

Posvet Avtomatizacija strege in montaže 2021/2022 - ASM '21/22, Ljubljana, 11.05.2022  
WWW zbornik člankov s posveta

Kraj posveta: Gospodarska zbornica Slovenije, Dimičeva 13, 1000 Ljubljana

Datum posveta: 11.05.2022

**Organizatorji:**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko – LASIM  
Gospodarska zbornica Slovenije  
Kompetenčni center za sodobne tehnologije vodenja – Zavod KC STV

**Organizacijski odbor:**

prof.dr. Niko Herakovič, FS, UL  
dr. Mihael Debevec, FS, UL  
dr. Marko Šimic, FS, UL  
dr. Miha Pipan, FS, UL  
Edo Adrovič, FS, UL  
Tanja Plestenjak, FS, UL  
mag. Janja Petkovšek, GZS  
dr. Marjan Rihar, GZS  
dr. Zoran Marinšek, Zavod KC STV

**Uredniki:**

dr. Mihael Debevec, FS, UL  
dr. Miha Pipan, FS, UL  
Edo Adrovič, FS, UL  
prof.dr. Niko Herakovič, FS, UL

**Izdajatelj:**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo  
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana

2. elektronska izdaja

Ljubljana, 2022

URL: <http://www.posvet-asm.si/index.php?page=zbornik-asm-21>

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in  
univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 85928707

ISBN 978-961-6980-84-5 (PDF)



© Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2022

Vse pravice pridržane. Brez pisnega dovoljenja založnika je prepovedano reproduciranje, distribuiranje, javna priobčitev, predelava ali druga uporaba tega avtorskega dela ali njihovih delov v kakršnemkoli obsegu ali postopku, vključno s tiskanjem ali shranitvijo v elektronski obliki. Tako ravnanje predstavlja, razen v primeru iz 46. in 57. člena Zakona o avtorskih pravicah, kršitev avtorske pravice.

**Seznam člankov:**

1. Doseganje ergonomičnega procesa ročne montaže z upoštevanjem različnih parametrov delovnega okolja: Maja Turk, UL FS, LASIM & Iskra Mehanizmi d.o.o., Niko Herakovič, UL FS, LASIM
2. Modernizacija nadzornih sistemov v sodobni industrijski proizvodnji: Jože Perko, Peter Skopec, oba ControlTech d.o.o.
3. Uporaba pametnih vijačnikov pri sestavljanju robotske roke: Damjana Vavtar, Klemen Zalar, Klemen Kastelec, vsi Yaskawa Europe Robotics d.o.o.

## **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 dosegati 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].

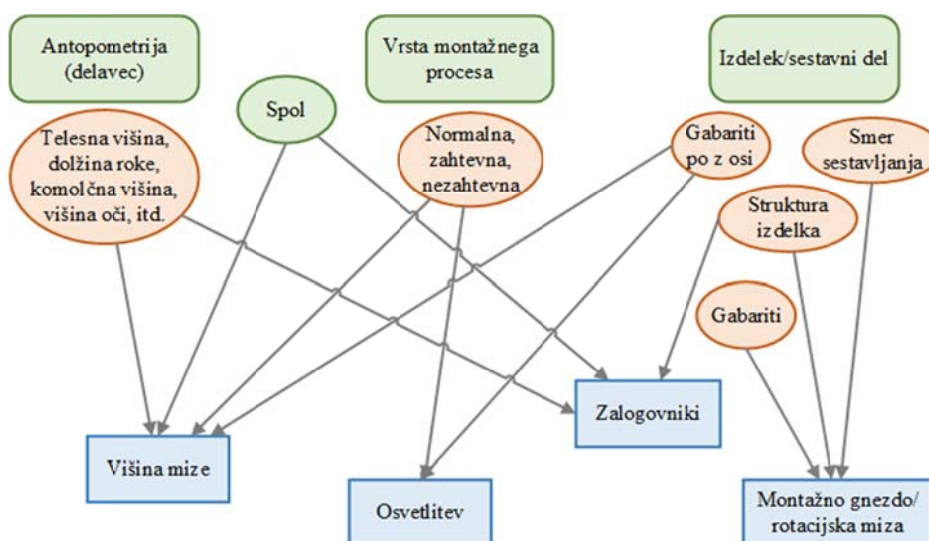
### **2. VPLIVNI PARAMETRI**

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



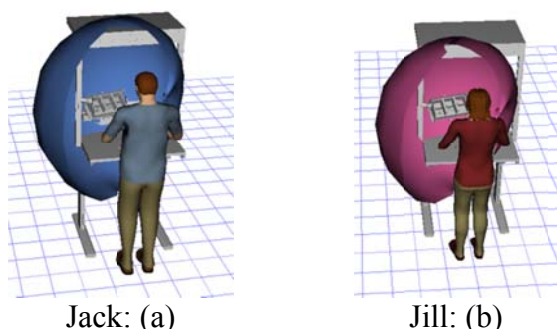
**Slika 1:** Odvisnost med vplivnimi parametri in konfiguracijo ročnega montažnega mesta.

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).

## 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.



Jack: (a)

Jill: (b)

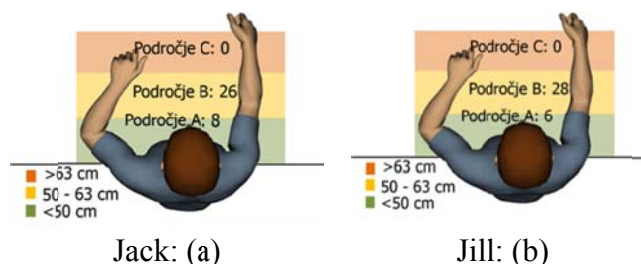
**Slika 2:** Analiza dosega primernosti postavitve zalagovnika za Jacka (a) in Jill (b).

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

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 zalagovnika v obeh primerih (Jack, Jill) znotraj ovojnice dosega, kar pomeni, da je oddaljenost zalagovnikov ergonomsko primerna za dolgotrajno delo brez tveganja za bolezni in poškodbe.

### 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)

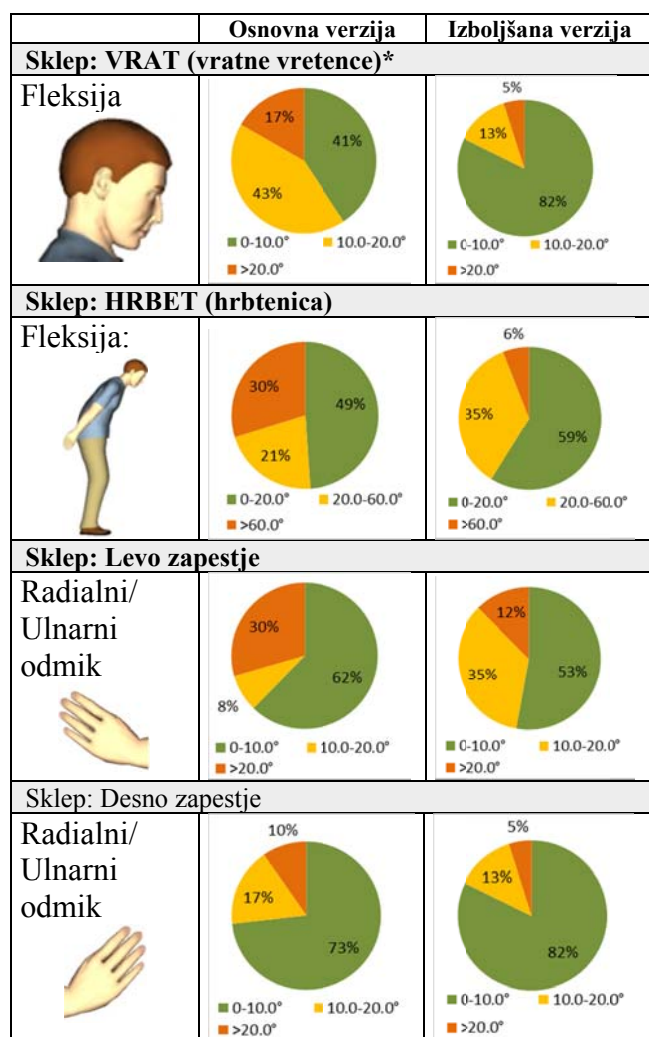
**Slika 3:** Število seganj naprej v ergonomska področja A, B in C.

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 avtarju 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.



\* 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.

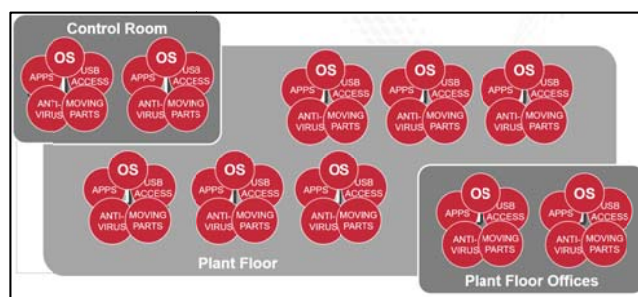
# Modernizacija nadzornih sistemov v sodobni industrijski proizvodnji

Jože Perko, Peter Skopec, ControlTech d.o.o.

Zakaj modernizacija? Lahko gre za projekte kibernetске varnosti, izboljšanje razpoložljivosti proizvodnje, rast produktivnosti, implementacijo mobilnih rešitev in nadzora dostopa ipd. Pogost sprožilec za modernizacijo v zadnjem času je potreba po nadgradnji starejših sistemov, ki tečejo na operacijskih sistemih, ki jih Microsoft ne podpira več. Glede na to, da praktično v vseh proizvodnih podjetjih intenzivno potekajo različne iniciative digitalizacije, je prav nadzorni sistem konvergenčna točka različnih deležnikov. Predstavljamo koncept modernizacije na vzorcu proizvodnih podjetij, s katerimi smo sodelovali, ter tipično izvedbo modernizacije večjega sistema. Nepredvidljivo servisno proceduro na strani HMI klienta, ki je lahko pomenila večuren izpad, zmanjšamo na manj kot 2 minuti. Zagotovimo izvajanje varnostnih protokolov, ki jih zahtevajo globalni korporativni standardi. Nadzorni sistem je pripravljen na prihodnost.

Izhodišče za razmislek: proizvajalci in uporabniki strojev se tipično zanašajo na (I)PC-je, na katerih poganjajo programe in različne aplikacije, ki jih potrebujejo za upravljanje in nadzor proizvodnje. Zanesljivo delovanje računalnikov je ključno za nemoten potek proizvodnje, zato se namenjajo veliko časa in sredstev za vzdrževanje. Vsak računalnik zahteva vzdrževanje in posodobitve uporabniških aplikacij, operacijskega sistema, protivirusne programske opreme, celo trdih diskov, ventilatorjev in napajalnikov, ki sčasoma

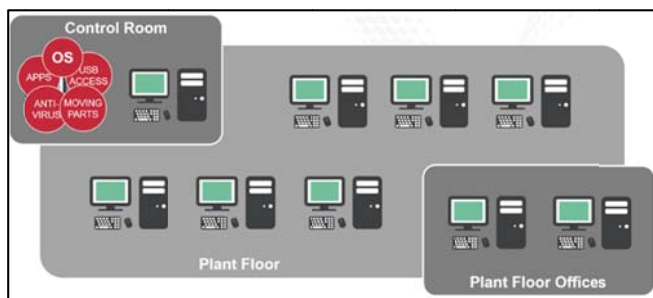
Zamenjava osebnega računalnika vedno zahteva veliko časa. Celo v primeru, ko se vzdrževalci poslužujejo posnetkov diska (Image), s čimer bistveno skrajšajo



Slika 2: Tradicionalna arhitektura - obseg vzdrževanja

postopek zamenjave, lahko proces traja ure in ure, kar povzroči drage zastoje proizvodnje.

Računalniki so zelo ranljivi za zlonamerne napade. Dostopnost USB portov, lokalni trdi diski in možnost lokalnega upravljanja uporabnikov ustvarjajo veliko možnosti vsem, ki želijo povzročiti škodo.



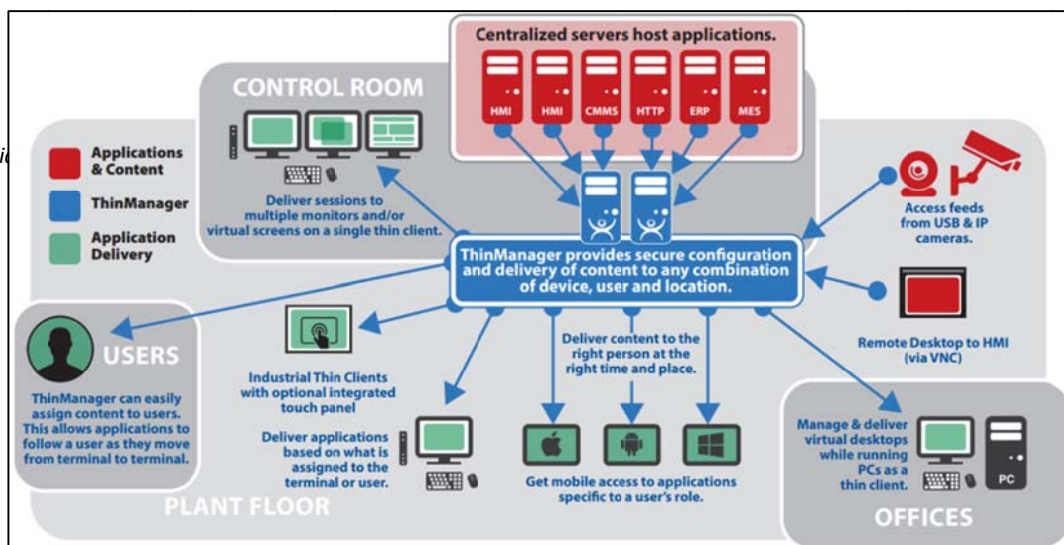
odpovejo.



ThinManager je namenjen zagotavljanju varnega okolja za upravljanje končnih naprav

S centralizacijo vseh aplikacij in procesov ter umestitev v zaščiteno področje strežnikov

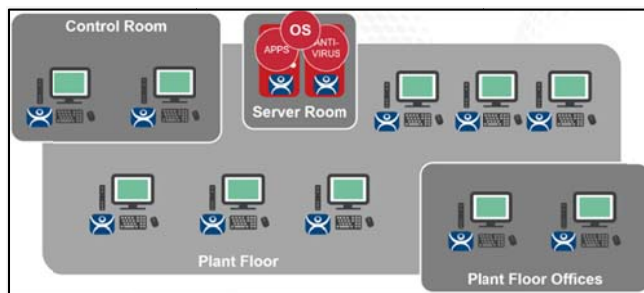
Slika 1: Tradicionalna arhitektura s klasi



in distribucijo vsebin ter za zmanjšanje tveganj, ko preidemo v povezano industrijsko okolje. Ne glede na to ali je pobuda opisana kot »Povezano podjetje«, »Digitalna proizvodnja« ali »Industrija 4.0« je treba razmisliti o zaščiti industrijskega nadzornega omrežja, ko se omrežja na ravni podjetja uvajajo v ta okolja.

ThinManager te izzive premaguje tako, da omogoča zamenjavo osebnih računalnikov z varnejšimi in enostavneje upravljivimi vitkimi odjemalci oz. ThinClient-i, ki nimajo trdih diskov ali gibljivih delov in imajo v osnovi blokiran dostop do USB portov.

lahko proizvajalci zmanjšajo količino naprav, ki jih je potrebno upravljati, z nadomestitvijo terminalov oz. PC-jev s vitkimi odjemalci (ThinClient) pa se stroški vzdrževanja in čas



Slika 1: Centralizirana arhitektura ThinManager

izpada proizvodnje močno zmanjšata. V primeru odpovedi ThinManager odjemalca, ga lahko zamenjate v približno dveh minutah, popolnoma brez izgube podatkov.

V skrajnem primeru lahko celo vaš osebni računalnik integrirate v sistem ThinManager v le nekaj minutah in ga centralizirano upravljate kot ThinManager odjemalca. Celotno rešitev nadgradite z zamenjavo osebnih računalnikov z industrijskimi vitkimi odjemalci in tako podaljšate življenjsko dobo strojne opreme.

Arhitektura ThinManager prav tako močno zmanjša število operacijskih sistemov, ki jih

je potrebno vzdrževati. V virtualni ali fizični obliki.

### "Tehnologija ThinManager znižuje skupne stroške lastništva (TCO) informacijskega sistema do 50%."

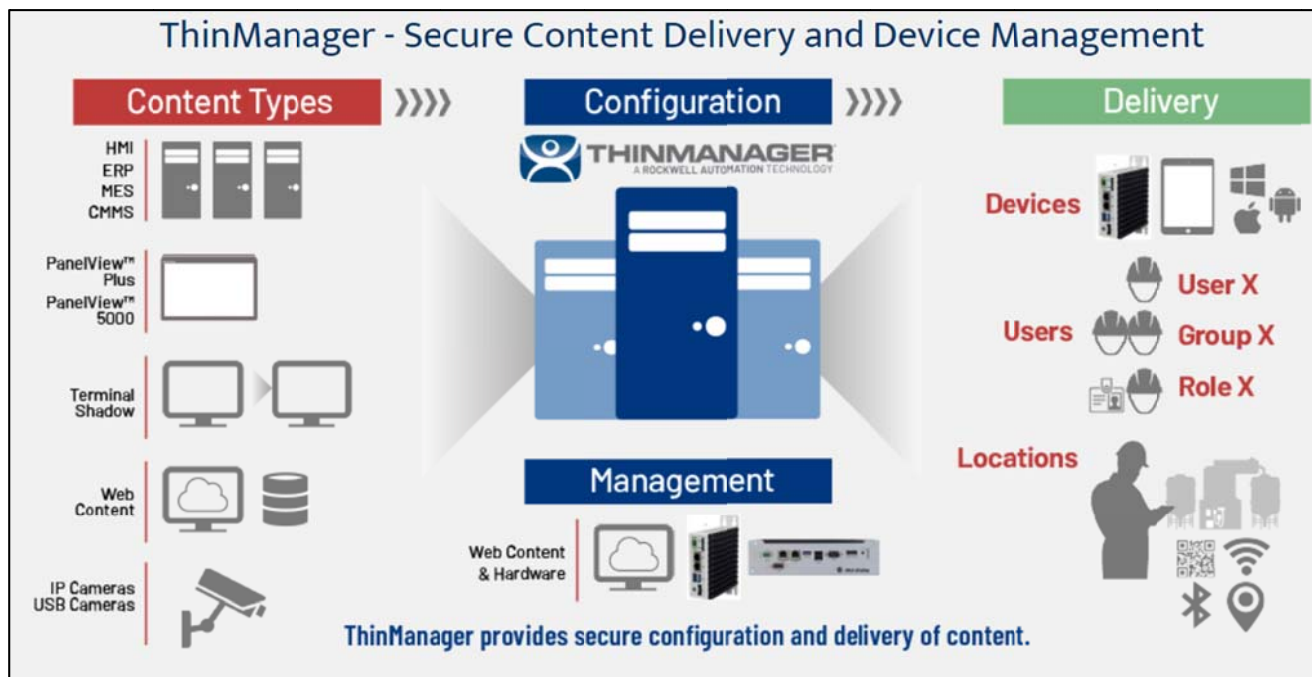
Številne zmogljive in enostavne možnosti upravljanja, ki jih ponuja ThinManager, omogočajo veliko prilagodljivost. Aplikacije, nameščene na strežnikih, je mogoče posredovati na številne terminale ali različnim uporabnikom brez kakršne koli dodatne konfiguracije. V nekaj korakih hitro dodate nove uporabnike, terminale, vsebine video kamer in tako nadgradite vizualizacijo in nadzor v vaši tovarni. ThinManager centralizira distribucijo aplikacij odjemalcem in preko varne in šifrirane komunikacije odjemalcem dostavlja vsebino na osnovi oddaljenega namizja RDP.

ThinManager ponuja varno platformo tudi za distribucijo vsebin mobilnim napravam, zasnovano posebej za industrijske aplikacije

in distribuira mobilno vsebino samo na določena mesta, ki jih sami definirate z različnimi tehnologijami za določanje lokacije kot so GPS, WiFi, Bluetooth ali QR kode. ThinManager vam omogoča, da nastavite vnaprej določena varna območja, kamor je mogoče distribuirati mobilne vsebine. Še pomembneje pa je, da bo ThinManager preprečil dostop do mobilnih vsebin izven definiranega področja, ne glede na nivo dostopa, ki ga ima določeni uporabnik.

Tovrstna centralizirana rešitev dviguje zanesljivost sistema s podporo redundantnih strežniških sistemov - t.i. Instant Failover, kar pomeni, da je zagotovljeno izvajanje aplikacij na redundantnem strežniku in v primeru odpovedi primarnega strežnika samodejni prekop odjemalcev na redundantni server.

ThinManager ponuja rešitev za izvedbo sodobnega, povezanega podjetja, saj zagotavlja pravo vsebino pravi osebi na pravem mestu. Povečajte svojo



Slika 3: Distribucija vsebin glede na določene kriterije



produktivnost, varnost vizualizacije in mobilnost z najzmogljivejšo industrijsko platformo za vitke odjemalce.

Viri:

[1]

<https://thinmanager.com/profile/>

3

[2]

<https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/factorytalk/operationsuite/thinmanager.html>



## UPORABA PAMETNIH VIJAČNIKOV PRI SESTAVLJANJU ROBOTSKE ROKE

Damjana VAVTAR, Klemen ZALAR, Klemen KASTELEC  
Yaskawa Europe Robotics d.o.o.

### POVZETEK

*Koncept industrije 4.0 oziroma četrte industrijske revolucije predstavlja digitalizacijo proizvodnje. Nanaša se na razvoj delovanja sodobnih inteligentnih tovarn, za doseganje boljše zmogljivosti, nižjih stroškov in višje kakovosti. Cilj je doseči popolno digitalizacijo in avtomatizacijo z uporabo internet stvari IoT, umetne inteligence, analitike velikih podatkov ali robotike. Med orodja, za doseganje industrije 4.0, lahko štejemo tudi uporabo pametnih vijačnikov, ki z ustvarjenimi podatki dajejo vpogled v delovanje proizvodnih linij, hkrati pa zagotavljajo boljšo kakovost, kontrolo le te in zmanjšano število napak.*

### 1. UVOD

Koncept industrije 4.0 predstavlja digitalizacijo proizvodnje oziroma razvoj pametnih tovarn za doseganje boljše zmogljivosti, nižjih stroškov in višje kakovosti. Cilj je doseči popolno digitalizacijo življenjskega cikla in avtomatizacijo z željo po doseganju boljše zmogljivosti, nižjih stroškov in kakovosti [1].

Korak k temu je zagotovo tudi uporaba pametnih vijačnikov v procesih vijačenja. Ti omogočajo zbiranje, prenos in interpretacijo podatkov, pogosto tudi v realnem času, kar vodi do visoke ravni sledljivosti in nadzora montažnega procesa. Zagotavljajo potrebno povezljivost z drugimi napravami in elektronsko shranjevanje podatkov za opravila, ki so bila prej opravljena z mehanskimi ključi, ki ne omogočajo sledljivosti procesa vijačenja.

Uporaba pametnih vijačnikov tudi zmanjša število različnih orodij, ker pokriva širok razpon navorov in se lahko uporablja za različne postopke montaže. S pravilno implementacijo in uporabo se znatno olajša proces montaže. S tem razbremenimo delavce in skrajšamo čase vijačenja.

### 2. TEHNIČNE ZAHTEVE IN PRIČAKOVANJA

Cilj implementacije pametnih vijačnikov je v prvi vrsti sledljivost montažnega procesa,

skrajšanje časov montaže, nabora potrebnega orodja in najpomembnejše, zmanjšanje možnosti in števila napak. Glavne zahtevane značilnosti pametnih vijačnikov so opisane v Tabeli 1.

**Tabela 1: glavne zahtevane značilnosti**

| Zahtevana značilnost                 | Testna značilnost                              | Toleranca   | Testirna naprava           |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Natančnost sistema za pozicioniranje | Merilne točke v delovnem območju               |             | Pozicionirni sistem        |
| Izklopni navor vijačnika             | Navor                                          | $\pm 5 \%$  | Naprava za merjenje navora |
| Izklopni kot vijačnika               | Kot vijačenja                                  | $250^\circ$ | Naprava za merjenje kota   |
| Štetje vijakov za definiran proces   | Število vijakov z doseženim ustreznim momentom | $0 \%$      |                            |

Dosedanji postopek vijačenja v proizvodnji Yaskawa Europe Robotics, ki se izvaja s konvencionalnimi orodji, se vedno izvede v dveh, včasih celo treh korakih – z vidika doseganja ustreznega momenta. Uporabljena konvencionalna orodja so prikazana na Sliki 1.



Slika 1: Trenutno orodje, pametni vijačniki

Prvi korak predstavlja vijačenje vseh vijakov na definiran moment. Drugi korak predstavlja kontrolo momenta. Kjer je potrebno se izvede še dodatna kontrola in sicer s strani druge osebe. V primeru uporabe pametnih vijačnikov bi se lahko znebili dodatnih kontrol, kar bi občutno skrajšalo čas procesa vijačenja in s tem procesa montaže.

Da bi lahko zagotovili ustrezno kakovost vijačenja, kljub izpuščenim kontrolam momenta vijakov, je potreben nadzor tudi drugih pomembnih parametrov. Glavna zahteva je predvsem natančnost samega vijačnika, ki ne sme odstopati za več kot  $\pm 5\%$ . Poleg tega je potrebno ustrezno omejiti in kontrolirati:

- moment,
- kot vijačenja - zagotavlja, da je uporabljena ustrezna dolžina vijaka in
- število vijakov.

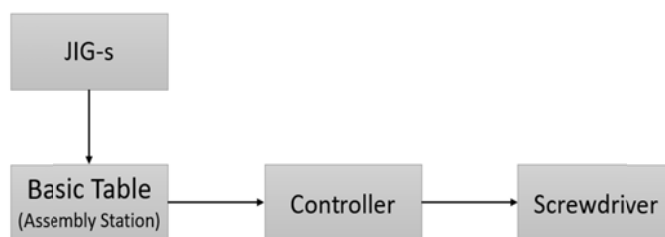


Slika 2: Delovna miza z navadnimi momentnimi ključi

Velika prednost oziroma opazna izboljšava je tudi večja delovna površina na montažni mizi (Slika 2). Z enim pametnim vijačnikom, bi lahko nadomestili več momentnih ključev – za vsak definiran moment se trenutno uporabi drug momentni ključ, s katerimi se izvaja vijačenje.

Želja in korak proti doseganju učinkovitosti industrije 4.0, bi bila povezljivost z MES sistemom, shranjevanje podatkov in izhodnih informacij o doseganju ustreznosti ali neustreznosti vijačenja (OK ali NOK) v okviru delovnega naloga. S tem bi bila dosežena popolna sledljivost za vsakega robota.

Standardni sistem pametnega vijačnika je razdeljen na 4 module (Slika 3). V nadaljevanju bodo prikazane tehnične zahteve za najpomembnejša dva modula – krmilnik in vijačnik.



Slika 3: Moduli standardnega pametnega vijačnika

Glavne zahteve za krmilnik in programsko opremo:

- mora dovoljevati do 60 različnih programov vijačenja,
- omogočena mora biti nastavljalnost zaporedja programov,
- program omogoča približevanje vijakov
- začetek programa vijačenja se lahko izvede šele po podajanju zagonskega signala preko PLC,
- postopek vijačenja se šteje za zaključenega šele po izdanem OK signalu,
- v primeru NOK signala, nadaljevanje postopka ni mogoče izvesti – potrebna korekcija predhodnega koraka,
- povezljivost z E-manualom, avtomatski prenos in shranjevanje podatkov pod pred-določen nalog, shranjevanje rezultatov v sistem MES

- zagotovljena sledljivost za vsakega robota,
- zagotavljati mora možnost oddaljenega dostopa prek omrežja (Ethernet).

Glavne zahteve za vijačnike:

- doseganje momenta v tolerančnem območju  $\pm 5 \%$ ,
- nadzor in ustrezno doseganje kota vijačenja,
- teža manjša od 1,5 kg,
- prilagodljiv navor, velikost vijakov, dolžina navoja ipd. glede na sklop montažnega procesa,
- vijačenje v obe smeri,
- spremljanje števila vijakov,
- v začetnem položaju zavzema čim manj delovne površine,
- omogoča vijačenje na celotni delovni površini mize,
- mora se prosto in gladko premikati z roko v seri X, Y in Z,
- smer vijačenja je pravokotna na delovno mizo,
- omogoča uporabo različnih bitov, kontrolirana mora biti tudi uporaba ustreznega bit-a.

### 3. REZULTATI TESTIRANJA

Za boljšo predstavbo in vpogled v dejansko delovanje pametnih vijačnikov v proizvodnji smo se odločili za testiranje le teh. S tem smo se seznanili s potrebnimi informacijami in morebitnimi izzivi, do katerih bi lahko prišlo med implementacijo v proizvodnjo. V nadaljevanju bodo predstavljene pomembnejše ugotovitve in izzivi. Testirali smo električne sisteme za sestavljanje, ponudnika Desoutter.

Glavnina testiranja in ugotovitev je bila narejena s kombinacijo krmilnika CVIR II, programom CVIPC2000 in električnim vijačnikom ERS12-M20 z reakcijsko roko.

Električni vijačnik ERS12-M20 omogoča doseganje momenta v rangi med 1,5 in 12 Nm, kjer je zgornja meja kritična, pod spodnjo pa ni zagotovljeno doseganje 5% tolerančnega

območja. Masa orodja je 0,7 kg. Dosega prosto hitrost do 950 vrt/min. Opremljen je z lučko, ki v primeru ustrezno izvedenega vijačenja zasveti zeleno, v primeru neustreznega pa rdeče (Slika 4). Za doseganje različnih rangov momenta se uporabi druge vijačnike enakega tipa, vendar z drugačnimi specifikacijami.



Lučka – za prikaz primernosti vijačenja

Slika 4: ERS12-M20 [2]

Zgoraj opisani tip vijačnika mora biti opremljen tudi z ustrezno reakcijsko roko. Na voljo so različne linearne reakcijske roke z zgornjo omejitvijo navora. Ta odvzame navor in težo orodja z zapestja operaterja, izboljša kakovost dela in natančnost doseženega navora. Pri uporabi reakcijskih rok s senzorji je možno nadzorovanje položaja vijačenja (Slika 5).



Slika 5: Reakcijska roka [2]

Testirani krmilnik CVIR II (Slika 6) omogoča žično povezavo orodja. Nanj je možno shraniti do 50 programov. Pisanje programa je možno na krmilniku ali na računalniku – prenos programov iz osebnega računalnika na krmilnik je možen, ko sta povezana s kablom. Natančnost je mogoče določiti za vsak delovni cikel posebej: omogoča zahtevano 5 %.

S programom CVIPC2000 je omogočeno pisanje programov na računalniku. Možna je analiza rezultatov vijačenj in optimizacija procesa.

V delovnih ciklih definiramo končni, najmanjši in največji dovoljeni moment, hitrost in kot vijačenja, kjer predstavlja en zasuk vijaka 360 stopinj.

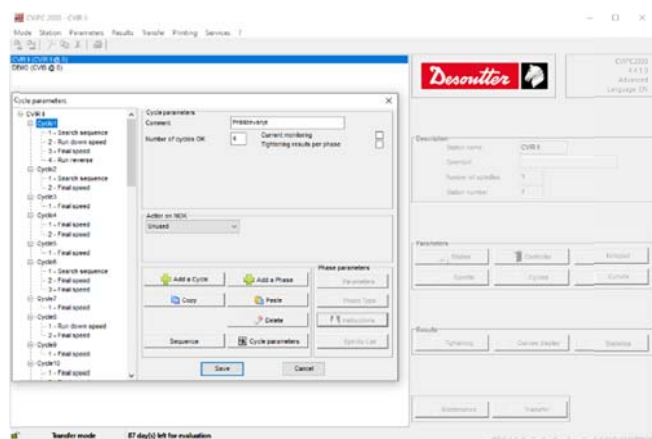


Hitrost vijačenja lahko prilagajamo. Za doseganje večje natančnosti je priporočljiva nižja hitrost, pri približevanju pa je lahko hitrost višja – to dosežemo z več fazami, kjer so definirane različne hitrosti.



Slika 6: Krmilnik CVIR II [2]

Razpon hitrosti je od 1 do 130 %, vendar nad 90 % ni priporočljivo. Možnih je več vrst pod-ciklov, kjer vsak izpolnjuje različne zahteve. Krmilnik nato zahteva izbiro pravega programa za želeno vijačenje (Slika 7).



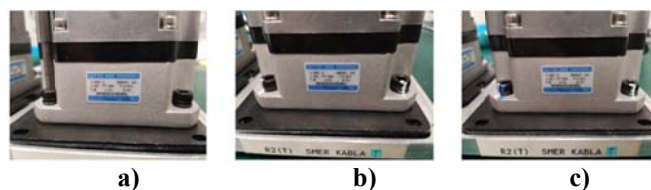
Slika 7: Program CVIR II

Testiranje smo izvajali na vijačenju IZDELEK1. Najprej je bilo potrebno izpisati korake vijačenja – moment, dolžino in velikost vijaka (Slika 8). V naslednjem delu smo napisali prvi program, v katerem smo za začetek zgolj definirali končne momente in hitrosti vijačenja.

Že na začetku testiranja smo ugotovili, da bo potrebnih več različnih programov. Na koncu smo vsa vijačenja izvajali z enim ali dvema izmed 'osnovnih' treh napisanih programov.

Prvi program je napisan za vijačenje direktno na zahtevan moment in je sestavljen iz dveh pod-faz. Na začetku z veliko hitrostjo vijačimo do momenta 0,2 Nm in nato nadaljujemo z nižjo hitrostjo do definirane končnega momenta.

Drugi program je enak prejšnjemu, le da je v začetku vključena še faza približevanja. Uporabi se ga kjer ni mogoče direktno vijačenje. Na Sliki 8 so prikazani zaporedni koraki vijačenja – približevanje, vijačenje na končni moment in kontrola momenta.



Slika 8: Koraki vijačenja: a) približevanje, b) vijačenje na končni moment, c) kontrola momenta

Tretji program se uporablja za vijačenje, kjer se na navoje nanese tesnilno maso. V začetku se izvaja počasno vrtenje vijaka, med katerim se nanese tesnilno pasto. V nadaljevanju je program enak drugemu – približevanje in nato končni moment.

Da bi določili, koliko časa bi prihranili z uporabo pametnih vijačnikov, smo zvedli meritve časov vijačenja z navadnim in pametnim vijačnikom.

Pri vijačenju robota IZDELEK2 smo merili čas vijačenja enega vijaka pri posamezni operaciji. Meritve so prikazane v Tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati meritev

|                                                                      | Čas     | Enota   |
|----------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| Namestitev vijaka (brez tesnilne mase)                               | 00:04,1 | s/vijak |
| Namestitev vijaka (s tesnilno maso)                                  | 00:07,7 | s/vijak |
| Uporaba momentnega ključa in privitje vijakov + označba vseh vijakov | 00:05,2 | s/vijak |
| Uporaba momentnega ključa in privitje vijakov + označba enega vijaka | 00:01,8 | s/vijak |

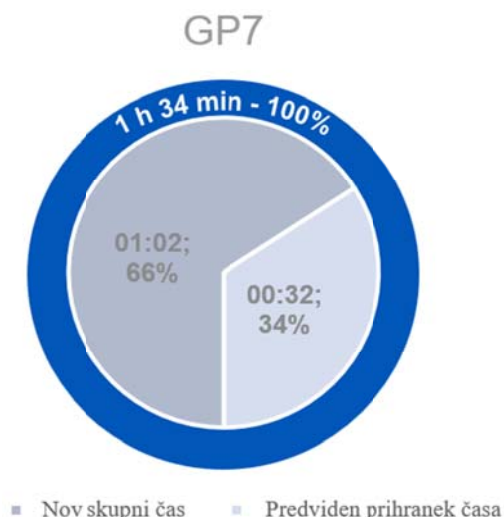
V Tabeli 3 je prikazan čas, potreben za vijačenje 22 vijakov M3x10. Opazimo lahko, da je

postopek s pametnim vijačnikom približno 33% hitrejši.

**Tabela 3: Rezultati meritev – čas vijačenja**

| Ročno vijačenje | S pametnim vijačnikom |
|-----------------|-----------------------|
| 6 min 11 s      | 4 min 8 s             |

Analizirali smo tudi prihranek časa za vijačenje vijakov na celotnem izdelku oz. robotu GP7. Pred uvedbo pametnega vijačnika smo porabili za vijačenje vijakov na izdelku GP7 1h 34 min. Po uporabi pametnih vijačnikov se je ta čas skrajšal na le 1h 2min (Slika 9).



**Slika 9: Prikaz predvidenega novega skupnega časa v primerjavi s starim**

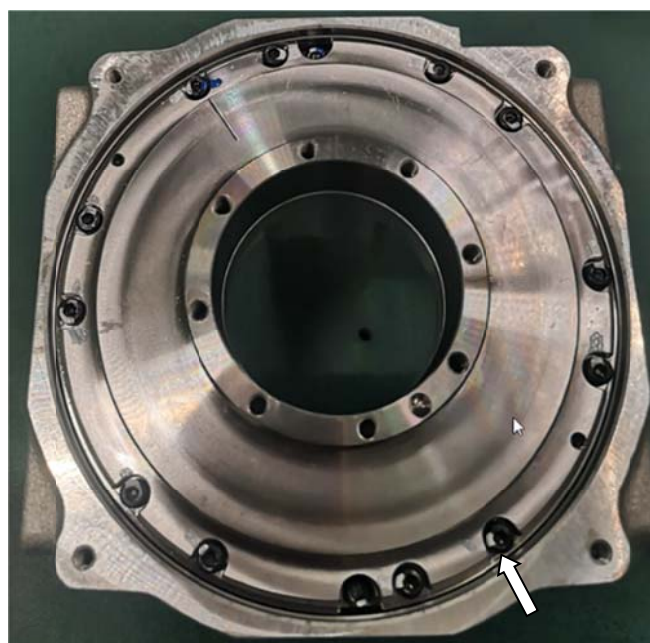
Pri sestavljanju izdelka IZDELEK1 smo vedno opravili drugi test navora, ravno tako s pametnimi orodji, in spremljali spremembo kota po prvem in drugem privijanju istih vijakov – vrednosti so ostale enake ali so se minimalno spremenile.

V Tabeli 4 meritve kota dodatnega zasuka vijak po privitju vijaka – kontrola momenta. Izvedenih je bilo 12 meritev.

Naredili smo tudi test navora z navadnim momentnim ključem in vijak se ni dodatno zavrtel, kar je bilo določeno na podlagi vizualnega pregleda in je prikazano na Sliki 10 (bele oznake na vijakih, so narejene pred drugo kontrolo).

**Tabela 4: Rezultati meritev – dodaten kot zasuka vijaka pri kontroli momenta**

|                               | Meritev 1 | Meritev 2 | Meritev 3 | Meritev 4  | Meritev 5  | Meritev 6  |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| Dotaten kot zasuka vijaka [°] | 8,9       | 11        | 55        | 44,3       | 16,8       | 26,9       |
|                               | Meritev 7 | Meritev 8 | Meritev 9 | Meritev 10 | Meritev 11 | Meritev 12 |
| – kontrola momenta            | 32,8      | 14,6      | 27,3      | 47,3       | 35         | 41,1       |



**Slika 10: dodatni zasuk vijakov pri kontroli momenta**

Na začetku vijačenja s pametnim orodjem je bilo s strani delavca, ki je izvajal vijačenje, potrebno nekaj časa za prilagoditev. Orodje je bilo ustrezno predstavljeno in prikazana uporaba. Tekom testiranja so bile s strani delavca ugotovljene sledeče prednosti pri testiranju pametnih vijačnikov:

- + Ni potrebna uporaba baterijskega orodja za približevanje,
- + pri vijačenju pride do opazno manj obremenjevanja zapestja, ker je vijačnik ustrezno stabiliziran z reakcijsko roko,
- + dvojno preverjanje momenta ni več potrebno.

Zaznanih je bilo nekaj izzivov:

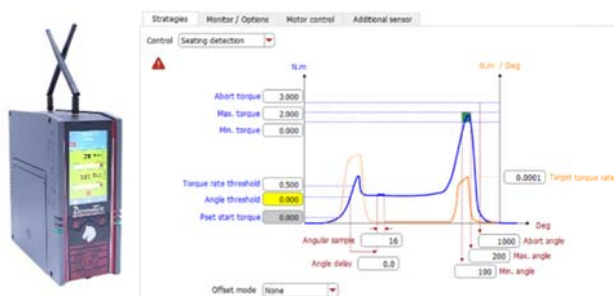
- Za nanašanje tesnilne mase na navoj je potrebna uporaba T-ključa ali kakšnega drugega orodja – posledično je vijačenje z



tesnilno maso precej počasnejše kot z navadnim momentnim ključem. Težavo bi lahko rešili z magnetnim nastavkom.

- Za preverjanje primernosti vijčenja je potreben dvig glave – lučka posveti precej visoko na orodju.
- Pri večjih navorih je oteženo vijčenje zaradi nestabilne lege kosa - pri implementaciji orodij v serijsko proizvodnjo bi bilo potrebno v nekaterih korakih razmisliti o dodatni fiksaciji, ki bo zagotovila stabilen položaj kosa med vijčenjem – JIGi.

Vzorčno smo testirali tudi kombinacijo krmilnika Connect W in vijačnika EABS8-1500-4S. Krmilnik Connect W ima vgrajeno brezžično dostopno točko na katero je mogoče priključiti in preko nje uporabljati do 10 brezžičnih orodij. Na voljo je z brezplačnim programom CVI config (Slika 11).



**Slika 11: Connect-W in primer izpisa rezultata vijčenja v programu CVI config [2]**

Vijačnik EABS8-1500-4S pokriva razpon momentov med 1,5 do 8 Nm.



**Slika 12: vijačnik EABS8-1500-4S [2]**

Prepoznali smo sledeče prednosti:

- + višja kakovost računalniškega programa,

- + sporočilo o ustreznosti vijčenja je izdano tudi v obliki lučke, ki posveti na mizo – ni potreben dvig glave,
- + brezžična povezava orodja in računalnika.

Ter tudi izzive:

- pri vijčenju pride do zasuka zapestja, ker vijačnik ni vpet – nujna bi bila uporaba reakcijske roke, zaradi stabilnosti in teže orodja,
- fiksna glava izvijača.

## 4. ZAKLJUČEK

V procesu testiranja pametnih vijačnikov, smo ugotavljali, ali bi z implementacijo le-teh izpolnili zahteve, želje in pričakovanja. Pomembnejši opaženi izboljšavi sta dvig kakovosti in zmanjšanje možnosti za skrite napake, katere vodijo do kasnejših zapletov in reklamacij. Pomembnost kakovosti vijčenja se pokaže pri pregledu celotnega postopka montaže.

Tekom sestavljanja izdelka IZDELEK1, se izvede 81 delovnih operacij, od tega je kar 55,56% vijčenja in skupno 164 privijačenih vijakov, zato je absolutno smiselno dvig kakovosti in ustrezen nadzor. Opazili smo tudi skupno 34% krajši skupni čas montažnega procesa oziroma dvig učinkovitosti.

Z uporabo reakcijske roke razbremenimo zapestje delavcev in tako izboljšamo tudi ergonomijo delovnega mesta ter zmanjšamo možnosti za poškodbe zapestja, kot so npr. sindrom karpalnega kanala. Z uporabo pametnega orodja Opazili smo določene rešljive izzive in mnogo prednosti ter izboljšav.

## Literatura

- [1] Kaushal Shal, Nigam Patel in ostali: Exploring applications of blockchain technology for Industry 4.0, ScienceDirect, 2022
- [2] Desoutter tools, <https://www.desouttertools.si/orodja>