

BORISLAV JEFTENIĆ<sup>1</sup>  
MILAN BEBIĆ<sup>1</sup>  
MIODRAG MILOJEVIĆ<sup>2</sup>  
MARIO BELINČEVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Elektrotehnički fakultet  
Univerziteta u Beogradu,  
Beograd

<sup>2</sup>Fabrika kartona "Umka",  
Beograd-Umka

<sup>3</sup>JKP Beogradski vodovod i  
kanalizacija, Beograd

STRUČNI RAD

676.056.31.001.76("Umka")

## NOVA KONCEPCIJA POGONA KARTON MAŠINE U FABRICI KARTONA "UMKA"

*U ovom radu je opisano kako je izvedena rekonstrukcija pogona karton mašine, na delu koji se odnosi na pogon presa i pogon sušnih grupa u junu 2001. godine, kao i proširenje karton mašine, uvođenjem "trećeg premaza" u julu 2002. godine. Postojeći, stari pogon presa i sušnih partija bio je realizovan pomoću centralnog vratila, poznatog u stručnim krugovima kao transmisija, ukupne dužine od 76 m. Pogon partije premaza bio je realizovan sa zasebnim jednosmernim motorima napajanim iz tiristorskih ispravljača. Novi pogon koncipiran je na bazi primene standardnih kaveznih asinhronih motora, sa frekventnim pretvaračima. Upravljanje sistemom realizovano je pomoću programabilnog kontrolera, a komunikacija između kontrolera, pretvarača i pultova upravljanja pogonima ostvarena je preko profibus-a. Investitor je posao koji se odnosio na pogone poverio Laboratoriji za elektromotorne pogone, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Izrada projekta, vršenje nadzora nad radovima koje su izvele tehničke službe investitora, i konačno puštanje pogona u rad, obavljani su tako da je zamena pogona izvršena u toku predviđenih perioda za remont karton mašine.*

Karton mašina u Fabrici kartona "Umka" je jedna od najvećih mašina ove vrste u ovom regionu, ako ne i najveća, i to po kapacitetu, dimenzijama, stvarno ostvarenoj godišnjoj proizvodnji i instaliranoj snazi. Izgradnja ove mašine rađena je etapno, i to u većim vremenskim razmacima. Posledica toga je da su se na mašini do rekonstrukcije 2001. godine koristila dva različita načina pokretanja, realizovana u dva tehnološki različita perioda. Na slici 1 prikazan je način pokretanja mašine pre rekonstrukcije. Former partija i završni deo procesa, partija premaza pokreću se primenom pojedinačnih, zasebnih regulisanih pogona sa motorima jednosmerne struje i tiristorskim ispravljačima. Ovaj deo pogona je instaliran prilikom proširenja i rekonstrukcije mašine 1977. godine. Centralni deo mašine pokretan je preko centralnog vratila, transmisije sa jednim pogonskim jednosmernim motorom. Ovaj način razvoda mehaničke energije nasleđen je iz početnog perioda izgradnje mašine, šezdesetih godina prošlog veka.

Jedan i drugi način pokretanja imaju svojih mana i prednosti, o čemu je dosta pisano. Nedostaci pokretanja sa centralnim vratilom su brojni [1]:

- motorna jedinica je velika i skupa, te je zbog toga i teško zamenljiva;
- mehanička transmisija ima loš stepen iskorišćenja;
- podložna je habanju, proizvodi vibracije i buku;
- praksa je pokazala da su troškovi održavanja mehaničke transmisije, nezavisno od koncepta, izuzetno veliki;
- ovaj način pokretanja predstavlja jedan od značajnih ograničavajućih faktora za povećanje brzine papir mašina, a time i povećanje kapaciteta;
- zatezanja se teško i sporo podešavaju, što predstavlja problem kod promene proizvodnog programa;

- nije moguće pojedinačno upravljanje pogonima, npr. kratkotrajno povećanje brzine zbog eliminisanja opuštenosti trake (petlje), ili promena smer obrtanja kod čišćenja nagomilane mase ili papira;

- poremećaji na jednom kraju mašine se usled torzije vratila prenose na drugi kraj mašine što ima za posledicu kidanje trake [2].

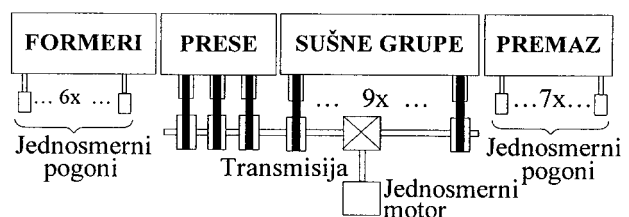
Naravno postoje i neke dobre strane pokretanja sa centralnim vratilom:

- ako jedan pogon uspori zbog povećanja opterećenja preko transmisije, na isti način usporavaju i svi ostali pogoni, tako da ne dolazi do kidanja trake [3];

- raspodela opterećenja između pogona u radu se prirodno ostvaruje preko centralnog vratila, tako da se instalisana snaga optimalno koristi [4];

- proklizavanja i elastičnost koja postoji kod pljosnatih kaiševa, omogućava da se amortizuju udarna opterećenja i izbalansira opterećenje između pogona koji su u krutoj mehaničkoj sprezi, preko filca ili prese.

Primena pojedinačnih elektromotornih pogona za pokretanje papir mašine, omogućava da se neki navedeni nedostaci prevaziđu, i da se još dodatno unapredi tehnologija proizvodnje papira, pre svega povećanje maksimalnih brzina trake, što direktno utiče na kapacitet mašine. Međutim, pojavljuju se novi problemi pre svega kod upravljanja. Neophodno je da se sa strane upravljanja pogonima, obezbedi potrebna sinhronizacija i zatezanje zatezanja. Kod pogona koji su u čvrstoj ili



Slika 1. Način pokretanja karton mašine pre rekonstrukcije  
Figure 1. The start-up procedure of the paper machine before reconstruction

Adresa autora: B. Jeftenić, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

Rad primljen: April 28, 2004

Rad prihvaćen: Maj 22, 2004

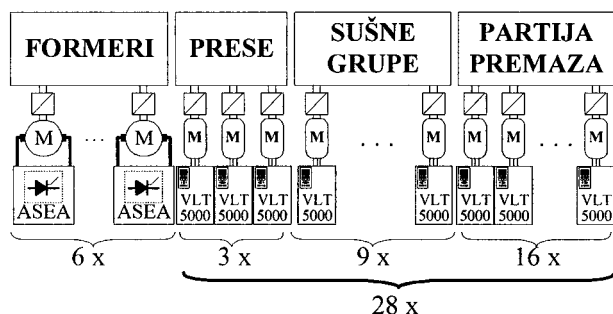
delimično čvrstoj sprezi, što je karakteristično za završne faze proizvodnje papira kada je traka formirana, mora da se pored sinhronizacije brzine, obezbedi i raspodela opterećenja.

### NOVI ELEKTROMOTORNI POGON KARTON MAŠINE

U okviru prve etape rekonstrukcije mašine, zamenjene pogona na sušnoj partiji karton mašine, polazeći od navedenih razloga, i od drugih pozitivnih iskustava [5,6], postojeći pogon sa transmisijom zamenjen je pojedinačnim pogonima, ali sada sa asinhronim motorima koji se napajaju iz frekventnih pretvarača. Uklonjeno je centralno vratilo, sa svim kaišnicima i kaiševima, naravno i pogonski jednosmerni motor snage 350 kW, i njegov tiristorski ispravljač. Zadržani su postojeći reduktori sa čijim ulaznim vratilima su spregnuti pogonski asinhroni motori. Upotrebljeni su standardni kratkospojeni asinhroni motori, SEVER, sa nominalnom sinhronom brzinom 1500 o/min. Za napajanje motora su upotrebljeni frekventni pretvarači Danfoss, serije VLT 5000.

U okviru druge etape rekonstrukcije, koja je obuhvatala proširenje partije premaza karton mašine, i zameni elektromotornih pogona, korišćena su iskustva iz ranijih sličnih aktivnosti [6–10]. Partiju premaza mašine pre rekonstrukcije pokretalo je deset jednosmernih motora, napajanih iz tiristorskih ispravljača. Četiri motora za pogon vodećih valjaka bilo je napajano iz jednog pretvarača, dok su ostali pogoni, kalander, kontra i nanosni valjak, kanapi, IX sušna grupa i namotač imali zasebne ispravljače. Upravljanje brzinom postrojenja vršeno je preko indukta motora, a kod vodećih valjaka kombinacijom upravljanja preko indukta i pobude.

U okviru rekonstrukcije svi postojeći pogoni su morali da dobiju nov pogonski motor, ali moralo se obezbediti pokretanje i za novih sedam pogona. Novi pogoni su pet grupa vodećih valjaka, i novi par kontra i nanosni valjak. Jedan od vodećih valjaka iz starog postrojenja u okviru rekonstrukcije je izbačen iz rada. Da bi se obezbedila unifikacija motora, reduktora i pretvarača na liniji premaza izabrani su za sve pogone motor-reduktori firme Bauer. Pretvarači za sve pogone su Dan-



Slika 2. Način pokretanja karton mašine posle rekonstrukcije 2002. godine

Figure 2. The start-up procedure of the paper machine after the reconstruction in 2002.

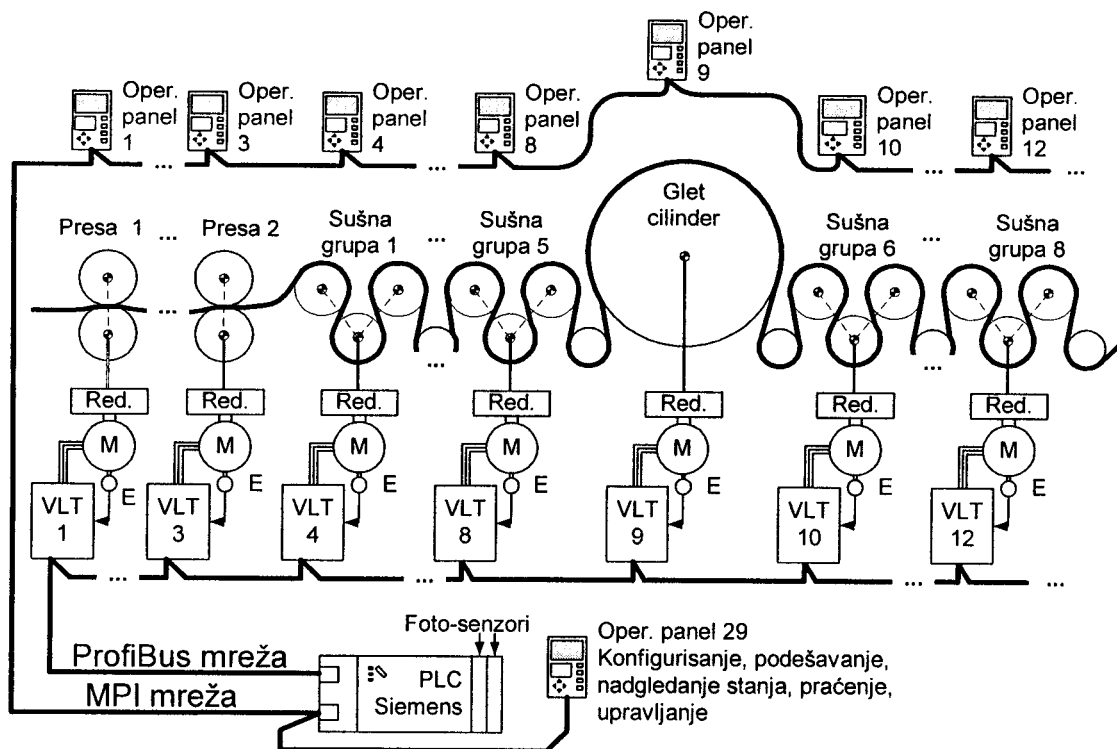
Tabela 1. Pregled strukture pogona pre i posle rekonstrukcije karton mašine

Table 1. Review of the structure of the plant before and after reconstruction of the paper machine

	Pogon	Pre rekonstrukcije		Posle rekonstrukcije		
		Pret-varač	Motor [kW]	Pret-varač	Motor [kW]	
1	I presa	Tir isp.	350	VLT 5052	45	
2	II presa			VLT 5052	45	
3	III presa			VLT 5075	55	
4	I sušna grupa			VLT 5060	55	
5	II sušna grupa			VLT 5042	30	
6	III sušna grupa			VLT 5042	30	
7	IV sušna grupa			VLT 5042	30	
8	V sušna grupa			VLT 5032	30	
9	Glet cilindar			VLT 5075	75	
10	VI sušna grupa			VLT 5042	30	
11	VII sušna grupa			VLT 5042	30	
12	VIII sušna grupa			VLT 5060	45	
13	Kalander	Tir. isp.	85	VLT 5075	55	
14	Kontra valjak I	Tir. isp.	28	VLT 5042	30	
15	Nanosni valjak I	Tir. isp.	28	VLT 5016	11	
16	Vodeći valjak I	Tir. isp.	17,6	VLT 5016	11	
17	Vodeći valjak II		17,6	VLT 5042	30	
18	Vodeći valjak III		17,6	VLT 5042	30	
	Vodeći valjak IV		17,6	Nije ugrađen		
19	Vodeći valjak IV		–	VLT 5016	11	
20	Vodeći valjak V		–	VLT 5042	30	
21	Vodeći valjak VI	Nije postojao	–	VLT 5016	11	
22	Vodeći valjak VII		–	VLT 5016	11	
23	Kontra valjak II		–	VLT 5042	30	
24	Nanosni valjak II		–	VLT 5016	11	
25	Vodeći valjak VIII		–	VLT 5016	11	
26	Kanapi		Tir. isp.	28	VLT 5042	30
27	IX Sušna grupa		Tir. isp.	28	VLT 5075	55
28	Namotač		Tir. isp.	28	VLT 5075	55

foss, serije VLT 5000, kao i kod rekonstrukcije pogona presa i pogona sušnih grupa. Izvršena je i odgovarajuća unifikacija snaga pogona, gde je to bilo moguće, kako bi se optimizirala potrebna količina rezervnih delova. Na slici 2 prikazan je način pokretanja mašine posle rekonstrukcije 2002. godine.

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 1 može se videti da je ukupna instalisana snaga novih motora 922kW, što je za oko 40% više od snage jednosmernih motora korišćenih za pokretanje karton mašine pre rekonstrukcije. Ovo je posledica više različitih činjenica. Prvo, korišćeni su motori sa sopstvenim hlađenjem, što



Slika 3. Principijelna šema novog pogona na partiji sušnih grupa karton mašine  
 Figure 3. Scheme of the drying units of the paper machine at the new plant

se odražava na izbor snage. Drugo, kod zasebnih pogona ne postoji mogućnost raspodele snage između pogona, zbog čega se motor mora dimenzionisati za najnepovoljniji slučaj. Treće, jedan od osnovnih razloga rekonstrukcije je i povećanje kapaciteta mašine, što podrazumeva povećanje brzine pogona, a to se opet direktno odražava na potrebnu snagu pogona. Pri projektovanju maksimalna, proračunska brzina mašine je sa 200 m/min povećana na 300 m/min, znači za 50%. Konačno treba imati u vidu da su upotrebljeni standardni motori, lako dostupni na tržištu, kao i pomenutu unifikaciju snaga.

Šematski prikaz postrojenja koje je predmet opisane rekonstrukcije dat je na slikama 3 i 4.

## UPRAVLJANJE POGONOM

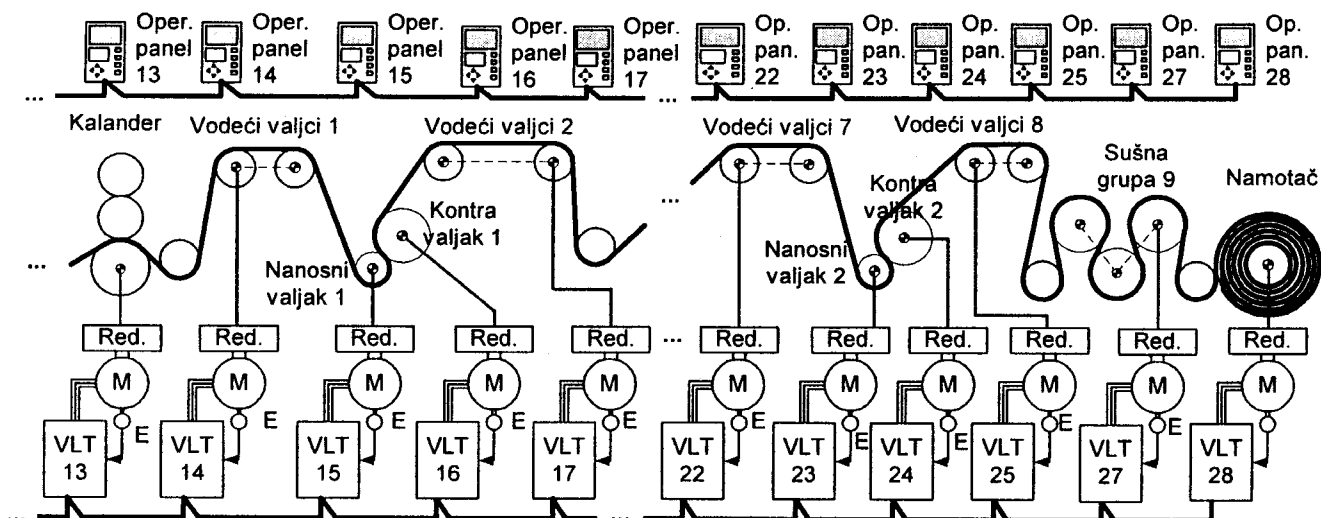
Pogoni papir i karton mašina zahtevaju vrlo složeno upravljanje. Željena brzina se mora tačno održavati, potrebno je koordinirano upravljanje svim pogonima, kaskadno prosleđivanje referentne brzine sa pogona na pogon, sa mogućnošću precizne korekcije, zbog obezbeđenja zatezanja (cugova). Takođe, kao što je rečeno, između pogona u delu proizvodnje gde je traka formirana potrebno je obezbediti regulaciju sile zatezanja u kartonu, i raspodelu opterećenja između pogona [3,6,7,10]. Klasičan način za realizaciju regulacije sile zatezanja, i raspodele opterećenja je uz korišćenje senzora sile, presduktora. Ovi uređaji su vrlo precizni, ali skupi. Pre rekonstrukcije u funkciji su bila i dva merača sile zateza-

nja (presduktora), prvi je delovao na zatezanje kontra valjka, a drugi na zatezanje IX sušne grupe. Kako kod mašina kao što je ova nije neophodna velika tačnost održavanja sile zatezanja u traci, ali je održavanje pravilne raspodele opterećenja između pogona neophodno zbog stabilnog rada pogona, ovom pitanju je morala biti posvećena dužna pažnja.

Isporučilac tehnologije u slučaju rekonstrukcije partije premaza karton mašine, firma Jagenberg, predviđala je na novom delu pogona još dva merača sile, koje je trebalo integrisati u sistem upravljanja pogonom. Polazeći od iskustava stečenih kod rekonstrukcije pogona presa i pogona sušnih grupa, u okviru projekta pogona odlučeno je da se na ostalim pogonima koji su u funkciji vuče ili vođenja trake primeni regulacija raspodele opterećenja, odnosno momenta motora.

Ukupan broj merača sile zatezanja, presduktora, posle rekonstrukcije je četiri. Prvi gledano u smeru kretanja trake deluje na brzinu, odnosno zatezanje prvog kontra valjka, koji je postojao i u prethodnoj konfiguraciji. Drugi, takođe postojeći, deluje na pogon 9, odnosno na vodeći valjak V, kod koga je povećan obuhvat trake tako da je dobio ulogu vučnog valjka. Treći presduktor deluje na drugi, novi kontra valjak, a četvrti presduktor deluje na IX sušnu grupu. Raspodela opterećenja, odnosno momenta je primenjena između pogona V i VI sušne grupe, VI i VII sušne grupe, VII i VIII sušne grupe i pogona kalandra. Takodje, raspodela momenta primenjena je između pogona kalandra i prvog

## MPI mreža



## Profibus mreža

Slika 4. Principijelna šema novog pogona na partiji premaza karton mašine  
 Figure 4. Scheme of the coating part of the drying units of the paper machine at the new plant

vodećeg valjka (pogon 4), kao i kod pogona preostalih vodećih valjaka, sa izuzetkom vodećeg valjka V (pogon 9). Korišćenjem kombinacije kontrole sile zatezanja i raspodele opterećenja između pogona obezbeđena je neophodna stabilnost rada postrojenja [1,7]. Da bi se obezbedilo kvalitetno upravljanje novim pogonima karton mašine, za realizaciju upravljačkog sistema upotrebljen je programabilni kontroler (PLC), visokih performansi, Siemens S7-300. Kapacitet ovog kontrolera dozvoljava da se realizuje upravljanje svih 28 pogona i isto toliko upravljačkih pultova. Zbog potrebnog koordiniranog rada svih pogona, svi pretvarači su povezani na profibus komunikaciju. Ovo rešenje je sasvim savremeno, i predstavlja standard za upravljanje ovakvim sistemima danas. Profibus komunikacija je prvi put praktično upotrebljena za upravljanje u našoj zemlji u ovom projektu. Zahvaljujući brzini komunikacije koju pruža profibus, u kontroleru je pored distribucije referentnih brzina za pogone, aplicirana regulacija raspodele opterećenja između pogona, kao i regulatori sile zatezanja za pogone koji imaju presduktore. Kontroler takođe obezbeđuje kompaktan, pouzdan sistem upravljanja, višestruko manjih dimenzija u odnosu na rešenja koja su korišćena. Posebno treba istaći mogućnost jednostavnog upravljanja, i vrlo velikih mogućnosti u nadzoru nad radom celog pogona. Ovo poslednje omogućava brzu detekciju smetnji, a time i efikasno otklanjanje kvarova, u kratkom roku.

Upravljački pult za svaki pogon čini jedan operacioni panel, Siemens OP7, preko čijih tastera se upravlja

pogonom. Postoje dva režima rada, odnosno upravljanja. U ručnom radu svi pogoni rade zasebno, mogu se obrtati željenom brzinom, i u oba smera. Brzina i smer se biraju sa panela. Ovaj režim je pogodan za čišćenje i pranje mašine, ili odglavlivanje. U automatskom radu pogoni se vrte brzinom koja je zadata za celu mašinu, a sa odgovarajućeg panela se podešavaju zatezanja, odnosno cugovi, a takođe se može vršiti eliminacija "petlje". Na panelima se mogu očitati važni podaci za rad pogona, brzina, cug, opterećenje, itd. U slučaju neke smetnje u radu pogona, ili cele mašine na panelu se ispisuju poruke koje obaveštavaju rukovaoca šta se desilo, što ubrzava otklanjanje smetnji, i skraćuje zastoje. Pored 28 upravljačkih panela za svaki pogon, postoje još dva panela, jedan u elektro sali, a drugi u glavnoj komandnoj sobi. Oba omogućavaju rukovaocima i službi održavanja uvid u stanje pogona, i mašine u celini.

U radu je navedeno da se kod pojedinih pogona primenjuje upravljanje po sili zatezanja, ili po raspodeli opterećenja. Pored toga postoje pogoni kod kojih se reguliše samo brzina u određenom odnosu na zadanu brzinu mašine, to su pogoni nanosnih valjaka i pogon kanapa. Kod pogona gde se vrši kontrola raspodele opterećenja zadatak je da se ova raspodela uvek održi na istom procentu u odnosu na nominalni momenat motora prethodnog pogona. Međutim, kod pogona namotača predviđena je mogućnost dodatnog povećanja momenta, u odnosu na prethodni pogon, pogon IX sušne grupe, u cilju što boljeg formiranja rolne.



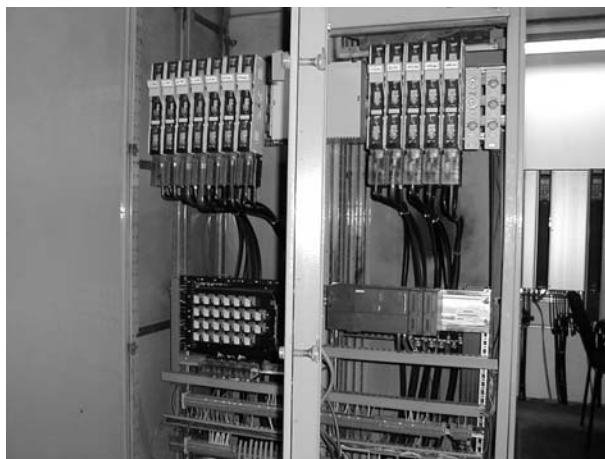
Slika 5. Pogonski motori i reduktori partije presa karton mašine  
Figure 5. Drive motors and recustors of the press of the paper machine



Slika 7. Frekventni pretvarači smešteni na zid elektro sale  
Figure 7. The frequency converter placed on the wall of the electro installation room



Slika 6. Pogonski motori i reduktori partije premaza karton mašine  
Figure 6. The drive motor and inductors of the coating part of the drying unit



Slika 8. Energetski razvod i upravljački sistem sa PLC-om  
Figure 8. The energetic network and control with PLC

## OSTVARENI REZULTATI

Oprema ugrađena u novi pogon zauzima mnogo manje mesta od starog pogona. Na slikama 5 i 6 mogu se videti novi motori. Na slici 5 je grupa od tri pogonska motora za tri prese, a na slici 6 pogonski motori valjaka iz partije premaza. Energetski razvod za 12 pogona sušnih grupa je smešten u jedan dupli ormar, zajedno sa programabilnim kontrolerom, slika 8. Treba napomenuti da je u ovom ormanu ranije bio smešten samo tiristorski ispravljaj za pogonski motor transmisije, dok je upravljanje transmisijom bilo raspodeljeno u više ormana. Pretvarači su postavljeni na slobodan zid elektro sale, slika 7. Na slici 9 prikazani su upravljački paneli u postrojenju. Kod pogona sušnih grupa pojedinačni paneli su smešteni u neposrednoj blizini valjaka, dok su zbog rasporeda pogona na partiji premaza paneli grupisani, ali su smešteni tako da rukovaoci imaju dobar uvid u stanje trake na mašini. Osnovni rezultat rekonstrukcije pogona je povećanje prosečne brzine karton mašine, i smanjenje zastoja, što potvrđuje i činjenica da je u periodu od



Slika 9. Grupa upravljačkih panela za deo partije premaza  
Figure 9. The group of control boards of the coating unit

rekonstrukcije do danas, proizvodnja bila stalno iznad planirane. Realna maksimalna brzina mašine pre rekonstrukcije je bila 180 m/min, a posle rekonstrukcije je postignuta maksimalna brzina od 230 m/min. Dalje povećanje brzine je za sada limitirano isključivo tehnološkim parametrima mašine. Investitor u dosadašnjem periodu eksploatacije pogona nije imao nikakvih troškova u održavanju novo ugrađene opreme.

## ZAKLJUČAK

Uspešna realizacija ovog projekta, kao i prethodni slični rezultati [4–9] potvrđuju da je usvojeni koncept primene asinhronih pogona sa frekventnim pretvaračima ispravan. Projekat je realizovan kroz primernu saradnju tehničkih službi investitora, Laboratorije za elektromotorne pogone, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu i firme Danfoss. Ovakav pristup značajno smanjuje investicije, u odnosu na angažovanje inostranih izvođača. Posebno treba istaći da se kroz ovakav način realizacije službe održavanja investitora uspešno obučavaju u rukovanju i održavanju novih tehnologija, što takođe smanjuje troškove održavanja.

## LITERATURA

- [1] S.K. Pillai, "A First Course On Electrical Drives", John Wiley & Sons, New Delhi, 1982.

- [2] Istraživanja koje je Laboratorija za elektromotorne pogone sprovedla za potrebe Fabrike kartona "Umka".
- [3] M. Anibal, R. Lorenc, "Electronic Line-Shafting Control for Paper Machine Drives", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.37, No.1, Jan./Feb. 2001.
- [4] B. Jeftenić, M. Bebić, M. Krgović, "The Selection of Sectional Drives for Replacement Of The Line Shaft Drive In A Paper Machine", 7th Meeting of Pulp and Paper Industry of Balkan Countries, Novi Sad, 8th –10th November, 2000.
- [5] B. Jeftenić, M. Bebić, D. Jevtić, M. Milojević, "Rekonstrukcija elektromotornih pogona poprečnog rezača na bazi primene frekventnih pretvarača", VI jugoslovenski simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Zlatibor, 2000.
- [6] B. Jeftenić, M. Bebić, D. Jevtić, M. Belinčević, "Zamena mehaničke transmisije papir mašine pojedinačnim asinhronim pogonima", VII jugoslovenski simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Zlatibor, 2001.
- [7] W. Leonhard, "Control of Electrical Drives", Springer-Verlag, Berlin, N. York, 1985.
- [8] "Papir mašina PM1, Papirpak, Čačak – Projekat, nadzor, puštanje u rad", Laboratorija za elektromotorne pogone, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2000. godine.
- [9] "Papir mašina Komuna, Skoplje – Projekat, nadzor, puštanje u rad", Laboratorija za elektromotorne pogone, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2001. godine.
- [10] B. Jeftenić, M. Gvozdenović, "Synchronized work of two controlled DC drives with resilient mechanical connection", Publications of the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, 1989.

## SUMMARY

### NEW DRIVE AND CONTROL CONCEPT OF THE PAPER-BOARD MACHINE AT THE BOARD FACTORY "UMKA"

(Professional paper)

Borislav Jeftenić<sup>1</sup>, Milan Bebić<sup>1</sup>, Miodrag Milojević<sup>2</sup>, Mario Belinčević<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd,

<sup>2</sup>Fabrika kartona "Umka", Beograd-Umka,

<sup>3</sup>JKP Beogradski vodovod i kanalizacija, Beograd

This paper describes the reconstruction of the drives of a paper machine for the press and drying part of the machine during June, 2001, as well as the expansion of the paper machine with a "third coating" during July, 2002 at the board factory "Umka". The existing old drive of the press and the drying groups was realized as a 76 meter long line shaft drive. The coating section of the machine was realized with sectional drives with DC motors fed from thyristor converters. The concept of the new drive is based on standard squirrel cage induction motors, fed from frequency converters. The system is controlled by a programmable logic controller. The communication between the controller, frequency converters and control panels is realized with a profibus protocol.

The Laboratory for Electric Drives, of the Faculty of Electrical Engineering, Belgrade, was contracted for the drive part of the reconstruction of the paper-board machine. The complete project, supervision of the work of the investor's own technical services and final commissioning of the drives were organized in such a way that the drives were changed during the planned periods for the repair of the machine.

Key words: Electric drives • Control • Profibus •  
Ključne reči: Elektromotor • Kontrola • Profibus •