

Z. Šarić, S. Damjanović Dešić, T. Mudrovčić\*

## PREDNOSTI I IZAZOVI U PRIMJENI PROFESIONALNIH EGZOSKELETA

UDK 616.71:616.74]611.71

PRIMLJENO: 29.11.2024.

PRIHVAĆENO: 10.3.2025.

Ovo djelo je dano na korištenje pod Creative Commons Attribution 4.0 International License



*SAŽETAK: Egzoskeleti su nosivi uređaji koji mogu podržati mišićno-koštani sustav koristeći različita mehanička načela. S obzirom na mišićno-koštane poremećaje, egzoskeleti mogu smanjiti mišićni stres kod pogođenih dijelova tijela, primjerice donjeg dijela leđa ili ramena. Do sada je razvijeno nekoliko vrsta egzoskeleta koji se koriste u različite svrhe. Egzoskeleti se mogu koristiti za olakšavanje oporavka tijekom rehabilitacije kako bi se pomoglo u održavanju ravnoteže i poboljšala mobilnost, u vojnim aktivnostima za poboljšanje vještina rukovanja oružjem i povećanja izdržljivosti dugotrajnog hodanja, tijekom treninga za poboljšanje rada mišića tijekom izvođenja vježbi u teretani. U posljednjih nekoliko godina egzoskeleti svoju primjenu pronalaze i u radnom okruženju gdje pomažu radnicima smanjenjem statodinamičkih opterećenja smanjujući na taj način umor, iscrpljenost te posljedično i mogućnost ozljeda. Uporaba profesionalnih egzoskeleta je široka i rasprostranjena u velikom broju djelatnosti kao što su poljoprivreda, autoindustrija, logistika i skladištenje, zdravstvena skrb, građevinska industrija i mnoge druge. Iako bi potencijalna korist od egzoskeleta u sprječavanju mišićno-koštanih poremećaja mogla biti značajna, potrebno je uzeti u obzir da uporaba takvih pomoćnih uređaja otvara nova pitanja u vezi sa sigurnošću i zdravljem na radu. Dugoročni zdravstveni učinci korištenja egzoskeleta još se istražuju. Stoga je važno temeljito procijeniti opasnosti i rizike na radnom mjestu na kojem se egzoskelet koristi.*

**Ključne riječi:** egzoskeleti, mišićno-koštani poremećaji, smanjenje statodinamičkih opterećenja

### UVOD

Mišićno-koštani poremećaji (MKP) pripadaju najčešćim bolestima povezanim s radom. S obzirom da se procjenjuje da je u zemljama Europske unije oko 44 milijuna radnika na svojem radnom mjestu izloženo statodinamičkim naporima koji mogu uzrokovati MKP, mnogi poslodavci u različitim sektorima se susreću s velikim izdacima za troškove bolovanja, liječenja i smanjenjem proizvodnje. MKP povezani s radom zahvaćaju leđa, vrat, ramena, gornje i donje udove. Obuhvaćaju sva oštećenja ili poremećaje u vezi sa

zglobovima ili drugim tkivima. Zdravstveni problemi uključuju sve, od blagih bolova i smetnji do ozbiljnih medicinskih stanja koja zahtijevaju bolovanje i/ili liječenje. U kroničnim slučajevima mogu dovesti do invalidnosti i potpunog prestanka rada (*EUOSHA – Work related musculoskeletal disorders in Europe, 2000.*). Kako bi se pružila podrška radnicima tijekom radno intenzivnih zadataka i potencijalno smanjila učestalost MKP, na tržište rada uveden je niz egzoskeleta. Egzoskeleti mogu smanjiti čimbenike rizika povezane s MKP rasterećujući strukture kralježnice (npr. lumbalni disk). Rasterećenje kralježnice postiže se djelovanjem pasivnih ili aktivnih sila okomito ili paralelno s kralježničnim stupom koje djeluju na prsnu kost ili prsni koš korisnika (*de Looze et al., 2016.*).

\*Zlatko Šarić, dipl. ing. agr., (zlatko.saric@hzjz.hr), (autor za dopisivanje), Sonja Damjanović Dešić, dipl. ing. kem., Tina Mudrovčić, dipl. ing. sig., Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Zagreb, Hrvatska.

## RAZVOJ EGZOSKELETA

Šezdesetih godina prošlog stoljeća počeli su se pojavljivati prvi „mobilni strojevi“ integrirani s ljudskim pokretima. Odijelo nazvano „Hardiman“ (slika 1) zajednički su razvili General Electric i američke oružane snage. Odijelo se pokretalo pomoću hidrauličnog pogona uz dodatno napajanje električnom energijom. Takvo odijelo pojačalo je snagu nositelja za faktor 25, što znači da bi se podizanje 110 kilograma osjećalo kao da se podiže 4,5 kilograma. Značajka koja se zove povratna veza sile omogućila je nositelju da osjeti sile i objekte kojima se manipulira.

Hardiman je imao velika ograničenja, uključujući samu njegovu težinu od 680 kilograma. Bio je dizajniran na način da je operater bio u glavnom odijelu okružen vanjskim podređenim odijelom, koje je obavljalo rad kao odgovor na pokrete operatera. Vrijeme odziva za robotsko odijelo bilo je sporo, a pogreške su uzrokovale "nasilno i nekontrolirano kretanje stroja" prilikom pomicanja obje noge istovremeno. Hardimanova spora brzina hodanja od 0,76 metara u sekundi dodatno je ograničila praktičnu uporabu i projekt je bio zaustavljen (*Exoskeletons History – part 3, 2023.*).



Slika 1. Egzoskelet GE Hardiman I  
Figure 1. GE Hardiman I exoskeleton

U ranim 2000-ima, egzoskeleti su se prilagođavali zahtjevima rada u biomedicinskoj industriji kako bi bili manji i lakši za podršku u programima fizičke rehabilitacije, a tijekom razvoja su

modificirani sensorima, mobilnim jedinicama za napajanje i baterijama te su iskorištavali vrhunsku procesorsku snagu i brzine rada tehnologije modernog doba.

Ipak, tek u razdoblju od 2014. do 2016. egzoskeleti su ponovno počeli izazivati interes u industrijskim primjenama. Veliki razlog ponovnog interesa bio je obnovljeni dizajn mnogih podjedinica egzoskeleta, koje su bile manje nezgrapne i sada su imale djelomičnu, agilnu ili pasivnu podršku koja je dopuštala primjenu različitih podjedinica u različitim sektorima prema potrebi (*TECHWIRE Asia, 2024.*).

## PROFESIONALNI EGZOSKELETI

Egzoskelet je dizajniran imajući na umu ljudsku antropometriju i biomehaniku kako bi tijekom nošenja povećao ljudsku snagu ili povećao izdržljivost. Profesionalni egzoskeleti su nosivi uređaji dizajnirani za povećanje ljudske učinkovitosti u različitim radnim okruženjima. Ti su uređaji često izrađeni od materijala kao što su ugljična vlakna, aluminij ili plastika, a sastoje se od laganog okvira ili strukture koja se nosi na torzu, rukama ili nogama (*Botti, Melloni, 2023.*). Sve veći interes industrije za profesionalne egzoskelete potaknut je s nekoliko čimbenika. Prije svega, sve je veća svijest o rizicima od MKP na radnom mjestu, koji mogu biti posljedica ponavljajućih ili intenzivnih manualnih zadataka. Istovremeno se razvijaju i proizvode sve lakši egzoskeleti koji su udobniji za nošenje, a ujedno postaju sve dostupniji zbog snižavanja nabavne cijene.

U određenim proizvodnim ili skladišnim okruženjima koja zahtijevaju visoku razinu fleksibilnosti, uvođenje potpune automatizacije bila bi pretjerano skupa ili čak nemoguća za implementaciju, stoga su radnici koji moraju obavljati određene aktivnosti u industrijskom procesu izloženi riziku dobivanja MKP.

Studije su otkrile da je sustav egzoskeleta održivo alternativno rješenje za smanjenje MKP kod ručno obavljanih zadataka. Prednost egzoskeleta je njihova fleksibilnost u prilagodbi rada/zadatka uz održavanje sigurnog i učinkovitog rada kroz automatizaciju koja bi mogla biti bolja opcija od robotskog sustava (*Ghan et al., 2024.*).

## Vrste profesionalnih egzoskeleta

Egzoskeleti se dijele prema:

- fokusiranom dijelu tijela (za cijelo tijelo, za gornje ekstremitete, za donje ekstremitete) i za određene udove (noga, šaka, ruka, prst)
- kinematičkoj strukturi (mekani i kruti)
- kategoriji djelovanja (pasivni, poluaktivni i aktivni)
- tehnologiji pokretanja (mehanizmi pokretani ljudskom snagom, hidraulički, pneumatski i električni aktuatori); (*Flor-Unda et al., 2023.*)

Egzoskeleti za određene udove i specifične zglobove dizajnirani su za koljeno, gležanj, šaku, ruku, stopalo itd. Mekani egzoskelet koji ima mekanu kinematičku strukturu koristi fleksibilne elemente izrađene od tekstila i umjetnih mišića koji se prilagođavaju strukturi tijela radnika dok se tip krutog egzoskeleta sastoji od krutih strukturnih elemenata koji omogućuju pokretljivost korisnika (*Flor-Unda et al., 2023.*).

Aktivni egzoskeleti koriste elemente koji generiraju silu i okretni moment kao što su električni motori, pneumatika ili hidraulika kako bi pružili dodatnu snagu korisniku. Nedostatak im je u češćem punjenju baterije, čime se ograničava vrijeme uporabe.

Poluaktivni egzoskeleti su mehanički okviri koji uključuju ugrađene baterije, senzore i druge električne komponente, ali niti jedna od njih se ne koristi kao primarni izvor energije (*Milwakee tool, 2022.*). Snaga se isporučuje samo prema potrebi i koriste se prednosti mehaničkih elemenata kako bi se smanjila potreba za dodatnim izvorom energije (*Robotics tomorrow, 2021.*).

Pasivni egzoskeleti nemaju izvore energije i korisnici sami izvode pokrete za rad. Koriste poluge, opruge, sile protuteže i druge neelektrične elemente za podupiranje držanja ili kretanja korisnika. Pasivni egzoskeleti redistribuiraju sile kako bi zaštitili određene dijelove tijela. Promjena u performansama korisnika ne proizlazi iz dodatne fizičke snage, već iz sposobnosti održavanja položaja tijela tijekom duljeg razdoblja (npr. rad

iznad glave). Prednost toga što ne trebaju dodatni izvor energije je da se rad može kontinuirano obavljati. Glavna funkcija egzoskeleta bez pogona je pretvaranje potencijalne energije gravitacije ljudskog tijela, energije gibanja ili vanjskog opterećenja u element za pohranu energije kako bi se zamijenila nosiva sila ljudskih kostiju i zglobova. Konkretno, kada ljudsko tijelo mora podnijeti golemu udarnu silu, većinu sile apsorbira pasivni egzoskelet (*Tang et al., 2022.*).

## Primjena profesionalnih egzoskeleta u raznim djelatnostima

Uporaba profesionalnih egzoskeleta je široka i rasprostranjena u velikom broju djelatnosti i to, u poljoprivredi, autoindustriji i građevinarstvu. U nastavku se daje konkretna primjena egzoskeleta kroz razne aktivnosti radnika.

### Poljoprivreda

Prednosti uporabe egzoskeleta u poljoprivredi su:

- poboljšano zdravlje radnika
- smanjenje osjećaja boli u ekstremitetima i ozljeda povezanih s radom zahvaljujući snazi koju nudi egzoskelet
- poboljšano držanje i ergonomija zahvaljujući egzoskeletnom potpornom pojasu
- smanjeni umor kod radnika
- poboljšana produktivnost
- sigurnije podizanje i rukovanje teškim teretima
- ubrzanje određenih radnih zadataka
- ekonomičnost: smanjenje troškova povezanih s ozljedama, izostancima s posla i bolovanjima
- povećanje kvalitete i preciznosti obavljenog posla
- poboljšana izdržljivost i pouzdanost radnika
- uključivanje u radne aktivnosti radnika s fizičkim ograničenjima (omogućavanje radnicima s fizičkim ograničenjima da u potpunosti sudjeluju u radu); (*Umanistic, 2024.*).

S obzirom da je poljoprivreda djelatnost s velikim udjelom tjelesnog rada, egzoskelet se može koristiti kod mnogobrojnih poljoprivrednih aktivnosti poput:

- berbe (slika 2); (prisutno je često saginjanje, čučanje ili stajanje gdje egzoskeleti lumbalne potpore mogu smanjiti umor i naprezanje u donjem dijelu leđa)



Slika 2. Uporaba egzoskeleta u vinogradu

Figure 2. Use of exoskeletons in the vineyard

- rada na tlu ili blizu tla (slika 3); (pljevljenje, sadnja, grabljanje, lopatanje, štihanje, čišćenje staje i slični poslovi gdje pomoć mogu pružiti egzoskeleti za podupiranje leđa i lumbalnog dijela)



Slika 3. Uporaba egzoskeleta kod čišćenja staje

Figure 3. Use of exoskeleton when cleaning the stable

- rukovanja teškim teretima (slika 4); (nošenje vreća gnojiva, sanduka s voćem ili povrćem, namještanje teških priključaka i slično mogu olakšati egzoskeleti koji pružaju potporu rukama, ramenima i leđima)



Slika 4. Uporaba egzoskeleta kod manipulacije teretom

Figure 4. Use of exoskeletons in cargo manipulation

- obavljanja ponavljajućih zadataka (slika 5); (u staklenicima, plastenicima, šišanja živice ili na farmama kod mužnje krava egzoskeleti mogu pomoći u smanjenju umora mišića i spriječiti ozljede uzrokovane ponavljajućim pokretima); (*Umanistic, 2024.*)



Slika 5. Uporaba egzoskeleta kod mužnje i prilikom šišanja živice

Figure 5. Use of exoskeletons for milking and hedge trimming

### Autoindustrija

U automobilskoj industriji gdje radnici često obavljaju zadatke koji se ponavljaju i rad obavljaju u nepovoljnom položaju tijela, uporaba egzoskeleta može pomoći u smanjenju umora mišića i spriječiti poremećaje mišićno-koštanog sustava podupiranjem ruku, leđa, vrata i nogu radnika, smanjujući umor i rizik od ozljeda. Među velikim

proizvođačima, Ford je prepoznat kao pionirska tvrtka u korištenju egzoskeleta (prva implementacija datira iz 2018. godine). I druge velike auto-tvrtke vremenom su uvele uporabu egzoskeleta u određene radne procese (*Umanistic, 2024.*).

Ti radni procesi su:

- bojenje i dorada (slika 6); (radnici moraju izvoditi precizne pokrete koji se ponavljaju, često iznad glave, a ponekad i teškim alatima, a egzoskeleti pružaju dodatnu potporu rukama, omogućujući radnicima da dulje zadrže stabilne položaje bez pretjeranog umora)
- održavanje i popravak (slika 6); (zadaci održavanja i popravaka u automobilskim radionicama često uključuju rad u nezgodnim položajima, kao što je čučanje, saginjanje ili rad s rukama na visini gdje egzoskeleti pomažu u održavanju pravilnog držanja i smanjenju opterećenja mišića i zglobova, čime se poboljšava sigurnost, zdravlje i učinkovitost radnika); (*Umanistic, 2024.*).



*Slika 6. Uporaba egzoskeleta kod bojenja i popravka vozila*

*Figure 6. Use of exoskeletons in vehicle painting and repair*

### **Građevinarstvo**

U građevinarstvu, egzoskeleti poput nosivog balansera za građevinske alate (slika 7) mogu pomoći radnicima u podizanju teških alata, čime se smanjuje rizik od ozljeda leđa, ili uređaja koji podupiru ruke i ramena (slika 8) te pomažu u zada-

cima koji zahtijevaju dulja razdoblja rada iznad glave. Egzoskeleti se mogu integrirati s osobnom zaštitnom opremom (OZO) kako bi se povećala sigurnost radnika. Na primjer, u egzoskeletalna odijela može se ugraditi sustav zaštitnih pojasa, koji mogu pružiti mehaničku potporu i zaštitu od pada — kombinirajući prednosti OZO i tehnologije egzoskeleta.



*Slika 7. Egzoskelet za nošenje težeg građevinskog alata*

*Figure 7. Exoskeleton for carrying heavier construction tools*



*Slika 8. Egzoskelet za potporu ramena i vrata*

*Figure 8. Exoskeleton for shoulder and neck support*

### **Primjena egzoskeleta u drugim djelatnostima**

U sustavu zdravstvene skrbi medicinske sestre i njegovatelji mogu imati koristi od egzoskeleta koji pomažu u podizanju i premještanju pacijenata, smanjujući rizik od ozljeda leđa. Također, kirurzi mogu nositi egzoskelete kako bi smanjili umor tijekom dugih postupaka operativnog zahvata, poboljšavajući preciznost i izdržljivost. U logistici i skladištu te u zračnim lukama za pretpovar prtljage gdje radnici obavljaju aktivnosti rukovanja teretima i zadatke koji se ponavljaju, egzoskeleti se mogu koristiti kao potpora pri utovaru i istovaru robe, smanjujući fizički napor i kumulativan utjecaj ponavljajućih pokreta.

U Republici Hrvatskoj nema podataka o konkretnim hrvatskih tvrtkama koje koriste egzoskelete u svojim radnim procesima. Na hrvatskom tržištu postoje tvrtke koje prodaju pasivni egzoskelet za olakšavanje opterećenja ramena i ruku tijekom rada u području iznad glave i nosivi egzoskelet koji se može koristiti za ublažavanje umora ramena i vrata pri radu rukama iznad razine ramena (*Zavarivanje info, 2024.*).

### **Prednosti, izazovi i budući izgledi egzoskeleta**

Prednosti korištenja profesionalnih egzoskeleta su prevencija ozljeda, povećana produktivnost, dobrobit radnika i ušteda troškova. Prevencija ozljeda je moguća jer egzoskeleti smanjuju rizik od MKP povezanih s radom oslobađanjem težine tereta i podržavanjem tijela u napornim aktivnostima. Poboljšana produktivnost može se ostvariti smanjenjem umora pri čemu radnici mogu održavati višu razinu produktivnosti tijekom duljih razdoblja (*Lazzaroni et al., 2022.*).

U svakom slučaju, u primjeni industrijskih egzoskeleta puno je i izazova. Radnici mogu oklijevati s prihvaćanjem novih tehnologija zbog problema s udobnošću, percipirane stigmatizacije ili straha od premještanja postojećih radnih mjesta. Početna ulaganja u egzoskelete mogu biti visoka, što može predstavljati prepreku za mala i srednja poduzeća. Postoje i neki izazovi u ergonomiji i udobnosti jer se mora osigurati da su egzoskeleti udobni za dugotrajno nošenje i da ne ograničavaju kretanje što je ključno za prihvaćanje korisnika. I na kraju, svi egzoskeleti imaju tehnička ograničenja u pogledu trajanja baterije (aktivni), težine i prilagodljivosti različitim zadacima i tipovima tijela.

Trenutna istraživanja razvoja egzoskeleta usmjerena su na poboljšanje izvora energije, smanjenje težine i povećanje prilagodljivosti egzoskeleta različitim zadacima. Potrebno je integrirati egzoskelet s pametnim tehnologijama jer mogu sadržavati senzore i umjetnu inteligenciju za pružanje povratnih informacija i prilagodbu u stvarnom vremenu, dodatno poboljšavajući njihovu učinkovitost i uporabljivost. Sveobuhvatni programi poduke za radnike i menadžment mogu poboljšati prihvaćanje i maksimizirati prednosti egzoskeleta.

Egzoskeleti se mogu smatrati vrstom osobne zaštitne opreme. Kao i kod svih OZO, egzoskeleti ne bi trebali biti jedina kontrolna mjera koja se razmatra. Slijedeći hijerarhiju mjera (1. eliminacija, odnosno izbjegavanje rizika, 2. zamjena neopasnim ili manje opasnim, 3. izolacija procesa, odnosno tehničke mjere zaštite, 4. osobna zaštitna oprema) egzoskelet se dodjeljuje radniku nakon što je utvrđeno da sve prethodne mjere nisu dovele do zadovoljavajućeg smanjenja rizika za radnika.

Na primjer, treba razmisliti o korištenju egzoskeleta u kombinaciji s rotacijom poslova (mjera administrativne kontrole) kako bi se radniku pružila dodatna zaštita od ozljeda mišićno-koštanog sustava.

### **ZAKLJUČAK**

Iako egzoskeleti mogu poboljšati određene ljudske sposobnosti i povećati sigurnost radnika, njihova uporaba također može dovesti do novih opasnosti. Potencijalni rizici korištenja egzoskeleta uključuju trenje i ozljede od izravnog kontakta između egzoskeleta i korisnika, hiperekstenziju zglobova, nenamjerni kontakt, sudar, izloženost vibracijama, prenaprezanje i nestabilnost radnika. Egzoskeleti također mogu stvarati neugodan pritisak na tijelo ili biti preteški da bi ih radnici mogli udobno nositi. Na primjer, egzoskeleti gornjeg dijela tijela koji su korisni kada radnik obavlja rad iznad glave mogu dodatno, svojom težinom, opterećivati leđa radnika kada se treba sagnuti.

Neki egzoskeleti preraspodjeljuju sile na druge dijelove tijela kako bi radnici mogli dulje držati položaj tijela. Važno je paziti da preraspodjela sile ne izazove nove zdravstvene opasnosti za druge dijelove tijela.

Dugoročni zdravstveni učinci korištenja egzoskeleta još se istražuju. Stoga je važno temeljito procijeniti opasnosti i rizike na radnom mjestu na kojem se egzoskelet koristi.

Dodatna snaga ili izdržljivost koju pruža nošenje egzoskeleta mogla bi potencijalno potaknuti radnike na rad s više rizika. Radnici mogu pokušati raditi dulje vrijeme bez pauze ili pokušati nositi teže terete. Tvrtke također mogu biti u iskušenju

povećanja svojih proizvodnih ciljeva znajući da egzoskeleti mogu pomoći radnicima da se nose s težim teretima ili da rade dulje prije nego što se umore (CCOHS, 2022.).

Profesionalni egzoskeleti predstavljaju obećavajući napredak u ergonomiji i sigurnosti na radnom mjestu. Dok izazovi ostaju, osobito u smislu troškova i prihvaćanja od strane korisnika, potencijalne prednosti u prevenciji ozljeda, produktivnosti i dobrobiti radnika čine ih vrijednim ulaganjem za mnoge industrije. Stalna tehnološka poboljšanja i politike podrške bit će ključ njihove uspješne integracije u radnu snagu (OH&S, 2024.).

## LITERATURA

Advances in Exoskeletons for Injury Prevention in Manual Labor Industries, *Occupational Health and Safety*, dostupno na: <https://ohsonline.com/Articles/2024/11/18/Advances-in-Exoskeletons-for-Injury-Prevention-in-Manual-Labor-Industries.aspx>, pristupljeno: 20. 11. 2024.

Botti, L., Melloni, R.: *Occupational Exoskeletons: Understanding the Impact on Workers and Suggesting Guidelines for Practitioners and Future Research Needs*, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/app14010084>, pristupljeno 20. 11. 2024.

CCOHS (Canadian Centre for Occupational Health and Safety), *Safety Hazards – Exoskeletons*, dostupno na: [https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety\\_haz/exoskeletons.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/exoskeletons.html), pristupljeno 25. 11. 2024.

de Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K., S., O'Sullivan L.W.: Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load, *Ergonomics*, 59, 2016., 5, 671-81, dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/264444053/>, pristupljeno: 30. 10. 2024.

EU OSHA- *Work related musculoskeletal disorders in Europe*, dostupno na: [https://osha.europa.eu/sites/default/files/Factsheet\\_3\\_-\\_Work\\_related\\_musculoskeletal\\_disorders\\_in\\_Europe\\_en.pdf](https://osha.europa.eu/sites/default/files/Factsheet_3_-_Work_related_musculoskeletal_disorders_in_Europe_en.pdf), pristupljeno: 24.11. 2024.

*Exoskeletons History – part 3*, dostupno na: <https://www.mechatech.co.uk/journal/exoskeletons-history-part-3>, pristupljeno 20. 10. 2024.

*Exoskeletons in Construction and Heavy Industries: Can They Really Handle the Tough Jobs?*, 2024., dostupno na: <https://ohsonline.com/Articles/2024/10/17/Exoskeletons-in-Construction-and-Heavy-Industries-Can-They-Really-Handle-the-Tough-Jobs.aspx?Page=4>, pristupljeno 28. 11. 2024.

*Exoskeleton Report*, 2024., dostupno na: <https://exoskeletonreport.com/product/exo-s/>, pristupljeno 20. 11. 2024.

Flor-Unda, O., Casa, B., Fuentes, M., Solorzano, S., Narvaez-Espinoza, F., Acosta-Vargas, P.: *Exoskeletons: Contribution to Occupational Health and Safety*, dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10647659/>, pristupljeno: 21. 10. 2024.

*Industrial practitioner's perception on the application of exoskeleton system in automotive assembly industries: A Malaysian case study*, Gan, W. Y., Ariffin, R., Ghazilla, R., Yap, H. J., Selvarajoo, S., dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26183>, pristupljeno 21. 10. 2024.

HILTI, dostupno na: [https://www.hilti.hr/c/CLS\\_EXOSKELETON\\_HUMAN\\_AUGMENTATION/CLS\\_UPPERBODY\\_EXOSKELETON](https://www.hilti.hr/c/CLS_EXOSKELETON_HUMAN_AUGMENTATION/CLS_UPPERBODY_EXOSKELETON), pristupljeno:27. 11.2024.

Kranenborg, S. E., Greve, C., Reneman, M. F., Roossien, C.C.: *Side-effects and adverse events of a shoulder- and back-support exoskeleton in workers: A systematic review*, dostupno na: 10.1016/j.apergo.2023.104042, pristupljeno 29. 10. 2024.

Lazzaroni, M., Fanti, V., Sposito, M., Chini, G., Draicchio, F., Di Natali, C., Caldwell, D. G., Ortiz, J.: *Improving the Efficacy of an Active Back-Support Exoskeleton for Manual Material Handling Using the Accelerometer Signal*, dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9798818>, pristupljeno 26. 11. 2024.

Marinov, B.: *Exoskeleton Report*, dostupno na: <https://exoskeletonreport.com/2015/08/types-and-classifications-of-exoskeletons/>, pristupljeno 20. 10. 2024.

*Robotics tomorrow: The Future of Robotic Exoskeletons: Roadblocks and Recent Advances*, dostupno na: <https://www.roboticstomorrow.com/story/2021/10/the-future-of-robotic-exoskeletons->

roadblocks-and-recent-advances/17693/, pristupljeno 22. 10. 2024.

Tang, X., Xiaomin, J. Zhou, Y., Yang, J., Wei Y., Zhang, W.: *A Wearable Lower Limb Exoskeleton: Reducing the Energy Cost of Human Movement*, 2022., dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35744514/>, pristupljeno 17. 10. 2024.

*Umanistic: The advantages of using exoskeletons in the agriculture sector*, dostupno na: <https://umanistic.com/en/advantages-of-using-exoskeletons-agriculture-sector/>, pristupljeno 24. 10. 2024.

*Wearable Tech & Safety: How Exoskeletons and Smart Glasses Make Construction Safer*, dostupno na: <https://www.milwaukeeetool.eu/systems/one-key/resources/wearable-tech-safety-how-exoskeletons-and-smart-gl/>, pristupljeno 12. 11. 2024.

*Zavarivanje info*, dostupno na: <https://zavarivanje.info/kategorija-proizvoda/egzoskeleti/>, pristupljeno 21. 11. 2024.

### **ADVANTAGES AND CHALLENGES IN USING PROFESSIONAL EXOSKELETONS**

*SUMMARY: Exoskeletons are devices that can support the muscle and skeletal system relying on a variety of mechanical principles. In view of the muscle and skeletal disorders, exoskeletons may reduce muscular stress in the affected body parts, e.g. lower back or shoulders. So far, several types of exoskeletons have been developed and used in a variety of ways. Exoskeletons may be used to facilitate recovery during rehabilitation by helping to maintain balance and improve mobility, in military activities for improving the arms handling skills and to increase endurance in long marches, during training for the muscle strength improvement and during gym training. In the past few years, exoskeletons have also found application in the work environment where they help workers to reduce static dynamic loads thus reducing fatigue, exhaustion and, consequently, the chance of injury. The uses of professional exoskeletons are wide, as they help in a great number of human activities, including agriculture, automobile industry, logistics and storage, health care, construction industry, and many others. Although the potential benefits from exoskeletons in preventing muscle and skeletal disorders may be significant, it needs to be investigated whether the use of such auxiliary devices may raise new issues relating to safety and health at work. Long-term effects of using exoskeletons are still under investigation. Therefore, it is of great importance to assess thoroughly the hazards and risks at the workplaces where exoskeletons are used.*

**Key words:** exoskeletons, muscle and skeletal disorders, static dynamic load reduction

*Professional paper  
Received: 2024-11-29  
Accepted: 2025-03-10*