

Perl Zsófia¹

Az exoskeleton civil alkalmazási lehetőségei

Civil Applications of the Exoskeleton

Az exoskeleton egy viselhető, ember által irányított szerkezet, amelynek számos felhasználási lehetősége létezik. Először a katonaság fejlesztett ilyen eszközt abból a célból, hogy a gyalogos katonák terhelhetőségét és hatékonyságát növeljék. Mint oly sok más technikai újdonságot, ezt is továbbfejlesztették, hogy a széles körű felhasználói közönség élvezhesse az előnyeit. Működésének lényege, hogy a ránk erősített külső vázban elhelyezett szenzorok érzékelik a mozgásunkat. A kifejtett erőnket többszörösére növeli, így akár hosszabb távokat is képesek vagyunk megtenni és nagyobb tömeget is könnyedén megmozgathatunk. Írásomban az exoskeletonok köznapi alkalmazási lehetőségeit tekintem át, az ipari és gyógyászati felhasználásokra összpontosítva. Célom a civil alkalmazási lehetőségek feltárása és bemutatása, ezzel is elősegítve az eszközök széles körű használatát.

Kulcsszavak: exoskeletonok köznapi alkalmazásai, fizikai teljesítmény növelése, akkumulátorok problémái

The exoskeleton is a wearable, human-controlled device with several application areas. The first device was developed by the military in order to increase the load capacity and efficiency of soldiers. Similarly to many other technical innovations, its development has been going on and therefore its application areas are widely expanded. The essence of its operation are sensors placed in the exterior frame, which perceive our motion. Exoskeletons significantly increase our strength, therefore, we are able to cover longer distances and move great masses easily with them. In my paper, I review the civil applications of exoskeletons, focusing on industrial and medical uses. My goal is to explore and present the opportunities of everyday usage of exoskeletons thus promoting the widespread use of the device.

Keywords: ordinary applications of the exoskeleton, the increase of physical performance, problems of batteries

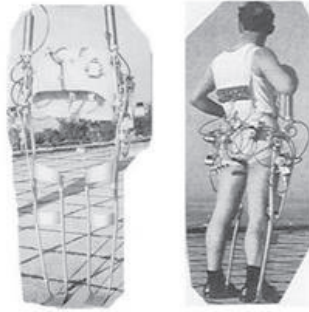
¹ Széchenyi István Egyetem, mechatronikai mérnök BSc-hallgató, e-mail: perlzsofi@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8325-2163

Bevezetés

Nagyon sok különféle exoskeleton típus létezik attól függően, hogy milyen területen tervezik bevetni a szerkezetet. A berendezések elsősorban katonai alkalmazási területekre kerültek kifejlesztésre, amit Horváth P. et al. cikke [1] áttekintően részletez, viszont a civil alkalmazási lehetőségekkel nem foglalkoztak írásukban. A széles körű alkalmazási lehetőségek kutatása szükségessé tette a fejlesztések több irányba történő megvalósulását is. Minden exoskeletonot az adott elvégzendő feladatra kell optimalizálni, a felhasznált anyagok és alkalmazott megoldások is ennek a függvényében változnak. A legmegfelelőbb kialakítás érdekében mindenképpen figyelembe kell venni a kopásállóságot, a teherbírást, a szerkezet saját súlyát, a kényelmes viselhetőséget, az energiatakarékosságot, valamint alapvető elvárás minden esetben a végtagok természetellenes mozgásának megakadályozása, a sérülések elkerülése érdekében. Szabályozásukat ezért jelentős pontossággal kell végrehajtani, ami rendkívül nagy kihívást jelent. A terhelést, a külső váz veszi át viselője helyett, így ugyanaz a fizikai megerőltetéssel járó feladat akár hosszabb távon és nagyobb terhelésekkel végezhető. Az aktív és passzív kiviteli forma közti legfőbb különbség, hogy a passzív szerkezetek nem rendelkeznek semmilyen hajtóművel, akkumulátorral, valamint vezérlő elektronikával. Céljuk, hogy csökkentsék az emberi testet érő hatásokat. Megkülönböztethetjük az exoskeletonokat a támogatott testrészt vagy testrészek alapján is. Léteznek teljes testalkatú, valamint csak alsó és csak felső végtagokra, esetleg egyetlen karra vagy kézfejre erősíthető típusok is. Ebből is látszik az alkalmazásuk sokrétűsége. A felhasználási lehetőségek a kutatásoknak köszönhetően folyamatosan szélesednek, ezért írásomban a civil felhasználási lehetőségekre fókuszálok, bemutatva néhány, általam fontosnak vélt területet, ahol exoskeletonokat használnak és fejlesztenek, továbbá kitérek a használat optimalizálására, az üzemidő fontosságára és növelésének lehetséges megoldásaira.

Exoskeletonok a civil szférában

A kezdeti modellekkel az orvosok munkáját próbálták megkönnyíteni, ezeket főként a betegek emelésére és szállítására fejlesztették ki. Később elkezdtek arra fókuszálni, hogyan lehetne közvetlenül a pácienseken segíteni vele. Kihasználták, hogy az exoskeleton egymás után többször is végre tudja hajtani pontosan ugyanazt a mozdulatot. Ez a rehabilitáció során nagyon fontos, hiszen a betegek egyre kevesebb segítség nélkül, a végén már teljesen maguktól végzik a gyakorlatokat. Az első működő aktív egészségügyi exoskeleton (1. kép) 1969-ben alkották meg a Mihajlo Pupin Intézetben, Belgrádban [2].

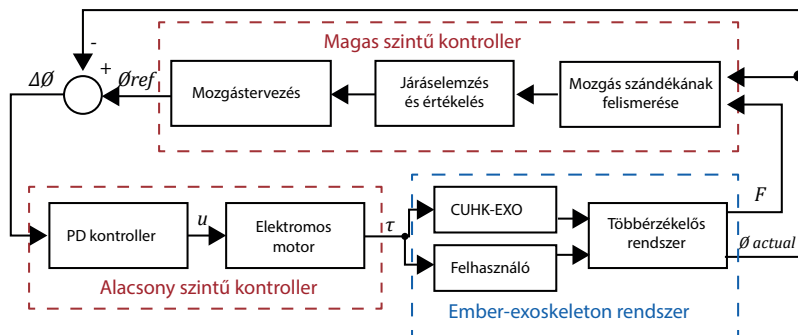


1. kép. Az első aktív egészségügyi exoskeleton [2]

Ez a sétálást elősegítő váz pneumatikailag meghajtott és részben kinematikailag programozott volt, de az ember természetes mozgását csak megközelítette. Később, 1972-ben szintén Belgrádban, az ortopédiai klinikán kifejlesztettek egy pneumatikailag meghajtott, de elektronikailag programozott változatot, amely sikeresebbnek bizonyult elődjénél. 1974-ben jelent meg az első elektromos motorokat használó exoskeleton. A gyógyászatban hasznosítható típusok sikeres fejlesztésének ellenére a kutatások egy időre az ipari alkalmazás felé fordultak, hiszen az kifizetődőbbnek bizonyult. Évtizedekkel később folytatták csak érdemben a 70-es években megkezdett munkát.

A lebénult betegeknél nagy kockázatot jelent a másodlagos szövődmények kialakulása, mint például az osteoporózis, az izomatrófia, a cukorbetegség, az inzulinrezisztencia és a felfekvés. Mindezek súlyos és hosszú távú pénzügyi terhet rónak mind a családokra, mind az egészségügyi rendszerre [3] [4]. Az exoskeletonok alkalmazásának széles körben való elterjedése csökkentenén ezeket a költségeket. Számos klinika létezik már Európában is, ahol a betegek a rehabilitáció során igénybe vehetik ezt az új technológiát, azonban otthoni és közösségi használatra hozzájutni jelenleg még nehéz.

Kifejezetten a mozgásukban korlátozott embereknek gyártott exoskeletonok, például a ReWalk és az Ekso GT, de számos egyéb modellt is bemutatnak már. Az Ekso GT-t stroke- és gerincvelő-rehabilitációhoz fejlesztették. A minél természetesebb mozgást a hat szabadságfokkal rendelkező rendszer biztosítja. Az akkumulátor élettartama 6 óra és akár 150 Nm nyomaték kifejtésére is képes. A ReWalk otthoni és közösségi használatra, valamint gerincvelősérülések rehabilitációja során ajánlott. Ez a modell 2 óra 40 perces üzemi idővel és 2,2 km/h-s végsebességgel rendelkezik [5]. A mai tudományban az exoskeletonok segítségével lehetővé válik, hogy egy toloszékre kényszerült ember újra járni tudjon, igaz, még csak mankó segítségével. A váz kellő stabilitást ad ahhoz, hogy a beteg lábra tudjon állni. A csípő- és a boka-szög-beállító eszközök úgy vannak megtervezve, hogy a két láb közötti távolság kisebb legyen, mint a két csípőízületé, így a beteg könnyebben át tudja helyezni a súlypontját, ezzel irányítva a szerkezetet. Egy kínai kutatók által fejlesztett típus a CUHK-EXO mobiltelefonos applikációval segíti elő az ember és a robot összhangját [6]. (Ennek a típusnak a működési elve az 1. ábrán látható.)



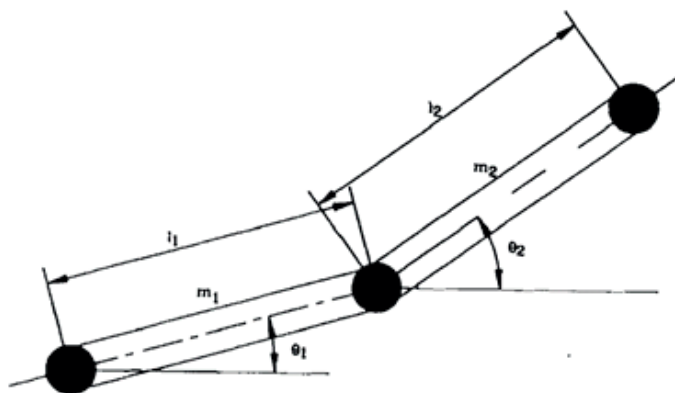
1. ábra. A CUHK-EXO működési elve [6]

A CUHK-EXO a pozíciósabályozás elvén működik, úgy van irányítva, hogy az előre meghatározott pályákat kövesse. A vezérlő architektúrája egy magas és egy alacsony szintű kontrollert tartalmaz. A magas szintű kontrolller egy PC-ben valósul meg, és arra szolgál, hogy felismerje a viselő mozgási szándékát, analizálja és kiértékelje a mozgási feltételeit, és végül referenciapályákat hozzon létre az exoskeleton számára. Az alacsony szintű vezérlőt egy Arduino DUE mikrokontrollerben valósítják meg, amelynek feladata a visszacsatoló szenzorok adatainak összegyűjtése, elküldése a magas szintű vezérlőnek és az aktuátorok szabályozása a kívánt mozgás eléréséért. Végül az aktuátorok generálják a mozgáshoz szükséges segédnyomatékokat.

A nemlineáris dinamikus rendszereket az Euler-Lagrange formulával írhatjuk le a következők szerint:

$$T_q = H(\theta)\ddot{\theta} + h(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + T_d \quad (1)$$

Ahol T_q az aktuátorok nyomatékának vektora, $H(\theta)$ a rendszer $N \times N$ -es tehetetlenségi mátrixa, $G(\theta)$ a gravitációs nyomatékvektor, T_d a külső zavaró nyomatékok vektora, θ , $\dot{\theta}$ és $\ddot{\theta}$ pedig az elfordulás mértéke, a sebesség, valamint a gyorsulás.



2. ábra. Nemlineáris dinamikus rendszer [7]

A 2. ábrán l_1 és l_2 az elemek hossza, m_1 és m_2 a tömegük, θ_1 és θ_2 pedig a vízszinteshez képest vett elfordulásuk. Ennek az egyszerű, két elemből álló rendszernek a matematikai modellje az előző (1) egyenlettel felírva tehát:

$$T_{q1} = H_{11} \ddot{\theta}_1 + H_{12} \ddot{\theta}_2 - h \dot{\theta}_2^2 - 2h \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \quad (2)$$

$$T_{q1} = H_{22} \ddot{\theta}_2 + H_{21} \ddot{\theta}_1 - h \dot{\theta}_1^2 \quad (3),$$

ahol

$$H_{11} = m_2 l_{c1}^2 + I_1 + m_2 (l_{c1}^2 + l_{c1}^2 + 2l_1 l_{c2} \cos \theta_2) + I_2 \quad (4)$$

$$H_{12} = H_{21} = m_2 l_1 l_{c2} \cos \theta_2 + m_2 l_{c2}^2 + I_2 \quad (5)$$

$$H_{22} = m_2 l_{c2}^2 + I_2 \quad (6)$$

$$h = m_2 l_1 l_{c2} \sin \theta_2 \quad (7)$$

Itt I jelöli az egyes elemek tehetetlenségi nyomatékát, l_c pedig az elemek hosszát a kapcsolódástól a súlypontjukig. Az egyenletben a gravitációs nyomatékvektorral nem kellett számolnunk, hiszen a kar csak vízszintes síkban mozog [7].

A CUHK-EXO-hoz fejlesztett telefonos alkalmazás segítségével *összekapcsolható* az exoskeleton és a hozzá tartozó „okos” mankó, amelyből további információkat nyernek az eszköz intelligens vezérléséhez, valamint visszajelzéssel szolgál a terapeuta számára is. Figyelemmel tudják kísérni a valós idejű szögelfordulásokat és forgatónyomatékokat, a páciens pedig nyomon követheti a teljesítményét. A CHUK-EXO használata így biztonságosabb és kényelmesebb, mint az eddigi típusoké. Habár az orvosi felhasználás során az alsó végtagok mozgását segítő szerkezetekre tértem ki, nem csak ilyenek léteznek. Rehabilitáció céljából készítenek sokféle típust, amely a kar, valamint a kézfej és az ujjak mozgását is segíti.

Exoskeletonok az iparban

Az iparban már nemcsak külön fejlesztenek prototípusokat alsó és felső végtagokra, hanem a céltól függően akár az egész test mozgását könnyítő szerkezeteket hoznak létre. A minél hatékonyabb munkavégzés mindig is fontos szempont volt a vállalatok számára. Az első ipari robotot az amerikai Joseph Engelberger tervezte 1961-ben [2], négy évvel később pedig megkezdődött az első aktív exoskeleton fejlesztése „Hardiman” néven [8]. A 70-es évektől kezdve az ipari robotika intenzív fejlődésnek indult. Bizonyos feladatok elvégzésében teljesen átvették a munkások szerepét, azonban számos esetben szükség van az emberi ítélőképességre és döntéshozásra. A technika rohamos fejlődése lehetővé teszi, hogy az exoskeletonok segítségével az emberi intelligenciát, ösztönöket és ítélőképességet ötvözzék a robotok erősségével és precizitásával, ezzel növelve a munkavállaló teljesítményét. Főként olyan munkálatok során jelennek nagy előnyt, amelyben a robotika alkalmazása és automatizálása kihívást jelent. Ilyen például az autógyárakban a régi típusok szerelése. A különböző összeállítások miatt ennek a folyamatnak a robotizálása nagyon bonyolult és költséges.



2. kép. Exoskeleton alkalmazása az autógyártásban [9]

Az exoskeleton elősegíti a biztonságos munkavégzést is. A Sarcos Guardian prototípusainál a váz és a teher összes súlyát a szerkezeten keresztül a földre vezetik át, teljes egészében tehermentesítve ezzel a dolgozót. Ennek segítségével meggátolják, hogy olyan mozdulatokat tegyenek a munkások, amely során megsérülhetnek az alkatrészek mozgatása közben. Az XO típus maximum terhelhetősége 91 kg, ami jóval meghaladja az átlagosan egy vagy két ember által megmozgatott 18 és 27 kg-ot is [10]. Használatuk biztonsági szempontból is előnyös, ugyanis csökkentik a rakodógépek és targoncák használatából adódó baleseteket, hiszen az exoskeletonok alkalmazásával szinte teljesen kiküszöbölhető ez a fajta veszélyforrás. Másik előnye, hogy kiiktatja a munkások fáradtságából adódó termelés-csökkenést és a kifinomult szoftvernek köszönhetően a hibák számát is redukálják amellet, hogy nagy pontossággal végezhető el az adott feladat.

Az akkumulátorok problémái

Az adott helyhez kötött alkalmazás során még nem tűnik olyan fontosnak az akkumulátor élettartamának kérdése, hiszen könnyen megoldható ezek cseréje, valamint töltése. Ez sajnos nem minden esetben lehetséges; például az orvosi, valamint katonai felhasználásnak lényegi kérdése a rendelkezésre álló villamos energia mennyisége.

Az exoskeletonok fejlesztésén folyamatosan dolgoznak, az egyik legfontosabb megoldandó probléma az akkumulátor hatáskörének növelése lenne. Sorra kell vennünk a lehetőségeket, amelyek eredményességre vezethetnek. Megoldás lehet:

- az akkumulátorok üzemidejének növelése,
- a felhasznált energia csökkentése,
- az energia visszapótlása,
- más, alternatív megoldások.

Alternatív megoldás lehetne nem villamos energiával történő meghajtás, ez azonban már elavultnak számít. Voltak típusok, amelyeket belső égésű motorokkal terveztek, például az amerikai Raytheon XOS2-es szerkezetet kétütemű belső égésű motorral hajtották meg, vagy vezetéken kapott a működéshez áramot [13]. Ez a fajta megoldás nem felel meg minden elvárásnak. A magas üzemi hőfok és a szükséges hűtés miatt a szerkezet mérete meglehetősen nagy volt, valamint a csendes üzem sem valósult meg ezzel a kivitelezési formával. Ezek kiküszöbölése érdekében kizárólag az elektromos hajtás jöhet szóba. A mozgatáshoz felhasználnak elektromos működtetésű hidraulikus hengereket is, amelyekkel arra törekednek, hogy minél kevesebb villamos energiát fogyasszon a szerkezet az üzem során, így növelve az akkumulátor élettartamát. Pneumatikus hengerek nem alkalmazhatók erre a célra, mivel a levegő tulajdonságai erősen hőmérsékletfüggők így a pontos szabályozásuk nehéz. A kisebb energiaigény kézenfekvő módszer lehet, hiszen a fogyasztás mérséklése növeli az ugyanazzal az energiaforrással történő meghajtás üzemidejét. Mivel azonban a villanymotorok hatásfoka jelenleg is 90% körül alakul, itt sem található számottevő fejlesztési potenciál [14]. Az akkumulátorok üzemidejének növelése érdekében számos kutatás folyik, hiszen napjainkban ez a minket körülvevő legtöbb eszköznek lényegi kérdése. Az akkumulátortechnológia a jelenben és a belátható jövőben is szinte teljesen a lítiumra épül, azonban ez nem zárja ki a fejlesztési lehetőségeket, mert az elektródák anyagának megválasztása nagyban befolyásolja a teljesítményt. Kísérleteznek például lítium–levegő akkumulátorokkal, amelyek elméleti energiasűrűsége akár 11,425 kWh/kg is lehet, viszont ezek alkalmazási hátrányait még nem sikerült kiküszöbölni olyan mértékben, hogy használatuk biztonságos, gazdaságos és megbízható legyen [15].

Következtetések, javaslatok

Kutatásaim során arra a következtetésre jutottam, hogy az exoskeletonok vizsgálata aktuális kérdés, a berendezések viszont elsősorban katonai alkalmazási területeken lettek folyamatosan fejlesztve, így a civil megoldások elmaradtak. A kutatók törekednek arra, hogy az exoskeletonok a jövőben olyan embereket is képesek legyenek segíteni, akik eddig nem tudtak munkát végezni, ezzel megadva nekik a lehetőséget az aktív dolgozók körébe való reintegrációra. A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján [11] Magyarországon a 19–64 éves megváltozott munkaképességű emberek száma összesen 680 712, ebből azonban csak 141 787-en vállalnak munkát. Tanulmányok bizonyították [12], hogy az exoskeletonok alkalmazása hosszú távon megtérülne, hiszen nőne a munkavállalók száma, valamint a termelés is.

Az iparban már most az egészségügyi céllal gyártott készülékek vannak jelen a legnagyobb számban (a katonai exoskeletonokat nem számítva), és ez várhatóan nem is fog változni, ugyanakkor megállapítható, hogy az ipar különféle területein felhasználható berendezések száma is növekedésnek indult [16]. A további fejlesztéseket véleményem szerint a különlegesen nehéz körülmények között műszaki mentést végző tűzoltók [17] munkájának támogatására is ki kellene terjeszteni. Azokban az esetekben, amikor a nehéz szakszerezéseket gyalogos erővel kell a beavatkozások helyszínére vinni, vagy hosszabb ideig kézi erővel tartani, nagy segítséget nyújthatnának az exoskeletonok.

Összefoglalás

Írásomban rámutattam az exoskeletonok civil felhasználásának néhány lehetőségére és az alkalmazások előnyeire. A széles körű elterjedés érdekében fontos, hogy az eszköz a megfelelő szabályozás elérése mellett felhasználóbarát legyen, valamint elérhető áron lehessen megtalálni a piacon. Az előrejelzések alapján a szélesebb körben való alkalmazás és az egyre megbízhatóbb kivitelezés következtében 2017 és 2026 között az exoskeletonok száma rohamos ütemben fog növekedni. Az érdeklődés várhatóan nagy lesz, ebből adódóan pedig a piaci verseny még jobban fogja ösztönözni a cégeket a fejlesztésekre és a költségek csökkentésére. Az exoskeletonokkal dolgozni sokkal gyorsabb és kevésbé körülményes, mint bármely más egyéb emelő szerkezettel.

Felhasznált irodalom

- [1] HORVÁTH Péter – BALLAGI Áron – NAGY Attila – KUTI Rajmund (2018): Az exoskeletonok katonai alkalmazási lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 28. évf. 2. sz. 35–43. Forrás: http://hhk.archiv.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/PDF_2018_2sz/PDF_2018_2sz.pdf (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.)
- [2] VUKOBRATOVIC, Miomir K. (2006): *When were active exoskeletons actually born?* 8. Forrás: <https://pdfs.semanticscholar.org/6429/79685b829d2ee46540e2e7f3719c9c14447d.pdf> (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.) DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219843607001163>
- [3] HORVÁTH Péter – HAJDU Flóra – RÁCZ Péter (2014): Kádlift koncepcionális tervezése. *GÉP*, 65. évf. 6–7. sz. 46–49.
- [4] HAJDU Flóra – HORVÁTH Péter (2016): Design of a new bathlift construction. *Naucni Izvestija: Scientific Proceedings of the Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering*, 15/201. 7–11.
- [5] RUPAL, Baltej Singh et al. (2017): Lower-limb exoskeletons: Research trends and regulatory guidelines in medical and non-medical applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 14, No. 6. 1–27. Forrás: www.researchgate.net/publication/320407167_Lower-Limb_Exoskeletons_Research_Trends_and_Regulatory_Guidelines_in_Medical_and_Non-medical_Applications (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.) DOI: <https://doi.org/10.1177/1729881417743554>
- [6] BING, Chen et al. (2017): A wearable exoskeleton suit for motion assistance to paralysed patients. *Journal of Orthopaedic Translation*, No. 11. 7–18. Forrás: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214031X16303023 (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jot.2017.02.007>
- [7] HEWIT, JAMES R. – MEERAN, Sheik – MAILAH, Musa (1996): Active force control applied to a rigid robot arm. *Jurnal Mekanikal, Jilid II*. 4–5. Forrás: <https://core.ac.uk/download/pdf/11784225.pdf> (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.)
- [8] ÖNEN, Ümit et al. (2014): Design and Actuator Selection of a Lower Extremity Exoskeleton. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 19, No. 2. 615–623. Forrás: www.researchgate.net/profile/Mete_Kalyoncu/publication/260523875_Design_and_Actuator_Selection_of_a_Lower_Extremity_Exoskeleton/links/55f8710708aeafc8ac0f8603/Design-and-Actuator-Selection-of-a-Lower-Extremity-Exoskeleton.pdf (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.) DOI: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2013.2250295>
- [9] MARINOV, Bobby (2017): *BMW Group Harnesses The Potential of Exoskeleton Technology*. Forrás: <https://exoskeletonreport.com/2017/03/mw-group-harnesses-the-potential-exoskeleton-technology> (A letöltés dátuma: 2018. 11. 03.)

- [10] WOLFF, Ben (2018): *The Promise of Powered Industrial Exoskeletons: Reducing Occupational Injuries One "Lift" at a Time*. Forrás: <https://exoskeletonreport.com/2018/04/the-promise-of-powered-industrial-exoskeletons-reducing-occupational-injuries-one-lift-at-a-time> (A letöltés dátuma: 2018. 10. 27.)
- [11] A 19–64 éves megváltozott és nem megváltozott munkaképességű népesség demográfiai jellemzői gazdasági aktivitás szerint, 2015. I. negyedév (2015). Központi Statisztikai Hivatal. Forrás: www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_megvamk9_02_03a.html (A letöltés dátuma: 2018. 10. 27.)
- [12] DAHMEN, Christian – WÖLLECKE, Frank – CONSTANTINESCU, Carmen (2017): Challenges and possible solutions for enhancing the workplaces of the future by integrating smart and adaptive exoskeletons. *Proceedings of the 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, 268–273. Forrás: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117311551 (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.211>
- [13] BECIRI, Damir (2010): *Raytheon's second-generation exoskeleton XOS 2*. Forrás: www.robaid.com/bionics/raytheons-second-generation-exoskeleton-xos-2.htm (A letöltés dátuma: 2018. 10. 27.)
- [14] VÉGVÁRI Zsolt (2016): Akkumulátorok a gyalogos lövészkatonák felszerelésében, a fejlesztés lehetséges irányai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 2016/2.
- [15] ZHAO, Yajun et al. (2018): Perovskite oxides La_{0.4}Sr_{0.6}CoxMn_{1-x}O₃ (x = 0, 0.2, 0.4) as an effective electrocatalyst for lithium-dair batteries. *Green Energy & Environment*, Vol. 3, No. 1. 78–85. Forrás: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468025717301838 (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gee.2017.12.001>
- [16] BIS Research Inc. (2017): *Global Wearable Robotic Exoskeleton Market – Analysis and Forecast 2017–2026 (Executive Summary)*. Forrás: <https://bisresearch.com/industry-report/global-wearable-robotic-exoskeleton-market-2026.html> (A letöltés dátuma: 2018. 10. 11.)
- [17] GALINA, Horváth – RAJMUND, Kuti (2017): Задачи руководителя аварийно-спасательных работ по ликвидации аварий при перевозке опасных веществ автотранспортом. *Pozhary i Chrezvychajnye Situacii, Predotvrashenie Likvidacia*, No. 1.30–34. DOI: <https://doi.org/10.25257/FE.2017.1.30-34>