan egy embert leköt, és egy targoncát. AGV-kkel ezt lehetne helyettesíteni. Fragapane G. összefoglalója tökéletesen rámutat, hogy az AGV-k kifejezetten alkalmasak gyártósorok közötti „just in time” alanyag-szállításra, így kisebb raktárkapacitás szükséges, több gyártóterületet eredményezve, skálázhatóságuk révén pedig a gyártási volumen változására is tökéletesen reagálnak, maguktól, külső, emberi beavatkozás nélkül [24].

Ebben a gyártósori konstrukcióban, szükséges egy nagy teherbírású AGV, például a KUKA KMP 1500, amely 1500 kg teherbírással rendelkezik, ezáltal lehetővé teszi a csőcsatlakozók mozgását is, a GAMA MIC- részlegen.

5.3 Mesterséges intelligenciával vezérelt adaptív robotrendszerek

A legjelentősebb jövőbeli fejlődési irány a mesterséges intelligenciával vezérelt, adaptív robotrendszerek bevezetése lesz, a gyártósorokon. Az OCTG csőcsatlakozók gyártásában, különösen a prémium csöveknél, a minőségellenőrzés kritikus jelentőséggel bír.

A gépi látás, és mélytanulási algoritmusok alapján működő robotrendszerek, képesek akár 95-98% pontossággal detektálni a defektusokat, bevonathiányokat, geometriai eltéréseket [74]. Az ilyen rendszerek a hagyományos, „időközönkénti mintavételezés” ellenőrzést felválthatják egy folyamatos, gyártósoron belül történő, mindegyik csatlakozót ellenőrző vizsgálatral, ahol megtudjuk hogy minden egyes csőcsatlakozó megfelel-e a szükséges elvárásoknak [75].

Emellett a mesterséges intelligencia alapú prediktív karbantartás területén is jelentős lehetőségek rejlenek. A robotcella szerszámainak, foszfátozó fürdő paramétereinek valós idejű szenzoradata, gépi tanulási modellekbe táplálva, előre jelezheti a meghibásodások bekövetkezését [48]. Ez összhangban van az Ipar 4.0 átlátható, valós idejű adatfeldolgozásra épülő paradigmájával [37], és közvetlenül csökkentené a nem tervezett leállások számát, ami a gyártósor magas OEE-mutatójának fenntartásában kulcsfontosságú [9].

A „Reinforcement Learning” megerősítéses tanulási algoritmusokon alapuló robotrendszerek további lehetőséget jelentenek az adaptív mozgástervezés terén [55]. Ilyen megközelítéssel a robot képes az eltérő pozícióban lévő, csőcsatlakozókat, folyamatosan, offline programozás nélkül is mozgatni, alkalmazkodni, csökkentve a típusváltáshoz szükséges időt.

6 Gyártás irányítás és elemzés

Összességében, az egész szerkezet egy problémát hivatott megoldani. A modellek közötti csereidő drasztikus leredukálása. Eddig átlagosan a Tenaris Silcotub Zilahi karbantartó csapata, naponta 90 és 120 perc között töltött azzal, hogy ezt az egy mozgó roboton egyszer modellt cseréljen. Amikor naponta akár 2-3 modellt is cseréltek, azzal szinte egy egész műszakot modell cserével töltöttek,

ez mind MDT (Machine DownTime)-nak tudható be, ami veszteséggel jár. Emellett ha volt meghibásodás, akkor még többet[71].

MTBF „Mean Time Between Failures” meghibásodások közötti átlagos idő egyre közelebb kerültek egymáshoz, a folyamatos szerszámváltoztatás miatt, erre is megoldást nyújt az új adaptív gripper[71].

MTTR „Mean Time To Repair” (átlagos javítási idő), ez átlagosan heti 120-150 percet vesz igénybe, ebben benne vannak a ciklikus ellenőrzések, amik naponta kevés időt vesznek igénybe, ez a megelőző karbantartás (Preventive Maintenance) viszont elengedhetetlen a megfelelő működéshez, ez is fontos szerepet tölt be a minél gördülékenyebb gyártásban, és biztonságban [71].

MTTF „Mean Time to failure” (átlagos meghibásodási idő), ez a mutató azt jelzi, hogy egy nem javítható eszköz várhatóan mennyi ideig működik, meghibásodásig. Ha lehetséges ezeket az alkatrészeket megéri folyamatosan raktáron tartani, ha meghibásodik, akkor a gyors cseréje, hamar megoldást nyújtson a gyártósornak, és ne kelljen akár napokra is leállnia. [71]

Egy átlagos ciklusidő (amennyi idő alatt feltölt egy rekeszt a robot) 1694 másodperc, ez megközelítőleg 17 rekesz/nap [72], egy rekeszbe modelltől függően 22-től 440 darabig pakol a robot, ennek az átlagával számolva 231-el, 7.(3) másodpercenként kerül végleges fázisába egy csatlakozó. Nagyobb csatlakozóknál ez gyorsabban telíti a rekeszt, kisebbeknél lassabban. Ebben benne vannak az MDT-k és az egyéb meghibásodások. Novemberben, a 46. munkahéten, közel 800 percnyi leállás volt [72], amely 48000 másodperc. Az új adaptív megfogóval, heti 2 óra MDT-vel számolva, akkor az, 1 hét alatt megközelítőleg 11 órányi (11 óra 20 perc) plusz gyártásidőt eredményez, ami 40800 másodperc, ha az optimális 1750 másodperces ciklusidővel számolunk akkor az 23 tele rekesz, amely 506-10000 plusz gyártott darabbal növeli a heti termelési kapacitást.

Persze ide bejön a többi gép optimalizálása is, amelyeket ez a dolgozat nem ölel fel, viszont eddig a pontig a robot volt a visszahúzó erő, a gyártásban.

7 Összegzés

A dolgozat központi témája egy adaptív, ipari környezetben alkalmazható megfogó szerkezet tervezése volt, amely egy specifikus gyártósornak, a modellváltozásait tudja könnyen lekezelni. Az OCTG csőcsatlakozók nagy méretskálájú gyártása miatt, problémát okoztak a modelcserénél, a folyamatos leállások. Az adaptív gripper ezt küszöböli ki, jelenleg az egész kisméretű csőcsatlakozóra használható ugyan az a gripper, nem kell folyamatosan cserélni. Ezek mind meghatározták a gripper felépítési elvét, a szükséges befogási erőt, valamint azokat a szerkezeti igénybevételeket, amelyeknek az eszköznek ellent kell állnia. A robotizált mozgatórendszerbe való integráció további követelményeket határozott meg, különösen a nagy ismétlőképességű működés, a pontos pozícionálhatóság és a teherbírás tekintetében.

A különböző alkatrészek anyagválasztását az üzemi terhelések, a fáradási igénybevételek és az elvárt tartósság alapján végeztem el, így olyan acélok kerültek alkalmazásra, melyek megfelelő szilárdságot és biztonságos környezetet biztosítanak.

A gripper fontos elemei, mint a tengely, az ujjak, a merevítőrúd vagy a robotkarhoz csatlakozó adapter, mind különböző, és elengedhetetlen szerepet töltenek be, ezért eltérő anyagtulajdonságokra volt szükség. A tartóelemek esetében a szívósság és a hajlítószilárdság volt a legfontosabb, és az érintkező, kopó felületeknél a kopóállóság kapott hangsúlyt.

A szerkezet alapját, olyan anyagok és formák biztosítják, amelyek képesek a teljes szerkezet tömegét, valamint a mozgatási és gyorsulási erőket biztonságban felvenni. A tervezés során számos egyéb gépelem is helyet kapott, pl. csapágó, reteszek, tengelykapcsoló. Mindezeknek a megfelelő kiválasztása nagy szerepet játszik a szerkezet stabilitásában, és hosszú élettartamában. Figyelembe kellett venni a dinamikus terheléseket, forgató tömegeket, forgató nyomatékot, és az összeszerelés helyes meghatározását, hogy megkapjuk a kívánt eredményt.

Ezt a grippert, lehetne továbbfejleszteni egy camera vision rendszerrel, amelynek köszönhetően az így is óráról, 1-2 percre redukált modellváltást, egy teljesen automatikusan modellfelismerő AI-jal továbbfejleszteni.

A dolgozat másik fő célja, az adaptivitás mellett, a sorozatgyártás figyelembevétele, és a szerelési/cserélési folyamat idejének leredukálása, ez mind sikerült az adaptív megfogó szerkezettel, itt léptek be a képbe a gyártásirányítási szempontok.

Az ipari automatizálásban és gyártástervezésben az egyik legfontosabb cél a berendezések korszerű, megbízható, folyamatos, és hatékony működésének biztosítása, kiemelt szerepet kapnak azok a mérőszámok, amelyek a gyártóeszközök állapotát, teljesítményét, használati idejét, viselkedését és termelését írják le. A megbízható mutatók, mint az MTBF, MTTR, vagy az MTTF, lehetővé teszik, hogy egy pontos képet kapjunk arról, mi, mennyi ideig képes meghibásodás, vagy egyéb külső behatás nélkül működni, illetve ez ezeknek a helyes kiértékelése a mutató arra, hogy mennyi idő szükséges hibaelhárításhoz, és ezek alapján egy megelőző karbantartási protokollt is fel lehet állítani. Ezek összessége a megelőző karbantartás felépítése mellett, egy teljes karbantartási stratégia kialakítására is szolgál.

Összességében, nagyon sokat tanultam a gyártási folyamatok optimalizálásáról, a gyártásirányításról, gyártástervezésről, és még többet a robotokról. A sorozatgyártásnál, még mindig lehet fejlődési lehetőséget találni robotokkal.

Irodalomjegyzék

- [1] Tenaris S.A.: OCTG - Products and services, Tenaris, Luxembourg, 2021.
- [2] International Organization for Standardization: *ISO 9001:2015 - Quality Management Systems - Requirements*. International Organization for Standardization, Geneva, 2015.
- [3] American Petroleum Institute: *API Specification Q1 - Specification for Quality Management System Requirements for Manufacturing Organizations for the Petroleum and Natural Gas Industry*, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2023.
- [4] American Petroleum Institute: *API Specification 5CRA - Corrosion-resistant Alloy Seamless Tubes for Use as Casing, Tubing and Coupling Stock - Technical Delivery Conditions*, American Petroleum Institute, Washington D.C., 2010.
- [5] American Petroleum Institute: *API Specification 5CT - Specification for Casing and Tubing*, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2023.
- [6] American Petroleum Institute: *API Specification 5L - Line Pipe*, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2018.
- [7] International Organization for Standardization: *ISO 8373:2012 - Robots and robotic devices - Vocabulary*, ISO, 2012
- [8] Spong M.W.; Hutchinson S.; Vidyasagar M.: *Robot Modeling and Control*, 2nd Edition, Wiley, 2020, p. 1-15
- [9] International Federation of Robotics (IFR): *World Robotics Report 2023*, IFR Publications, 2023
- [10] Ahmed, S.; Mohamed, F.; Maher, R.: *Advances in intelligent industrial manipulators for smart manufacturing and standardized automation technologies*, In: Discover Robotics, Springer Nature, Vol.1, No. 1, 2025, Art. 12.

- [11] Kurfess, T. R.: *Robotics and Automation Handbook*, CRC Press, Boca Raton, 2005, p. 1-26
- [12] Craig, J.J.: *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, Pearson Education, 2005
- [13] Lynch, K. M, Park, F. C, *Modern Robotics, Planning and Control*, Cambridge University Press, 2017
- [14] Şirinterlikçi, A; Tirayakioğlu, M; Bird, A; Harris, A; Kwender, K : *Repetability and Accuracy of an Industrial Robot: Laboratory Experience for a Design of Experiments Course*, In: *The Technology Interface Journal*, 2009
- [15] International Federation of Robotics (IFR): *World Robotics 2023- Industrial Robots Report*, IFR statistical Department, Frankfurt, Germany, 2023
- [16] Merlet, J. -P.: *Parallel Robots, 2nd Edition*, Springer, 2006, p. 12-15; 102-117
- [17] Kumar S.; Savur C.; Sahin F.: *Survey on Human – Robot Collaboration in Industrial Settings: Awareness, Intelligence, and Compliance*, In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 51, no. 1, IEEE Press, 2021, p. 280-297
- [18] Gualtieri, L.; Rauch, E; Vidoni, R.: *Emerging Research fields in safety and ergonomics in industrial Collaborative Robotics: A systematic literature review*, In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Volume 7*, Elsevier, 2021
- [19] Cherubini, A; Passama, R; Crosnier, A; Lasnier, A; Fraisse, P: *Collaborative Manufacturing with Physical Human-Robot Interaction*, In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Elsevier, 2016, p. 1-13
- [20] Universal Robots, *UR10e Technical Specification and Product Brochure*, Universal Robots A/S, 2020
- [21] Siegwart, R.; Nourbakhsh, I.; Scaramuzza, D.: *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, MIT Press, 2011, p. 1-22
- [22] Vis, I.F.A: *Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems*, In: *European Journal of Operational Research*, Elsevier, 2006, p. 677-709
- [23] Thrun, S; Burgard, W; Fox, D: *Probabilistic Robotics*, MIT Press, 2005, p. 287-324
- [24] Fracapane, G.; de Koster, R.; Sgarbossa, F.; Strandhagen, J. O.: *Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and*

research agenda, European Journal Of Operational Research Vol.294, No. 02, 2021, p. 405-426

[25] Yim, M.; Shen, W-M.; Salemi, B.; Rus, D.; Moll, M.; Lipson, H.; Klavins, E.; Chirikjian, G.S.: *Modular Self-Reconfigurable Robot Systems [Grand Challenges of Robotics]*, In: *IEEE Robotics & Automation Magazine*, IEEE Press, 2007, p. 43-52

[26] Seo, J.; Paik, J.; Yim, M.: *Modular Reconfigurable Robotics*, In: *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, Annual Reviews, Vol. 2, 2019, p. 63-68

[27] Kumar, A. S.; Shankar, G.; Sakthivel, M.; Chittawadigi, R. G.: *Modular Serial-Chain Robot with Plug-and-Play Architecture for Effective Teaching and Learning*, In: *Advances in Robotics*, AIR, ACM, Article No. 83, 2023

[28] Rus, D; Tolley, M: *Design, Fabrication and Control of Soft Robots*, In: *Nature*, Springer, 2015, p. 467-475

[29] Trivedi, D.; Rahn, C. D.; Kier, W. M; Walker, I. D.: *Soft Robotics: Biological Inspiration, State of the Art, and Future Research*, In: *Applied Bionics and Biomechanics*, Taylor & Francis, 2008, p. 99-117

[30] Festo AG: *BionicSoftHand – Technical Documentation*, Festo Press, 2019

[31] Fantoni, G.; Santochi, M.; Dini, G.; Tracht, K.; Scholz-Reiter, B.; Fleischer, J.; Lien, T. K.; Seliger, G.; Reinhart, G.; Franke, J.; Nørgaard Hansen, H.; Verl, A.: *Grasping devices and methods in automated production processes*, In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Elsevier, Vol 63, No. 2, 2014 p. 679-701

[32] Monkman, G; Hesse, S; Steinmann, R; Schunk, H: *Robot Grippers*, Wiley-VCH, 2006, p. 15-78

[33] Dziedzickis, A.; Petronienė, J. J.; Petkevičius, S.; Bučinskas, V.: *Soft Grippers in Robotics: Progress of Last 10 Years*, In: *Machines*, MDPI, Vol. 12, No. 12, 2024, Article 887.

[34] Hägele, M.; Nilsson, K.; Pires, J. N.; Bischoff, R.: *Industrial Robotics*, In: *Siciliano, B., Khatib, O. (Eds.): Springer Handbook of Robotics, 2nd Edition*, Springer, Cham, 2016. p. 1385-1422

[35] Armenio, G.; Bertoni, M.; Cantini, A.; Copetti, A.; Ferretti, G.; Magnani, G.; Mura, M. D.; Simoni, L.; Rasca, A.; Tremori, A.: *An Overview of Industrial Robots Control and Programming Approaches*, In: *Applied Sciences*, MDPI, Vol. 13, No. 4, 2023, Article 2582

- [36] Shojaeinasab, A.; Charter, T.; Jalayer, M.; Khadicim M.; Ogunfowora, O.; Raiyani, N.; Bhatt, D.; Najjaran, H.: *Intelligent manufacturing execution systems: A systematic Review*, In: *Journal of Manufacturing Systems*, Elsevier, Vol. 62, 2022, p. 503-522
- [37] Kagermann, H; Wahlster, W; Helbig, J: *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*, National Academy of Science and Engineering (acatech), 2013, p. 13-55
- [38] John, K-H; Tiegelkamp, M: *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*, Springer, 2010, p. 55-120
- [39] Tao, F; Zhang, M; Nee A.Y.C: *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, Academic Press, 2020, p. 3-62
- [40] Bicchi, A.; Kumar, V.: *Robotic Grasping and Contact: A Review*, In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, IEEE Press, 2000, p. 348-353
- [41] Davies, E. R: *Computer Vision: Principles, Algorithms, Applications, Learning*, Academic Press, 2018, p. 515-580
- [42] Niku, S. B: *Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications*, Wiley, 2020, p. 224-286
- [43] KUKA AG: *KUKA.Sim - Offline Programming and Simulation Suite Documentation*, KUKA Press, 2021
- [44] Siemens Digital Industries: *Tecnomatix Process Simulate - User Guide*, Siemens Press, 2020, p. 5-60
- [45] Graetz, G.; Michales, G.: *Robots at Work*, In: *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, Vol. 100, No. 5, 2018, p. 753-768
- [46] Frank, A. G.; Dalenogare, L. S.; Ayala, N. F.: *Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies*, In: *International Journal of Production Economics*, Elsevier, Vol. 210, 2019, p. 15-26
- [47] El Zaatari, S.; Marei, M.; Li, W.; Usman, Z.: *Cobot programming for collaborative industrial tasks: An Overview*, In: *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, Vol. 116 2019, p. 162-180
- [48] Lee, J; Bagheri, B.; Kao, H. A.: *A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0 – Based Manufacturing Systems*, In: *Manufacturing Letters*, Elsevier, 2015, p. 18-23

- [49] Soori, M.; Arezoo, B.; Dastres, R.: *Optimization of energy consumption in industrial robots, a review*, Cognitive Robotics, Vol. 3, 2023, p.142-157
- [50] Mayr-Dorn, C.; Winterer, M.; Salomon, C.; Hohensinger, D.; Fürschuss, H: *Assessing industrial end-user programming of robotic production cells: A controlled experiment*, In: *Journal of Systems and Software*, Elsevier, Vol. 195, 2023, Article 111547
- [51] International Organization for Standardization: *ISO 10218-1:2025 - Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Industrial Robots*, ISO Standards Publication, 2025
- [52] Lee, J; Kao, H. A.; Yang, S: *Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment*, In: *Procedia CIRP*, Elsevier, 2014, p. 3-8
- [53] Goodfellow, I; Bengio, Y; Courville, A: *Deep Learning*, MIT Press, 2016, p. 96-131
- [54] Sutton, R. S; Barto, A. G: *Reinforcement Learning: An Introduction*, MIT Press, 2018, p. 3-38, 105-150
- [55] Kober, J, Bagnell, J. A., Peters, J: *Reinforcement Learning in Robotics: A Survey*, In: *International Journal of Robotics Research*, Sage, 2013, p. 1238-1274
- [56] <https://www.cnc.hu/2019/09/az-ipari-robotokrol/>
- [57] https://www.festo.com/hu/hu/p/terbeli-portal-id_YXCR/
- [58] https://www.researchgate.net/publication/271510079_Implementation_and_Evaluation_of_multimodal_inputoutput_channels_for_task-based_industrial_robot_programming/figures?lo=1
- [59] <https://www.kuka.com/ro-ro/produse-servicii/robotics-systems/industrial-robots/kr-agilus>
- [60] <https://www.kuka.com/hu-hu/future-production/ember-%C3%A9s-robot-k%C3%B6z%C3%B6tti-egy%C3%BCttm%C5%B1k%C3%B6d%C3%A9s/cobotok>
- [61] <https://www.gotomorris.com/machine/universal-robots-ur10e/>
- [62] <https://www.epsondevice.com/crystal/en/company/sustainability/agv-amr.html>
- [63] Tenaris S.A.: *TenarisHydril Premium Connections Catalogue*, Tebarus S.A., Luxembourg, 2023.

- [64] Solikhah, P. – Nusraningrum, D.: Increasing Production Capacity of Oil Country Tubular Goods Pipe Using OEE Methods, In: *European Journal of Business and Management Research*, 2022, 7(5), p. 9–14.
- [65] FineGo Steel: Manufacturing Process of OCTG, FineGo Steel, 2025.
- [66] ABB Robotics: *IRB 6700, IRC5, Product Specification*, ABB Robotics, 2026.
- [67] Tenaris Silcotub: Phosphating Loading-Unloading Robotic Cell-*Cégen belüli dokumentáció*
- [68] FESTO: *EMMB-AS-80-07-K-S30MB (8097194) Servo Motor - Data Sheet*, FESTO SE & Co. KG, 2023. (online) <https://www.festo.com/hk/en/a/8097192/>
- [69] Davis, J. R. (Ed.): *ASM Specialty Handbook: Alloy Steels*, ASM International, Materials Park, 1996.
- [70] KF: *NN 3008 TN/SP – Super-precision cylindrical roller bearing (double-row)*, SKF, 2025. [online] Available at: <https://www.skf.com/ng/products/super-precision-bearings/angular-contact-ball-bearings/productid-7000%20CEGB%2FHCP4A>
- [71] Kelly, A.: *Maintenance Strategy: Business-Centred Maintenance*, Butterworth-Heinemann, 1997.
- [72] Tenaris Silcotub, 2025, 46. heti termelési adatok (nov.08-nov.14)
- [73] KTR-Group: *Rotex GS Operating/ Assembly Instructions*, [online] <https://www.ktr.com/fileadmin/ktr/media/Manuals/45510en000000.pdf>
- [74] Patrashko, D. Y.; Gurau, V.: *Machine Learning-Powered Vision for Robotic Inspection in Manufacturing: A Review*, In: *Sensors*, MDPI, Vol. 26, No. 3, 2026, Article 788
- [75] Sundaram, S.; Zeid, A.: *Artificial Intelligence-Based Smart Quality Inspection for Manufacturing* In: *Micromachines*, MDPI, Vol. 14, No. 3, 2023, Article 570
- [76] International Organization for Standardization: *ISO/IEC 18004:2015 - Information Technology – Automatic Identification and Data Capture Techniques – QR Code Bar Code Symbol Specification*. International Organization for Standardization, Geneva, 2015.