

RENDEZETLEN ALKATRÉSZEK RAKODÁSI FOLYAMATÁNAK FEJLESZTÉSE

Magyar Gergely^a, Sebestyén László Ádám^a, Magyar Gábor^b, Andó Mátyás^{c*}

^a ELTE Informatikai, Kar, Savaria Műszaki Intézet, Gépészmérnöki BSc, 4. évf.

^b BPW-Hungária Kft., gyártásautomatizálási csoportvezető

^c ELTE Informatikai, Kar, Savaria Műszaki Intézet, egyetemi docens

ABSZTRAKT

Ebben a cikkben egy automatizált rakodó (bin-picking) rendszer kialakításának, illetve tovább fejlesztésének lépéseit fogjuk bemutatni. A rendszernek a feladata, hogy a rendezetlenül szállított tengelycsonkokat egy robot rendezetten a palettára helyezze. Az automatizált rendszer két elemét fogjuk részletesen bemutatni: a robotprogramot és forgató asztal működését. Kitérünk a robotprogram fő és alprogramjai közötti összefüggésekre és a működéshez megfelelő struktúra megvalósítására. A forgató asztal működésének fejlesztését több lépésen keresztül mutatjuk be, szisztematikus mérésekkel igazolva az eredményeket. A rendszer működőképességét azóta több ezer kipakolás is igazolja.

Kulcsszavak: *bin-picking, robot, automatizálás*

1. Bevezetés

A futóműgyártás folyamatának egyik jellegzetes eleme a futóművek végén található tengelycsonkok gyártása. Ezek az alkatrészek félkész állapotban (előgyártmányként) kerülnek a gyártási folyamatba, ahol további megmunkálásokat végeznek el rajtuk. Szállításuk úgynevezett ládákban (vagy más szóval kalodákban) történik, melyekben a tengelycsonkok szabadon el tudnak mozdulni. Vagyis ömlesztett áruként érkeznek, rendezetlenül töltve ki a kalodát. Annak érdekében, hogy a megmunkáló központok kiszolgálása megfelelő legyen, valamilyen rendezett formában kell az alkatrészeket továbbítani. Korábban ezt a rendezési feladatot a megmunkáló központoknál dolgozó alkalmazottak végezték el. A tengelycsonkokat egyesével pozicionálták egy palettára, az emeléshez kézi darut használtak. Ez egy rendkívül lassú és körülményes folyamat, amely jelentős időt vesz igénybe. Ezért célunk egy olyan rendszer létrehozása volt, amelyben a tengelycsonkok mozgatása robottal történik, illetve pozícióba forgatása is teljesen automatizált.

Az ömlesztett vagy rendezetlen áruk rakodására kifejlesztett automatizált rendszereket angolul „bin-picking” rendszereknek nevezzük. Ezek a rendezetlen áruk/alkatrészek egy tároló egységben vagy akár egy felületen helyezkednek el és valamilyen meghatározott elv alapján rendezzük ezeket [1]. Ehhez szükséges az alkatrészhalmaz detektálása, melyet különböző szenzorok és mérőeszközök összességéből álló rendszer biztosít. A detektálás után különböző algoritmusok vagy mesterséges intelligencia meghatározza azokat a darabokat, melyek mozdíthatók és továbbíthatóak a következő állapotba. A mozgatáshoz különböző típusú robotokat alkalmaznak, talán a legelterjedtebb a 6-tengelyes robotok alkalmazása, amivel a teljesen szabadon elhelyezkedő munkadarabok is rugalmasan megfoghatók [2, 3]. Hasonló felhasználásokra akár delta robotok alkalmazása is megfelelő, jellemzően akkor, ha a munkadarabok síkfelületen helyezkednek el, illetve nagy sebességű robotmozgásra van szükség (például szállítószalagokon történő válogatás) [4]. Ezeken felül még SCARA robotok használata is előfordul, rezgőtálcás kiegészítéssel, amennyiben ugyancsak síkfelületen helyezkednek el az alkatrészek és a rakodás sebességigénye nem kritikus [5].

Az alkatrészek megfogáshoz gyakran univerzális két-három-négyujjas megfogókat használnak [6], de alkalmaznak speciális megfogószerkezeteket is, melyek például pneumatikus vagy mágneses elven működnek [7]. Továbbá léteznek olyan rendszerek is, amelyek több megfogó használatát teszik lehetővé, ezzel biztosítva több különböző alkatrész hatékony mozgatását [8, 9].

A rendszer kezdeti beüzemelési tapasztalatai alapján, a különböző helyzeteket lekezelő robotprogram fő elveinek és a pozicionáló asztal fejlesztésének bemutatását tűztünk ki célul.

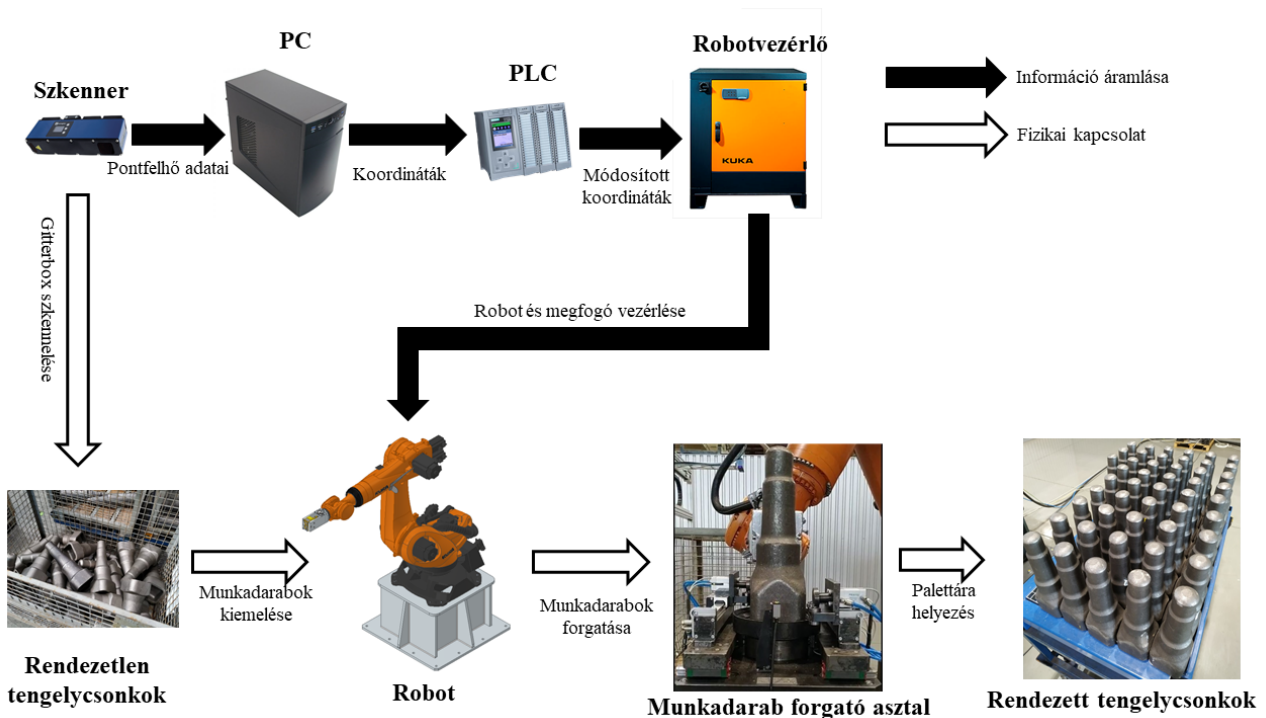
2. Anyag és módszer

A mozgatáshoz egy KUKA KR120 R2700 típusú hattengelyes robotot használtunk (120 kg teherbírással, 2701 mm karkinyúlással, 0,05 mm ismétlési pontossággal), amely egy MS-8140405 típusú permanens mágneses megfogóval és a rajta lévő egyedi tervezésű prizmákkal biztosítja a tengelycsonkok megfogását. A Wenglor MLSL255 típusú kontúrszkenner (kék fényű, 3R-es biztonsági osztályú lézerefényt bocsát ki, illetve a képalkotás során mozgatni szükséges) végigpásztazza a láda tartalmát, majd egy szoftver a feldolgozás után meghatározza a kivehető tengelycsonk koordinátáit és irányát. Az adatokat egy Siemens S7-1500-as PLC továbbítja a robotvezérlőnek. A robot az adott darabot először a forgató asztalra helyezi, ahol a darab pontos helyzetbe forgatása megtörténik, majd a robot átemeli a darabot a palettára. A folyamatot az 1. ábra szemlélteti.

3. Robotprogram működési logikájának megalkotása

A tengelycsonkok véletlenszerű helyzetéből adódóan a kikapcsolás során több jellemző eset is kialakulhat a kalodában. A robotprogramnak ezeket az eseteket kell azonosítani és megfelelően lekezelni a folyamatos működés érdekében. Az azonosított esetek a következők voltak:

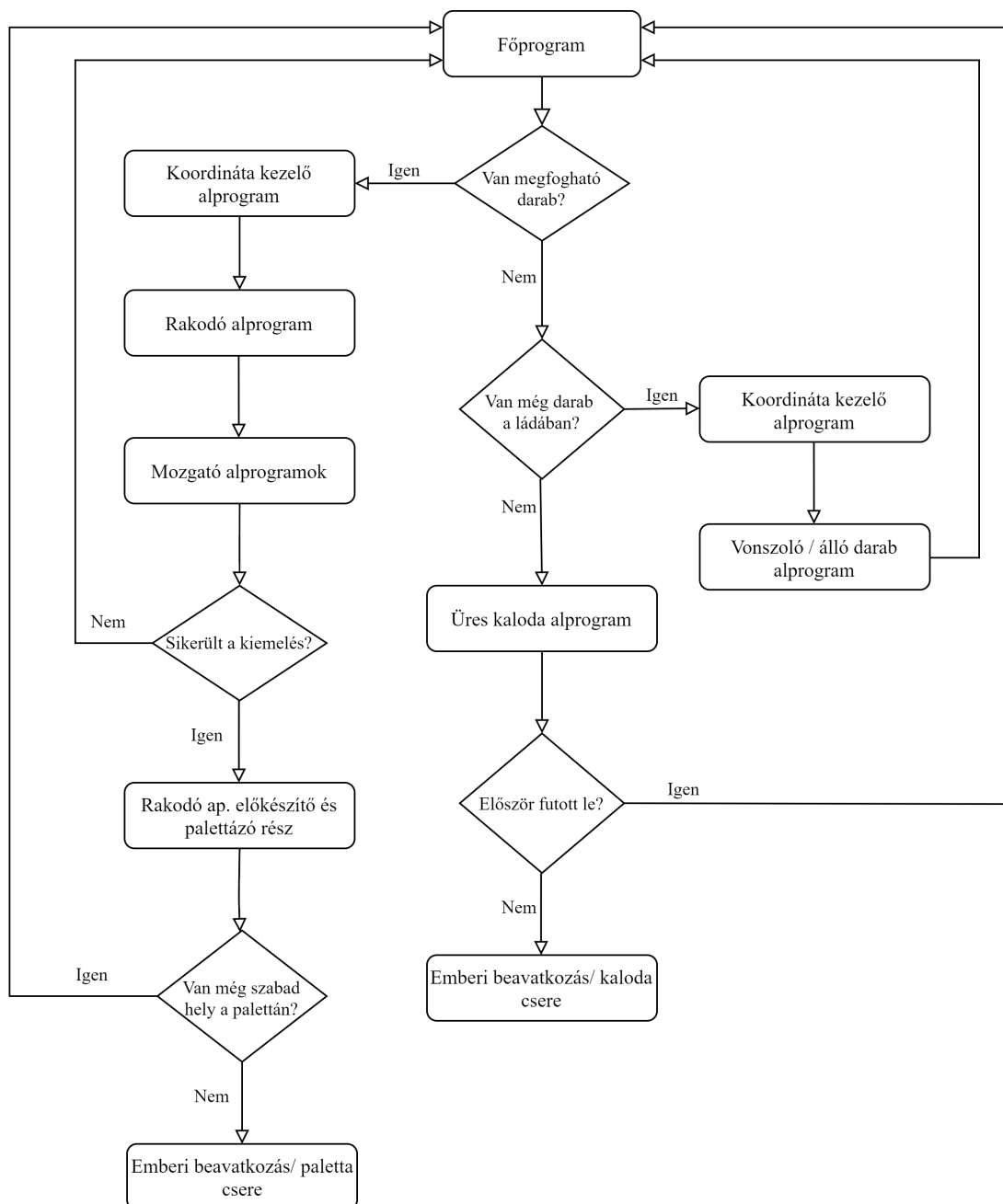
1. a háromdimenziós modellel történt összehasonlítás után van kivehető darab és sikerült a kiemelése,
2. a háromdimenziós modellel történt összehasonlítás után van kivehető darab, de nem sikerült a kiemelése,



1. ábra: Rendszer elemeinek kapcsolódása

3. a háromdimenziós modellel történt összehasonlítás után nincs kivethető darab, de a munkadarabok átrendezésével már lehet kivethető darab,
4. a háromdimenziós modellel történt összehasonlítás után nincs kivethető darab, de darab potenciálisan elhelyezkedhet a holttérben,
5. a háromdimenziós modellel történt összehasonlítás után nincs kivethető darab és a láda üres,
6. a munkadarab palettára helyezése után nincs továbbinak hely a palettán.

Az eseteket azonosítva a szükséges cselekvés is meghatározható. Ezeket figyelembe véve megalkottuk a kiber-fizikai rendszer munkafolyamatának modelljét (2. ábra), amely tartalmazza az aktív beavatkozási pontokat is.



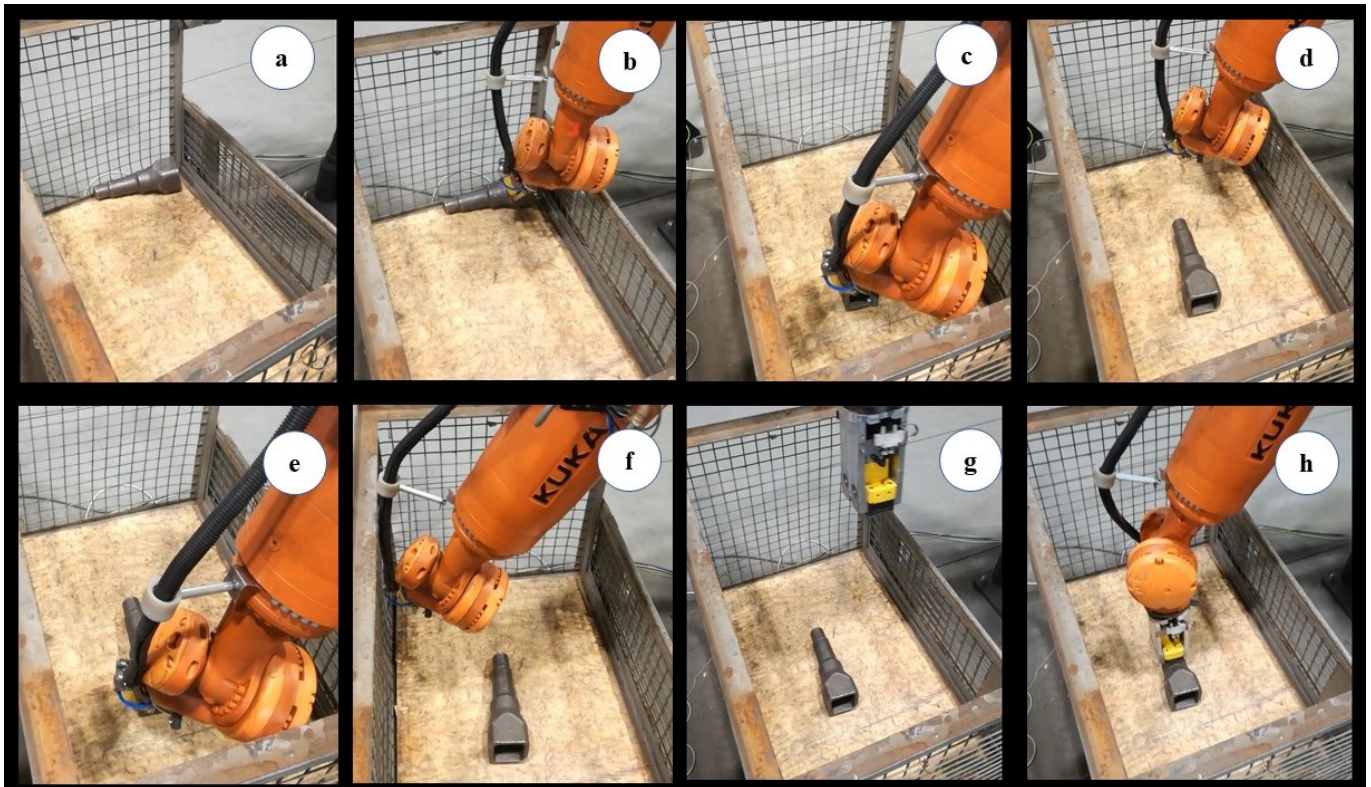
2. ábra: Robotprogram munkafolyamatának modellje

Alap működés esetén a háromdimenziós modellel történt összehasonlítás után van kivehető darab és sikerült a kiemelése is. Ez a rendszer működésének optimális esete. Amennyiben ez megtörtént egy következő szkennelési ciklussal folytatódhat a folyamat. Az utolsó ilyen beavatkozási pont akkor van, amikor a munkadarab palettára helyezése után nincs továbbinak hely a palettán (2. ábra, Emberi beavatkozás / paletta csere). Ekkora a folyamat megáll és a paletta cseréje után folytatódhat csak tovább a kirakodás. A második aktív beavatkozási pont az, amikor a kaloda kiürült. Ekkora a folyamat leáll és a munkadarabokat tartalmazó láda cseréje szükséges. Ezután újraindulhat a folyamat (2. ábra, Emberi beavatkozás / kaloda csere).

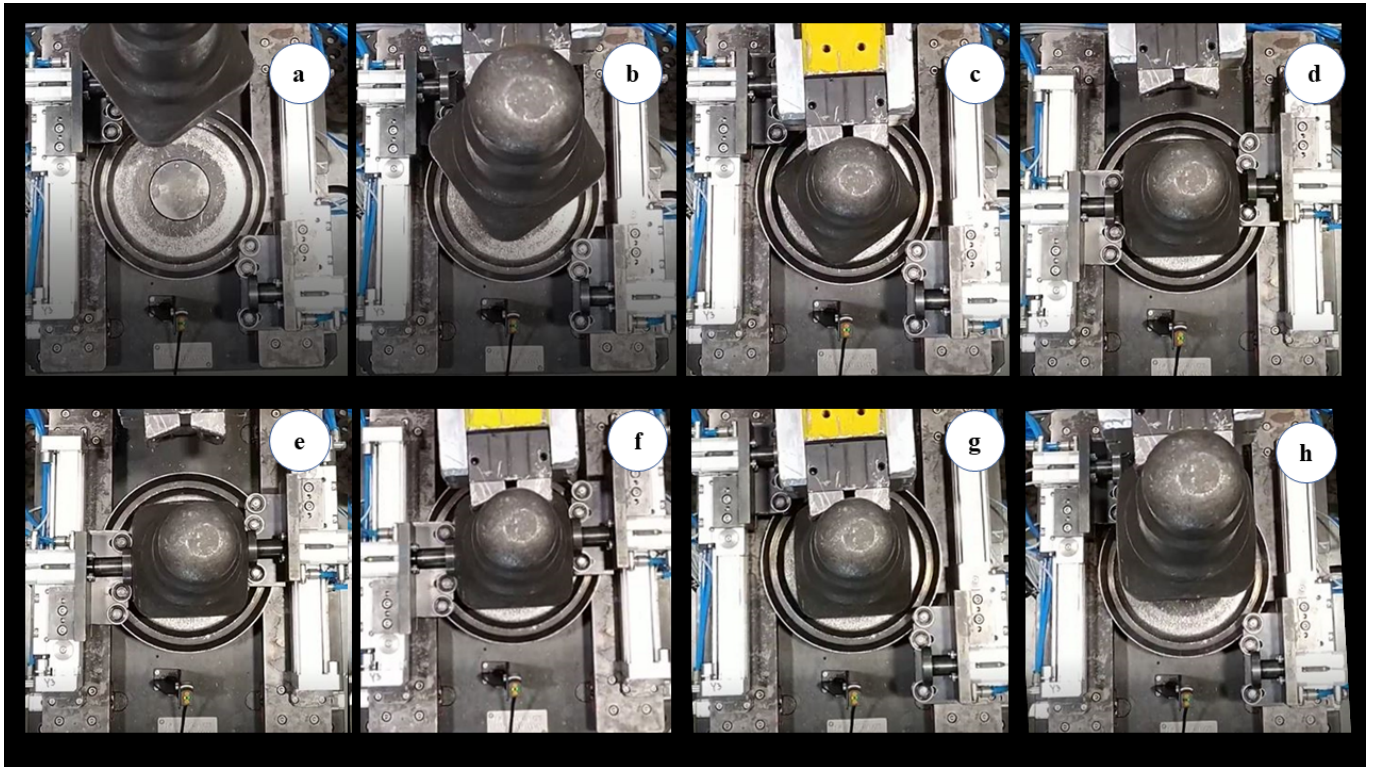
A harmadik beavatkozási pont, ha a modellel való összevetés során első alkalommal nem találunk megfogható darabot és a szoftver szerint nincs is alkatrész a ládában. Ilyenkor megvan az esély arra, hogy a láda széle által keltett holtterben nem érzékeljük a munkadarabot. Ekkor egy alprogramot hívunk meg, amely olyan robotmozgást tartalmaz, ami kimozgathatja a holtteréből a munkadarabot, így a következő szkennelés során a munkadarab érzékelése megtörténhet (2. ábra, Üres kaloda alprogram). Ennek az alprogramnak a működését mutatja be a 3. ábrán látható képsorozat. Az a) képen megfigyelhető a holtterben lévő alkatrész. Látható, hogy az alkatrész középre mozgatása már a c) képen megtörtént, de ettől függetlenül a többi lehetséges helyet is ellenőrizni kell. A h) képen látható az alkatrész megfogása az újabb szkennelés után.

A negyedik beavatkozási eset, ha nincs kivehető darab és ezért át kell rendezni a kaloda tartalmát. Ehhez szükség volt olyan alprogramra, amiben a robot nem kiveszi a munkadarabot, mindössze megváltoztatja a helyzetét a ládában. Külön kell kezelni azokat az eseteket, amikor a munkadarab helyzetét elegendő vízszintes irányban megváltoztatni, illetve amikor szükséges függőleges irányú mozgást is végezni. Előfordulhat olyan eset is, hogy a munkadarab álló helyzetben helyezkedik el a ládában, erre is külön mozgatási funkcióval kell készülni (2. ábra, Vonzoló / álló darab alprogram).

Ötödik eset, ha a háromdimenziós modellel történt összehasonlítás után van kivehető darab, a megfogás meg is valósult, azonban a kiemelése nem sikerült. Ennek az ellenőrzésére egy optikai



3. ábra: Üres kaloda alprogram folyamatának lépései



4. ábra: Munkadarab-forgatás lépései

szenzor van felhelyezve a megfogó szerkezetre, amely azt figyeli, hogy a kiemelés során a munkadarab a megfogó szerkezetben marad-e. Amennyiben nem, a kiemelési procedúra megáll és egy új szkennelési ciklus indul el.

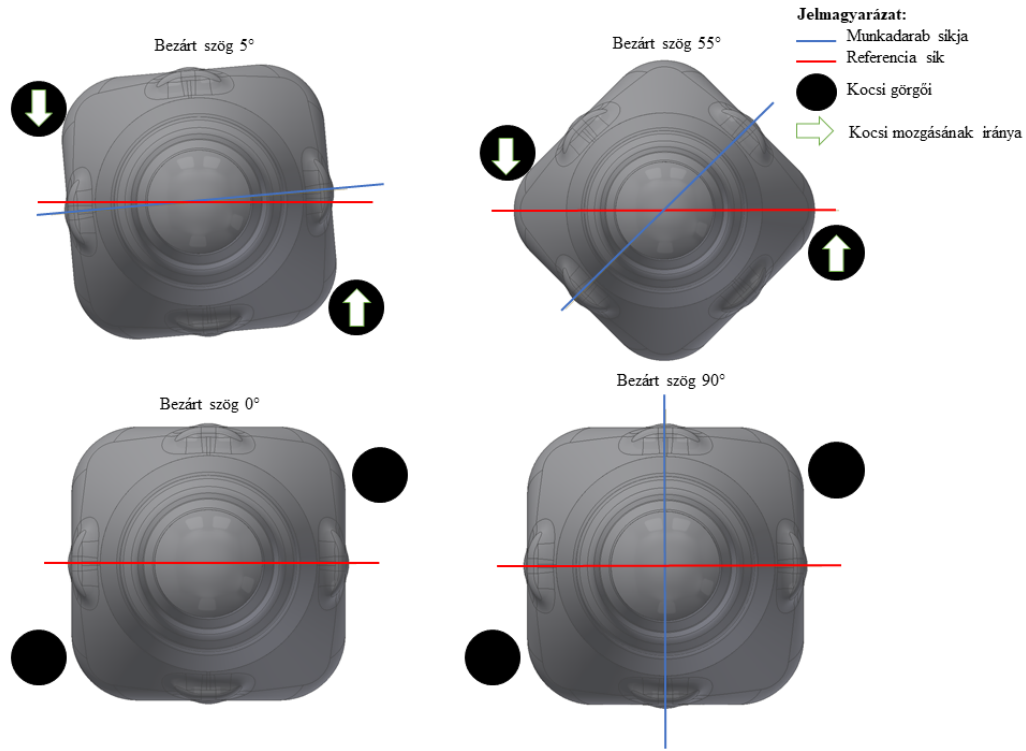
Az eseteket rögzítésük és a beavatkozási megoldások kidolgozása után olyan strukturált robotprogramot készítettünk el, ami stabilan tudja szolgálni a kipakolást. A logikai egymásra épülés miatt az esetektől függően a robot mindig az optimális beavatkozást fogja elvégezni.

4. Munkadarab-forgató asztal fejlesztése

A rendszer tervezése és megépítése után megkezdődött a tesztelési fázis. A kezdeti tesztek során jelentkező problémák közül az előkészítő asztal beszorulásait mutatjuk be. A 4. ábrán látható munkadarab-forgató asztalon elhelyezett kocsik lineárisan mozognak és a tengelycsonk oldalával érintkezve elforgatják azt. Az *a)-c)* képig munkadarab behelyezése, *d)-e)* képen a darab befogatása a kocsik segítségével és *f)-h)* képen pedig a kiemelés folyamata látható. Azonban megfigyeltük, hogy bizonyos munkadarab pozíciók esetén a két kocsi közé beszorult a munkadarab és a forgatás nem történt meg.

Az első kísérletekkel meghatároztuk azokat a helyzeteket, ahol a beszorulás előfordul. A tengelycsonkok négyzet keresztmetszetűek, ezért elég volt 0° és 90° közötti helyzeteket vizsgálni. Öt azonos típusú, de különböző munkadarabon egy fokenként forgatva, minden pozíciót háromszor ellenőrizve végeztük el a kísérleteket. Megfigyeltük, hogy a kocsik a rajtuk lévő görgőkkel vagy elgördülnek a tengelycsonk sarkai mellett, vagy a sarkon felülkőzve eltolják azt a következő síknegyedbe (5. ábra). Például, ha a két vizsgált sík bezárt szöge 5° , akkor a kocsik elgördülnek a sarok mellett, és a rajtuk található egyenes rész 0° -os helyzetbe állítja a munkadarabot. Azonban, ha a két vizsgált sík bezárt szöge 45° , akkor a kocsi felülkőzik a munkadarab sarkán, és a kocsi 90° -os helyzetbe forgatja a darabot.

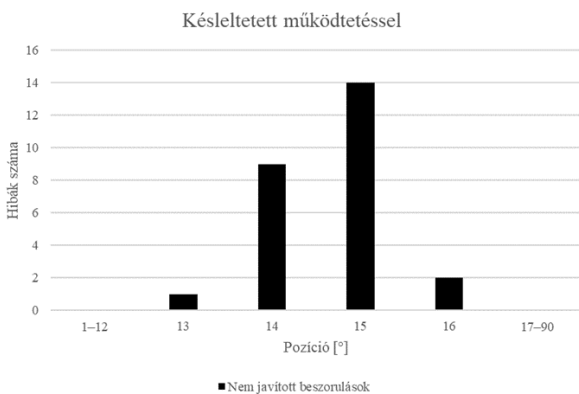
A kritikus helyzet a két jellemző forgatási mód közötti szöghelyzetekben történt, 13° és 16° -os helyzetnél. Ezek alapján meghatároztuk azt a vizsgálati eljárást, amivel a konstrukciós módosítások



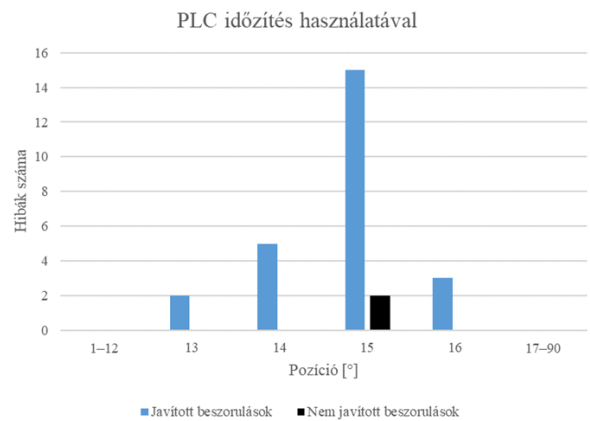
5. ábra: A munkadarab szöghelyzeteinek szemléltetése

sikerességét ellenőrizni fogjuk. 0° és 12° között, valamint 17° és 90° között minden értékre háromszor, míg 13° és 16° között minden értékre 10-szer kell elvégezni a forgatási vizsgálatot, mind az öt darab esetén. Az első konstrukciós változtatásnál a kocsik mozgatása el volt egymáshoz képest hangolva fojtószelepek segítségével. A mérések azt mutatták, hogy ez a megoldás nem segített elkerülni a beszorulásokat (6. ábra). Látszik, hogy továbbra is csak a 13-16° közötti tartomány a kritikus, máshol beszorulást nem tapasztaltunk.

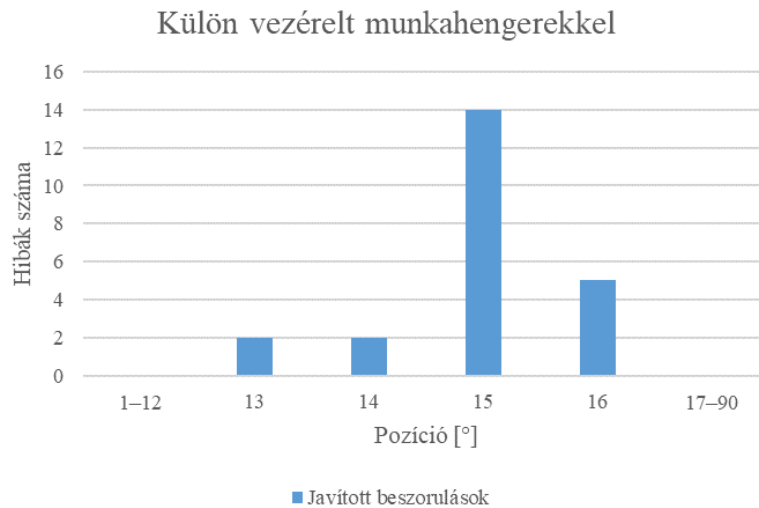
A második megoldás a PLC program módosítása volt. Amennyiben beszorulás lépett fel a forgatás során, egy adott idő lejárta után a kocsik visszatértek az alap állapotba, majd újra megkísérelték a forgatást. Itt már a beszorulások jelentős mennyiségét sikerült javítani (7. ábra). Látszik, hogy a beszorulások nagy részét ezzel a plusz mozgással korrigálni lehetett. A 25 beszorulásból csupán két esetben nem volt működőképes a megoldás. Sajnos ez az érték azonban még mindig nem elfogadható a stabil működés biztosításához.



6. ábra: Elhangolt kocsikkal történt mérési eredmények



7. ábra: Időzítés alkalmazásával végzett mérési eredmények



8. ábra: Külön vezérelt munkahengerekkel végzett mérési eredmények

A végső megoldásnak az bizonyult, hogy külön szelepekkel vezéreltük a kocsikat mozgató munkahengereket, így amikor beszorulás történik, a munkahengerek alapállapotba állnak vissza, majd csak az egyik lép mozgásba, ezután késleltetve a másik. A 8. ábrán látszik, hogy így már minden beszorulást sikerült javítani. Vagyis a forgató asztalon a darab mindig pozícióba forgatható.

5. Összefoglalás

A cikkben röviden bemutatottuk a rendszer alapvető elemeit, a közöttük lévő kapcsolatokat, illetve a működésének az elvét. Utána bevezettük az alkalmazott robotprogram munkafolyamatának modelljét, amely minden munkadarab elhelyezkedésre mozgató alternatívát nyújt. Az munkafolyamat modelljében bemutatott aktív beavatkozási pontok részletesen is ismertettük, amely biztosítja az optimális működését a folyamatnak. Végül egy, a fejlesztés során előkerülő probléma több lépcsős megoldását is bemutatottuk. Az egyes megoldások helyességét tesztekkel is alátámasztottuk.

A felépített architektúra megfelelően működött már több ezer darab kipakolása során, így a robotprogram struktúráját ebben a formában véglegesítettük. Elmondható, hogy ez a koncepció a kalodában bármilyen orientációban elhelyezkedő munkadarabok kivételére alkalmas. További tapasztalat, hogy a forgató asztal beszorulásai nem befolyásolják nagymértékben a kipakolási időtartamot, hiszen csak esetlegesen fordulnak elő, illetve a szöghelyzet korrekciója is mindössze néhány másodpercet vesz igénybe.

6. Köszönetnyilvánítás

Készült az EFOP-3.5.1-16-2017-00012 „Duális és kooperatív felsőoktatási képzések, felsőoktatási szakképzési és szakirányú továbbképzések fejlesztése” című projekt keretében.

7. Irodalomjegyzék

- [1] D. Buchholz, *Bin-Picking – New Approaches for a Classical Problem*, Springer International Publishing, 2016, [CrossRef](#)
- [2] C. Zhuang, Z. Wang, H. Zhao, H. Ding, *Semantic part segmentation method based 3D object pose estimation with RGB-D images for bin-picking*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 68, 2021, 102086, [CrossRef](#)

- [3] K.N. Kaipa, A.S. Kankanhalli-Nagendra, N.B. Kumbla, S. Shriyam, S.S. Thevendria- Karthic, J.A. Marvel, S.K. Gupta, *Semantic part segmentation method based 3D object pose estimation with RGB-D images for bin-picking*, Addressing perception uncertainty induced failure modes in robotic bin-picking, Robot. Computer-Integrated Manufacturing 42, 2016, pp. 17-38, [CrossRef](#)
- [4] J.P. Barreto, B. Corves, *Resonant Delta Robot for Pick-and-Place Operations*. In: Uhl T. (eds) *Advances in Mechanism and Machine Science*, IFToMM WC 2019 Mechanisms and Machine Science 73, 2019, pp. 2309-2318, [CrossRef](#)
- [5] Z. Wang, Y. Xu, Q. He, Z. Fang, G. xu, J. Fu, *Grasping pose estimation for SCARA robot based on deep learning of point cloud*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 108, 2020, pp. 1217–1231, [CrossRef](#)
- [6] M. Moosmann, F. Spenrath, K. Kleeberger, M.U. Khalid, M. Mönnig, J. Rosport, R. Bormann, *Increasing the Robustness of Random Bin Picking by Avoiding Grasps of Entangled Workpiece*, Procedia CIRP, 93, 2020, pp. 1212–1217, [CrossRef](#)
- [7] M. Alonso, A. Izaguirre, M. Graña, *Current Research Trends in Robot Grasping and Bin Picking*, International Joint Conference SOCO'18-CISIS'18-ICEUTE'18, San Sebastián, Spain, 6–8 June 2018, pp. 367–376, [CrossRef](#)
- [8] M. Moghaddam, S.Y. Nof, *Parallelism of Pick-and-Place operations by multi-gripper robotic arms*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 42, pp. 135–146, [CrossRef](#)
- [9] A. Iriondo, E. Lazkano, A. Ansuategi, *Affordance-Based Grasping Point Detection Using Graph Convolutional Networks for Industrial Bin-Picking Applications*, Sensors 21(3), 2021, 816, [CrossRef](#)