

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 vijakčnikov, 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 vijakčnikov v procesih vijachenja. 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 vijachenja.

Uporaba pametnih vijakčnikov 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 vijachenja.

2. TEHNIČNE ZAHTEVE IN PRIČAKOVANJA

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

skrajšanje časov montaže, nabora potrebnega orodja in najpomembnejše, zmanjšanje možnosti in števila napak. Glavne zahtevane značilnosti pametnih vijakčnikov 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 vijakčnika	Navor	$\pm 5\%$	Naprava za merjenje navora
Izklopni kot vijakčnika	Kot vijachenja	250°	Naprava za merjenje kota
Štetje vijakov za definiran proces	Število vijakov z doseženim ustreznim momentom	0%	

Dosedanji postopek vijachenja 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.

UPORABA PAMETNIH VIJAČNIKOV PRI SESTAVLJANJU ROBSKE ROKE

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



Slika 1: Trenutno orodje, pametni vijačniki

Prvi korak predstavlja vijachenje 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 vijachenja in s tem procesa montaže.

Da bi lahko zagotovili ustrezno kakovost vijachenja, 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 vijachenja - zagotavlja, da je uporabljena ustrezna dolžina vijaka in
- število vijakov.

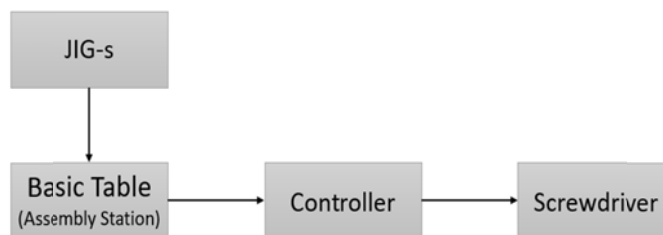


Slika 2: Delovna miza z navadnimi momentnimi ključmi

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 vijachenje.

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 vijachenja (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 vijachenja,
- omogočena mora biti nastavljalnost zaporedja programov,
- program omogoča približevanje vijakov
- začetek programa vijachenja se lahko izvede šele po podajanju zagonskega signala preko PLC,
- postopek vijachenja 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 vijačenja in optimizacija procesa.

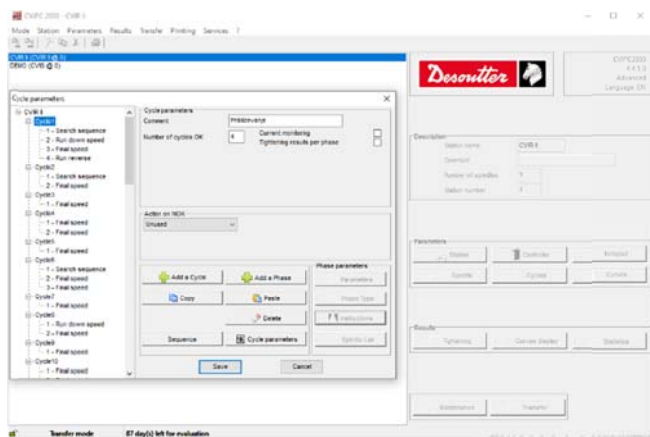
V delovnih ciklih definiramo končni, najmanjši in največji dovoljeni moment, hitrost in kot vijačenja, kjer predstavlja en zasuk vijaka 360 stopinj.

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).



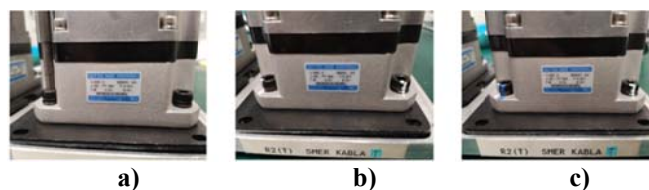
Slika 7: Program CVIR II

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 definiranega 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

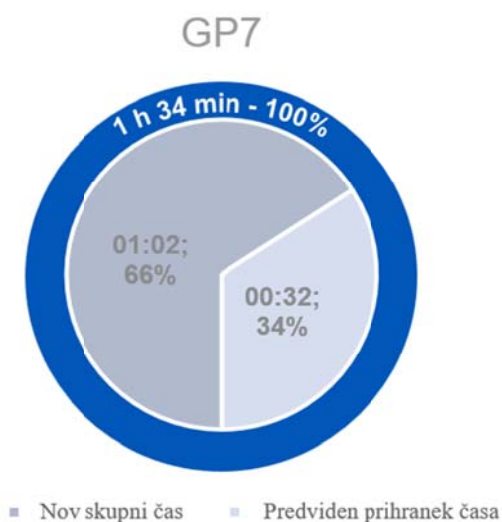
V Tabeli 3 je prikazan čas, potreben za vijačenje 22 vijakov M3x10. Opazimo lahko, da je

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

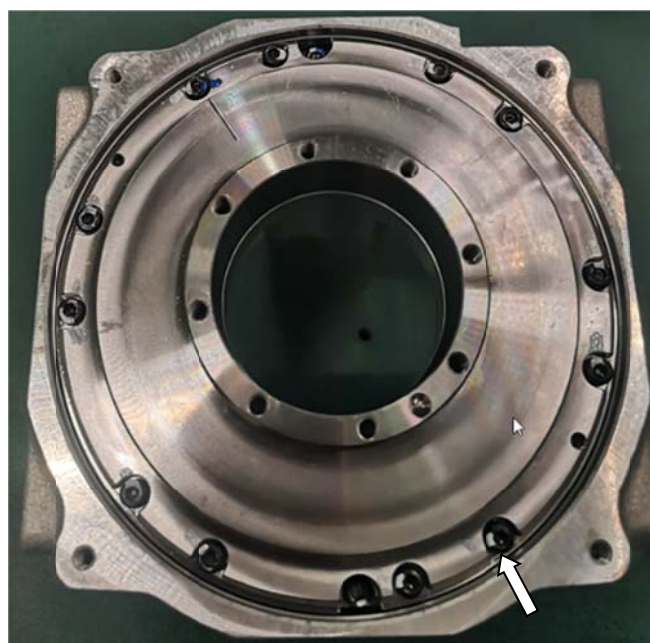
Pri sestavljanju izdelka IZDELEK1 smo vedno opravili drugi test navora, ravno tako s pametnimi orodji, in spremljali spremembo kota po prvem in drugem privijanju istih vijakov – vrednosti so ostale enake ali so se minimalno spremenile.

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

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



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:

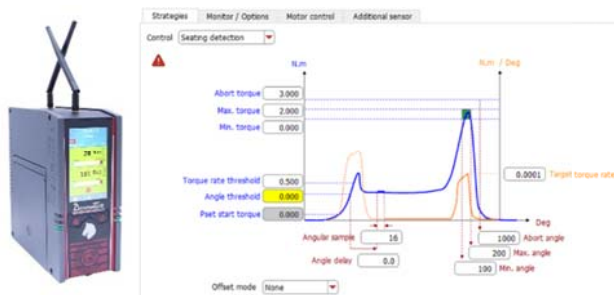
- + Ni potrebna uporaba baterijskega orodja za približevanje,
- + pri vijačenju pride do opazno manj obremenjevanja zapestja, ker je vijačnik ustrezno stabiliziran z reakcijsko roko,
- + dvojno preverjanje momenta ni več potrebno.

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 vijčnika 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: vijčnik 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 vijčnik ni vpet – nujna bi bila uporaba reakcijske roke, zaradi stabilnosti in teže orodja,
- fiksna glava izvijača.

4. ZAKLJUČEK

V procesu testiranja pametnih vijčnikov, 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 smiseln 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>