

Lesno obdelovalni center s trinajstimi hidravličnimi servo osmi

Marijan SAGADIN

Izvilleček: Lesno obdelovalni center SUPERTRAM je namenjen oblikovanju lesenih tramov raznih dimenzij za hitrosti obdelave do 4 m/s. Stroj, ki je bil izdelan za francoskega kupca, kopira makro obliko obžaganega debela, ter po želji doda še mikro obliko (npr. sinusno krivuljo), da se dobi rustikalni videz tramu.

Vsa potrebna podajalna gibanja na stroju so izvedena s trinajstimi hidravličnimi servo osmi, razvrščenimi v tri delovne postaje. Določene servo osi regulirajo samo položaj rezkarja, druge pa razen regulacije položaja omogočajo še regulacijo pritiskne sile rezkarja na podlago. Za regulacijo hidravličnih valjev so bili uporabljeni proporcionalni ventili z integrirano elektroniko proizvajalca Bosch-Rexroth. Regulacija proporcionalnih ventilov je bila izvedena z digitalnim več osnim NC regulatorjem gibanja »Multi Axis Control MAC-8«, komunikacija z nadzornim krmilnikom pa izvedena s Profibus-DP. Skobeljni stroj je projektiralo in izdelalo podjetje Ledinek Engineering, celoten hidravlični sistem in programsko opremo pa projektiralo, dobavilo in zmontiralo podjetje LA&CO iz Maribora.

Ključne besede: lesno obdelovalni stroj, elektro hidravlika, podajalne servo osi,

1 Uvod

Skobeljni stroj SUPERTRAM je namenjen skobljanju žaganih tramov. Obdelovalno linijo, katere naročnik je bilo francosko podjetje, sestavljata dva stroja. Prvi stroj je žaga, ki obžaga deblo v kvadratno ali pravokotno obliko, pri tem pa kopira naravno makro obliko debela. Ker je deblo pri koreninah debelejšše in proti krošnji vedno tanjše, ima tudi obžagani tram konično obliko, kot jo ima deblo. Vz dolžna os tramu ni ravna, temveč je ukrivljena, kot je bilo ukrivljeno samo deblo. Na ta način je les izkoriščen v največji možni meri, s čim manjšim odpadom. Žago je izdelalo nemško podjetje.

Drugi stroj v liniji, takoj za žago, pa je skobeljni stroj, ki ga je ponudilo in dobavilo podjetje Ledinek Engineering. Stroj mora površine poskobljati v kvadratno ali pravokotno obliko, ohraniti pa mora makro obliko tramu.

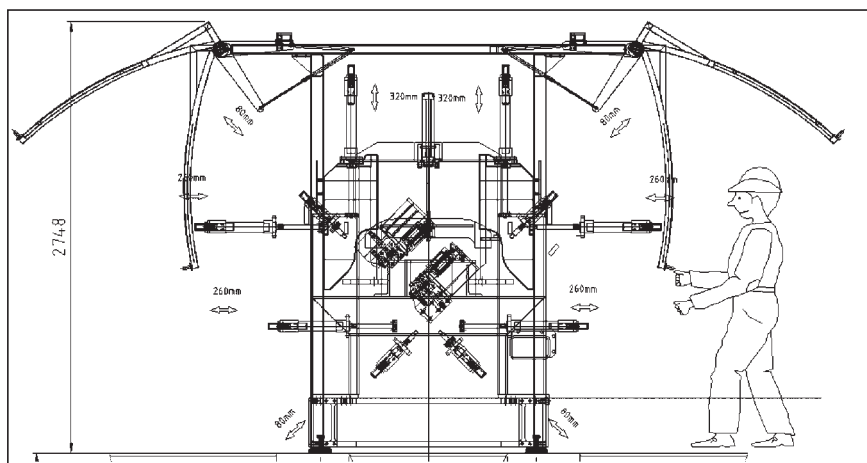
Marijan Sagadin, dipl. inž.,
LA & CO, d. o. o. Maribor

Vogale tramu lahko na željo posname in zaokroži. Da bi tram dobil čim bolj naraven in rustikalen videz, se vogalom vzdolžno lahko doda mikro oblika v obliki vzdolžne sinusne krivulje. Za pozicioniranje in krmiljenje skobeljnih rezkarjev bi načeloma lahko prišli v poštev elektromotorni servopogoni s krogelnimi navojnimi vreteni ali hidravličnimi servopogoni. Vendar se je za to aplikacijo hidravlični servopogon izkazal kot primernejša in cenovno ugodnejša varianta.

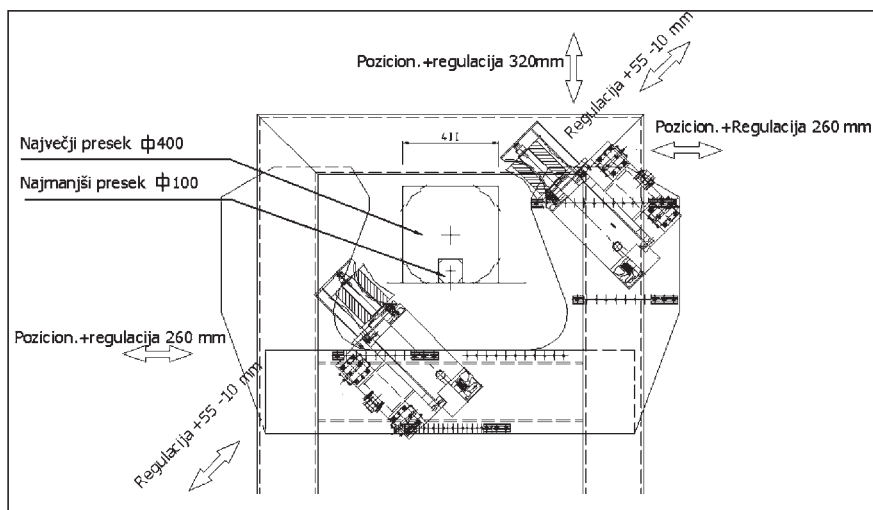
2 Skobeljni stroj SUPERTRAM

Skobeljni stroj sestavljajo tri delovne postaje, razmeščene vzdolž stroja.

Tram se pomika v stroju po Z-osi, vedno v smeri od manjšega prereza proti večjemu. Druga delovna postaja ni premična v X-osi. Ostali dve delovni postaji pa se morata prilagajati ukrivljenosti debela po X- in Y-osi.



Slika 1. Prečni prerez stroja



Slika 2. Prerez prve delovne postaje

Prva delovna postaja skoblja zaokrožene vogale tramu in po želji doda vzdolžno sinusno krivuljo. Skobeljni rezkarji so štirje. Postavljeni so pod kotom 45°. Spodnja rezkarja sta premična po X-osi, po vertikalni osi pa se ne premikata, ker tram drsi po podlagi. Poleg tega je premičen pod kotom 45° v smeri proti sredini prereza. Vsak spodnji rezkar potrebuje zato po dve servo osi. Zgornja valja pa sta premična v X- in Y-osi ter pod kotom 45°. Torej potrebuje vsak zgornji skobeljni valj po tri servoosi. Skupno je na prvi delovni postaji za obdelavo vogalov vgrajenih 10 hidravličnih servoosi. Ko se tram približa prvi delovni postaji, senzorji sporočijo, kje se nahaja središče prereza in kolikšna je velikost začetnega prereza. Skobeljni valji se hitro pomaknejo na začetno pozicijo in pričakajo tram. Ko je tram že med rezkarji, pa zunanji senzorji, ki so nameščeni tik pred rezkarji, sporočajo trenutno »mikro« in »makro« obliko tramu, skobeljni rezkarji pa to obliko kopirajo v realnem času. Seveda pa mora elektronika kratke neravnine ignorirati in obliko mehko in ne skokovito spreminjati, da bi bila površina gladka, brez opaznih sledi in stopnic.

Druga delovna postaja ima dva skobeljna rezkarja, ki sta postavljena horizontalo, za obdelavo spodnje in zgornje horizontalne površine. Orodje je fiksno v X- in Z-osi. Ker tram drsi po fiksni spodnji površini, spodnji skobeljni rezkar pritiska s konstantno silo na površino in jo ravna. Pritisk

rezkarja na površino izvaja hidravlični valj s proporcionalno regulacijo tlaka. Vertikalni hidravlični valj pa krmili ena hidravlična os. Najprej se rezkar pozicionira na pričakovano višino. Ko se tram dotakne rezkarja, pa se regulacija pozicije spremeni v regulacijo konstantne sile na površino.

Tretja delovna postaja skoblja vertikalni površini, za kar sta potrebni 2 hidravlični servoosi. Y-os je fiksna.



Slika 3. Lesno obdelovalni center SUPERTRAM

Prvi hidravlični valj oz. prva hidravlična servoos nastavi začetno širino med rezkarjema. Druga servoos pa voziček s skobeljnima rezkarjema pozicionira na pričakovano pozicijo na X-osi, ki jo sporočijo senzorji preko programirnega krmilnika. V trenutku, ko pride tram med rezkarja, prva os spremeni vrsto regulacije – iz regulacije pozicije v regulacijo konstantne sile in pritiska rezkarja na površino lesa. Zaradi

ukrivljenosti lesa pa se mora druga servoos sprostiti tako, da se voziček z valjema prosto premika po X-osi, s čim manj upora, kajti (ukrivljen) tram sedaj sam vodi voziček s skobeljnima valjema. Če bi se pojavil odpor pri gibanju vozička, bi en skobeljni rezkar odrezoval bolj kot drugi.

Vzdolžni pomik tramu opravlja pet parov vlečnih valjev. Vsak par vlečnih valjev tišči skupaj hidravlični valj. Tlak v hidravličnih valjih je nastavljen s proporcionalnim regulatorjem tlaka.

2.1 Tehnični podatki stroja SUPERTRAM

Glavne karakteristike postrojenja so naslednje:

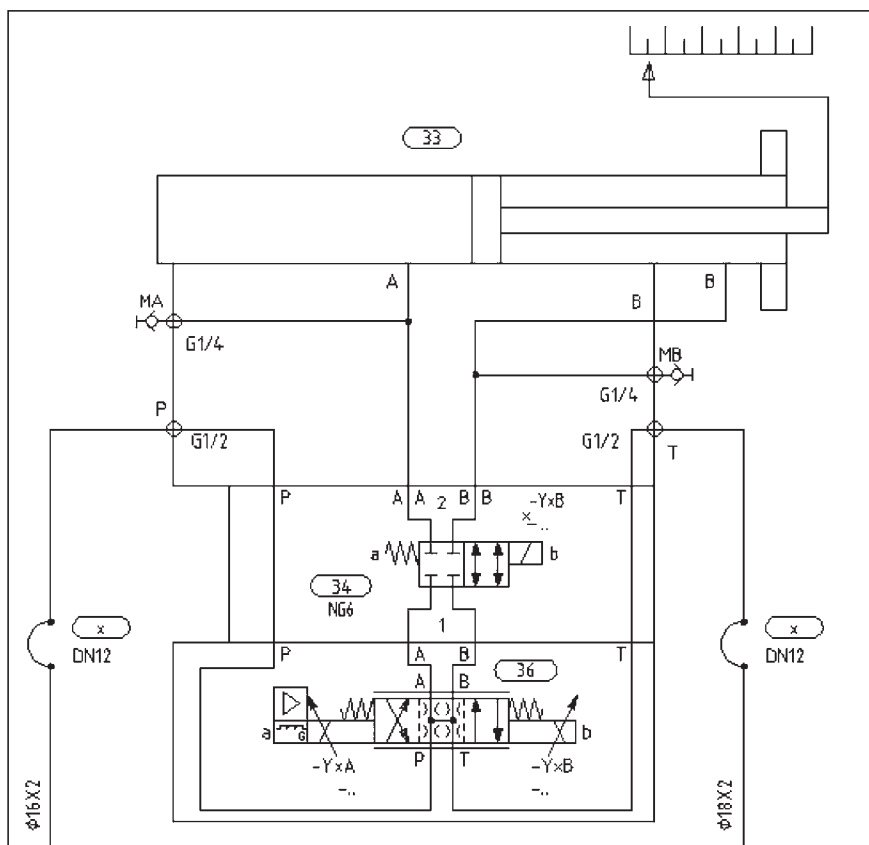
- hitrost skobljanja (hitrost vzdolžnega pomika tramu) do 4 m/s
- maksimalna vzdolžna ukrivljenost tramu 300 mm
- frekvenca za skobljanje mikro (sinusne) oblike $f = 3\text{ Hz}$
- amplituda mikro oblike $a = 3\text{ mm}$
- povprečna hitrost pomika hidravličnih valjev 40 mm/s

3 Hidravlični pogon stroja

3.1 Hidravlični agregat

Osnovni tehnični podatki hidravličnega agregata:

- volumen rezervoarja 630 l
- moč elektromotorja 45 kW
- pretok črpalke $Q = 171\text{ l/min}$
- maksimalni delovni tlak $p = 120\text{ bar}$



Slika 4. Hidravlična shema enega od desetih servohidravličnih valjev na prvi delovni postaji

Za pogon je bila izbrana krilna regulacijska črpalka. Ker je stroj v neogrevalnem prostoru v francoskih Alpah in so spremembe temperature okolice zelo velike, agregat potrebuje električne grelnice za gretje olja. Za ustrezno filtriranje in hlajenje skrbi obtočni filtrirno-hladilni sistem z zračnim hlajenjem.

Da bi se dosegla zahtevana dinamika, je na vsaki delovni postaji tudi hidravlični akumulator.

3.2 Skobeljne delovne postaje

3.2.1 Prva delovna skobeljna postaja – skobljanje vogalov

Na prvi delovni postaji je vgrajenih deset hidravličnih servovaljev, tip 160SV ..., proizvajalca Bosch-Rexroth. Merilne letve so prigradjene ob vodila stroja. Na ventilsko ploščo na hidravličnem valju je pritrjen proporcionalni regulacijski ventil 4WRSEH6V ..., Bosch Rexroth z LVDT-merilnim senzorjem in integrirano elektroniko. Za varovanje zaradi napak v regulaciji ali proženja tipke stop je pod proporcionalni

ventil vgrajen še 4/2 krmilni potni ventil, ki zapre dotok olja, ko ventil ni v funkciji (slika 4). Proporcionalni ventili krmilijo hidravlične valje po krivuljah, kot jih generira/regulira digitalni večsni numerično krmiljeni regulator gibanja MAC-8.

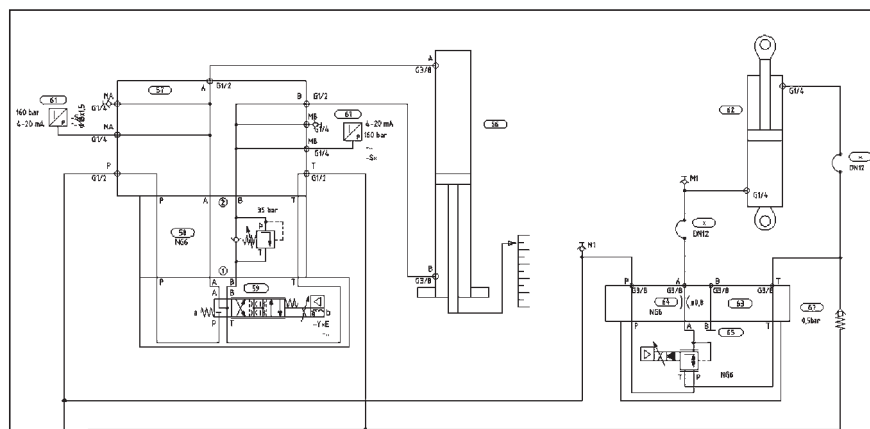
3.2.2 Druga delovna skobeljna postaja – skobljanje horizontalnih površin

Na drugi delovni postaji sta dva hidravlična valja Bosch Rexroth, tip CDT3.

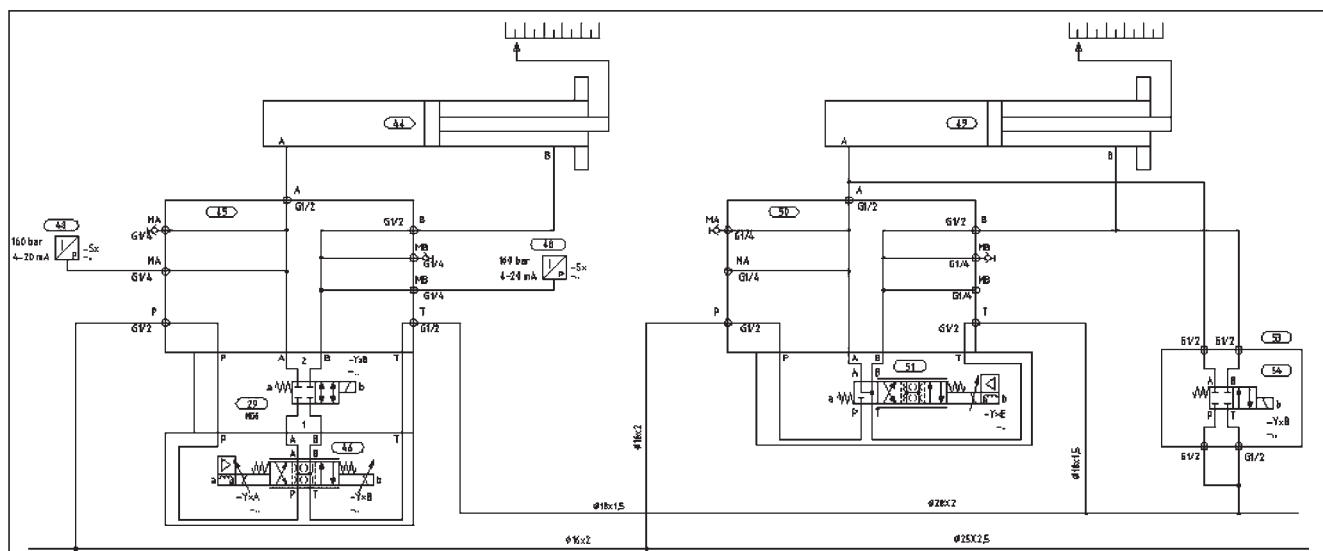
Spodnji valj (desni na sliki 5) je klasični hidravlični valj, ki vedno s konstantno silo pritiska skobeljni rezkar na spodnjo ploskev obdelovanca. Na servohidravlični valj (slika 5 levo) je obešen suport z zgornjim skobeljnim rezkarjem, ki je reguliran s servohidravličnim valjem s 5/4 proporcionalnim ventilom 4WRSEH6C3B ..., ki ima položaj »fail safe« in LVDT ter integrirano elektroniko. Zgornji rezkar se najprej pozicionira na ustrezno višino, ko pa začne tram odrti rezkar, preide regulacija pozicije pri sili 1 kN v regulacijo sile in pritiska skobeljni rezkar samo še z zahtevano silo na zgornjo ploskev. Na osnovi razlike tlakov, ki jih posredujeja senzorja tlaka v veji A in B, regulator MAC-8 preračuna dejansko silo in temu ustrezno regulira proporcionalni ventil. Zaradi velike mase orodja je pod proporcionalni regulacijski ventil vgrajen tlačni ventil za kompenzacijo bremena, ki je nastavljen na tlak, ki je samo malo večji, kot je tlak zaradi mase orodja. Na ta način se kompenzira stalna vertikalna sila orodja in s tem poenostavi sama regulacija. V primeru napake oziroma pritiska na tipko stop se proporcionalni ventil postavi v položaj »fail safe« in rezkar obstane v zatečenem položaju, ker ga tam zadrži tlačni ventil za kompenzacijo bremena.

3.2.3 Tretja delovna skobeljna postaja – skobljanje vertikalnih površin

Na tretji delovni postaji sta dva servohidravlična valja Bosch Rexroth. Levi valj (glej sliko 6) regulira razdaljo med vertikalnima rezkarjema. Ko pride



Slika 5. Shema regulacije rezkarjev na drugi delovni postaji



Slika 6. Shema regulacije rezkarjev na tretji delovni postaji

tram med rezkarja, se pri sili 1 kN spremeni regulacija pozicije v regulacijo sile. Na osnovi razlike tlakov, ki jih posredujeja senzorja tlaka v veji A in B, se preračuna dejanska sila in regulira potrebna pritiska rezkarja na obde-

velikosti NG6. Za merjenje položaja so bile izbrane absolutne digitalne merilne letve, nameščene zunaj hidravličnih valjev. Proporcionalne ventile krmili digitalni večosni NC-regulator gibanja MAC-8.

tih ali odprtih tokokrogih, s poljubnimi gibalnimi in obremenitvenimi primeri. S simulacijo smo določili tipe ventilov in mejne vrednosti oz. zmogljivost posameznih osi.

4.1 Večosni regulator gibanja "Multi Axis Control MAC-8"

Za izvedbo regulacije tako kompleksnega in dinamično zahtevnega sistema je bil izbran večosni, numerično krmiljen regulator gibanja »Multi Axis Control MAC-8«.

Zmogljivosti MAC-8 so naslednje:

- možnost regulacije in interpolacije od 2 do 32 osi,
- velika izbira regulacijskih funkcij,
- močan programski jezik,
- močna programska orodja,
- obširne aritmetične funkcije,
- sinhronizacija osi.



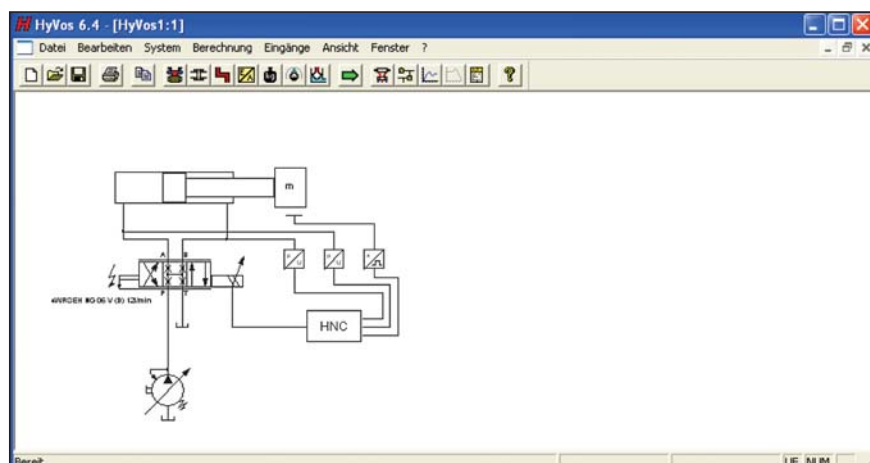
Slika 7. Hidravlični valj CDT3 s proporcionalnim ventilom – a in proporcionalni ventil 4WRSEH – b

lovanec. Ventili na tem hidravličnem valju so enaki kot na prvi postaji. Desni hidravlični valj (na sliki 6) se najprej pozicionira na določeno pozicijo, ko pa prva os preide v tlačno regulacijo, se os sprosti tako, da se vključi 4/2 krmilni ventil in poveže priključka A in B na hidravličnem valju med sabo in s T-priključkom. Sedaj se hidravlični valj lahko premika v X-osi z minimalnim uporom. Voziček z batnico desnega hidravličnega valja se sedaj premika zaradi ukrivljenosti tramu, vodita pa ga skobelna rezkarja.

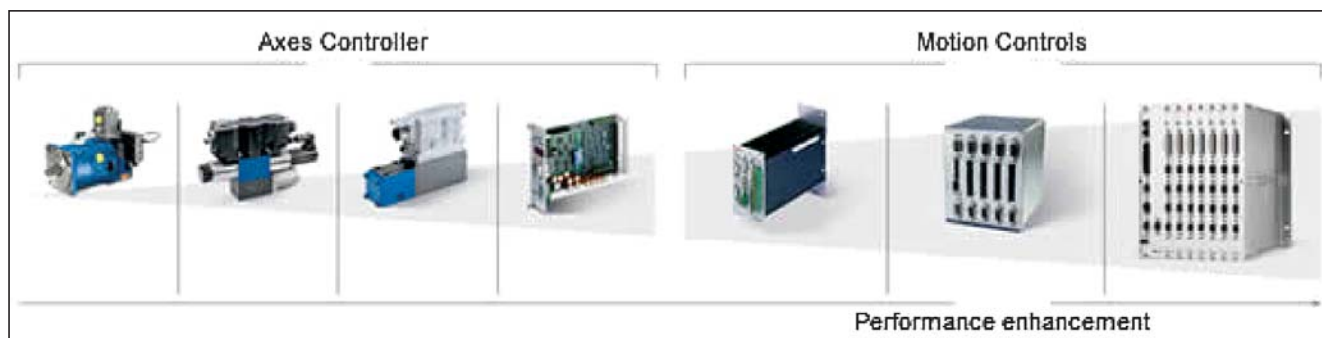
4 Regulacija hidravličnih valjev

Regulacija hidravličnih valjev je izvedena z regulacijskimi proporcionalnimi ventili Bosch Rexroth 4WRSEH6

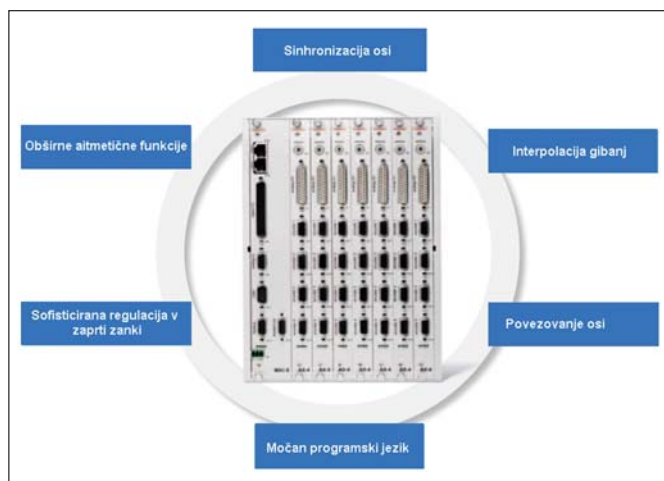
Pri projektiranju in izbiri ventilov za posamezne osi smo si pomagali s simulacijo s programom HyVos 6.4. Program omogoča simulacijo z ventili reguliranih hidravličnih valjev, v zapr-



Slika 8. HyVos 6.4 – program za simulacijo



Slika 9. Različni regulatorji osi, razvrščeni po zmogljivostih [6]



Slika 10. Zmožnosti MAC-8 [5]

4.2 Zgradba in delovanje MAC-8

MAC-8 se lahko uporablja kot samostojen sistem avtomatizacije, kot inteligenen večosni regulator, lahko pa je preko lokalnega ethernetja povezan z drugimi MAC-8. Z nadzornim sistemom lahko komunicira preko Profibus DP, Ethernet UDP, Hitri Ethernet TCP/IP in CAN bus sistemov. S senzorji in aktuatorji lahko komunicira preko CAN busa.

Zgradba MAC-8 je modularna. Glede na potrebe lahko MAC-8 v ohišju vsebuje t. i. »master« karto z vgrajenimi regulatorji za 2 ali 4 osi in dodatne »slave« karte (maksimalno 7 kart), vsaka s po 4 osmi. Master karta sinhronizira in interpolira osi med seboj. Optimalno podporo procesu zagotavlja 32 digitalnih vhodov in 24 digitalnih izhodov. Slave karte sprejemajo funkcije in komande, nadzirajo posamezne osi in izvajajo lokalno regulacijo. Regulatorji podpirajo inkrementalni merilni sistem, SSI interface in analogni merilni sistem.

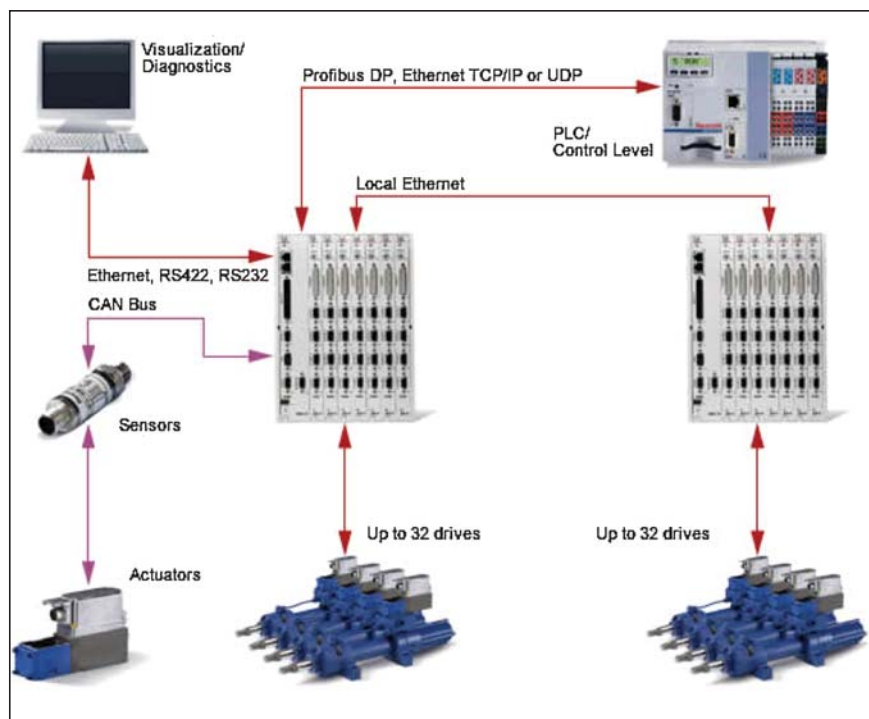
MAC-8 bazira na zelo zmogljivi aparaturi opremljeni. Procesor MPC860 CPU izvira iz avtomobilske industrije in komunikacijskega inženiringa, ki je zelo robusten in odporen na udarce ter vibracije. Z osebnim računalnikom izvajamo vizualizacijo, diagnostiko in

programiranje. Programiranje se izvaja s programskim sistemom MACpro z iskalnikom napak (debugerjem). Za vizualizacijo se uporablja program WinView. Delovanje sistema spremlja-

mo s programom System Parameter Assistant. Preko interneta in dveh osebnih računalnikov je mogoča tudi diagnostika in programiranje na daljavo.

4.3 MAC-8 na stroju SUPERTRAM

Konfiguracija MAC-8 na stroju SUPERTRAM je vsebovala eno »master« karto s po 4 osmi in 3 »slave« karte s po štirimi osmi, skupaj 16 osi. Za potrebe stroja je bilo izkoriščenih 13 osi. Tri prosta mesta se lahko uporabijo pri defektaži sistema ali okvari ene od osi. Nadzor delovanja je izveden preko krmilnika Simatic S7 (Siemens). Komunikacija med sistemoma je bila izvedena s Profibus DP. Krmilnik sprejema podatke od krmilnika žage, o hitrostih podajanja in prečnih presekih. Te podatke in podatke s senzorjev krmilnik



Slika 11. Povezljivost MAC-8 v sistem krmiljenja in regulacije [5]

obdela in pošilja MAC-8 podatek o trenutnem položaju sredine prereza in o velikosti prereza tramu, podatke o hitrosti pomika itd. MAC-8 nadzira in regulira vseh 13 hidravličnih osi. Nadzornemu računalniku vrača podatke o končnih vrednostih obdelave, dimenzijah in napakah. Ker je aplikacija instalirana v Franciji, je na MAC-8 priključen še en osebni računalnik, ki ima povezavo z internetom. Preko njega je omogočena diagnostika delovanja na daljavo, v primeru težav z delovanjem stroja in eventualne potrebe po korekciji parametrov.

4.4 Uporabnost MAC-8 v industriji

MAC-8 je primeren za uporabo na kompleksnih strojih in napravah na naslednjih področjih:

- stiskalnice: za oblikovanje cevi, stiskalnice SMC/IMC, stiskalnice sinter, stiskalnice za steklo, upogibne stiskalnice, globoki vlek/vlečna blazina, preoblikovanje z visokim notranjim tlakom, laboratorijske stiskalnice, 3-valjne upogibne stiskalnice, za izmetala, tlačno litje, stroji za brizganje plastike itd.;
- železarstvo in valjarne: regulacija valjarniških valjev, regulacije segmentov, oscilacije kobil, ekstruzijske in vlečne stiskalnice, leteče škarje, livni vozički in livne naprave, naprave za formanje;
- mobilna tehnika in dvigala: avtodvigala, kontejnerski žerjavi, pristaniški žerjavi, tekoči trakovi;

- odrska in gledališka tehnika;
- papirna in lesna industrija;
- preizkuševalne in laboratorijske naprave itd.

■ Zaključek

Skobeljni stroj SUPERTRAM je z uporabo hidravličnih servoos in z digitalnim večosnim regulatorjem gibanja MAC-8 uspešno nadomestil elektromotorne servoosi. Izkazalo se je, da je lahko servohidravlika, ne le samo tehnično enakovredna elektromotornim servopogonom, ampak da je lahko tudi cenovno konkurenčna. Stroj SUPERTRAM je namreč potreboval hidravliko in hidravlični agregat za pritiskanje vlečnih valjev na površino, zato ni bil potreben dodaten hidravlični agregat za servoosi. Hidravlika je bila neizogibno potrebna za pritiskanje skobeljnih valjev na drugi in tretji delovni postaji. Z uporabo hidravlične servoosi na teh delovnih postajah smo se izognili kombinaciji elektromotornega servopogona in proporcionalne hidravlike za regulacijo tlaka. Prihranili smo na številu hidravličnih komponent, saj smo samo z enim proporcionalnim ventilom regularili pozicijo in silo na površino. Na prvi delovni postaji pa se je z uporabo 10 hidravličnih servoos prihranilo tudi pri enostavnejši konstrukciji in masi gibajočih se delov, in s tem na potrebni moči in energiji. Kompletna regulacija je bila izvedena samo z enim MAC-8, zato niso bili potrebni dodatni regulatorji za elektromehan-

ske osi. Prihranek se je pokazal tudi pri prvem zagonu stroja, saj je bil za izdelavo programske opreme (krmilnega programa) in za parametriranje regulatorjev vseh servoos potreben samo en programer.

Literatura

- [1] RE 30156/04.05: Digital multi-axis NC control; Bosch Rexroth AG, Industrial Hydraulics, D-97813 Lohr am Main; kataloški list.
- [2] RE 29 069/02.03: 4/3 and 4/4 high response directional control valves, direct operated, with electrical position feedback Type 4WRSEH; Bosch Rexroth AG, Industrial Hydraulics, D-97813 Lohr am Main; kataloški list.
- [3] RE 17039/09.05: Hydraulic cylinders Tie rod design; Bosch Rexroth AG, Industrial Hydraulics, D-97813 Lohr am Main; kataloški list.
- [4] RD 09373/10.99, HYVOS 6.0 – Simulationssoftware fuer ventilgesteuerte Zylinderantriebe; Mannesmann Rexroth AG; D-97813 Lohr am Main; kataloški list.
- [5] http://www.boschrexroth.com/business_units/bri/en/products/p_specials/i_mac-8/index.jsp - Informacije o MAC-8.
- [6] <http://www.boschrexroth.com/Rexroth-IHD/> – proizvodi Bosch Rexroth, katalogi.

A wood-machining centre with thirteen hydraulic servo axes

Abstract: The SUPERTRAM wood-machining centre is designed for forming wooden beams of various sizes up to a speed of 4 m/s. The machine, which has been made for a French customer, forms the tree trunk in its natural pointed form (from the treetop to the roots), following the curve of the trunk. The machine copies the macro-shape of the cut trunk, and on demand also adds micro-forms (if a rustic look is required).

All the required feed motions on the machine are carried out using 13 hydraulic servo axes, arranged in three working units. Some servo axes are used to control the position of the milling cutter, while some additional axes enable the necessary press force to the surface structure. For the control of the hydraulic cylinders, proportional valves with LVDT and integrated electronics from the company Bosch-Rexroth were used. The control of the proportional valves is carried out with a digital multi-axis NC-controller ("Multi Axis Control MAC-8"), and the communication with a supervisory controller from Profibus-DP. The machine was designed and produced by the company Ledinek Engineering. The entire hydraulic system and the necessary MAC-8 software were designed, supplied and assembled by the company LA&CO.

Keywords: Wood-machining centre, electro-hydraulic, positioning servo axis,