

A robotok és a fenntarthatóság

Az ipari robottelepítések száma folyamatosan nő a világon, a működő robotok száma elérte a 3,5 milliós rekordot. A műanyag fröccsöntésben a fenntarthatóság érdekében az első generációs robotokat a teljes ártalmatlanítás helyett át kell alakítani, lehetővé téve újrafelhasználásukat más gyártási műveletekben. A robottechnológia egy másik lehetséges alkalmazása a szelektív hulladékgyűjtés elősegítése oktatórobotokkal.

Tárgyszavak: műanyag fröccsöntés. fenntarthatóság. robotok. automatizálás. szelektív hulladékgyűjtés. ember-robot kapcsolat

Az ipari robotok piaca

Az International Federation of Robotics (IFR) szövetség jelentése szerint 2015 óta több mint kétszeresére nőtt az éves robottelepítések száma a világon. 2021-ben ez összesen 517 385 új ipari robotot jelentett, ami 31%-os növekedés volt az előző évhez képest és 22%-kal megdöntötte a telepítések korábbi, 2018-as rekordját. A működő robotok száma így a világon elérte a 3,5 milliós rekordot.

Az autóipar továbbra is a legnagyobb felhasználó, 2021-ben több mint 9700 robotot telepítettek az elmúlt öt év folyamatos keresletcsökkenése ellenére ebben az ágazatban. A műanyag- és vegyiparban 2021-ben közel 3500 robotot telepítettek újonnan, míg a fém- és gépiparban 3800 fölé nőtt ez a szám.

Ázsia maradt az ipari robotok legnagyobb piaca világon, az összes új robot 74%-át ezen a földrészen telepítették. Az országok közül Kína vezet 51%-kal és 268 195 új robot üzembe állításával (2021-ben minden második robotot Kínában telepítették), a működő robotok száma így meghaladja az 1 millió darabot. Japán továbbra is a második helyen áll, a telepítések száma 2021-ben 47 182 egységre nőtt. A Japánban működő robotok száma meghaladja a 393 300-at. Japán a világ meghatározó robotgyártója, exportja 2021-ben új csúcst ért el a több mint 186 000-es darabszámmal. Dél-Koreáé a negyedik legnagyobb robotpiac az éves telepítések számában az Egyesült Államok (közel 35 000 robot 2021-ben), Japán és Kína után. Több mint 31 000 robotot telepítettek 2021-ben, az üzemelő robotok száma pedig 366 200 felett van.

Európában 84 300 robotot helyeztek üzembe 2021-ben, ami új csúcst jelentett. Az autóipar kereslete stabil volt, míg az általános ipar igénye 51%-kal nőtt. Németország, amely a világ öt legnagyobb robotpiaca között van, az összes európai telepítés 28%-át tette ki. Ezt követi Olaszország 17%-kal és Franciaország 7%-kal. A telepített robotok száma Németországban 23 700 felettire nőtt 2021-ben, az ipari robotok németországi exportja 22 870 darab volt, amely meghaladta a járvány előtti szintet.

Robotizáció a fröccsöntésben

A műanyag fröccsöntés nagy kihívást jelent abból a szempontból, hogy más, rendkívül versenyképes iparágak, mint például az autóipar, a háztartási cikkek és csomagolóanyagok gyártása számára termel. Folyamatos a törekvés a termelékenység növelésére, ezért az innováció meghatározó tényezővé vált az ágazat túlélésében. A hagyományosan használt alapanyagok kiváltása, például a súlycsökkentés miatt, új termékek bevezetése és új technológiák fejlesztése lehetővé teszi az iparág számára, hogy még kevésbé feltárt piaci szegmenseket érjen el. Tekintettel a költségszerkezetére, könnyen belátható, hogy két alapvető tényező befolyásolhatja a fröccsöntés versenyképességét: a szerszámok tartóssága és a ciklusidő kezelése, különösen az előállított alkatrészek hűtési/megszilárdulási idejére vonatkozóan. Az eljárás azonban nem korlátozódik csak magára a fröccsöntési műveletre, például az összetettebb alkatrészeknél szükségessé válik a szerszámból történő kivétel, majd az ezt követő, egymással összefüggő műveletek,

így az alkatrészek ellenőrzése és összeszerelése is. Ebből a szempontból az automatizálás és a robottechnológia hozzáadott értéknek számít.

A műveletek összetettségétől és a kívánt rugalmasságtól függően vannak olyan esetek, amikor az automatizálást tekintik a legjobb megoldásnak, főleg az azonos típusú termékek sorozatgyártása esetében, míg a robotokat akkor alkalmazzák, amikor nagyobb rugalmasságra van szükség a feldolgozás során. Számos példát lehet sorolni, ahol az egyik vagy a másik, vagy mindkettő kombinációja kiváló eredményekhez vezetett a termelékenység növelése, a reprodukálhatóság és a minőség javulása, sőt az olyan ismétlődő feladatok drasztikus csökkentése szempontjából, amelyek egészségügyi problémákat okozhattak a kezelőknél.

A robotok gyártócellákban való alkalmazását alaposan tanulmányozni kell annak érdekében, hogy a lehető legnagyobb mértékben csökkenjen a robotok mozgására fordított idő és az energiafogyasztás. A robotok alkalmazhatóságát befolyásolhatják a robotkar pontatlanságai az összeszerelendő alkatrészek helyén. Valós idejű helyzetkorrekciós rendszer megfelelően biztosítja a robotkar pontosságára vonatkozó követelményeket, amelyeket komplex, valós idejű matematikai számításokkal is támogatnak. A robotkar pozicionálásán kívül más kihívások is jelentkeznek, nevezetesen a robot ütközhet a termék befogókkal vagy akár a megmunkálandó alkatrészekkel, de lényeges szempont az alkatrészek vagy szerszámok kezeléséhez szükséges megfogók tervezése is.

Mint a legtöbb hagyományos automatizáláson alapuló megoldás, a robottechnológia is lehetővé teszi az ipari műveletek valós idejű vezérlését, ami jobb interakciót eredményez a különböző gyártócellák között, optimalizálja a logisztikai műveleteket és információt szolgáltat a munkafolyamatról. Mindazonáltal a robotizációt már nem tekintik emberi munkától, beavatkozástól mentes automatizálásnak, hanem bizonyos feladatoknál a robotok mellett a manuális munka integrálását is fontolóra veszik. Ezt a trendet hibridizációnak nevezik. Biztosítani kell azonban az egyes robotok vagy robotcsoportok számára meghatározott területen belül dolgozó alkalmazottak biztonságát. Az ilyen, úgynevezett együttműködő robotok alkalmazási aránya még mindig viszonylag alacsony, és leggyakrabban a biztonsági okokat említik a mérsékelt használat okaként. Ennek ellenére már léteznek tanulmányok az együttműködő robotrendszerek kis- és középvállalkozásoknál (kkv) történő bevezetéséről, ami azt mutatja, hogy elfogadásuk ugyan lassú, de a viszonylag a közeli jövőben minden bizonnyal nagyobb arányokat fog elérni.

A robotok fejlődése azonban ipari szempontból aggasztóvá válhat, mivel a vállalatok hajlamosak elhagyni az első generációs robotokat a modernebb és agilisebb robotok javára, amelyek nagyobb programozási kapacitással és a perifériás rendszerekkel való jobb együttműködéssel rendelkeznek. Ez olyan környezeti problémát jelent, amelyet sürgősen meg kell oldani. Szerencsére léteznek olyan megoldások, amelyek célja, hogy az első generációs robotokat olyan feladatokhoz alakítsák át, amelyeket korábban csak hagyományos automatizálással vagy kézi munkával lehetett végezni, lehetővé téve így újrafelhasználásukat a teljes ártalmatlanítással szemben, fenntarthatóvá téve a fröccsöntési folyamatokat.

A fenntarthatóság kérdése

Számos fejlődési lehetőség van az iparban, amely kihasználható a gazdasági fenntarthatóság növelése, az emberi munkaerőtől való függőség csökkentése és a minőség javítása érdekében. Másrészt a környezetvédelmi kérdések iránti nagyobb érzékenység minden bizonnyal sok döntést befolyásol, mivel gazdaságilag nem fenntartható egyes berendezések idő előtti cseréje nélkül, hogy lehetőség lenne azok újbóli alkalmazására más gyártási folyamatokban. Számos tanulmány kimutatta, hogy a termelékenység növelésére irányuló projektek összeegyeztethetők a korábban más gyártási műveletekben használt eszközök és alkatrészek újrafelhasználásával anélkül, hogy csökkenne a versenyképesség, ami a környezeti fenntarthatóság javát szolgálja.

Nyilvánvaló, hogy a környezetvédelmi kérdés fontos, de az eszközök újrafelhasználása jelentős megtakarítást is jelent az adott folyamat automatizáltságának javításához szükséges beruházás szempontjából, de számításokkal a munkabér megtakarítás is számszerűsíthető. Az ipari vállalatok általában legfeljebb 36 hónapot határoznak meg arra, hogy gazdaságilag életképesnek találjanak egy projektet, figyelembe

véve a gyártott termékek becsült élettartamát. Gyakorlati példák alapján a beruházás megtérülése ennél rövidebb idő alatt is megvalósulhat.

Egy esettanulmányon keresztül mutatták be, hogyan lehetséges új koncepciókat kidolgozni autóiipari műanyag alkatrészek fröccsöntésekor és összeszerelésekor a termelékenység és a minőség javítására korábban más gyártásban használt robotokkal. A robotok által nyújtott előnyöket kihasználva olyan, hagyományos automatizáláson alapuló megoldásokat hoztak létre, amelyek kiegészítették a robot működését. A fröccsöntő géphez kapcsolt gyártócella önállóan, az emberi munkához képest magasabb szintű termelést garantált jobb minőségben. A vezérlés szempontjából fontos volt, hogy nem kellett figyelembe venni például az emberi fáradtságot. Az új koncepcióval a beruházás kevesebb mint 12 hónap alatt megtérülhet, ami tökéletesen illeszkedik ahhoz a gazdasági, pénzügyi teljesítményhez, amelyet az ipari vállalatok általában megkövetelnek, hogy a beruházást nyereségesnek tekintsék.

A kívánt termelékenységi és minőségi szintek elérése, valamint az emberi munkaerőtől való függőség csökkentése mellett a környezeti szempontokat is figyelembe kell venni, minimalizálva a természeti erőforrások fogyasztását és megakadályozva a használaton kívüli berendezések leselejtezését, ezáltal lehetővé téve, hogy újra felhasználhatók legyenek más folyamatokban.

A kkv-k még mindig hatalmas fejlődési lehetőséggel rendelkeznek az alkatrészgyártás és az összeszerelési műveletek termelékenységének javítása terén. A robotika a hagyományos automatizálással párosítva a legmegfelelőbb módja a termelékenység növelésének és a piac által megkövetelt, egyre magasabb minőségi szint biztosításának. Egyes életciklus végi projektek deaktiválása számtalan olyan eszköz és alkatrész leszereléséhez vezet, amelyek újra felhasználhatók lennének. Ha a termelékenység és a minőség javítására irányuló projektek figyelembe tudják venni ezeket az eszközöket, akkor csökkenthető a folyamatok automatizálásához szükséges beruházás költsége. Ez a termékek versenyképességének hasznára válik, párhuzamosan a környezetvédelemmel és a fenntarthatósággal, mivel az ipari hulladék keletkezése és a természeti erőforrások felhasználása minimális.

Oktatórobotok a hulladék újrahasznosítás elősegítésére

Az ipari forradalom óta új technológiák jelentek meg és folyamatosan fejlődtek a mindennapi élet javítása érdekében. Egyes iparágakban azonban ennek negatív következményei is voltak, mint például az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása és a fogyasztás növekedése, ami veszélyezteti a környezeti fenntarthatóságot. Az emberek általában tisztában vannak az éghajlatváltozással és a fenntarthatósággal kapcsolatos kérdésekkel, ugyanakkor kevésbé hajlandók lépéseket tenni e problémák megoldására. A fenntartható jövő felé történő előrehaladás egyik módja, hogy növelni kell a hulladékok újrafeldolgozási arányát.

A mesterséges intelligencia (AI) alkalmazásai az emberi élet egyre több területére jutnak el. Az AI olyan „kis léptékű” problémákat oldhat meg, mint egy sakkjátszma megnyerése, a beszélt nyelvek vagy emberi arcok felismerése, valamint olyan „nagyszabású” problémákat, mint a járványok kitörésének észlelése vagy az emberi kapcsolatok nyomon követése a világjárvány terjedésének megakadályozására. Az AI rendszerekkel való interakció ember-számítógép interfészekon, például okostelefonok és kijelzők, keresztül történik. Az interfészek minősége ezért fontos szerepet játszik az AI és a felhasználók közötti kommunikációban. Az AI rendszerek humanoid funkciókkal való felruházása például hatékonyan bizonyult az egészséggel kapcsolatos viselkedés ösztönzésében, az egészségügyi problémák kezelésében, mint a nem humanoid eszközök (okostelefonok, számítógépek, virtuális avatárok).

Számos elmélet és modell született a robottechnológiára adott emberi reakciók magyarázatára. Ezek integrációjával alakították ki a technológia elfogadásának és használatának egységes elméletét, mely szerint az egyéneknek a technológia használatára irányuló szándékának négy kulcsfontosságú tényezője a várható teljesítmény (azaz az érzékelt hasznosság), a várható erőfeszítés (azaz a használat érzékelt nehézsége), a társadalmi befolyás (azaz a fontos közösségi hálózatok értékelése, megítélése) és a kedvező feltételek (azaz az érzékelt beszerzési költség). A nem, az életkor, a tapasztalat és a használat önkéntessége pedig mérséklő tényezőknek bizonyultak.

Az újrahasznosításban a robotok hatékonyságának tesztelésére egy kísérleti környezetet hoztak létre, amelyben a résztvevőknek szelektíven kellett hulladékot elhelyezni hulladéktároló edényekbe. Ehhez két „elektronikus oktatót”, egy robotot és egy táblagépet helyeztek el a hulladéktárolók közelében, hogy utasításokat adjanak a hulladék megfelelő kezeléséhez. Az újrahasznosítást azért választották célviselkedésnek, mert képes csökkenteni a hulladékot és megőrizni a természeti erőforrásokat, illetve elősegíteni a fenntarthatóságot. Ennél is fontosabb, hogy a helyes újrahasznosítás, a szelektív hulladékgyűjtés nem igényel az ember részéről nagy erőfeszítést, ez egy egyszerű cselekedet, amely összhangban van azzal a nézettel, hogy az AI rendszerek humanoid funkciókkal való felruházása hatékony lehet az emberi viselkedés megváltoztatásában, így az újrahasznosítás előmozdításában. A robot humanoid megjelenése miatt empátiát válthat ki, és ezáltal elősegítheti a megfelelő újrahasznosítási viselkedést. A táblagépet azért használták, mert a robotok és a táblagépek ugyanolyan mennyiségű vizuális és audió információt képesek előállítani, ezért egyszerű azt a következtetést levonni, hogy a résztvevők robotra és táblagépre adott válaszai közötti különbségek a robot antropomorf jellemzőinek tulajdoníthatók, nem pedig a közvetített üzenetek tartalmának.

A két oktatási eszköz hatékonyságának összehasonlítása során kiderült, hogy a robot által oktatott résztvevők pontosabban válogatták a hulladékot, mint a táblagép által oktatottak. Az észlelt antropomorfizmus (emberi tulajdonságok átvitele az élettelen tárgyra vagy jelenségre) és a kiváltott empátia pontszámai magasabbak voltak a robot esetében, mint a táblagépénél. Arra a következtetésre jutottak, hogy minél nagyobb az észlelt antropomorfizmus, annál nagyobb a résztvevők empátiája a robotok iránt, és így a szelektív újrahasznosításra való hajlandóság. A használati szándék pusztán mérés azonban nem feltétlenül jelzi előre a hulladékgyűjtő kuka tényleges használatát. Ezenkívül a résztvevők nem léptek kapcsolatba a robottal, ehelyett egy videót néztek a vele interakcióba lépő egyénekről. Ez nem feltétlenül tükrözte a tényleges használati viselkedést, mivel kimutatták, hogy az emberek empatikusabbak voltak egy fizikailag jelen lévő robot, mint egy képernyőn látható szimulált robot iránt. Ahhoz, hogy valóban megértsük a robot meggyőző hatását az újrahasznosítás előmozdításában, empirikus adatokra van szükség az autentikus ember-robot interakciókról.

Pszichológiai szempontból az antropomorfizmus az empátián keresztül fejthet ki hatásokat, mivel egy antropomorf eszköz hasonlít az emberre, így könnyen empatikus érzéseket alakíthatnak ki iránta. Ezért az egyének nagyobb valószínűséggel válaszolnak egy antropomorf eszköz kérésére, mint egy nem antropomorféra. Az empátia kifejezést úgy határozhatjuk meg, mint “egy érzelmi válasz, amely összhangban van a másik egyén észlelt jólétével”. Az empátiával kapcsolatos korai tanulmányok az emberek iránti empátiára összpontosítottak, míg a legújabb tanulmányok kimutatták, hogy az emberi empátia kiterjeszhető a nem emberi ágensekre is.

További kutatásokra van azonban szükség ahhoz, hogy több tényezőt tárjunk fel az ember és robot közötti interakciók motiválására. Például a humanoid megjelenésen túl a robotoknak képesnek kell lenniük arra, hogy figyelemmel kísérjék a környezet és az ember által adott fizikai információkat. A robotoknak rendelkezniük kell a helyzet mentális aspektusaival is, például “mások hiedelmeivel”, vagy meg kell osztaniuk emlékeiket az emberi partnerrel. Ezenkívül előfordulhat, hogy ugyanazt a robotrendszert különböző formákban kell megtestesíteni az eltérő alkalmazások követelményei miatt. Érdekes megvizsgálni azt is, hogyan lehet fenntartani ugyanezt a szintű partnerséget az emberek között is.

Összeállította: dr. Lehoczki László

Robot Installations, Operational Robot Stock Hit Record Levels in 2021 = *Plastics Technology*, 2022. december 2.,

<https://www.ptonline.com/blog/post/robot-installations-operational-robot-stock-hit-record-levels-in-2021>

Costa, R.; Sousa, V.; Silva, F. J. G.; Campilho, R.; Sá, J. C.; Pinto, A.; Pereira, L.: Increasing the Sustainability of Manufacturing Processes in Plastic Injection: Recovering Out-Of-Service Robots to Eliminate Manual Assembly Operations = *Sustainability*, 14. k. 19. sz. 2022. p. 12300.,

<https://doi.org/10.3390/su141912300>

Lo, S-Y.; Lai, Y-Y.; Liu, J-C.; Yeh, S-L.: Robots and Sustainability: Robots as Persuaders to Promote Recycling = *International Journal of Social Robotics*, 2022. március 10.,

<https://doi.org/10.1007/s12369-021-00828-z>