

DOSEGANJE ERGONOMIČNEGA PROCESA ROČNE MONTAŽE Z UPOŠTEVANJEM RAZLIČNIH PARAMETROV DELOVNEGA OKOLJA

Maja TURK, Niko HERAKOVIČ
LASIM, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

POVZETEK

Industrija 4.0 uvaja pametne rešitve v celotno dobavno verigo podjetij, vključno z ročno montažo, kjer je cilj zagotoviti krajši čas delovnega cikla, povečati produktivnost in kakovost izdelkov ter dosežati ergonomičen proces dela ob najmanjših stroških. Za doseganje ergonomičnega procesa dela je potrebno definirati in medsebojno ovrednotiti vplivne parametre in njihov vpliv na delovno okolje, tako da zmanjšamo tveganje za nastanek kostno-mišičnih obolenj pri delavcih. Ključni vplivni parametri so: spol in antropometrični podatki posameznega delavca, zahtevnost montaže in lastnosti izdelka. Rezultati pridobljeni v virtualnem okolju prikazujejo kako vplivni parametri izboljšajo delovno okolje, kar vodi do ergonomičnega ročnega montažnega procesa in dela brez tveganja za nastanek poškodb in bolezni povezanih z delom.

1. DELOVNO OKOLJE IN ERGONOMIJA

Delovno mesto je najmanjša enota v proizvodnem procesu. Sestavljena je iz delavcev in opreme, s ciljem opraviti dodeljeno nalogo, ki doda vrednost predmetu dela (posamezni kos, komponenta, sestav), z minimalnim vnesenim trdom. Pri procesu montaže združimo osnovni material, sestavne dele in podsestave v končni izdelek [1], ki predstavlja izhod iz delovnega mesta. Da zadovoljimo potrebe po hitrem prilagajanju montažnega procesa (variantnosti izdelkov, dvig produktivnosti in učinkovitosti, krajši čas cikla) je treba v podjetja vpeljati pametne rešitve [2]. Te morajo izpolnjevati zahteve po ergonomiji in kakovosti ter hkrati imeti nizke stroške implementacije. Za oblikovanje ergonomičnih ročnih delovnih mest je potrebno upoštevati osnovna priporočila in principe dela [3-5], ki se nanašajo na (i) delovno višino; (ii) delovno področje in območje dosega; (iii) razpon vida; (iv) prilagajanje delovne opreme in (v) simulacijo v virtualnem okolju (DHM; ang. digital human modelling), kjer lahko vsako konfiguracijo delovnega okolja preverimo brez fizične in časovne obremenitve za delavce ter s tem prihranimo skupne stroške oblikovanja delovnega mesta [6].

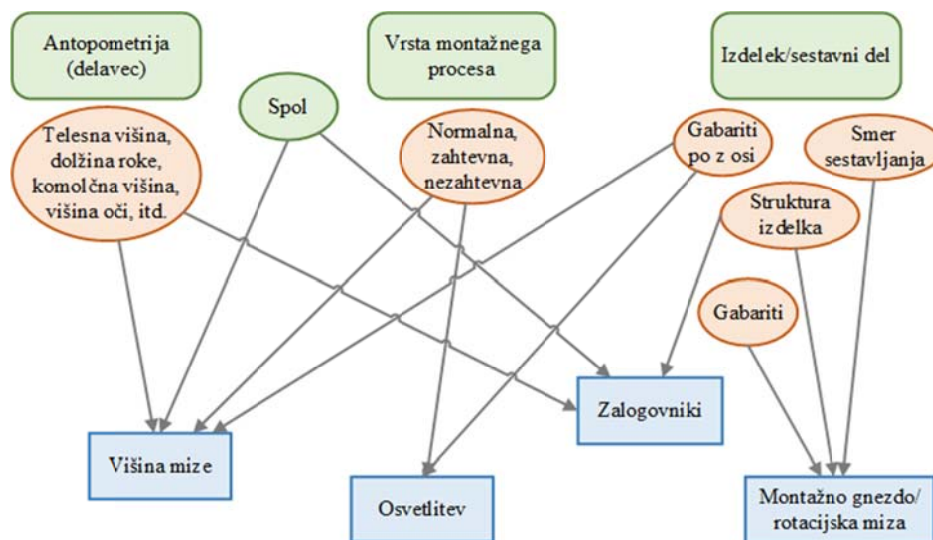
2. VPLIVNI PARAMETRI

Za doseganje ergonomičnega procesa ročne montaže je potrebno upoštevati različne vplivne parametre, ki glede na pred-definirane (empirične) enačbe in povezave vplivajo na

konfiguracijo delovnega mesta. Najbolj pomembni vplivni parametri delovnega okolja pri oblikovanju ergonomičnega delovnega mesta so: (i) delavec, (ii) vrsta montažnega procesa in (iii) izdelek [7]. Pri delavcu smo upoštevali spol in antropometrične lastnosti (telesna višina, razpon rok). Vrsto montažnega procesa smo razdelili na tri zahtevnosti: normalna montaža (delo za montažno linijo, sestavljanje preprostih izdelkov), zahtevna montaža (pisanje, risanje, montaža elektronskih komponent) in nezahtevna montaža (montaža težjih in večjih sestavnih delov, delo z lesom). Vplivne parametre izdelka smo popisali z gabariti celotnega izdelka, gabariti izdelka po z-osi, strukturi izdelka (zaporedje montaže sestavnih delov) ter glede na smer sestavljanja. Medsebojna odvisnost vplivnih parametrov in delovnega okolja je glavni sestavni del za doseganje ergonomičnega procesa ročne montaže, saj zagotavlja oblikovanje in konfiguracijo pametnega ročnega montažnega mesta glede na posameznega delavca. Popis odvisnosti in vpliva vseh parametrov na konfiguracijo ročnega montažnega mesta je zajet na sliki 1.

3. ŠTUDIJA PRIMERA

Preverjanje ergonomije v procesu ročne montaže in oblikovane primernosti delovnega okolja smo izvedli v DHM programskem okolju Siemens Jack. Znotraj virtualnega okolja smo izvedli analizo dosega (ang. *reach envelope*), analizo razporeditve sestavnih delov po



Slika 1: Odvisnost med vplivnimi parametri in konfiguracijo ročnega montažnega mesta.

zalogovnikih glede na področja (A – bližnje področje, B – področje ponavljajočega seganja, C – področje občasnega seganja) ter analizo izvajanja gibov med montažnim procesom brez ergonomskih navodil (osnovna izvedba) in z upoštevanjem ergonomskih priporočil (izboljšana izvedba).

izvajanje operacij oz. doseg, ki ne povzroča tveganja za nastanek bolezni in poškodb, povezanih z delom. Na sliki 2 lahko vidimo, da so vsi razdelki zalogovnika v obeh primerih (Jack, Jill) znotraj ovojnice dosega, kar pomeni, da je oddaljenost zalogovnikov ergonomsko primerna za dolgotrajno delo brez tveganja za bolezni in poškodbe.

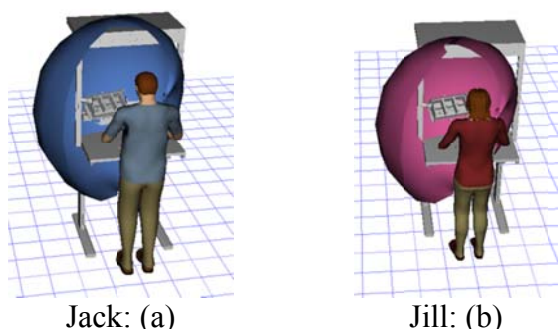
4. REZULTATI

Doseg

Z ovojnico dosega je možno preverjati ergonomsko in oblikovno primernost procesa montaže in pametnega ročnega montažnega mesta za vsako kombinacijo delavca in konfiguracijo pametnega ročnega montažnega mesta.

Seganje naprej

Analizo seganja naprej smo izvedli za celoten postopek montaže izdelka s 34 sestavnimi deli. Slika 3 prikazuje število seganj naprej v posamezna ergonomska področja (A, B, C) za Jacka in Jill na pametnem ročnem montažnem mestu.

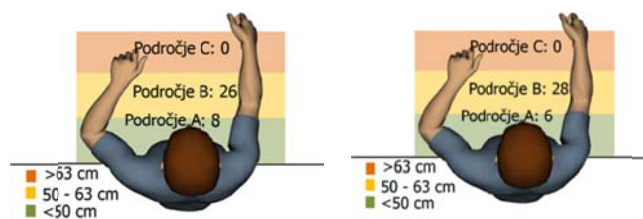


Jack: (a)

Jill: (b)

Slika 2: Analiza dosega primernosti postavitve zalogovnika za Jacka (a) in Jill (b).

Analiza dosega ustvari in prikaže območje (ovojnico) največjega dosega, ki za individualnega delavca pomeni še udobno



Jack: (a)

Jill: (b)


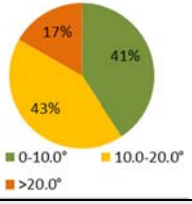
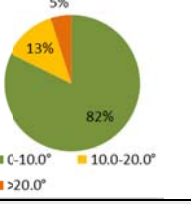

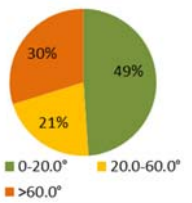
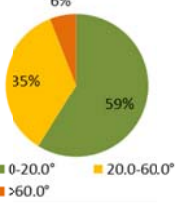

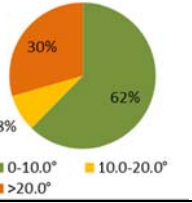
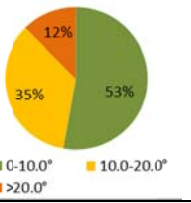

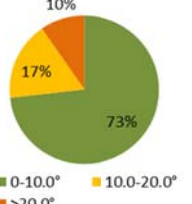
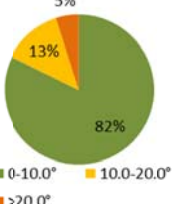
Slika 3: Število seganj naprej v ergonomska področja A, B in C.

Rezultati prikazujejo, da smo z upoštevanjem vplivnih parametrov (doseg rok, spol, telesna višina) dosegli ergonomičen proces ročne montaže, saj noben avatar (delavec) ne sega v področje C [7]. Pri avatarju Jill se glede na Jacka

poveča seganje v področje B, ker ima Jill krajši razpon (doseg) rok.

Analiza obremenitve sklepov

Pri analizi obremenitve sklepov telesa smo primerjali dve verziji procesa ročne montaže v simulacijskem okolju.

	Osnovna verzija	Izboljšana verzija
Sklep: VRAT (vratne vretence)*		
Fleksija 	 ■ 0-10.0° ■ 10.0-20.0° ■ >20.0°	 ■ 0-10.0° ■ 10.0-20.0° ■ >20.0°
Sklep: HRBET (hrbtenica)		
Fleksija: 	 ■ 0-20.0° ■ 20.0-60.0° ■ >60.0°	 ■ 0-20.0° ■ 20.0-60.0° ■ >60.0°
Sklep: Levo zapestje		
Radialni/ Ulnarni odmik 	 ■ 0-10.0° ■ 10.0-20.0° ■ >20.0°	 ■ 0-10.0° ■ 10.0-20.0° ■ >20.0°
Sklep: Desno zapestje		
Radialni/ Ulnarni odmik 	 ■ 0-10.0° ■ 10.0-20.0° ■ >20.0°	 ■ 0-10.0° ■ 10.0-20.0° ■ >20.0°

* Analiza je bila izvedena za več sklepov, prikazani so le nekateri.

Slika 4: Primerjava obremenjenosti sklepov osnovne in izboljšane verzije zaporedja osnovnih montažnih gibov za vrat, hrbet in zapestja.

Osnovna verzija zaporedja je bila zmodelirana brez upoštevanja ergonomskih priporočil, pri drugi (izboljšani verziji) pa smo ergonomska priporočila upoštevali in najbolj obremenjene sklepe med posameznimi operacijami razbremenili. Rezultati časov (slika 4) obremenjenosti sklepov so prikazani s tortnimi

diagrami, kjer oranžna barva predstavlja preobremenjen sklep, rumena pogojno sprejemljivo obremenjen sklep in zelena dovoljeno obremenjen sklep. Cilj izboljšanja osnovne verzije je predvsem odprava ali zmanjšanje odstotka časa, ko so sklepi nesprejemljivo obremenjeni, kljub temu, da se zaradi tega pri določenih sklepih odstotek časa v pogojno sprejemljivi obremenitvi podaljša. Pri manipulaciji sklepov glede na ergonomska priporočila smo se pri izboljšani verziji osredotočali na izogibanje rotacije sklepov in nenaravnih odmikov, ki so prisotni pri osnovni verziji. Pri vseh sklepih lahko vidimo znatno izboljšanje odstotka časa, ko je sklep obremenjen nesprejemljivo, torej smo uspešno zmanjšali ali odpravili nesprejemljivo izvajanje operacij z vidika tveganja za zdravje.

5. ZAKLJUČEK

Prispevek obravnava različne vhodne parametre človeka, izdelka in vrste montaže ter njihov pomen na konfiguracijo ročnega delovnega mesta. Glavni namen je v virtualnem okolju predstaviti odvisnost med vhodnimi parametri in ergonomičnim procesom ročne montaže s tremi različnimi izvedenimi analizami tako, da se tekom montaže izloči oz. zmanjša tveganje za nastanek poškodb in bolezni povezanim z delom za vsakega delavca, ki sodeluje v delovnem okolju.

Literatura

- [1] Wiendahl, H. P. in ostali: Handbook Factory Planning and Design. Springer-Verlag, 2015.
- [2] Bley, H. in ostali: Appropriate Human Involvement in Assembly and Disassembly. CIRP Annals 53:2 (2004) str. 487–509.
- [3] Balantič Z. in ostali: Ergonomija v teoriji in praksi. NIJZ, 2016.
- [4] Woodson, W. in ostali: Human Factors Design Handbook. McGraw-Hill Education, 1992.
- [5] Grandjean, E. in ostali: Fitting The Task To The Human: A Textbook Of Occupational Ergonomics. CRC Press, 1997.
- [6] Siemens Jack: Jack user manual version 9.0. Siemens Product lifecycle management software, 2017.
- [7] Turk, M. in ostali: A Smart Algorithm for Personalizing the Workstation in the Assembly Process. Applied Sciences 10:23 (2020) str. 8624.