

Oblikovanje statorja za avtomatizirano montažo

Dušan GREGORIČ, Marko LEMUT, Robert VODOPIVEC

Povzetek: V prispevku je prikazan primer prenosa tehnologije montaže statorja motorja za servo volan iz tujine. Naloga je obsegala spremembo konstrukcije nekaterih sestavnih delov, ki jih ni bilo mogoče optimalno sestavljati v avtomatizirani montaži, kar je bila zahteva naročnikov. Ugotavljamo, da le avtomatizirana montaža omogoča visoko in enako kakovost, ki jo zahtevajo izdelki v avtomobilski industriji, hkrati pa morajo biti stroški montaže nižji kot v obstoječi proizvodnji v državi z nizkimi stroški delovne sile.

Ključne besede: montaža, oblikovanje izdelkov, »rapid-prototyping«, servo volan(EHPS), stator motorja,

■ 1 Uvod

Montaža izdelkov za avtomobilsko industrijo pomeni za proizvodnjo velik izziv, še posebno, če so zahteve za kakovost izdelkov zelo velike. Pogosto je te zahteve mogoče izpolniti le z uvajanjem avtomatizacije. V danem prispevku želimo predstaviti napore, ki so bili potrebni za prevzem montaže statorja servo volana, ki se je najprej sestavljal ročno v tujini in je bila njegova kakovost na prenizki ravni. Kupec za katerega se je stator izdeloval je bil s kakovostjo nezadovoljen in je iskal nove proizvajalce in ISKRA Avtoelektrika je sprejela izziv. Med drugim tudi zato, ker z naročnikom iz Nemčije že vrsto let zgledno sodeluje in ji kupec zaupa.

Pri načrtovanju novih avtomobilov je varnost in udobje udeležencev prometa velikega pomena, zato je v avtomobil vgrajenih veliko različnih sistemov, ki to varnost in udobje zagotavljajo. Hkrati pa morajo ti sistemi

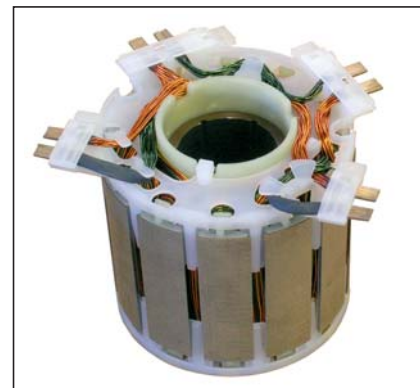
delovati brezhibno in varno. Prav zato smo priča hitremu razvoju raznih sistemov aktivne in pasivne varnosti kot so to sistemi proti blokiranju pri zaviranju, proti zdrsu ter tudi sistemi za enostavno upravljanje, ki prav tako zagotavlja varnost delovanja avtomobila. Tako tudi servo volan pomeni pomemben korak k dvigu varnosti, saj močno olajša upravljanje vozila. Del hidravličnega sistema (Electro Hydraulic Power Steering – EHPS) je tudi stator motorja za pogon črpalke [1,2].

V dosedanji ročni montaži je bilo veliko napak in izmeta, kar je bilo sicer pri kontroli odkrito, vendar je bila zanesljivost vedno vprašljiva. Z uvedbo avtomatizacije je mogoče pričakovati višjo kakovost izdelka. Vendar pa izdelka, ki ga je mogoče uspešno sestavljati v ročni montaži ni mogoče uspešno sestavljati tudi v avtomatizirani montaži. Pogosto so zahtevane spremembe oblike ter uvajanje novih tehnologij sestavljanja. Tudi pri uvajanju avtomatizacije montaže statorja motorja je bilo potrebno spremeniti konstrukcijo izdelka [3]. Pri tem je bilo treba uporabiti lastno znanje in izkušnje in pri tem upoštevati še posebno kratke roke za pričetek montaže in prenos izdelave iz tujine.

Projekt, ki ga je prevzela projektna skupina Iskre Avtoelektrike in Asinga je bil izveden v več korakih, ki so vključevali analizo obstoječe konstrukcije izdelka, prenovo izdelka ter hitro izdelavo vzorcev, razvoj montažnega sistema ter postavitve montažnega sistema v proizvodnjo v omejenem časovnem obdobju. Končni cilj pa je bil izdelava kakovostnega izdelka in zadovoljitev kupčevih zahtev.

■ 2 Analiza obstoječe konstrukcije

Inštitut, ki deluje v okviru Iskre Avtoelektrike, je temeljito proučil obstoječo konstrukcijo (slika 1). Strokovnjaki so si ogledali tudi obstoječo proizvodnjo v tujini in podali naslednje ugotovitve:



Slika 1. Obstoječa konstrukcija statorja motorja

Dušan Gregorič, univ. dipl. inž., ASING, d. o. o., Šempeter pri Gorici; Marko Lemut, dipl. inž., Robert Vodopivec, dipl. inž., Iskra Avtoelektrika, d. d., Šempeter pri Gorici

- konstrukcija izdelka ne omogoča ustrezne in višje stopnje avtomatizacije montaže,
- sama montaža zahteva veliko ročnega dela – 37 delavcev istočasno v eni izmeni.

Iz teh ugotovitev jasno izhaja, da morajo biti vloženi največji napori v smeri, ki bo omogočala dvig stopnje avtomatizacije in s tem drastično zmanjšanje števila zaposlenih in hkrati omogočala ponovljivo višjo kakovost. Naloga je bila še težja, saj je bilo treba prenesti tehnologijo montaže iz tujine – države, kjer so stroški dela še vedno bistveno nižji.

■ 3 Prenova izdelka

Vodilo pri spremembi konstrukcije je bil konstrukcijski proces Hubka-Duhovnik [3]. Tudi skupne delavnice in metoda DFMA so kmalu pripeljale do ugotovitve, da morajo biti vsi napori usmerjeni v »preoblikovanje« tistega dela statorja, kjer se nahajajo fazni odcepi – glej *sliko 1* in *2*. Z novo konstrukcijo sestavnih delov je bilo potrebno doseči:

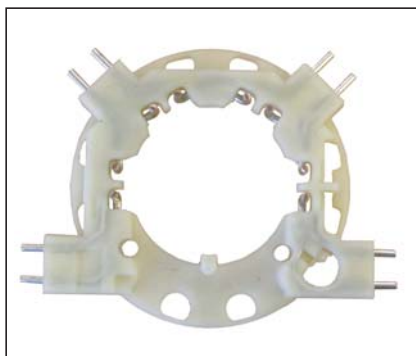
- avtomatizirano montažo sestavnega dela – PMOG-a,
- avtomatizirano varjenje,
- ukinitev zahtevnega in zamudnega ročnega razporejanja drobnih bakrenih žic.



Slika 2. Obstoječa konstrukcija PMOG-a

■ 4 Izdelava prvih vzorcev

Prvi vzorci nove konstrukcije so bili izdelani s tehnologijo »rapid prototyping« po metodi Selective Laser Sintering (SLS), ki jo v Iskri Avtoelektriki uporabljajo od leta 2004.

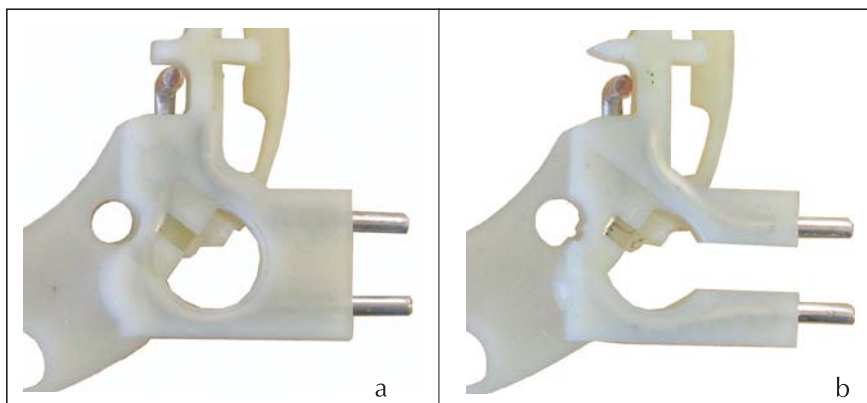


Slika 3. Prva varianta PMOG-a iz PA-materiala s 35 % steklenih vlaken

Na osnovi vzorcev, izdelanih po SLS-metodi (t. i. »proto A«), so bili izdelani tudi prvi vzorci iz PA-materiala (*slika 3*).

Celoten postopek od prvih prototipov do faze končne ocene in potrditve in končno tudi PPAP-postopka (Production Part Approval Process) je bil načrtovan in izvajen v skladu z APQP-protokolom (Advanced Product Quality Planning), ki je steber ISO/TS-standarda, ki ga ima Iskra Avtoelektrika.

Med preizkušanjem vzorci PMOG-a niso najbolj ustrezali, saj so se izkazali kot vir dodatnih, nedopustnih vibracij. Razlog je bil kmalu ugotovljen – previsoka togost konstrukcije, ki je bila namenoma ojačana, da bi se izognili težavam ob montaži pri kupcu. V primerjavi s staro konstrukcijo PMOG-a je nova konstrukcija vsebovala močne žične povezave, ki so nadomeščale prejšnje, ročno oblikovane povezave iz drobnih bakrenih žic (*slika 4*). Vsekakor pa je moral skupni presek bakra zaradi električnih karakteristik stroja ostati isti.

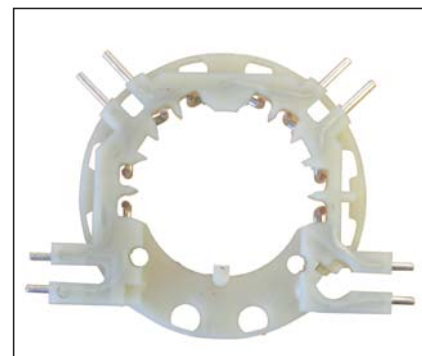


Slika 5. Prvi model PMOG-a se je med testi pokazal kot preveč tog – a, oslabitev konstrukcije – b.

Potrebno je bilo narediti oslabitve na konstrukciji tako, da so se v največji možni meri zmanjšale povezave iz umetnih snovi, glej *sliko 5*. Konstrukcija se je namerno oslabila. S tem so bile odpravljene tudi neželene vibracije – *slika 5 b*.

■ 5 Načrtovanje procesa montaže

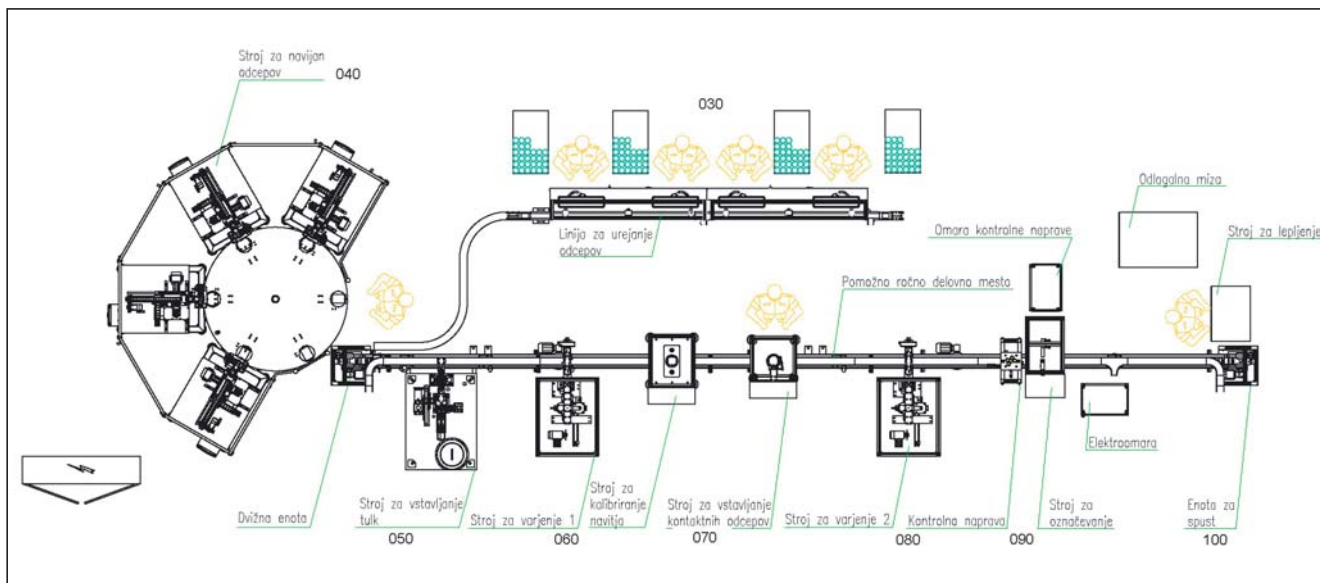
Tako smo prišli do konstrukcije PMOG-a, ki je ponujala možnost avtomatizacije določenih faz procesa izdelave:



Slika 4. Končni »pravi« vzorec iz PA-materiala brez steklenih vlaken

- zavijanje faznih odcepih posameznih navitij,
- vstavljanje tulca na fazne odcepe,
- varjenje in istovrstna odstranitev izolacije bakrenih žic,
- vtiskanje PMOG-a,
- varjenje odcepih na bakrene žice PMOG-a,
- avtomatska kontrola električnih karakteristik.

Jasno je, da smo pri načrtovanju procesa montaže in avtomatizaciji ome-



Slika 6. Tloris montažne linije

njenih faz uporabili paletni sistem za prenos sestavljenca med posameznimi stroji (slika 6). Medfazne zaloge v obliki »kupčkanja« na raznih vmesnih policah ne bi bile prišle v poštev.

Glede na potrebne tehnološke faze in glede na razpoložljiv prostor v proizvodni hali je nastal tloris montažne linije, ki ga prikazuje slika 6. Poudariti moramo, da faze do operacije 030 (insertiranje izolacije v statorski paket in navijanje) niso predmet avtomatizacije procesa in so prenesene take, kot so, iz tujine od prejšnjega proizvajalca statorja.

V preglednici 1 so zbrane vse tehnološke operacije, ki so se načrtovale v sklopu nove avtomatske linije. Ta je prikazana na sliki 6.

Bistvene značilnosti montažne linije so naslednje:

- Nosilec informacije o stanju izdelka na paleti je mehanski; vsebuje torej samo informacijo, ali je izdelek dober ali slab. »Dobra« paleta potuje od postaje do postaje, »slaba« pa nemoteno potuje do mesta odvzema slabih kosov na koncu linije.
- Stroji, ki so nameščeni ob sami liniji, so od centralnega krmilnika celotne linije popolnoma neodvisni v krmilnem smislu – vsak lokalni krmilnik nadzira poleg svoje delovne operacije še zaustavljajnik, predzaustavljajnik in kontrolo

Preglednica 1. Faze montaže na montažni liniji

Oznaka operacije	Opis operacije
030	ročno urejanje faznih odcepa
040	avtomatsko zavijanje žic faznih odcepa
050	avtomatsko vstavljanje tulke
060	avtomatsko varjenje tulke
070	kalibriranje navitja in vstavljanje PMOG-a
080	avtomatsko varjenje faznih odcepa in PMOG-a
090	avtomatska kontrola električnih karakteristik in označevanje
100	lepljenje
	vizualna kontrola

prisotnosti palete. Na tak način je bistveno zmanjšana potreba po komunikaciji med krmilnikom linije in lokalnim krmilnikom stroja.

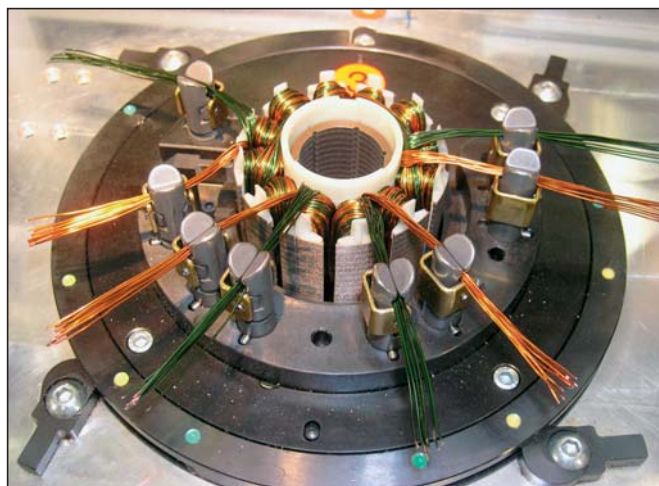
5.1 Stroj za zavijanje odcepa (040)

To je prvi stroj, ki uredi geometrijo faznih odcepa in jo naredi primerno za nadaljnjo avtomatsko obdelavo. Stroj mora prijeti snop žic, jih zaviti ter nato odrezati na ustrezno dolžino. Je izjemno zahteven v kinematskem smislu. Sestavljen je iz štirih samostojnih enot, po-

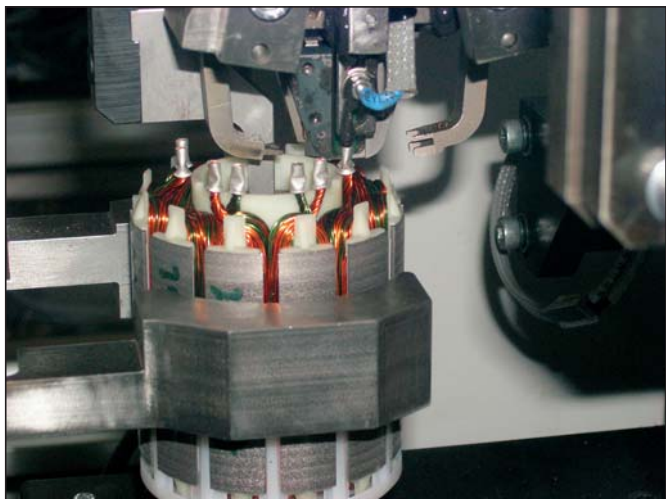
vezanih preko vrtljive mize za transport kosov. Glej 040 na sliki 6 in 7.

5.2 Stroj za vstavljanje tulke (050)

Stroj vstavlja majhne bakrene tulke na predhodno zavite in odrezane



Slika 7. Vlagalno mesto v stroju za zavijanje odcepa



Slika 8. Avtomatsko vstavljanje tulk na zavite konce žic

odcepe ter jih mehansko deformira – krimpa na snop žice. Stroj deluje popolnoma avtomatsko, le tulke je potrebno občasno dodati v dozirno napravo. Glej 050 na sliki 6 in *slika 8*.

5.3 Stroj za varjenje tulk (060)

V tehnološkem smislu je to najzahtevnejši stroj v celotnem montažnem sistemu (glej 060 na sliki 6). Zahtevno je predvsem ugotavljanje ustreznih varilnih parametrov (napetost, tok, čas ...) in njihov nadzor v pogojih proizvodnje. Od številnih novosti, ki smo jih vpeljali pri tem varilnem stroju, je tudi avtomatsko čiščenje in brušenje elektrod. Glej 060 na sliki 6 in *slika 9*.

5.4 Stroj za varjenje PMOG-a (080)

Oba varilna stroja (tudi tisti, ki je opisan v točki 4.3) sta popolnoma enaka in sta med seboj nadomestljiva. Za to stopnjo varnosti smo se odločili iz enostavnega dejstva, da ročne alternative – v primeru, da stroj odpove – enostavno ni. Glej 080 na sliki 6 in *slika 9*.

5.5 Stroj za kontrolo električnih karakteristik in označevanje (090)

Značilnost skoraj vsake montažne linije je tudi 100-odstotna kontrola izdelka. Na tej napravi se izvaja preko 20 električnih meritev: induk-

tivnost, upornost, prebojna trdnost, izolacijska upornost ... Po končani meritvi se vsak izdelek označi z dnevom proizvodnje, zaporedno številko meritve ter oznako statusa »dobro – slab«.

V primerjavi s popolnoma ročnim načinom dela na Slovaškem je v našem primeru kontrola popolnoma avtomatska, kar pomeni velik napredek v smislu zanesljivosti

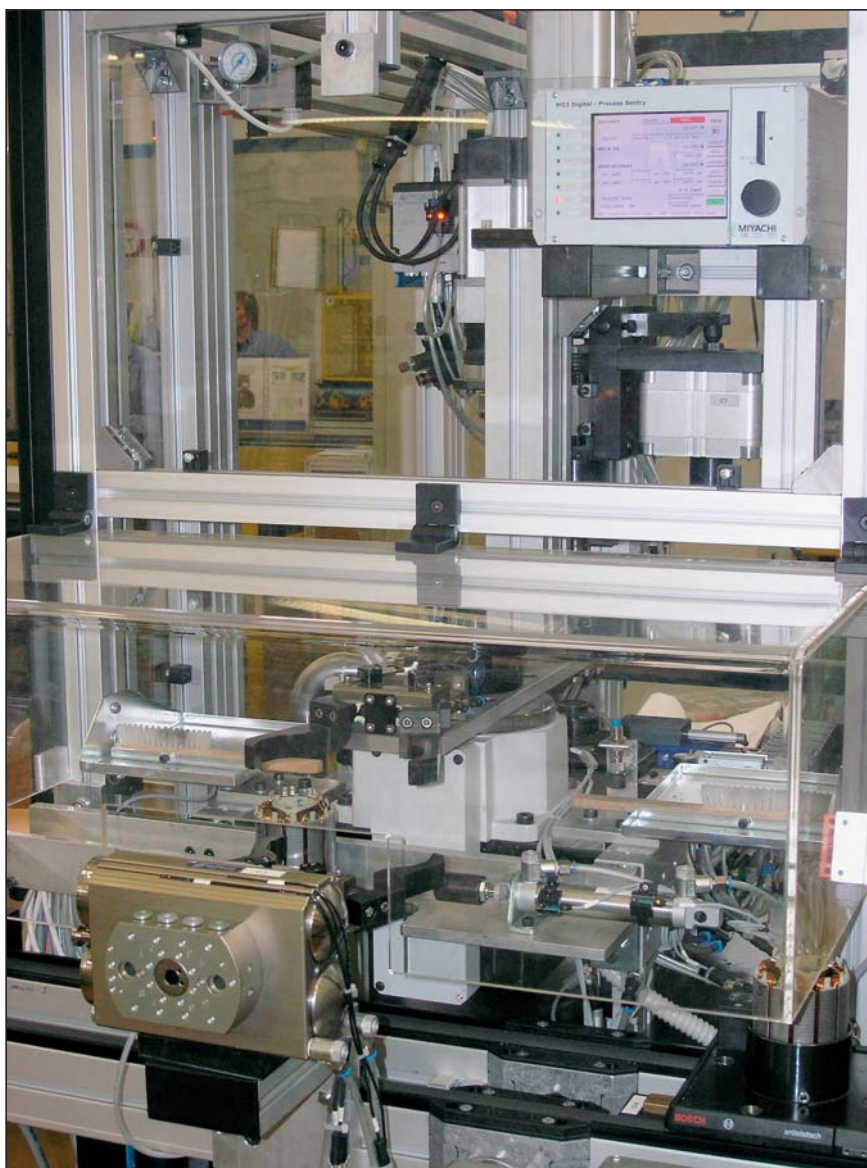
označevanja izdelka in odprave vpliva človeka.

5.6 Naprava za lepljenje spodnjega zaščitnega PMOG-a (100)

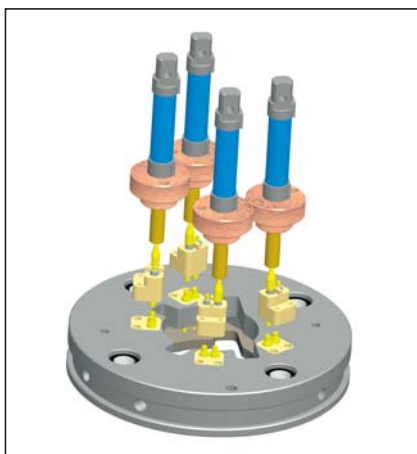
Operator prime dober statorski paket in ga vstavi na trn lepilne naprave. Naprava pred pričetkom lepljenja preveri višino faznih odcepov. Lepljenje se izvede le, če je višina faznih odcepov manjša od maksimalno dovoljene.

5.7 Stoodstotna vizualna kontrola izdelka

100-odstotna vizualna kontrola izdelka pred pakiranjem poteka na ročnem delovnem mestu. Za pakiranje



Slika 9. Stroj za varjenje tulk



Slika 10. Kontakti v glavi kontrolne naprave

smo vgradili dvizno škarjasto mizo, ki lajša delo operaterju.

■ 6 Zaključek

Iskra Avtoelektrika, d. d., si je pred dobrim letom zadala zahtevno nalogo prenosa izdelave statorjev s področja s poceni delovno silo v Slovenijo.

Potrebno je bilo narediti velik poseg v konstrukcijo izdelka, ki je moral zagotavljati 100-odstotno zamenljivost



Slika 11. Prihod palet na kontrolno mesto

s prejšnjim izdelkom in omogočiti avtomatizacijo tistih delov montaže tako, da se je zmanjšalo število delavcev s 37 na samo 13. Po prvih preizkusih montažne linije, ki jo je izdelal Asing, d. o. o., in meritvah izdelanih statorjev ugotavljamo, da so vsi sodelujoči strokovnjaki zelo dobro opravili svoje delo.

Viri

- [1] Avčin F., P. Jereb; Preizkušanje električnih strojev, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 1983.
- [2] Jacek.F., G. W. Mitchell; Permanent magnet motor technology – second edition, 2002.
- [3] Hlebanja J.; Metodika konstruiranja, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo 2003

The redesign of a power-steering system stator for automated assembly

Abstract: An example of assembly technology transfer of motor stator for servo wheel from abroad is shown in the article. The task has involved the redesign of few product parts, which was not possible to assemble in automated assembly system, as the customers wish was. It is possible to conclude, that the automated assembly can enable high and constant quality, which is demanded for product in automotive industry and in the same time the assembly costs should be lower than the cost in existing production in country with very low labor costs.

Key words: assembly, product design, »rapid-prototyping (EHPS), servo wheel, motor stator,

nadaljevanje s strani 303

■ LIGNA HANNOVER 2009 (Lesni sejem v Hannovru 2009)

18.–22. 05. 2009
Hannover, ZRN

Organizator:
– Ligna Hannover

Težiščne teme razstave:

- gozdarska tehnika in gospodarjenje z gozdovi
- žagarstvo
- predelava lesa
- les in izdelava furnirjev
- pohištvena industrija
- tehnologija površinske obdelave lesa
- mizarstvo – ročna obdelava lesa
- idr.

Informacije:
– www.ligna.de

nadaljevanje na strani 383