

KOLLABORATÍV ROBOTOK IPARI ALKALMAZÁSA - ÁTTEKINTÉS

Kóczi Dávid – Sárosi József

Abstract: Az emberek és a robotok közötti együttműködésre már az első ipari robotkarok megjelenése óta igény jelentkezik. Ennek az együttműködésnek számos fizikai, jogszabályi, illetve szabványi feltétele van. Ebben a cikkben bemutatásra kerül milyen arányban használják az iparban az együttműködő robotkarokat, továbbá leírja milyen formái léteznek az ilyen jellegű ember-gép kapcsolatnak. Megvizsgálja, hogy mely szabályozásoknak kell megfelelnie a kollaboratív robot biztonságos és szabványos tervezése és üzemeltetése esetén, alapul véve az "ISO/TS 15066 Robotok és robotszerkezetek. Kollaboratív robotok" technikai specifikációt. Ezt követően alkalmazási példákon keresztül kerülnek bemutatásra különböző megoldások, esettanulmányok. Végezetül értékelésre kerül milyen lehetséges irányok mutatkoznak az ember-robot együttműködés során, figyelembevéve az átalakulóban lévő „2006/42/EK” Gépdirektívát.

Abstract: There is a demand to collaborate between the human and robot, from the appearance of the first industrial robots. This collaboration has a lot of physical, legal, and standards aspects. This paper describes the proportion of collaborative robotic arms used in the industry, moreover it presents the forms of this type of human-machine relationship. Examination of the regulations to be followed is presented for the safe, standard design and operation of a collaborative robot, based on "ISO / TS 15066 Robots and Robotics. Collaborative robots." technical specification. After that, various solutions and case studies are presented through application examples. Finally, the possible directions for human-robot collaboration will be assessed, taking into account the evolving "Machinery Directive - 2006/42/EC".

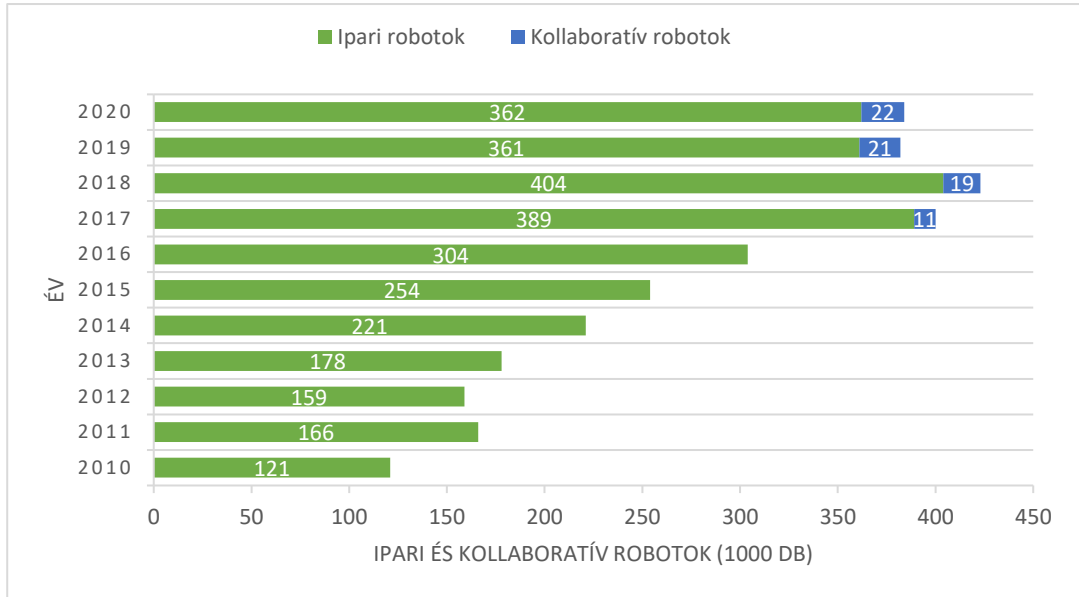
Kulcsszavak: Kollaboratív robotika, Gépdirektíva, Robot biztonsága, Ember-robot együttműködés

Keywords: Collaborative robots, Machinery Directive, Robot safety, Human-robot collaboration

1. Bevezetés

Kollaboratív robotok olyan robotok, amelyek képesek valamilyen szintű együttműködést megvalósítani az emberrel (Akella et al., 1999). Ezen együttműködés legegyszerűbb formája lehet a biztonságos elhatárolás megvalósítása, egészen odáig, hogy az ember és robot együtt, egy munkatérben egyidejűleg közösen munkát végez (Ajoudani et al., 2018). Ahogy az (1. ábra) is mutatja, egyre nagyobb igény mutatkozik a robotok alkalmazására a termelésben, ezen belül is számottevő szeletet hasítanak ki maguknak a kollaboratív robotok (IFR, 2021). Előrejelzések szerint a mostani 4,8% helyett a kollaboratív robotok száma növekedni fog az iparban és 2025-re az ipari robotok egyharmadát fedik majd le (Kiss - Tiner, 2021).

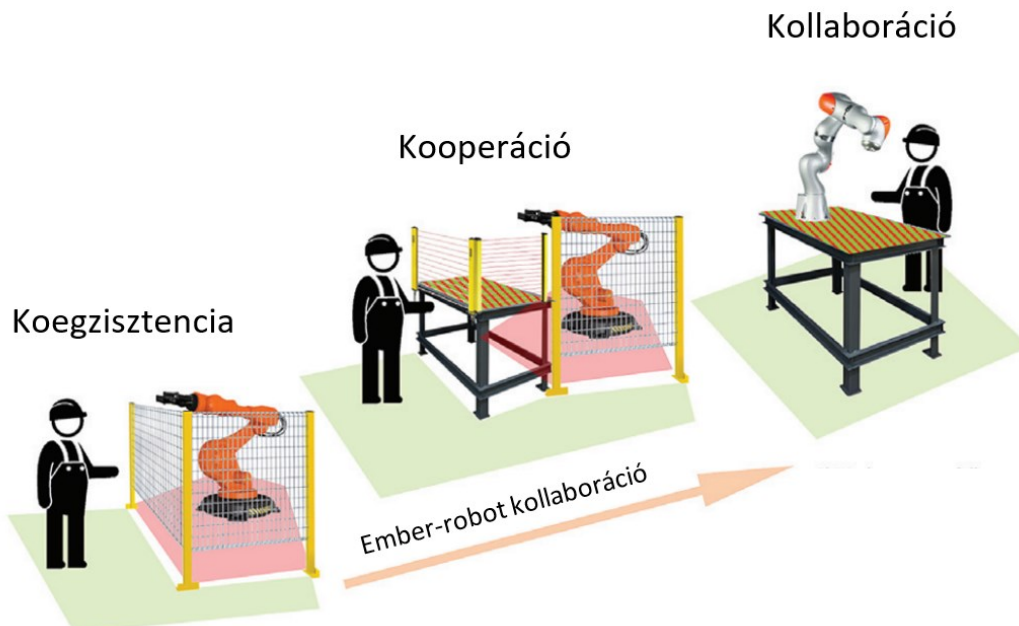
1. ábra: Ipari és kollaboratív robot trendek



Forrás: IFR presentation, World Robotics, 2021

Az együttműködés szintjein ahogy a (2. ábra) mutatja, a legalacsonyabb szint a koegzisztencia, amikor a robot és az ember időben és térben elhatárolódnak egymástól. Következő szint a kooperáció, ami alatt olyan együttműködés valósul meg, amikor az ember és a robot munkatere közös, de időben elhatárolódik a munkavégzés. A legmagasabb szintű együttműködés a kollaboráció, amikor is az ember és a robot sem térben, sem pedig időben nincsenek elhatárolva egymástól (MMK,2022).

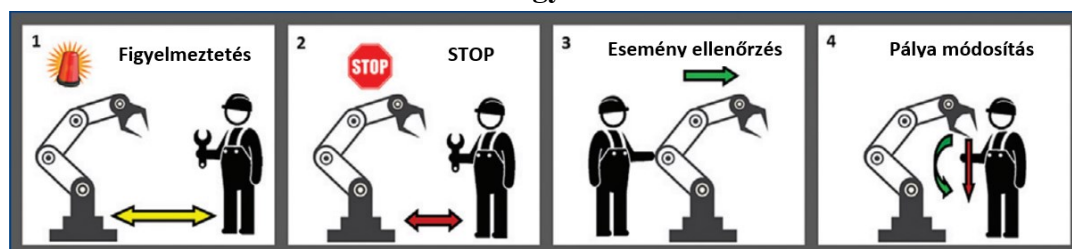
2. ábra: Ember-robot kollaboráció szintjei



Forrás: Vysicky et al., 2016

A biztonságos együttműködés módszerei pedig lehetnek a (3. ábrán) látható felosztás szerint, „Figyelmeztetés”, „Stop”, „Esemény ellenőrzés”, valamint „Pálya módosítás” (Vysicky et al., 2016).

3. ábra: Ember-robot együttműködés módszerei



Forrás: Vysicky et al., 2016

Amikor egy kollaboratív robotos alkalmazás kerül vizsgálatra biztonsági szempontból, akkor a teljes munkateret és a benne levő eszközöket figyelembe kell venni a kockázatértékelés során, valamint azok felhasználási módjait.

A következő fejezetekben részben bemutatásra kerül milyen európai előírások és szabványok vonatkoznak a robotrendszerek tervezőire, üzemeltetőire, valamint hogy egy kollaboratív robotos alkalmazás megfelelőségértékelési szempontból mitől különleges és mitől nem.

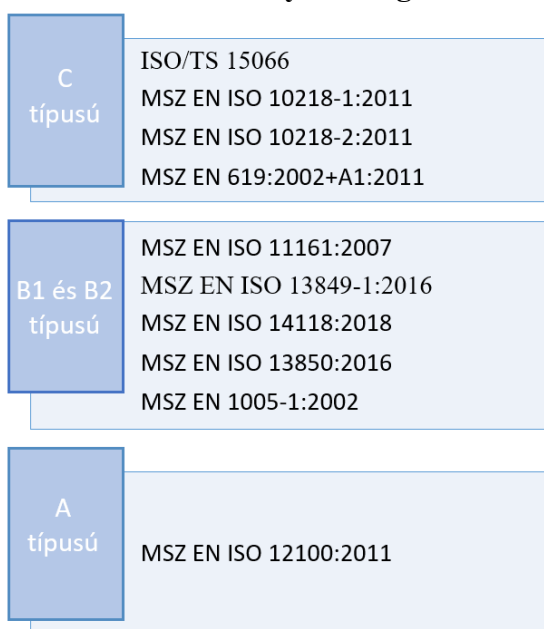
Következőkben megvizsgálásra kerül milyen „A”, „B”, és „C” típusú szabványok lehetnek relevánsak egy kollaboratív robotos alkalmazásban. Kiemelve

a megfelelőségértékelési eljárást az “ISO/TS 15066 Robotok és robotszerkezetek - Kollaboratív robotok” szabványon keresztül, a kockázatértékeléstől egészen az egyedi technológiai megoldásokig.

2. Kollaboratív robotok biztonságtechnikája

Megfelelőségértékelési eljárás lefolytatásának fontosabb előírásai Magyarországon is az Európai Unió iránymutatásai a „2006/42/EK” Gépdirektívában kerültek összefoglalásra, amely általános előírásokat fogalmaz meg az Európában forgalomba hozott gépek és gépegyüttesekkel szemben (Európai Parlament, 2006). Szabványok rétegződését tekintve, a (4. ábra) szerinti felosztás szemlélteti a vonatkozó szabványok rétegződését.

4. ábra: Szabványok rétegződése



Forrás: MSZ EN ISO 12100:2011 Gépek biztonsága, 2011

Gépek esetében - így robotokra vonatkozóan is - általános előírásokat és a kockázatértékelés módját az „MSZ EN ISO 12100:2011 - Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei. Kockázatfelmérés és kockázatcsökkentés (ISO 12100:2010)” határozza meg, amely az egyetlen „A” típusú szabvány.

Szabványok szintjén tovább haladva léteznek a „B1” típusú szabványok, amelyek meghatározott biztonsági szempontokat vesznek figyelembe, mint például a biztonsági távolságok vagy a környezeti zaj. Vannak továbbá a „B2” típusú szabványok, amelyek biztonsági berendezések működésére vonatkoztathatóak. Ebből az mutatkozik, hogy több „B” típusú releváns szabvány is megfeleltethető robotrendszerekre. Ezek közül például az „MSZ EN ISO 11161:2007 - Gépek biztonsága. Integrált gyártórendszerek. Alapkövetelmények (ISO 11161:2007)”, amely integrált gyártórendszerekre vonatkoznak. Továbbá a „MSZ EN ISO

14118:2018 - Gépek biztonsága. A váratlan indítás megelőzése (ISO 14118:2017)”, amely a legtöbb automata gyártórendszerre értendő. Azon „B” típusú szabványok közül, amelyek csak bizonyos esetekben alkalmazhatók, mint például az „MSZ EN ISO 13855:2010 Gépek biztonsága. Biztonsági berendezések elrendezése a(z emberi) testrészek közelítési sebességének figyelembevételével (ISO 13855:2010)” és az „MSZ EN 1005-2:2003+A1:2009 - Gépek biztonsága. Az ember fizikai teljesítménye. 2. rész: A gépek és a géprészek kézi kiszolgálása” vonatkoztatható alkalmazás függően kollaboratív robotcellákra is. Fentiekén felül még számos szabvány alkalmazható kollaboratív robotos megoldásokhoz.

A „C” típusú szabványokat figyelembe véve azok már specifikusak a robotokra. Robotrendszerekre vonatkozó speciális ajánlásokat lehet bennük találni, melyek kollaboratív robotcellákra is alkalmazhatóak. Ezek közül a legfontosabbak a robotok építésére, a robotok üzemeltetésére és a kollaboratív robotok alkalmazására vonatkozó szabványok. Ezek az „MSZ EN ISO 10218-1:2011 - Robotok és robotszerkezetek. Ipari robotok biztonsági követelményei. 1. rész: Robotok (ISO 10218-1:2011)”, amely a robotok gyártójára vonatkozik, valamint az „MSZ EN ISO 10218-2:2011 - Robotok és robotszerkezetek. Ipari robotok biztonsági követelményei. 2. rész: Robotrendszerek és összehangolásuk (ISO 10218-2:2011)”, amely a robotok üzemeltetésére tartalmaz biztonsági követelményeket, továbbá a „ISO/TS 15066 Robotok és robot szerkezetek. Kollaboratív robotok”, ami külön csak a kollaboratív robotok biztonságos üzemeltetésével foglalkozik. A fentiekén felül még számos „C” típusú szabvány alkalmazható, amely mindig az adott rendszernek megfelelően kell kiválasztani, ezek közül példaként említve az „MSZ EN 619:2002+A1:2011- Folyamatos működésű anyagmozgató berendezések és rendszerek. Egységakománnyok mechanikai mozgatóberendezéseinek biztonsági és elektromágneses összeférhetőségi követelményei”-t, kollaboratív robotos szállítószalagról történő elszedés vagy rakodás esetén ez szintén ajánlott szabvány.

Kollaboratív robotokra vonatkozó egyedi kitételek közül más robotrendszerekhez képest kiemelendő, hogy bizonyos szintű, szabályozott, alacsony energiájú érintkezés megengedett. Biztonsági szempontból két típusát különböztetjük meg az ember-robot érintkezésnek. Az első a „Kvázi statikus kontaktus”, a második típusa pedig a „Tranziens kontaktus”. Kettő között az alapvető különbség az, hogy az előbbinél az ütközés következtében a robot képes eltolni/ellökni az embert, még az utóbbinál pedig valamilyen szilárd testhez szorítja (Wen et al., 2019).

3. Kollaboratív robotok alkalmazásai

Alkalmazás szempontjából, az ipari robotok és a kollaboratív robotok között nincs számottevő különbség, ugyanúgy érvényesül az a hármas alapelv, miszerint a robotokat elsősorban egyszerű, piszkos és veszélyes munkára célszerű alkalmazni (Kóczy - Sárosi, 2022). Ezek közül az úgynevezett „pick&place” alkalmazások használatkor érvényesülnek legjobban a kollaboratív robotok adta lehetőségek, miszerint nem szükséges a gyártó egységet kerítéssel védeni, elegendő lehet fényfüggöny vagy területszkener alkalmazása, így kisebb értékes gyártóterületet

foglal el a robotcella (Andersson et al., 2021). Kollaboratív robotok használhatóak nem tipikusan kollaboratív alkalmazásra is, mint például a hegesztés, amiben a kollaboratív együttműködés a gyártás indításánál jelentkezik főként. Ebben az esetben a könnyű telepíthetőség és betaníthatóság teheti indokolttá alkalmazását (Jones et al., 2015). Használhatóak egyszerűbb vagy komplexebb szerelési feladatok elvégzésére (Cohen et al., 2019). Itt kiemelt szerepet kap a munkatér megosztása ember és robot között. Az orvostudományban is egyre elterjedtebb a nem tipikusan orvosi alkalmazásra fejlesztett kollaboratív robotok használata. Láthatunk például kollaboratív robotos hajbeültetésre (www.venusconcept.com, 2022), de COVID teszt elvégzésére is fejlesztettek rendszert (Yongquan et al., 2022). Ahogy az (5. ábrán) látható, kollaboratív robot alkalmazható mezőgazdaságban is, ahol már a fejlett látórendszereknek köszönhetően képes komplex feladatok megoldására (Lytridis et al., 2021), mint a szüretelés elvégzése vagy a gyomnövények permetezése egy mobil platform segítségével (Berenstein et al., 2017).

5. ábra: Mezőgazdasági kollaboratív robot



Forrás: Lytridis et al., 2021

A feldolgozott cikkek alapján és a robotok technológiai fejlődését figyelembe véve, a kutatások a kontaktus jóslás (Luca et al., 2020), a fejlett látórendszerek és a mélytanuló alkalmazások fejlesztése felé haladnak (Lázaro et al., 2019).

4. Európai Parlament Gépdirektíva módosítási javaslatának értékelése kollaboratív robotok alkalmazása szempontjából

Az Európai Parlamentnek javaslatot nyújtottak be 2021-ben, a „2006/42/EK Gépdirektíva” módosítására. A változtatás szükségességét az indokolja, hogy a technológia fejlődésével új veszélyek jelentek meg, valamint a felgyorsult világban

az integrátorokra a jelenlegi dokumentációs elvárások irreálisan nagy terhet rónak, így több módosítási javaslat közül az előirányzott változtatás az „Adminisztrációs terhek csökkentése és a biztonság növelése”, ami célként lett kitűzve (Európai Bizottság, 2021). Kollaboratív robotok tekintetében sem ad megfelelő választ számos alkalmazásra a jelenlegi szabályozás. A kollaboratív robotcellák kockázatelemzése esetenként nem egyértelmű, a szigorú szabályozás pedig gátat szab a technológia fejlődésének és elterjedésének. Ezen felül a kollaboratív robotos alkalmazásokon kívül választ kell adni a fejlődő technológia vívmányaira, mint például a mesterséges intelligencia, IoT, és a valós idejű rendszerek stb. (Európai Bizottság, 2021).

5. Összefoglalás

A cikk számba veszi milyen kulcsfontosságú szabályok és szabványok vonatkoznak a kollaboratív robotos alkalmazásokra. Összességében elmondható, hogy a kollaboratív robotos alkalmazásokat, megfelelőségértékelési szempontból hasonlóan kell kezelni, mint az ipari robotrendszereket, azzal kitételrel, hogy a fent vázolt esetekben valamilyen szintű kollaboráció megvalósul ember és robot között. Azonban ez sosem helyezkedik felül a biztonságos üzemeltetés határain. Bemutatásra került valós példákon keresztül a kollaboratív robotok gyakorlati alkalmazása. Végezetül pedig az Európai Parlament Gépdirektíva módosítási javaslatán keresztül felvázolásra került egy fejlődési irány a szabályozások racionalizálásán keresztül.

Irodalomjegyzék

- Akella P, Peshkin M, Colgate E, Wannasuphprasit W, Nagesh N, Wells J, Holland S, Pearson T, Peacock B (1999) Cobots for the automobile assembly line. In: IEEE international conference on robotics and automation
- Ajoudani, A., Zanchettin, A.M., Ivaldi, S. et al. Progress and prospects of the human–robot collaboration. *Auton Robot* 42, 957–975 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10514-017-9677-2>
- Berenstein, R, Edan, Y. Human-robot collaborative site-specific sprayer. *J Field Robotics*. 2017; 34: 1519– 1530. <https://doi.org/10.1002/rob.21730>
- Cohen, Yuval, Shraga Shoval, and Maurizio Faccio. "Strategic view on cobot deployment in assembly 4.0 systems." *IFAC-PapersOnLine* 52.13 (2019): 1519-1524.
- Európai Parlament, 2006/42/EK AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2006/42/EK IRÁNYELVE a gépekről és a 95/16/EK irányelv módosításáról (átdolgozás) (2006)
- EUROPEAN COMMISSION - Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on machinery products, Brussels, 21.4.2021 COM(2021) 202 final
- EUROPEAN COMMISSION – ANNEXES to the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on machinery products, Brussels, 21.4.2021 COM(2021) 202 final
- IFR presentation, World Robotics 2021, online https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf (2022.06.14)
- Intelligent And Precise Hair Restoration Procedures <https://www.venusconcept.com/en-ca/artas-ix.htm> (2022)
- ISO/TS 15066 Robotok és robot szerkezetek. Kollaboratív robotok

- Jones, Jerald E., et al. "Development of a Collaborative Robot (COBOT) for Increased Welding Productivity and Quality in the Shipyard." SNAME Maritime Convention and 5th World Maritime Technology Conference. OnePetro, 2015.
- Kiss É.;Tiner T.: Robotizáció a negyedik ipari forradalom idején a világban és a magyar iparban, területi megközelítésben (2021). <https://doi.org/10.15196/TS610502>
- Kóczy D., Sárosi J, THE SAFETY OF COLLABORATIVE ROBOTICS - A REVIEW, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara XX (2022)
- Luca Gualtieri, Erwin Rauch, Renato Vidoni, Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, szám 67, ISSN 0736-58-45, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101998>.
- Lytridis, C.; Kaburlasos, V.G.; Pachidis, T.; Manios, M.; Vrochidou, E.; Kalampokas, T.; Chatzistamatis, S. An Overview of Cooperative Robotics in Agriculture. *Agronomy* 2021, 11, 1818. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091818>
- Magyar Mérnöki Kamara, Kollaboratív robotok , online <https://www.mmk.hu/informaciok/hirek/kollaborativ-robotok> (2022.06.17.)
- MSZ EN ISO 12100:2011 Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei. Kockázatfelmérés és kockázatsökkentés (ISO 12100:2010)
- MSZ EN ISO 11161:2007 Gépek biztonsága. Integrált gyártórendszerek. Alapkövetelmények (ISO 11161:2007)
- MSZ EN ISO 14118:2018 - Gépek biztonsága. A váratlan indítás megelőzése (ISO 14118:2017)"
- MSZ EN ISO 13855:2010 Gépek biztonsága. Biztonsági berendezések elrendezése a(z emberi) testrészek közelítési sebességének figyelembevételével (ISO 13855:2010)
- MSZ EN 1005-2:2003+A1:2009 - Gépek biztonsága. Az ember fizikai teljesítménye. 2. rész: A gépek és a géprészek kézi kiszolgálása
- MSZ EN ISO 10218-1:2011 - Robotok és robotszerkezetek. Ipari robotok biztonsági követelményei. 1. rész: Robotok (ISO 10218-1:2011)
- MSZ EN ISO 10218-2:2011 - Robotok és robotszerkezetek. Ipari robotok biztonsági követelményei. 2. rész: Robotrendszerek és összehangolásuk (ISO 10218-2:2011)
- MSZ EN 619:2002+A1:2011- Folyamatok működésű anyagmozgató berendezések és rendszerek. Egységakományok mechanikai mozgatóberendezéseinek biztonsági és elektromágneses összeférhetőségi követelményei
- O. D. Miguel Lázaro, W. M. Mohammed, B. R. Ferrer, R. Bejarano and J. L. Martinez Lastra, "An Approach for adapting a Cobot Workstation to Human Operator within a Deep Learning Camera," 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2019, pp. 789-794, doi: 10.1109/INDIN41052.2019.8972238.
- S. K. Lennart Andersson, J. Bruch, M. Hedelind and A. Granlund, "Critical Factors Supporting the Implementation of Collaborative Robot Applications," 2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2021, pp. 01-07, doi: 10.1109/ETFA45728.2021.9613422.
- Vysocky, Ales & Novak, Petr. (2016). Human - Robot collaboration in industry. *MM Science Journal*. 2016. 903-906. [10.17973/MMSJ.2016_06_201611](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2016_06_201611).
- Wen Si1, Gautam Srivastava, et al. - Green Internet of Things Application of a Medical Massage Robot with System Interruption, IEEE Acces, DOI 10.1109/ACCESS.2019.2939502
- Yongquan C., Qiwen W., Chuliang C., Chengjiang W., Qing G., Heng Z., Zheng L., Zonggao M., Ruihuan X., Zhenglong S., Huihuan Q., A collaborative robot for COVID-19 oropharyngeal swabbing, *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 148, 2022, 103917, ISSN 0921-8890, <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103917>.