

Avtomatizacija stroja za vezenje

Ivan VENĠUST

Izveček: V članku so opisane glavne značilnosti projekta avtomatizacije stroja za vezenje. Vezilni stroj med delovanjem sinhronizirano z gibanjem igle premika okvir s tkanino. Premik okvira je dovoljen le, ko je igla nad tkanino. Stroj za vezenje mora delovati hitro, da dosega ustrezno produktivnost. Vendar mora biti tudi pri visoki hitrosti delovanja kvaliteta vezenja zadovoljiva. Krmiljenje stroja je izvedeno z univerzalnim večosnim pozicijskim krmilnikom in PC-računalnikom.

Med realizacijo projekta so se pojavile težave zaradi neustrezne kvalitete izdelka pri višjih hitrostih delovanja. V članku je opisan način reševanja teh težav, kakšni so bili postopki diagnosticiranja, določanja vira problemov in metode odpravljanja kritičnih mest v konstrukciji stroja, v krmilnem sistemu in v programski opremi. Za dosego cilja je bilo potrebno optimiranje mehanskih, krmilnih in programskih rešitev.

Ključne besede: računalniško voden stroj za vezenje, pozicijsko krmiljenje, sinhronizirani pomiki osi, električni servopogoni, pozicijski krmilnik Trio Motion Technology

■ 1 Uvod

Strojno vezenje je proces, pri katerem s šivalnim strojem ustvarjamo vzorce v tekstilu. Ta proces karakterizira sinhronizirano gibanje igle in okvira s tkanino. Dvoosni okvir se lahko premika, ko je igla, ki vodi nit, izven tkanine. Uporablja se za izdelavo našitkov, napisov, logotipov, okraskov, pa tudi bolj zahtevnih designov, kot so prapori in slike.

Industrija računalniško vodenih vezilnih strojev je dobro razvita, vendar je usmerjena predvsem v stroje za množično produkcijo vezenin. Ni težko najti proizvajalca stroja za vezenje z npr. 20 in več glavami, težave pa se pojavijo, če želimo specializiran stroj, ki ima delovno območje večje kot npr. 1000 mm.

Avtomatizacija strojev v tekstilni industriji ima zelo dolgo zgodovino. Že leta 1805 je Joseph M. Jacquart izdelal uporabne statve za tkanje blaga, pri katerih je bilo vzorce mogoče programirati z luknjanimi karticami [1]. Ta izum je mogoče šteti kot



Slika 1. Avtomatični troglavi mehanski stroj za vezenje z luknjanim trakom iz leta 1928 (Würker GmbH, Dresden)

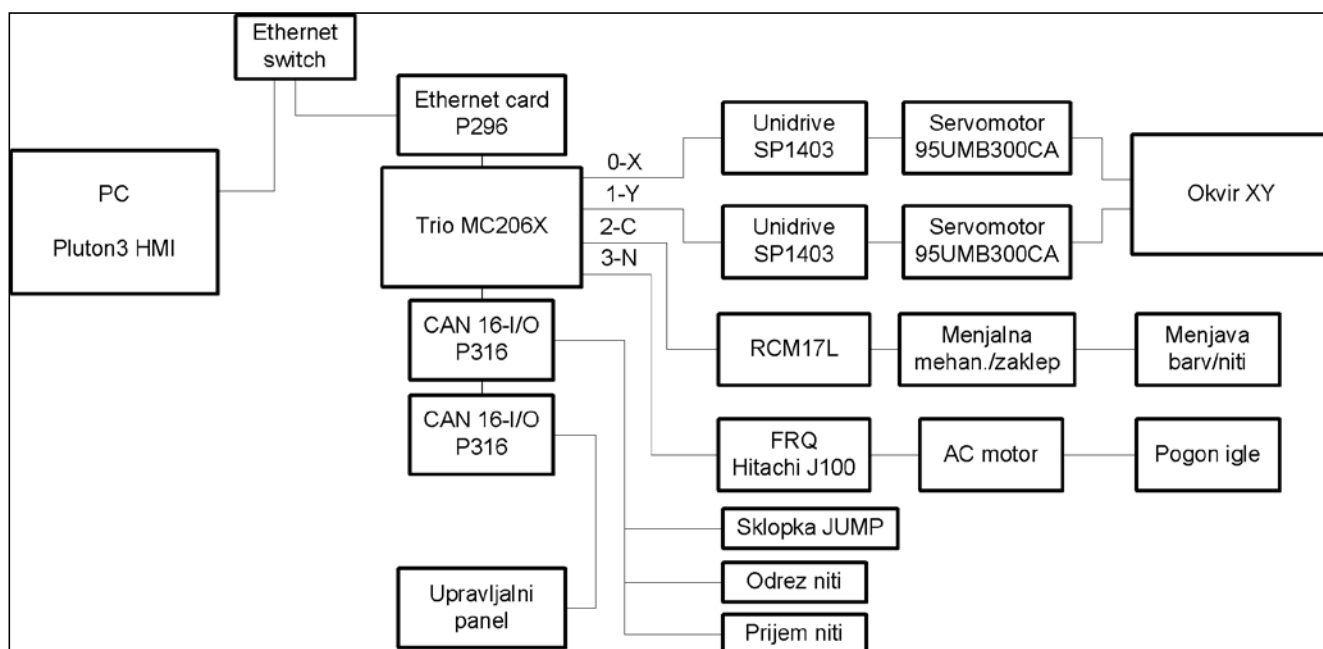
predhodnika današnjih numerično krmiljenih strojev.

Stroji za vezenje so se razvijali vzporedno z razvojem šivalnih strojev. Prvi ročni šivalni stroji so se začeli pojavljati po letu 1850. Leta 1929 je bil patentiran način prenosa podatkov iz luknjanega traku na premike okvira s tkanino [2], kar je omogočilo razvoj avtomatičnih me-

hanskih vezilnih strojev (slika 1) [3]. Prvi računalniško vodeni vezilni stroji so se začeli pojavljati po letu 1976 (Melco, Barudan ...).

V podjetju Vezenje Ercigoj, ki se ukvarja z izdelavo vezenin za trg, so začeli z lastnim razvojem računalniško vodenih strojev za vezenje že leta 1987, najprej s predelavami mehanskih avtomatičnih

Dr. Ivan Vengust, univ. dipl. inž.,
PS, d. o. o., Logatec



Slika 2. Krmilni sistem stroja za vezenje Pluton 2

strojev (stroj Marcus) [4], nato tudi z izdelavo celotnega stroja (mehanika in programska oprema Jupiter 1) [5].

V tem prispevku je opisana izkušnja izdelave krmiljenja za vezilni stroj. Podjetje Vezenje Ercigoj je izdelalo mehaniko stroja in specificiralo zahteve za krmilni sistem stroja. Krmiljenje in ustrezno programsko opremo je razvilo podjetje PS, d. o. o., Logatec.

2 Opis izvedbe

Projekt računalniško vodenega stroja za vezenje Pluton 2 izhaja iz razvoja vezilnega stroja, pri katerem so bili razviti in izdelani podajalni mehanizem za premike tkanine, krmilna elektronika in programska oprema ter uporabljena komercialna vezilna glava. V projektu so bili najprej uporabljeni koračni motorji, programska oprema pa je bila razvita za operacijski sistem DOS. Zara-

di želje po povečanju hitrosti in izboljšanju zanesljivosti delovanja je bil projekt začasno prekinjen in vrnjen stopnjo nazaj v ponovno načrtovanje. Koračna motorja sta bila nadomeščena s servomotorjema, krmilna elektronika je bila v celoti zamenjana, krmiljenje je prevzel univerzalni pozicijski krmilnik, za uporabniški vmesnik je bil uporabljen PC-računalnik z operacijskim sistemom MS Windows. Krmilni sistem tega stroja je prikazan na *sliki 2*.



Slika 3. Stroj za vezenje med predelavo: okvir s tkanino je v srednjem delu slike, odprta vezilna glava zgoraj desno.

Dva servopogona premikata okvir za tkanino preko zobatih jermenov. Delovno območje okvira je 1500 x 340 mm (*slika 3*). Vezilna glava Barudan (*slika 4*) ima devet igel, možnost izbire igle, kontrolo pretrganja niti ter aktuatorje za avtomatični odrez niti in podaljševanje vbodov z mehanizmom za preskoke. Hitrost vbadanja igle lahko zvezno spreminjamo s pomočjo frekvenčnega pretvornika do hitrosti 950 vbodov/minuto. Za izbiranje igle je bil razvit mehanizem, ki ga poganja motor CoolMuscle z integrirano krmilno elektroniko.

Pozicijski krmilnik Trio Motion [8] krmili štiri motorje. Za brezkrtačna izmenična servomotorja je uporabljena klasična zaprtzoančna pozicijska zanka z analogno hitrostno referenco in pozicijsko povratno zvezo preko enkoderskih signalov iz



Slika 4. Vezilna glava z devetimi iglami in avtomatično menjavo. V zgornjem delu je sistem za napenjanje s kontrolo pretrganja niti, levo je upravljalni panel stroja.

servokrmilnika oz. motorja. Za motor RCM17L CoolMuscle je uporabljen odprtozankni vmesnik 'step/dir'. Pozicijsko zanko zapira sam motor, ki že ima vgrajen merilni sistem. Motor za pogon igle je krmiljen z analognim hitrostnim signalom preko FRQ-regulatorja. Rotacijo igle meri dodatno prigradeni inkrementalni dajalnik. Z njegovo pomočjo določamo referenčno lego, omogočeno je tudi enostavno, a grobo pozicioniranje igle.

Poleg pozicionirnih nalog izvaja krmilnik Trio Motion tudi PLC-funkcije.

Posebno zahtevni sta dve operaciji: podaljševanje vbodov in odrez niti. Podaljševanje vbodov je tehnika za izdelavo dolgih, ravnih odsekov niti za doseganje posebnih efektov pri vezenju. Dolžina premika okvira med dvema vbodoma je omejena na 12,1 mm v vsaki smeri. Če želimo daljše vbode, moramo preprečiti vbod igle med dvema premikoma okvira. Gibanje se prenaša z motorja na iglo preko sklopke. Če z aktuatorjem premaknemo sklopko, se igla ustavi. Vklon in izklon tega aktuatorja morata biti natančno sinhronizirana z zasukom pogona igle. Celotna procedura se lahko izvaja le pri nižjih hitrostih vezenja.

Pri odrezu niti je potrebno doseči, da je odrezana nit ravno prav dolga. Prekratka nit lahko uide iz igle ali onemogoči pravilno nadaljevanje vezenja, predolga pokvari videz vezenja. Odrez niti je zahteven



Slika 5. Design med izdelavo. Vidimo lahko več igel z različnimi barvami niti, ki se med vezenjem zamenjujejo. V zgornjem delu slike se vidi kljuka, ki po odrezu odmakne konec niti od vezenja.

zato, ker pri njem sodeluje več aktuatorjev: nož za odrez, prijem spodnje in zgornje niti ter kljuka za premik odrezane niti v nosilec (slika 5). Premiki aktuatorjev morajo biti časovno usklajeni med seboj in sinhronizirani z lego igle.

HMI-aplikacija (program Pluton3) na PC-računalniku omogoča nadzor in kontrolo stroja (slika 6). Računalnik in pozicijski krmilnik sta povezana s povezavo Ethernet, ki se je izkazala za najbolj hitro in zanesljivo. Pomembna funkcija HMI-vmesnika je odpiranje vezilnih designov in prenašanje podatkov o vbodih v krmilnik. Vezilni design vsebuje informacije o koordinatah vbodov, o točkah odrezov, menjavah barv in drugih detajlih. To je vektorsko zapisana grafična podoba vezenine.

Program lahko bere designe, zapisane v formatu Tajima. Ta format datotek je eden od standardnih zapisov vezilnih programov. Definiral ga je japonski proizvajalec vezilnih strojev Tajima [6] še v času strojev z luknjanimi trakovi. Pozicije vbodov so zapisane v inkrementalni obliki s 24 biti, 10 bitov za vsako os in 4 funkcijski biti. Za zapis premikov je uporabljen neobičajen trojiški številski sistem. Z dvema bitoma (luknjama) so definirane tri možne pozicije. Deset bitov da tako $3^5 = 243$ možnih pozicij, kar se prevede v ± 121 relativnih premikov oz. $\pm 12,1$ mm, ker so vse pozicije zapisane v resoluciji 0,1 mm. Preostali 4 biti so uporabljeni za definicijo tipa vboda (vbod, preskok, menjava barve, konec programa). Vezilni programi so običajno precej dolgi. Že običajen našitek ima lahko do 20.000 vbodov, večje vezenine tudi preko 1.000.000 vbodov. HMI-program Pluton3 odpira te datoteke in prikaže vezilne programe na ekranu. Spomin pozicijskega krmilnika je premajhen za večje programe, zato PC prenaša podatke v krmilnik postopno. Izdelava večjih designov lahko na stroju poteka tudi dan in več. HMI program je napisan s prevajalnikom C++Builder, za grafični prikaz designov je uporabljena knjižnica OpenGL [7], za komunikacijo s krmilnikom pa komponenta Trio PC Motion ActiveX [8].



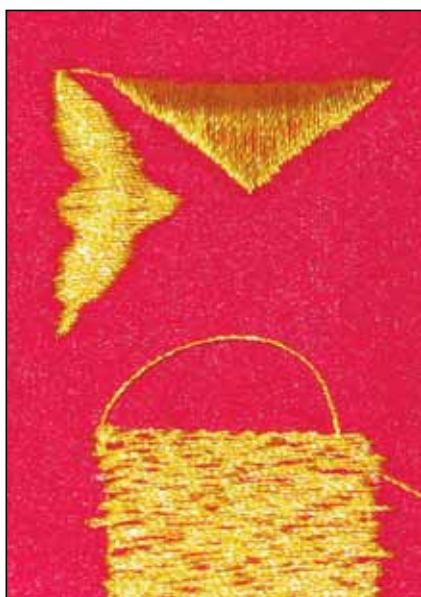
Slika 6. HMI-vmesnik stroja na PC-računalniku prikazuje vezilni design in trenutno stanje izdelave

■ 3 Problemi pri izvedbi

Pri izvedbi krmiljenja je bilo veliko pozornosti namenjene izpolnjevanju zahteve po visokih hitrostih delovanja stroja. To pri vezenju merimo v številu vbodov v minuti. Hitrost se spreminja v odvisnosti od dolžine premika. Postavljena je bila zahteva, da stroj dosega hitrosti delovanja do 950 vbodov/min pri kratkih vbodih. Pri tej hitrosti traja cikel igle 63 ms, od tega je 21 ms igla v tkanini, 42 ms

pa je zunaj in takrat se lahko okvir premakne. Z daljšanjem gibov se ta hitrost niža. Pri maksimalni dolžini pomika 12,1 mm je tako maksimalna hitrost omejena na 400 vbodov/min. Krmilnik samodejno prilagaja hitrost delovanja dolžini vboda. Operater lahko še dodatno omeji maksimalno hitrost delovanja in s tem izboljša kvaliteto izdelave.

Prvi testi delovanja so pokazali, da stroj predvsem pri višjih hitrostih ne dosega zahtevane točnosti vbodov $\pm 0,1$ mm. To se je pokazalo na neravnih robovih in tudi pri nepravilnih debelinah izvezenih izdelkov. Nekateri testi so še posebno lepo pokazali težavo in so že napeljevali na vir problemov. Na *sliki 7* sta prikazana dva takšna selektivna testa.



Slika 7. Testiranje stroja za vezenje; zgoraj: zvezno spreminjanje dolžin po oseh X in Y, spodaj: naključne dolžine v osi X

Zgornji test je izdelava dveh trikotnikov, ki sta orientirana vzporedno z osema X in Y. Pri izdelavi trikotnika se dolžine vbodov zvezno spreminjajo od kratkih na robovih do zelo dolgih na sredini. S spreminjanjem dolžin se med vezenjem spreminjajo tudi hitrosti in pospeški. Tako dobimo test z zveznim spreminjanjem vhodne veličine, izhodna veličina je pa izvezen izdelek. Na *sliki 7* vidimo, da je v trikotniku za smer X namesto ravnega roba izvezen valoviti rob. Ta valovitost kaže na nihanje v osi, ki je posledica sunkovitega vzbujanja pri visokih pojemkih. Nihanje okvira se do vstopa igle v tkanino ne umiri, zato igla zgreši pravo pozicijo. V osi Y je rezultat veliko boljši. Spodnji del slike 7 kaže rezultate testa, v katerem se izmenjujejo naključne dolžine vbodov v osi X.

Izrazita nihanja zaradi višjih pospeškov povzročijo dolgi pomiki, pri kratkih pomikih so pospeški nižji. Pri kratkih pomikih so zato odstopanja majhna, dolgi pomiki pa povzročajo velika odstopanja, bodisi prelet ali pa prekratek vbod, kar se na *sliki* lepo vidi.

Razlogov za nestabilnosti v krmilni zanki z zaprto povratno zvezo je lahko več, vendar nas je analiza rezultatov hitro pripeljala do vira težav. To je bil 3 m dolg, ne dovolj tog pogonski jermen v osi X. Jermen je zaradi elastičnosti pri višjih pospeških zanihal z lastno frekvenco. Teh nihanj zaradi visoke frekvence in hitrega iznihanja s prostim očesom ni bilo mogoče opaziti. Domnevo



Slika 8. Snemanje nihanj zobatega jermena osi X s hitro kamero Casio EX-F1. Kamera lahko snema s hitrostjo do 1200 posnetkov v sek.



Slika 9. Pogon osi Y po vgradnji navojnega vretena

smo potrdili z uporabo hitre kamere [9], ki je pri hitrosti snemanja 600 slik/s jasno pokazala dejansko stanje (slika 8). V osi Y je bil za pogon tudi uporabljen zobati jermen, vendar je bil precej krajši, zato tukaj nihanja niso povzročala toliko odstopanj. Del netočnosti je dodal še okvir za tkanino, ki je prav tako nihal med obratovanjem stroja.

Za odpravo težave je bilo potrebno mehansko konstrukcijo pogona osi narediti bolj togo. Prva misel je bila zamenjava zobatega jermena s šir-

šim jermenom. Vendar se je pokazalo, da je zelo težko najti tak jermen, za katerega bi lahko vnaprej trdili, da se bo pri ekstremnih dinamičnih obremenitvah obnašal dovolj dobro. Na razpolago so bili podatki o statičnih obremenitvah jermenov, dinamičnega obnašanja pa ni bilo mogoče napovedati. Zato smo se odločili za nekoliko dražjo, a mnogo bolj predvidljivo rešitev: za zamenjavo pogona z jermeni za pogon z navojnimi vreteni (slika 9). Nekaj izboljšav je bilo narejenih tudi na konstrukciji nosilnega okvira za tkanino.

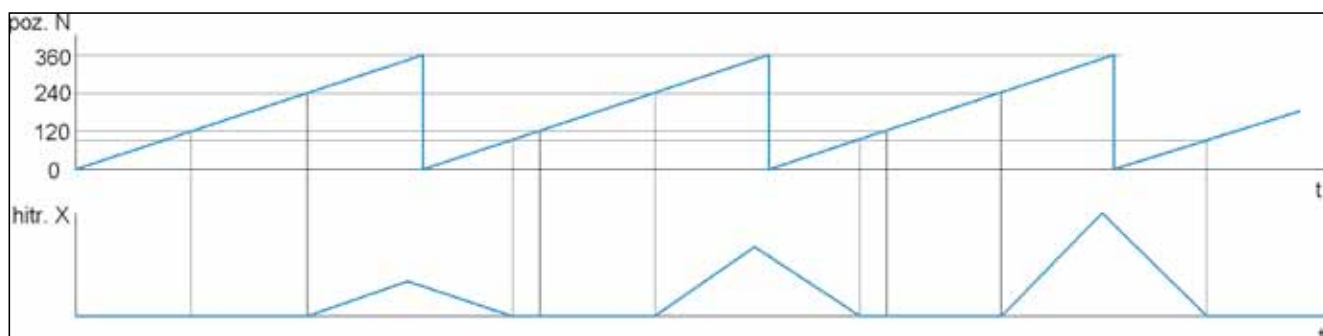


Slika 10. Pozicijski krmilnik Trio Motion Technology MC 206X z dvema razširitvenima I/O-moduloma izvaja večino časovno kritičnih funkcij vezilnega stroja.

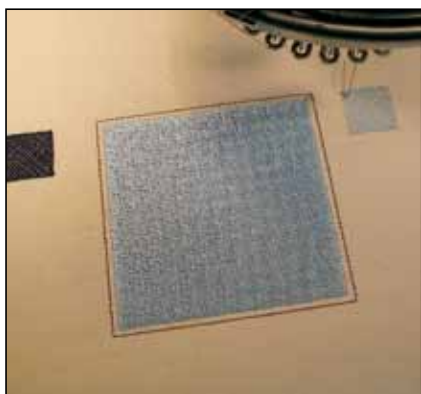
Testi po spremembah so pokazali bistveno izboljšanje kvalitete vezanja. Natančnosti so bile sedaj znotraj toleranc. Vendar pa se je v nekaterih primerih še vedno zgodilo, da je kakšen vbod dimenzijsko odstopal. Analiza teh dogodkov je bila bolj zahtevna. Hitra kamera je pokazala, da pri nekaterih vbodih okvir še ni končal gibanja, ko je igla že zabodla v tkanino. To se ne bi smelo zgoditi, saj je imel vsak premik izračunane takšne parametre giba, da bi se moral končati pravočasno. Izkazalo se je, da pri visokih hitrostih programska zanka v pozicijskem krmilniku Trio Motion ni bila dovolj hitra. Zato je včasih zamudila trenutek, ko je bilo potrebno startati premik okvira. Prepozen start okvira pa je pomenil slabo sinhronizacijo z iglo in napake v vezenju. Kritično je bilo prepoznavanje trenutka izstopa igle iz tkanine in zagotavljanje takojšnje reakcije na ta dogodek. Rešitev za to smo našli v zamenjavi načina sinhronizacije igle in premika okvira. Namesto čakanja na signal, da igla zapušča tkanino, smo uvedli sinhrono povezavo med gibom igle in premikom okvira. Krmilnik Trio Motion (slika 10) ima v svojem naboru ukazov številne specializirane gibalne ukaze. Ti omogočajo realizacijo mnogih funkcij, ki jih srečujemo pri različnih pozicijskih projektih. Za sinhronizacije gibov več osi je na razpolago ukaz 'movelink'. Ta ukaz omogoča zaklepanje ene ali več osi na premike vodilne ('master') osi. Pri tem lahko definiramo območja, v katerih podrejena os pospešuje, se giblje s hitrostjo vodilne osi oz. zavira. Naš problem rešijo štirje ukazi 'movelink', po dva za vsako os okvira. V nadaljevanju je princip prikazan za os X:

```
MOVELINK(xr0/2, n_angle/2,
n_angle/2, 0,N/2, npos_out)
MOVELINK(xr0/2, n_angle/2,
0, n_angle/2, N)
```

Prvi 'movelink' ukaz definira območje pospeševanja. Njegovo funkcijo opišemo takole: ukaz 'movelink' naj začne povezavo osi X z gibanjem osi vodilne osi N (igla), ko je dosežena absolutna pozicija 'pos N = npos_out'. To je trenutek, ko igla zapusti



Slika 11. Povezava gibanja osi X z gibanjem vodilne osi N (rotacija igle) z ukazom 'movelink'. Primer kaže ciklično spreminjanje kota osi N med 0 in 360 stopinjami in hitrostne profile treh različno dolgih premikov osi X.



Slika 12. Zaključno testiranje stroja; izdelek je sedaj tudi pri visokih hitrostih obratovanja brezhiben.

tkanino. Po tem poveže gibanje osi X z gibanjem osi N (4) tako, da se X premakne za razdaljo ' $x_{r0}/2$ ', ko se os N premakne za kot ' $n_{angle}/2$ '. Pri tem os X ves čas pospešuje. Razdalja ' $x_{r0}/2$ ' je polovica inkrementalne razdalje danega vboda, kot ' $n_{angle}/2$ '

je zasuk osi N, ko je igla zunaj tkanine, zmanjšan za varnostno rezervo. Drugi 'movelink' ukaz definira območje zaviranja. Nadaljuje se takoj za predhodnim ukazom. 'Movelink' nadaljuje povezano gibanje osi tako, da se os X premakne za razdaljo ' $x_{r0}/2$ ', medtem ko se vodilna os N premakne za kot ' $n_{angle}/2$ '. Pri tem os X ves čas zavira. Procedura je v obliki časovnega diagrama prikazana na sliki 11.

Prednosti tega načina sinhronizacije sta dva. Ukaz za povezavo definiramo vnaprej: trenutek za start sedaj išče sistemska programska oprema na nivoju 1 ms intervalov vzorčenja. Druga prednost je, da se gib podrejene osi vedno prilagodi razpoložljivemu času. Če je premik kratek, bodo pospeški in pojemki nizki. Stroj bo deloval manj sunkovito.

Ta izboljšava programa pozicijskega krmilnika se je odrazila tudi v kvaliteti vezenja. Stroj sedaj dosega odlično kvaliteto tudi pri visokih hitrostih delovanja (sliki 12 in 13).

4 Zaključek

V prispevku je prikazana trnova pot, ki jo je običajno potrebno prehoditi med razvojem tehnološko zahtevnih produktov. Reševati je potrebno številne težave, ki se pojavijo, preden naprava ali stroj deluje, kot je bilo na začetku specificirano. Pri tem je potrebno optimirati mehanske, krmilne in programske rešitve. Le tako pridemo do res vrhunskega izdelka. Pri mehanski izvedbi je bilo ključno izdelati konstrukcijo, ki pri visokih pospeških in pojemkih minimalno niha. Pri izbiri servopogonov je bilo nujno izbrati dovolj hitre motorje ter optimirati ojačitvene parametre servozank. Temu je dodan še hiter pozicijski krmilnik, ki lahko optimalno izkoristi čas, ko je igla nad tkanino, ter skrbno načrtovana in izdelana programska oprema, osredotočena predvsem na časovno kritične operacije.

V prihodnosti je načrtovana izdelava stroja za izdelavo vezenin velikih dimenzij, kakršnega trenutno še ni na tržišču. Izkušnje iz opisanega projekta bodo pri realizaciji novega cilja v dragoceno pomoč.

Literatura

- [1] Josep Marie Jacquart 1805, http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Marie_Jacquard, feb. 2011.
- [2] Franc Joseph Gahlert, Max Bre-



Slika 12. Stroj za vezenje med redno produkcijo. Izdelek v izdelavi ima 35.000 vbodov, 9 barv, čas izdelave je okoli 50 min.

- schneider 1929, Automatic Embroidering Machine, US Patent 1707263, Sept. 22, 1926.
- [3] Deutsches Technikmuseum Berlin 2009, 10_09_02_sdtb_textiltechnik_engl.pdf, <http://www.sdtb.de/Textile-work.1127.0.html>, feb. 2011.
- [4] Vezenje Ercigoj 1992, Vdihnite življenje mehanskemu stroju, reklamna brošura.
- [5] Vezenje Ercigoj 1987, <http://www.ercigoj.com/wp-content/uploads/2010/02/stroj-nep-tun1.jpg>, feb. 2011.
- [6] Tajima corporation, <http://www.tajima.com/>.
- [7] OpenGL, <http://www.opengl.org/>.
- [8] Trio Motion Technology, http://www.triomotion.com/tmt2/si-tefiles/software_tools/sw_tools_overview.asp feb 2011.
- [9] CASIO digital cameras, Casio Exilim EX-F1 (2008): http://www.exilim.com/intl/ex_f1/, feb. 2011.

Automation of the embroidery machine

Abstract: The contribution describes an embroidery-machine automation project. The embroidery-machining process is characterized by the synchronized movement of the frame carrying the textile and needle. The frame movement is allowed only when the needle is above the textile. The embroidery machine must operate quickly to reach sufficient productivity. However, despite a large number of stitches in the time interval the quality of the embroidery must be satisfactory.

During the project the problems with unsatisfactory embroidery quality during high-speed operation occurred. The article discusses the way that the problems were analyzed, how the source of the problems was located, and how the improvements to the machine's mechanical design, software and control system were performed.

To achieve the goal, an optimization of the mechanical, control and software solutions was necessary.

Keywords: computerized embroidery machine, motion control, synchronized axes movement, electrical servo drives, motion controller Trio Motion Technology




**Servo regulator
Digitax ST**

- Vgrajen pozicioner
- Izredna prilagodljivost (možnost izbire različnih pozicionerjev)
- Vgrajena zaviralni modul in filter
- Dve razširitveni mesti za opsijske kartice
- SmartCard za shranjevanje in kloniranje parametrov
- Brezplačen programski modul POZ-PRO za enostavnejše pozicioniranje
- funkcija varnostnega izklopa 3 kategorije (Secure Disable)
- Na zalogi



Družba za projektiranje in izdelavo strojev, d.o.o.

Kalce 38b, 1370 Logatec
Tel: 01/750-85-10 E-mail: ps-log@ps-log.si
Fax: 01/750-85-29 www.ps-log.si

Izvajamo:

- konstrukcije in izvedbe specialnih strojev
- predelava strojev
- regulacija vrtenja motorjev
- krmiljenje strojev
- tehnična podpora in servis

Dobavljamo:

- servo pogone
- frekvenčne in vektorske regulatorje
- mehke zagone
- merilne sisteme s prikazovalniki
- pozicijske krmilnike
- planetne reduktorje in sklopke
- svetlobne zavese in varnostne module
- visokoturne motorje

Zastopamo:

- EMERSON - Contol Techniques
- Trio Motion Technology
- ELGO Electronics
- ReeR
- Motor Power Company
- Ringfeder
- Tecnoingranaggi Riduttori
- Fairfield Electronics
- Giordano Colombo




**Pozicijski krmilnik
MC 464**

- Krmiljenje do 64 osi
- 64bit 400MHz MIPS procesor
- Statusni prikazovalnik
- SD kartica za shranjevanje in kopiranje parametrov
- Različne možnosti komunikacije (EtherCAT, Profibus, Modbus,...)
- Možnosti razširitev z opsijskimi moduli (dodatni I/O,...)
- Motion Perfect program za programiranje
- Na zalogi