

MILORAD V. KRGOVIĆ¹
VLADIMIR J. VALENT¹
MARINA M. KRŠIKAPA²
MIODRAG B. MILOJEVIĆ³
BRANKO S. RAŠETA³
DANIJELA V. OŠAP³

¹Tehnološko-metalurški fakultet,
Univerzitet u Beogradu, Beograd

²Centar CPA&G - TMF, Beograd

³Fabrika Kartona A. D. UMKA,
Umka, Srbija

STRUČNI RAD

UDK 658.26.004.15:676.056

DOI: 10.2298/HEMIND0804233K

POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U PAPIRNOJ INDUSTRIJI

U radu su prikazani fenomeni prenosa toplote i mase u procesu sušenja papira i analiziraju se pojedine tehnološke celine u proizvodnji papira sa aspekta ispitivanja mogućnosti smanjenja specifične potrošnje toplotne i električne energije modernizacijom tehnologije. Prikazana su neka od rešenja primenjena na papir mašinama u svetu u cilju poboljšanja energetske efikasnosti. Teoretska i praktična saznanja iz ove oblasti su primenjena u Fabrici kartona UMKA, pa su i ovi rezultati prikazani u ovom radu.

Eksplozija cene nafte na svetskom tržištu, koja je u periodu jun–jul 2008. godine prešla cenu od 145 \$/barel, još više ugrožava profitabilnost u papirnoj industriji, već ugroženu u 2007. godini, i pored toga što je primećena tendencija pada cene nafte, pa početkom septembra 2008. iznosi 110 \$/barel. Mogućnosti ušteta u sirovinama su značajno iscjepene, jer je zamena primarnih celuloznih vlakana starim papirom u velikoj meri prisutna skoro kod svih vrsta papira, tako da se ova sekundarna sirovina koristi kod ambalažnih, novinskih i toalet papira i do 100%, pa čak i kod finih grafičkih papira (do 20%). Prema tome, istraživači, naučnici i praktičari u budućnosti se moraju maksimalno angažovati na polju štednje energije, kao sledećoj mogućnosti za uštete, i pronalaženju novih rešenja u tehnologiji, radi veće energetske efikasnosti.

TEHNIKA SUŠENJA PAPIRA I EFIKASNA KONTROLA PRENOSA TOPLOTE

Istraživanja sprovedena u integrisanoj fabrici celuloze i papira, a u cilju korišćenja energije, utvrdila su da od celokupno upotrebene energije 28% odlazi na proces sušenja papira [1]. Dakle, sušenje papira je proces koji traži kontinualno istraživanje i optimizaciju procesa, jer krije velike rezerve u štednji energije. Uprkos tome, mnogi proizvođači papira poklanjaju najmanje pažnje upravo sušenju papira.

U proizvodnji papira od ukupne količine vode na sirtovoj partiji ukloni se 98%, ali ti troškovi iznose svega 16% ukupnih troškova uklanjanja vode iz trake papira. Na partiji presa se izdvoji 1% vode, a učešće tih troškova je 7%, dok se u sušnoj partiji izdvoji samo 0,5–1% ukupne količine vode, a ti troškovi učestvuju sa 77% u ukupnim troškovima energije.

Zbog ovakvih relacija u potrošnji energije u procesu proizvodnje papira, razvijene su mnoge tehnologije u partiji sita i u partiji presa, čime se postiže suvoća papirne trake i do 55% (primer su visoko-učinske prese [2]). Činjenice koje upućuju na to su da za 1% suvlja traka iza presa smanjuje potrošnju pare za 4%, a povećava proizvodnju papira takođe za 4%.

Međutim, pored mnogih rezervi u mokrom delu papir mašine (PM), proces sušenja trake papira pruža najveće mogućnosti za ostvarivanje značajnih ušteta u potrošnji energije. Istraživanja koja godinama sprovodimo u mnogim fabrikama papira potvrđuju gornje tvrdnje.

Osnovi sušenja papira

Standardni način sušenja papira je konvencionalno sušenje na sušnim cilindrima koji se greju vodenom parom određene temperature i pritiska. Preko površine ovih zagrejanih cilindara prelazi papirna traka koja se greje i iz koje voda isparava, tako da se papir osuši do suvoće 90–96% [3].

Zasićena vodena para dovedena u sušne cilindre kondenzuje se na njihovoj hladnijoj površini obuhvaćenoj vlažnim papirom, pri čemu cilindar oslobađa svoju latentnu toplotu, povećavajući temperaturu lista.

Stepen prenosa toplote od vodene pare kao grejnog medija, do papirne trake kao tela koje se greje, diktira čitav niz faktora kao što su: vrsta i debljina livenog čelino gusa plašta cilindra, kao i ostali koeficijenti prenosa toplote i mase.

Danas postoje tri osnovna sistema za sušenje papira i to: višecilindrični, kombinovani (višecilindrični i prosisni) i Yankee sistem.

Shematski prikaz sušenja papira kod višecilindričnih sušnih valjaka, postavljenih u dva reda, prikazan je na slici 1.

Papirna traka pravi slalom kroz sušnu patriju, prolazeći naizmenično kroz gornji i donji red sušnih valjaka i primajući toplotu od zagrejanih cilindara. U direktnom kontaktu sa plaštom cilindra ispari približno 80% vode

Autor za prepisku: M. Krgović, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija.

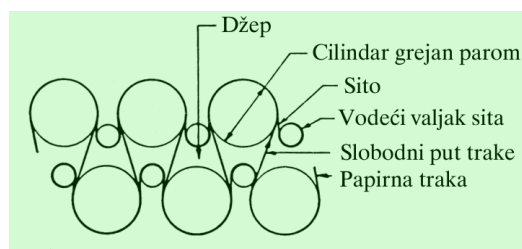
E-pošta: krgo@beotel.yu

Rad primljen: 11. maj 2008.

Rad prihvaćen: 26. maj 2008.

iz papira, a 20% ispari na slobodnom potezu između gornjeg i donjeg cilindra.

Svaka grupa gornjih i donjih cilindara ima svoja sušna sita koja pritežu traku na cilindar i na taj način omogućavaju bolji prenos toplote, a ujedno služe i za vođenje papirne trake. Danas se takođe ove grupe koriste i tako da sita prave slalom, zajedno sa papirnom trakom, tj. da sa gornjih, idu na donje sušne cilindre u prvim grupama, pa i u većem delu sušne partije.



Slika 1. Šematski prikaz dela višecilindrične sušne partije PM.
Figure 1. Schematic presentation of the part of multicylinder drying part of PM.

Sistem sušenja na Yankee cilindru je treći sistem sušenja papira. Ovaj sistem ima kontinualni kontakt sa plaštom sušnog cilindra, pri čemu veličina prečnika cilindra, ϕ 2,5–6 m, zavisi od brzine mašine, $v = 1500$ – 2500 m/min. Sušenje papira se odvija tako da približno 40% vode ispari od kontaktnog sušenja, tj. konduktivnog prenosa toplote, a 60% od vrućeg vazduha iz visokoučinske haube, tj. konvektivnim prenosom toplote.

U konvencionalnom procesu sušenja odigravaju se dve osnovne faze, i to: prenos toplote, dakle toplote od vodene pare na papir za vreme kontakta sa sušnom površinom cilindra, i prenos mase, odnosno, uklanjanje isparene vode sa papirne trake u okolni vazduh, pri otvorenom zatezanju između sušnih cilindara.

Efikasnost procesa sušenja može se poboljšati optimizacijom svake od ovih faza. Da bi odredili koji faktori utiču na ove faze, mora se razdvojiti svaka od njih, na parametre koji diktiraju efikasnost prenosa toplote.

Na slici 2 prikazani su faktori koji diktiraju prenos toplote i prenos mase u dinamičkom stanju jedne papir mašine. Svaki od ovih faktora ima svoju važnost i zbog toga se traži njihova optimalna primena u dinamičkom i stacionarnom stanju.

Prenos toplote

Papir mašina, određenih konstrukcionih karakteristika, kapaciteta i vrste proizvoda koju daje, ima i određeni broj sušnih cilindara, ali jedine dve promenljive vrednosti koje utiču na prenos toplote kondukcijom su:

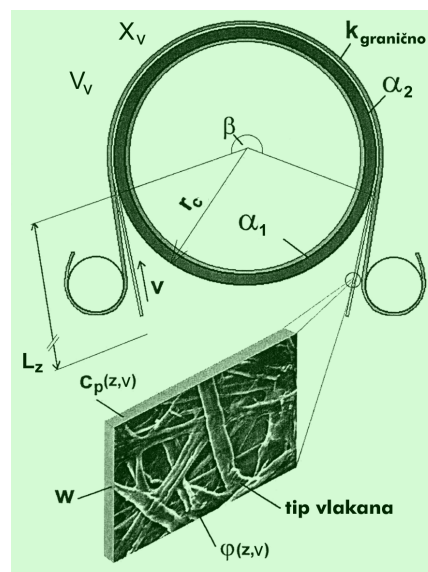
U – ukupni koeficijent prenosa toplote, $\text{kW m}^{-2} \text{K}^{-1}$, i

T_s – temperatura zasićene vodene pare, K.

Prenos toplote definiše jednačina (1):

$$Q = UA(T_s - T_p) \quad (1)$$

gde je Q toplota koja se prenosi sa vodene pare na papir, kW, A površina sušnog cilindra u kontaktu sa papirom, m^2 , i T_p – temperatura papira, K.



Slika 2. Faktori koji utiču na prenos toplote. W – gramatura papira, gr/m^2 ; $C_p(z,v)$ – specifična toplota uzorka; $\phi(z,v)$ – izoterma adsorpcije; V – brzina papirne trake, m/min; $k_{\text{granično}}$ – koeficijent prenosa toplote preko graničnog sloja i sušnog sita; α_1 – koeficijent prenosa toplote para–cilindar; α_2 – koeficijent prenosa toplote cilindar–papir; β – ugao obuhvatanja papira oko sušnog cilindra, %, ugao; V_v – temperatura vazduha za sušenje, K; X_v – sadržaj vode u vazduhu za sušenje, vlažnost vazduha, g/m^3 ; r_c – poluprečnik cilindra, m; L_z – dužina slobodne trake između gornjeg i donjeg cilindra, m.

Figure 2. Factors that influence the heat transfer.

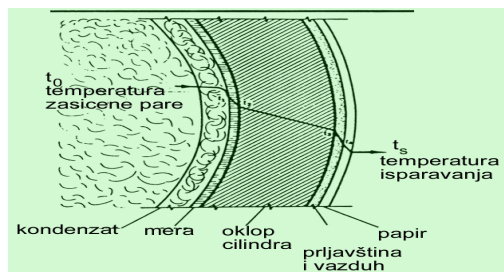
Povećanjem pritiska pare u cilindru povećava se i temperatura zasićene pare, ali ovde postoje ograničenja koja zavise od kvaliteta papira koji se proizvodi i debljine zidova sušnih cilindara koji ograničavaju pritisak. Previsoka temperatura u prvim cilindrima sušne partije dovodi do lepljenja papira na cilindar, što ima za posledicu oštećenje papira, pucanje trake i stvaranje izolacionog sloja na cilindru.

Treba istaći da ukoliko se para koja ulazi u sušne cilindre zagreje više od tačke zasićenja po Molijerovom dijagramu, dolazi do ozbiljnog smanjenja prenosa toplote. Ovo proizilazi iz teorije faznog prelaza, da se para hladi do temperature zasićenja kada prelazi u kondenzat i time oslobađa latentnu toplotu. Zbog ovoga se mora strogo kontrolisati odnos pritiska i temperature vodene pare.

Ukupni koeficijent prenosa toplote, U , mera je ukupnog otpora prenosu toplote sa cilindra na papir, pri prolazanju kroz sledeće slojeve:

1. sloj kondenzata u cilindru,
2. sloj zida cilindra od livenog gvožđa,
3. sloj papirne trake i
4. sloj okolnog vazduha.

Ukupni koeficijent prenosa toplote zavisi od debljine i relativne termičke propustljivosti materijala svakog od ovih slojeva. Na slici 3 prikazan je uticaj ovih slojeva na temperaturu u smeru para–papir.



Slika 3. Promena temperature pri prenosu toplote sa cilindra na papir.

Figure 3. Change of temperature during the heat transfer from cylinder to paper.

Prenos mase

Toplota prenesena na papirnu traku za vreme kontaktnog sušenja, konduktivnog prenosa toplote, troši se na isparavanje vode iz papira na slobodnom potezu, L_z , između gornjeg i donjeg cilindra [3].

Temperatura papira je promenljiva koja povezuje prenos toplote i prenos mase. Bolji prenos toplote povećava temperaturu papirne trake, što direktno utiče na povećanje prenosa mase u slobodnom potezu, L_z , između gornjeg i donjeg sušnog cilindra.

U slobodnom potezu voda iz papira naglo isparava što uzrokuje pad temperature papirne trake, a ovo dalje pozitivno utiče na dobar prenos toplote kada traka ponovo dođe u kontakt sa površinom sledećeg sušnog cilindra.

Uklanjanje sloja isparene vode sa površine papira slabo se postiže samo sa fizičkim promenama, što jasno proizilazi iz jednačine (2):

$$m_{sp} = kA(p_s - p_a) \quad (2)$$

gde je: m_{sp} stepen isparenja vode (kg/s), k koeficijent prenosa mase – otpornost koju stvara film vodene pare na površini papira, A površina isparavanja (m^2), p_s parcijalni pritisak vodene pare koja isparava iz papira (Pa) i p_a parcijalni pritisak isparene vode u okolni vazduh (Pa).

Iz ove jednačine nameće se zaključak da što je efikasniji prenos toplote to će biti veća i temperatura papira, a time i veći pritisak isparene vode iz lista papira, p_s . Znači, p_s je u direktnoj vezi sa efikasnošću prenosa toplote sa cilindra na papir. Ključni faktor na koji se može uticati je parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu, p_a , koji okružuje papir. On je dirigirajuća promenljiva za prenos mase.

Veličina p_a u direktnoj je vezi sa apsolutnom vlažnošću vazduha. Visoka vlažnost vazduha u džepovima sušne grupe daje visok parcijalni pritisak koji snažno deluje na nizak stepen isparenja, odnosno slab prenos

mase. Da bi se ovaj nedostatak uklonio i povećalo isparavanje vode dovodi se vreli, suvi vazduh u džepove i primenjuju se otvorena sušna sita, čime se obara parcijalni pritisak p_a , a prenos mase raste.

Stepeni vlažnosti džepova koji se preporučuju u praksi dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Preporučeni stepeni vlažnosti džepova (kg vode/kg suvog vazduha)

Table 1. Recommended degrees of pocket moist (kg of water/kg of dry air)

Vrsta papira	Prosek	Gornja vrednost
Novinski papir	0,18	0,25
Fini papiri	0,2–0,22	0,30
Kraftlineri i flutinzi	0,2–0,22	0,30

KLJUČNI POKAZATELJI RADA SUŠNIH CILINDARA

Ključni pokazatelji rada sušnih cilindara po Tappi standardu su:

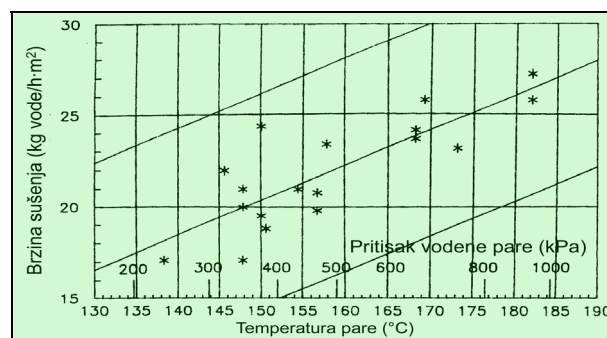
- Tappi stepen sušenja,
- specifična potrošnja pare,
- stepen izduvanja i
- koeficijent ukupnog prenosa toplote, U .

Tappi stepen sušenja

Tappi stepen sušenja je mera količine vode koja isparava po satu i kvadratnom metru dostupne površine kontakta sušnog cilindra i normalno iznosi između 20–40 $kg\ h^{-1}\ m^{-2}$, za konvencionalno sušenje. Kako se izračunava Tappi stepen sušenja vidi se u jednačini (3):

$$\text{Tappi stepen sušenja} = \frac{\text{Stepen isparavanja}}{\text{Površina sušenja}} \quad (3)$$

Tappi poseduje standardizovane odnose stepena sušenja i pritiska pare za različite vrste papira, slika 4 [4].



Slika 4. Zavisnost stepena sušenja od pritiska i temperature vodene pare.

Figure 4. Change of temperature during the heat transfer from cylinder to paper.

Podaci prikupljeni za nekoliko papir mašina za više vrsta papira, zajedno sa gornjim i donjim granicama i prosečnim vrednostima, uključeni su u dijagrame i omo-

gućuju određivanje graničnih vrednosti za proces sušenja kod papir mašina.

Najvažnija mera koja se utvrđuje ovom vrstom analize je suvoća papira iza presa, koja se može izračunati iz jednačine (4):

$$\begin{aligned} \text{Stepen isparavanja vode} &= \\ &= \text{Stepen proizvodnje} \times \frac{\text{Suvoća posle sušenja} - 1}{\text{Suvoća na ulasku u sušni deo}} \quad (4) \end{aligned}$$

Specifična potrošnja pare (SPP)

Specifična potrošnja pare je mera količine pare potrebne da dođe do isparavanja 1 kg vode iz papira, jednačina (1), i trebalo bi da iznosi između 1,2 i 2,1 kg pare/kg vode koja ispari. Vrednosti iznad ovih ukazuju na slabu efikasnost sušenja i potrebu da se dalje prouči problem, jednačina (5).

$$SPP = \frac{\text{Ukupan protok pare do mašine}}{\text{Stepen isparavanja u sušionicima}} \quad (5)$$

Stepen izduvavanja pare

Količina pare koja se koristi za uklanjanje kondenzata iz sušnog cilindra predstavlja stepen izduvavanja i trebalo bi da iznosi 15–20% ukupne količine pare doveđene u PM. Vrednosti ispod ovog procenta imaju za rezultat zadržavanje kondenzata u cilindru, dok vrednosti iznad ove veličine ukazuju na neefikasnu specifičnu potrošnju pare, jednačina (6).

$$\begin{aligned} \text{Stepen izduvavanja (\%)} &= \\ &= \frac{\text{Protok pare do mašine} - \text{Odstranjeni kondenzat}}{\text{Protok pare do mašine}} \quad (6) \end{aligned}$$

Koeficijent ukupnog prenosa toplote

Na osnovu bazne jednačine prenosa toplote i pojednostavljenog bilansa toplote, može se izračunati koeficijent ukupnog prenosa toplote, U , i iskoristiti za dobijanje efekata bilo kakvih izvršenih promena u procesu sušenja, jednačina (7):

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (7)$$

gde je Q_1 = stepen isparavanja $\times (h_g - h_f)$, Q_2 = proizvodnja \times stepen vlage $\times C_{pw} \Delta T$ i Q_3 = BD proizvodnja $\times C_{pf} \Delta T$, a h_g specifična entalpija suve zasićene pare pri prosečnoj temperaturi papira u sušnoj partiji, h_f specifična entalpija vode pri temperaturi papira koji ulazi u sušnu partiju, C_{pw} specifični toplotni kapacitet vode, C_{pf} specifični toplotni kapacitet vlakana (1,25 kJ/kg K) i ΔT temperaturna razlika lista papira koji ulazi i izlazi iz sušne partije.

Temperatura pare i temperatura sušnog cilindra takođe pružaju jasnu sliku efikasnosti prenosa toplote za svaki sušni cilindar posebno. Temperaturna razlika bi trebalo da bude između 15 i 30 °C u zavisnosti od pritiska pare. Temperaturna razlika iznad ove veličine uka-

zivala bi na slab prenos toplote zbog slabog uklanjanja kondenzata.

TRENDVI U PROCESU SUŠENJA

Iako je bilo mnogo pokušaja da se poveća suvoća iza partije presa, brzine mašine koje se stalno povećavaju, ultimativno smanjuju impuls prese i na taj način smanjuju i uklanjanje vode u presi. Na svakih 150 m/min povećanja brzine, suvoća iza presa smanjuje se za 1%. Ova činjenica dodatno opterećuje proces uklanjanja vode u sušnoj partiji i uskoro će konvencionalni sušni cilindri postati nepraktični i neekonomični, upravo zbog potrebe da se uvedu nove tehnike sušenja. Veća brzina mašine takođe utiče na njen rad kod konvencionalnih sušnih cilindara, zbog efekta koji ima na lepršanje trake, vođenje papirne trake i valovitost papira.

Sadašnji trend, da se proizvode papiri niže gramature sa većim sadržajem punila, olakšao je proces uklanjanja vode, ali su gubitak čvrstoće, krutost, voluminoznost i opacitet, učinili da je rukovanje papirnom trakom dosta otežano i ograničilo je fenomene presovanja papira.

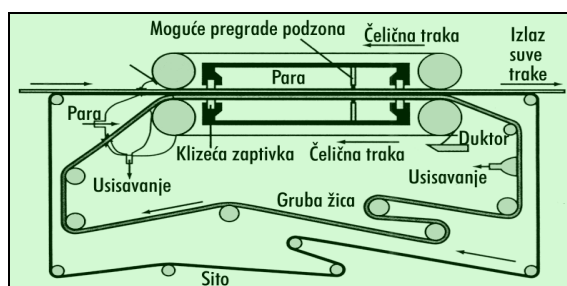
Uvođenje koncepta sa jednim sušnim filcem od početka do kraja sušne partije, za vrste papira sa velikom brzinom štampanja, ne samo da poboljšava efikasnost pogona, već i omogućava uvođenje kontrole poprečnog i uzdužnog skupljanja papira, koje utiče na efikasnost i stabilnost dimenzija papira.

Takozvani procesi termodinamičke konsolidacije trake koji uključuju sušenje presom, impulsno sušenje i CONDEBELT proces, alternativna su rešenja umesto konvencionalnog sušenja cilindrima i ona najviše obećavaju [3]. Sušenje impulsnom presom, koje koristi parne kutije u partiji presa, da bi se povećala temperatura papira i time povećalo odstranjivanje vode presom, najpoznatija je od svih tehnika. Impulsno sušenje je proces u kome se voda uklanja iz papirne trake uz pomoć dugačkog nipa prese sa jako zagrejanim valjkom. To je jedan od oblika presnog sušenja, međutim, temperatura i pritisak pri radu su veći, a rezultat je poboljšano odstranjivanje vode.

Pri impulsnom sušenju obično se koriste temperature površine nipa valjka 250–350 °C, pritisak 3–6 MPa i vreme zadržavanja trake u nipu 15–100 ms, što za rezultat ima suvoću papirne trake iza partije presa od 60–65%. Glavni nedostaci pri mogućoj realizaciji ovog procesa su raslojavanje, gubitak beline i opaciteta. Kod CONDEBELT procesa sušenja, koji je shematski prikazan na slici 5, traka papira ide između gornje trake zagrejjane parom, i donje trake rashlađene vodom.

Gornja traka isparava vodu iz papira, koja se onda kondenzuje na rashlađenoj donjoj traci. Kondenzovana voda se otklanja grubim, hrapavim, žičanim kaišom koji se nalazi između donje i gornje trake. Ovaj proces se može koristiti uz već postojeće sušne cilindre, ili kao za-

mena konvencionalnih sušnih partija, i omogućava stepen sušenja veći za 5–15 puta u odnosu na klasični sistem sušenja.



Slika 5. Shematski prikaz CONDEBELT procesa sušenja.
Figure 5. Schematic presentation of CONDEBELT drying process.

Iako je specifična potrošnja pare i električne energije otprilike ista kao i kod konvencionalnog sušenja, CONDEBELT sušenje pruža mogućnost obnavljanja latentne toplote isparavanja iz vode koja je isparila pri relativno visokim temperaturama. Takođe, omogućena je i kontrola istezanja papirne trake u poprečnom i uzdužnom pravcu, postizanje glatkoće kao kod kalandera, kao i sjaja i visoke voluminoznosti. Isto tako poboljšana je jačina papira, koji je otporan na promene stepena vlažnosti.

Dakle, može se zaključiti da iako se uvode nove tehnologije sušenja, konvencionalno sušenje cilindrima je još uvek najrasprostranjenija metoda za sušenje papira. Sušenje na cilindrima je kružni proces koji se oslanja na procese prenosa toplote i mase pri uklanjanju vode iz papira. Da bi se poboljšala efikasnost sušenja, ova dva procesa, prenos toplote i mase, moraju se optimizovati.

Optimizacija i stalno poboljšanje sušenja se mogu realizovati neprekidnom kontrolom i merenjima, kao i uvođenjem tehnologija koje usavršavaju proces sušenja i dovode ga na prihvatljive industrijske standarde. Ovo potvrđuju svetski pokazatelji kao i sprovedene rekonstrukcije i optimizacije u procesu sušenja u «Papirpaku», Čačak, i «Komuni», Skopje, gde se postiže specifično isparavanje vode od približno $70 \text{ kg H}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, a potrošnja pare 1,8–2,2 kg pare/kg papira.

U ovim fabrikama takođe je ugrađen sistem za rekuperaciju toplote koji postiže Δt od $16 \text{ }^\circ\text{C}$, sa jednim stepenom rekuperacije, a investicija se vraća za pola godine, s tim da se mogu naknadno ugraditi rekuperatori sa dva i tri stepena, pri čemu se ostvaruje Δt i do $45 \text{ }^\circ\text{C}$.

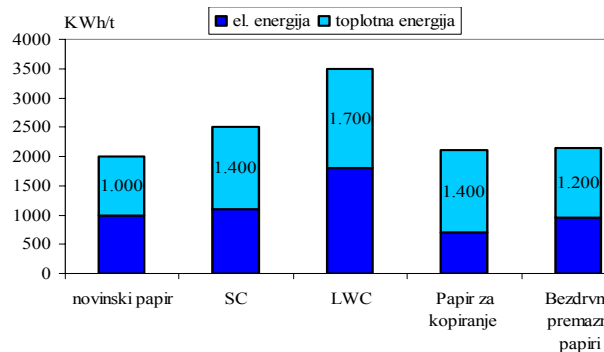
TEHNIČKA REŠENJA U PAPIROJ INDUSTRIJI ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI

U prethodnom periodu sirovine su činile preko 50% svih troškova u ceni koštanja papira, a energija 8–10%, a kako danas osnovnu sirovinu čini stari papir, to je učešće palo ispod 35%, dok energija učestvuje i sa 30%. Zbog toga, energetske troškovi danas predstavljaju va-

žan, ako ne i najvažniji pokretač istraživanja i unapređenja tehnologije u papirnoj industriji. Kako je kod najvećeg troškovnog faktora – sirovine, primenom starog papira u velikoj meri iscrpljen potencijal, to su na dnevnom redu dalje mere za povećanje efikasnosti u proizvodnji i energetske efikasnosti.

Kada se govori o korišćenju energije u fabrikama za proizvodnju papira, mora se praviti razlika između električne energije i toplotne energije, zbog realnosti analiza i traženja mogućnosti za uštedu energije, jer se ove dve vrste energije, sa aspekta tehnike i tehnologije u papirnoj industriji, razlikuju. U mnogim slučajevima u papirnoj industriji, postoji u okviru fabrike sopstvena energana, gde se proizvodi električna i toplotna energija, a u nekim slučajevima električna energija se isključivo nabavlja sa strane, gde se takođe kriju velike rezerve.

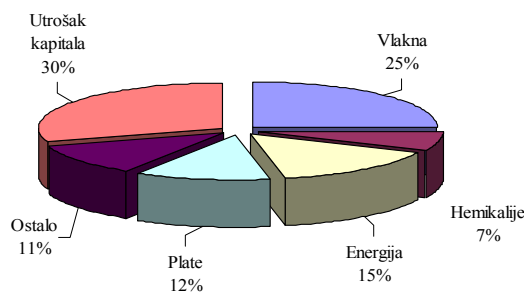
U ovim analizama se moraju razdvojiti cene i učešće električne energije i toplotne energije, pa je tako na slici 6 prikazan specifičan utrošak za novinske papire, SC papire, LWC papire, kopir papire i bezdrvene papire [4].



Slika 6. Specifična potrošnja električne i toplotne energije za razne vrste papira u Nemačkoj 2006. godine.

Figure 6. Specific consumption of electric and heat energy for various paper sorts in Germany in 2006.

Na modelu novinskog papira vršene su analize precizne raspodele troškova proizvodnje. Tako, od ukupnih 400 €/t , kolika je cena koštanja novinskog papira, 60 €/t ili 15% otpada na energiju, slika 7.

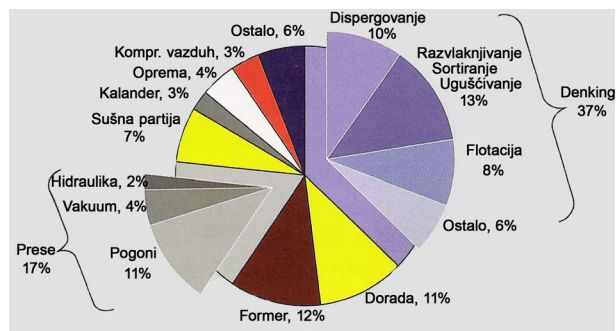


Slika 7. Struktura cene koštanja novinskog papira u Nemačkoj 2007. godine.

Figure 7. Structure of the cost of newsprint paper in Germany in 2007.

Ako se sada analiziraju potrošači električne energije savremene fabrike za proizvodnju novinskog papira

ra, gde se kao sirovina koristi 100% stari papir, obrađen po denking postupku, specifična potrošnja električne energije iznosi 1000 kW h po toni gotovog proizvoda. Struktura potrošača i njihovo učešće u ukupnoj potrošnji električne energije prikazani su na slici 8 [5].

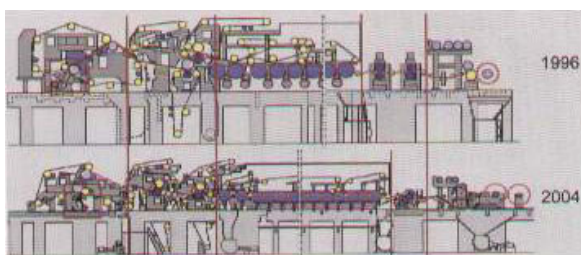


Slika 8. Struktura potrošnje električne energije za proizvodnju novinskog papira u Nemačkoj 2007. godine.

Figure 8. Structure of consumption of electric energy for production of newsprint paper in Germany in 2007.

Od ukupne potrošnje električne energije, na pripremu mase po denking sistemu otpada 37%, a partija presa, sa vakuum postrojenjem, troši 17%.

Ako se upoređuje papir mašina za proizvodnju novinskog papira u EU, starosti tehnologije 10 godina, sa PM sadašnjeg stepena tehnologije, videćemo da je modernizacija izvršena u delu koji utiče na štednju energije, kao što su partije presa i sušni deo, slika 9, a ostvarene uštede su prikazane u tabeli 2.



Slika 9. Papir mašine za novinski papir generacije 1996. i 2004. godina.

Figure 9. Paper machines for newsprint paper, generations of 1996 and 2004.

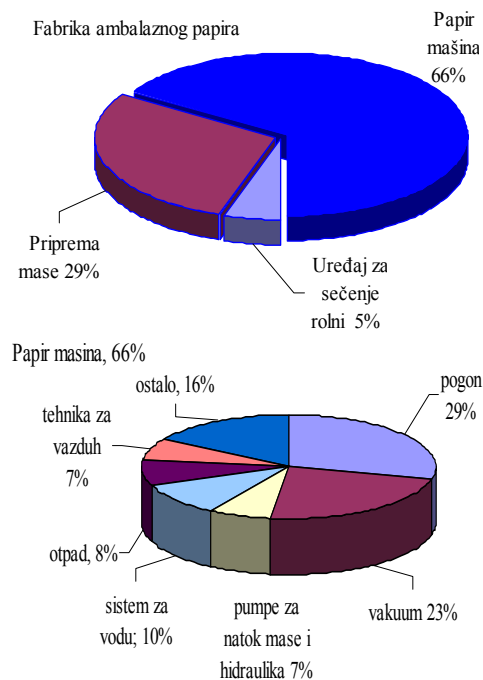
Tabela 2. Poređenje PM – generacija za novinski papir (utrošak energije: konstantni deo do namotaca)

Table 2. Comparison of PM – generations for newsprint paper (energy consumption: constant part to rewinder)

PM generacija (godište)	V_{\max} m/min	Utrošak energije PM	
		Električna kW h/t	Toplotna kW h/t
1996	1.800	467	913
2004	2.000	430	825
Razlika,%	11		-9

Brzina PM povećana je za 11%, dok se specifičan utrošak energije smanjio za 9%, pri uporedivoj produk-

ktivnosti. Ako bi se mlađa PM opremila sa dodatnim drugim Softnip-kalanderom, razlika u specifičnom utrošku energije bila bi 8%. Po istom principu je izvršeno ispitivanje na papir mašinama za proizvodnju ambalažnih papira, flutinga (wellen stoff) od starog papira. Od ukupne specifične potrošnje električne energije, priprema mase troši 29%, papir mašina 66% i prematač rola papira 5%, slika 10a. Potrošnja električne energije na papir mašini je specifičnija po glavnim potrošačima, slika 10b, s tim da približno 60% potrošnje na PM otpada na pogon, vakuum i pumpe za natok mase i hidrauliku.



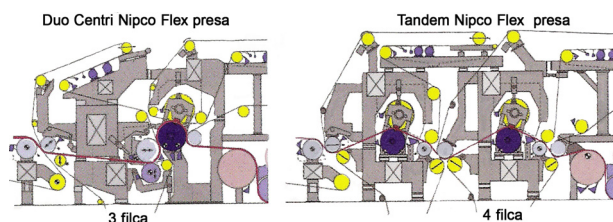
Slika 10. Učešće električne energije u pojedinim fazama proizvodnje ambalažnih papira.

Figure 10. Participation of electric energy in certain phases of the production of packaging paper.

Kod proizvodnje papira prisutne su velike mogućnosti u povećanju energetske efikasnosti, ali najveće uštede toplotne energije mogu se ostvariti u partiji presa. Iz tog razloga, ovom delu posvećujemo posebnu pažnju i pri tome posmatramo dva savremena rešenja partije presa. Izvršeno je generacijsko poređenje papir mašina, unutar jednog papirnog koncerna i delovanje tehničkog razvoja u sklopu papir mašine, na specifični utrošak energije.

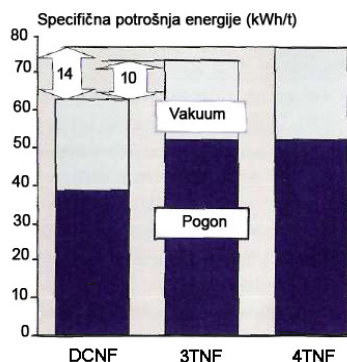
Za ovu analizu izvršeno je poređenje specifičnog utroška energije (električne i toplotne) jedne standardne PM za novinski papir iz 1996. godine, sa mlađom generacijom One-Platform-koncepta papir mašine, iz 2006. godine. Obe mašine opremljene su sa natokom tipa ModuleJet i sitovom partijom tipa Gapformerom, ali različitom koncepcijom partije presa. Starija PM ima Duo-Centri-NipcoFlex-presu (DCNF), mlađa PM ima Tandem-NipcoFlex presu (TNF), slika 11 [6].

Rezultati poređenja su prikazani na slici 12, gde se vidi da DCNF presa ima manju potrošnju električne energije za 14% u odnosu na TNF presu sa 4 filca, i 10% za TNF presu sa 3 filca. Međutim, suvoća papirne trake iza DCNF prese je 50%, a kod TNF prese sa 3 filca je 51,7%, a za TNF prese sa 4 filca suvoća je 52,2%, što znači da je suvoća iza partije presa sa 4 filca za 2,2% veća u odnosu na DCNF presu (slika 13). Imajući u vidu da se povećanjem suvoće posle prese za 1% može smanjiti potrošnja pare za 4–5%, presa sa 4 filca troši manje pare za približno 11% u odnosu na DCNF presu (slika 13).



Slika 11. Shematski prikaz konfiguracije DuoCentri-NipcoFlex i Tandem-NipcoFlex prese.

Figure 11. Schematic presentation of the configuration Duo Centri Nipco Flex and Tandem Nipco Flex press.



Slika 12. Specifična potrošnja električne energije za pogon 3 tipa partije presa.

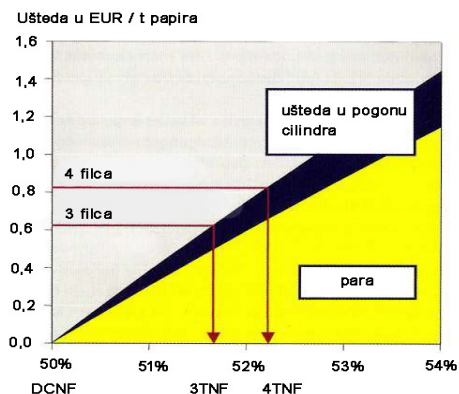
Figure 12. Specific consumption of electric energy for the drive of 3 types of press parts.

Poređenjem potrošnje toplotne i električne energije za dve konfiguracije partije presa pri proizvodnji papira, može se zaključiti da DCNF prese troše manje električne energije za 10% u odnosu na 3TNF prese (sa 3 filca), a za 14% manje od 4TNF prese. Iz ovih podataka i cene energenata (za električnu energiju od 60 €/MW h, i paru 10 €/t) kada se napravi ekonomska analiza, presa 4TNF je energetska najefikasnija.

Slična istraživanja su sprovedena i na papir mašini koja proizvodi kopir papir, 80 g/m², širine PM 6,5 m i brzine 800 m/min, koja je puštena u proizvodnju 1990. godine. Tražilo se da se poveća brzina mašine sa 800 na 1400 m/min, da se ostvari kapacitet od 290000 t/god, i poveća kvalitet papira.

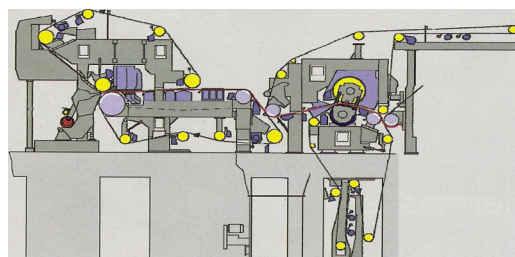
Rekonstrukcija se sastojala u rekonstrukciji sitove partije i partije presa. Primenjeno je umesto dugog (hibrid) sita, dvostruko sito, kao što je to urađeno i u fabrici

papira u Belišću na PM 3 još 1980. godine (patentirao Milorad Krgović [7]). Parija presa tipa «transver» je rekonstruisana u takozvanu «singl presu» sa širokim NIPP-om, slika 14.



Slika 13. Suvoća papirne trake iza 3 različita tipa partije presa.

Figure 13. Dryness of paper tape after 3 various types of press parts.

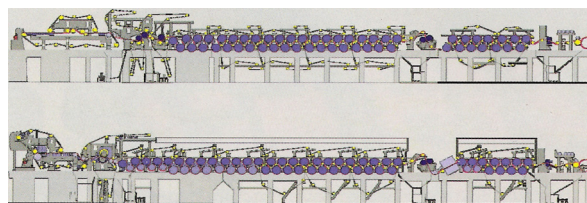


Slika 14. Dvostruko sito sa singl presom.

Figure 14. Double sieve with single press.

Ovom rekonstrukcijom presa povećana je suvoća papira sa 45 na 54%, čime je smanjena potrošnja toplotne energije za 40%. Brzina PM je povećana za 600 m/min, smanjena je potrošnja električne energije za 200 kW h/t i ujedno je poboljšao kvalitet papira, sa većom voluminoznošću i eliminisanjem dvostranosti papira. Pri proizvodnji od 290.000 tona godišnje, uštedeno je 3,7 miliona €, a investicija je vraćena za 2,5 godine.

Na slici 15 prikazana je papir mašina iz 1990. godine (gore) i nakon rekonstrukcije 2006. godine (dole), a efekti rekonstrukcije su prikazani u tabeli 3 [5].



Slika 15. Papir mašina pre i posle rekonstrukcije na sušnoj partiji.

Figure 15. Paper machine before and after reconstruction on drying part.

I na ovom modelu se vidi da relativno nova tehnologija na papir mašini daje tehnoukonomska opravda-

nost rekonstrukcije partije presa u cilju povećanja energetske efikasnosti. Rastući energetske troškovi i dalje prisiljavaju optimizaciju svih procesa – energetska efikasnost postaje centralni pokretač inovacija u papirnoj industriji.

Tabela 3. Poređenje utroška energije pre i posle rekonstrukcije
Table 3. Comparison of the energy consumption before and after reconstruction

	Brzina m/min	Energija PM, kW h/t		Od toga presa Električna ener- gija, kW h/t
		Električna	Toplotna	
Pre	800	690	1490	83
Posle	1500	475	1245	37
Razlika,%	87,5	-21		-55

Može se očekivati da će u budućnosti odlučujuće konkurentske prednosti moći da steknu one fabrike koje temu «energija» uzimaju kao povod za modernizaciju svojih procesa. Da bi se razni zahtevi za produktivnošću, kvalitetom papira, stabilnošću procesa, investicionim i pogonskim troškovima usaglasili sa novim, inovativnim rešenjima koja su orijentisana ka budućnosti, centralni preduslov za to je tesno partnerstvo industrije papira i isporučioća opreme.

POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI NA MODELU FABRIKE KARTONA «UMKA»

Na osnovu teoretskih saznanja o fenomenima prenosa toplote i mase, kao i materijalnih i toplotnih bilansa urađenih u Fabrici kartona «UMKA», na Umci, a upoređujući ih sa iskustvima iz drugih fabrika širom sveta, prišlo se unapređenju tehnologije i povećanju energetske efikasnosti u navedenoj fabrici. Izvršeno je snimanje postojećeg stanja u proizvodnji kartona, i imajući u vidu zatečeno stanje u tehnologiji, predložene su mere i zahvati za unapređenje proizvodnje, prvenstveno u cilju poboljšanja energetske efikasnosti i povećanja kapaciteta proizvodnje.

Predloženi zahvati za unapređenje tehnologije su bili sledeći:

1. kompletna rekonstrukcija pripreme mase – pregrade starog papira,
2. zatvaranje krugotoka voda u proizvodnji,
3. rekonstrukcija parno-kondeznog sistema,
4. rekonstrukcija ventilacije i rekuperacije toplote,
5. ugradnja automatskog namatača kartona, tzv. Paper roller-a,
6. rekonstrukcija partije presa i ugradnja visokoučinske prese i
7. ugradnja frekventnog elektromotornog pogona karton mašine.

Usvajanjem predloženih mera od strane Fabrike, krenulo se u realizaciju ovih zahvata u toku 2005, 2006,

2007. i 2008. godine. Izvršena su merenja svih relevantnih parametara u stabilnim proizvodnim uslovima, pre i posle rekonstrukcije.

Rekonstrukcija sušne partije i partije presa

Značajnije investicije u toku rekonstrukcije u fabrici kartona «UMKA» su počele realizacijom druge faze – modernizacijom sušne partije sa većim stepenom energetske efikasnosti, ugradnjom visokoučinske haube i parnokondeznog sistema, koje su se nastavile ugradnjom visokoučinske prese (prese sa papučom) u toku treće faze realizacije projekta.

Druga faza je obuhvatila rekonstrukciju sušne partije karton mašine koja je imala za cilj da se stepen toplotnog iskorišćenja poveća za 15 do 20%.

Ovo je predviđeno da se ostvari na sledeći način: da se snimi postojeće stanje u čitavoj sušnoj partiji i da se rekonstruiše i optimizuje ventilacija, rekuperacija toplote, parnokondezni sistem, sa detaljnim analiziranjem mogućnosti maksimalnog iskorišćenja Jenki cilindra (koji nije bio u funkciji), kao i sistem prenosa toplote u području premaza kartona, gde je korišten prenos toplote konvekcijom i radijacijom (infra crvenim zracima). Sistem premaza je rekonstruisan 2002. godine, ali termodinamički nije optimalno izveden, što je dokazano u toku snimanja, pa su predložene nove, efikasnije mere za povećanje stepena toplotnog iskorišćenja i optimalnijeg sušenja kartona.

Sušna partija pre modernizacije je imala otvorenu haubu sa tačkom rose 42–45 °C, sa jednostepenom rekuperacijom toplote. Parno-kondezni sistem je bio protočnog tipa, sa termostanima i kašikastim odvodom kondenzata. Kao takav, zadržavao je kondenzat u sušnim cilindrima (i do 5 mm izolacionog sloja tečne faze vode), čime je bila povećana potrošnja toplotne energije, kao i električne energije, za pogon sušnih valjaka. Sistem sušenja koji se koristio na premazu kartona je korišten kao vreli vazduh od 170 °C i nije imao optimalnu funkcionalnost. To se ogledalo u velikoj potrošnji toplotne energije, smanjenoj brzini karton mašine i nepostizanju optimalnog kvaliteta kartona.

Imajući u vidu želje investitora i njegove finansijske mogućnosti, a uzimajući u obzir snimljeno postojeće stanje na karton mašini, odlučeno je da u ovoj fazi prioritet bude rekonstrukcija parno-kondeznog sistema, tako da se ugrade i sifonski sistem odvoda kondenzata, čime se eliminiše kondenzat iz sušnih cilindara, kao izolacioni sloj u prenosu toplote, što je i provedeno.

Takođe, parno-kondezni sistem sa termostanima zamjenjen je kaskadno termo-kompresorskim sistemom, i time je povećan intenzitet kondukcijskog prenosa toplote. U sušnu partiju dovodi se vrući vazduh (85 °C) pomoću regulacionih komora u sušne džepove sušnih sita, čime se eliminišu «mrtve», kondenzacione zone i time prenos mase dovodi u područje optimalnih vred-

nosti, a konvekcijski prenos toplote je optimizovan. Vlažni vazduh u ovim džepovima posle optimizacije ima karakteristike: 180–200 g vode/m³ i temperaturu 80 °C, a nakon ugradnje visokoučinske haube u budućnosti, imao bi karakteristike: 25–280 g/m³ i temperaturu 110 °C. Na ovaj način bi se smanjila specifična potrošnja svežeg vazduha po kg isparene vode za 35–40%.

Istim projektom je predviđeno da se uključi u rad Jenki cilindar sa ugradnjom visokoučinske haube, gde bi se direktnim sagorevanjem gasa u komorama vazduh dovodio u haubu Jenki cilindra, temperature 180 °C, i na taj način povećala energetska efikasnost ove tehnološke jedinice i doveden sistem u područje teoretskih vrednosti. Na ovom sušnom delu karton mašine izvršena je velika rekonstrukcija i ugrađen savremeni sistem prenosa toplote konvekcijom, to jest, direktnim sagorevanjem gasa u komorama, gde se tako sagoreli gasovi, u kontinuitetu, direktno doziraju na karton, čime je stepen toplotnog iskorišćenja energetskog goriva ostvaren sa 92%.

Na uređajima za premaz kartona su ugrađeni i dodatni infra grejači (IC), i zamenjene su neefikasne sušne komore sa visokoučinskim, čime su ispunjene tehnološke norme za ovaj deo tehnologije po evropskim standardima. Predloženo je da se postojeći jednostepeni rekuperatori toplote zamene sa dvostepenim, čime bi se iskorišćenje toplote u otpadnom vazduhu povećalo sa postojećih $\Delta t = 20$ °C na $\Delta t = 40$ °C. Iz finansijskih razloga treći stepen rekuperacije toplote nije realizovan u ovoj fazi, nego je odložen za neku drugu priliku.

Poluotvorena sušna hauba, sa tačkom rose od 45–48 °C, rekonstruisana je na taj način što je hauba zatvorena, čime se tačka rose povećala na 58 °C. Da bi se ostvarila ciljana tačka rose od 62 °C, neophodno je da se hauba dodatno rekonstruiše u hermetički izolovanu, visokoučinsku haubu, gde bi u gornjem delu haube vladao nadpritisak, a u podrumskom delu haube vakuum.

Izvršena optimizacija sušne partije po segmentima dovela je do sledećih efekata na uštedu energije:

- parno-kondenzni sistem – bolje iskorišćenje toplote za 8% i za isti procenat smanjenje potrošnje toplotne energije;
- ugradnja novog ventilacionog sistema – bolji prenos toplote konvekcijom i bolji prenos mase za 7%;
- uključivanje Jenki cilindra i visokoučinske haube sa direktnim sagorevanjem gasa – smanjenje potrošnje toplotne energije za 4%;
- ugradnja sistema za rekuperaciju toplote – smanjena potrošnja toplotne energije za 5%;
- optimizacija sušne haube i povećanje tačke rose od 45–58 °C dovelo je do smanjenja specifične potrošnje svežeg vazduha sa 35 na 20 m³/kg H₂O (isparene vode) – smanjenje potrošnje toplote za 3%.

Znači, ugradnjom ovih sistema u sušnoj partiji povećan je kapacitet sušenja za 27%, za koliko je ostvarena ušteda energije. Ovako dobrim rezultatima najviše

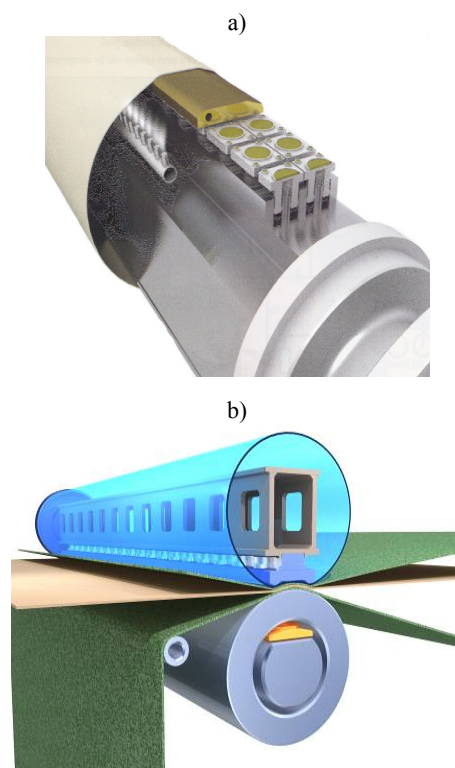
je doprineo sistem za direktno sagorevanje vazduha koji se koristi za sušenje kartona na Jenki cilindru. Investiciona ulaganja su iznosila približno 1.800.000 € i procene su da će se vratiti za godinu dana.

Ovom modernizacijom je predviđeno da se u toku treće faze istraživanja izvrši kompletna rekonstrukcija partije presa, sa ugradnjom visokoučinske prese, takozvane prese sa papučom, sa širokom zonom presovanja, čime bi se povećala suvoća papirne trake pre ulaska u sušnu partiju sa 38–40 na 48–50% i time se smanjila potrošnja toplotne energije za 40% [2].

Da bi se efikasno primenila visokoučinska presa (slika 16) u fabrici kartona «UMKA» [2], neophodno je bilo poznavati teoriju i matematičko modeliranje procesa odvodnjavanja u partiji presa. Efikasnost odvodnjavanja, a time i suvoća trake iza presa, zavisi od pritiska na papirnu traku u zoni presovanja, vremena zadržavanja trake u takvim, hidrodinamičkim uslovima i viskoziteta medijuma koji se odvodnjava, u ovom slučaju vode u tečnoj fazi. Ove pojave i fenomeni su definisani modelskim jednačinama (8) i (9) za pritisak u zoni presovanja i vreme presovanja, respektivno.

$$R = pt \text{ (kN min/m}^2\text{)} \quad (8)$$

gde je $t = 2b/v$ i $p = k/2lb$, pa sledi da je $R = k/lv = k_1/v$, pri čemu je k snaga presovanja, l dužina zone presovanja, $2b$ širina presovanja i k_1 linijska sila.



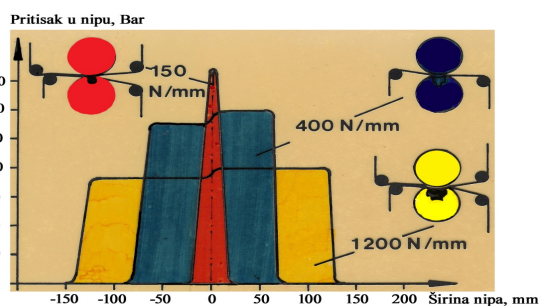
Slika 16. Visokoučinska presa i šematski prikaz njenog principa rada.

Figure 16. High-efficiency press and schematic presentation of its working principle.

$$V = dQ/dt = k\Delta p/\eta L \quad (9)$$

pri čemu je Δp razlika hidrodinamičkog pritiska, L debljina trake, η viskozitet vode, k mera otpora toku vode, t vreme presovanja, $dQ = k\Delta p dt/\eta L$, $t = 2b/V$, $2b = \Delta h - 2R_e$ i $R_e = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$.

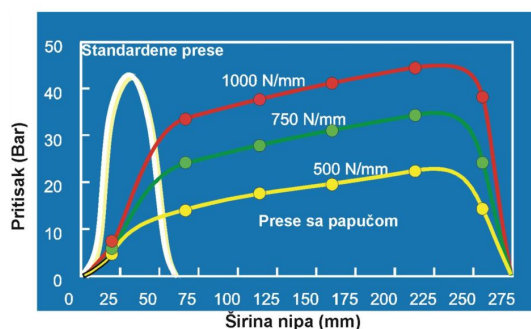
Posledice ovih jednačina se vide na slici 17. Kada se primene niski linijski pritisci i mali prečnici valjaka, postiže se i niska suvoća papirne trake, a kada se koriste prese visokog linijskog pritiska sa velikim prečnikom valjaka, odnosno širokom zonom presovanja, postiže se i visoka suvoća papirne trake [8]. Sa slike 17 se vidi da valjci malog prečnika (800 mm) i linijskog pritiska od 150 N/mm imaju širinu zone presovanja od 50 mm. Valjci prečnika od 1600 mm i linijskog pritiska od 400 N/mm imaju širinu zone presovanja od 140 mm, dok presa sa papučom, ili visokoučinska presa, koja ostvaruje linijske pritiske od 1200 N/mm ima širinu zone presovanja od 300 mm.



Slika 17. Zavisnost širine zone presovanja od vrste prese koja se koristi.

Figure 17. Dependency of the width of pressing zone from the type of press being used.

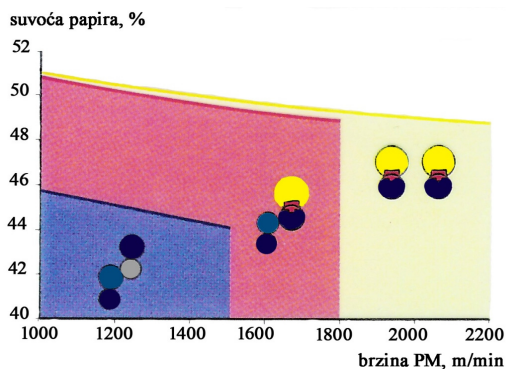
Posledice prethodnih jednačina su prikazane i na slici 18. Radi se o dve vrste presa, standardnim i presa sa papučom [8].



Slika 18. Razlike između obične prese i prese sa papučom različitih linijskih pritiska.

Figure 18. Differences between custom press and press with shoe with various line pressures.

Efekti koje ostvaruju tri tipa presa na istoj vrsti papira, u cilju postizanja suvoće papirne trake, prikazani su na slici 19. Na slici 19 se vidi da je suvoća papira iza prese sa cilindrima prečnika 800 mm 44%, iza prese sa cilindrima prečnika 1600 mm 46%, a iza prese sa papučom 52%.

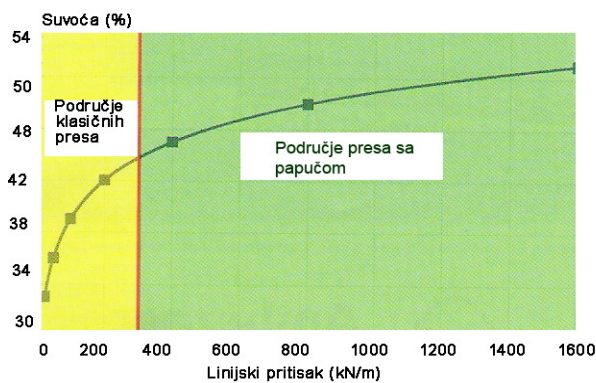


Slika 19. Uticaj tipa presa na suvoću papirne trake.

Figure 19. Influence of the type of press to the dryness of paper tape.

Na slici 20 prikazano je područje primene klasičnih presa i presa sa papučom, u zavisnosti od linijskog pritiska i ostvarene suvoće papirne trake iza prese [9].

Partija presa u «UMCI» je pre rekonstrukcije imala presu sa malim prečnicima cilindara, tzv. konvencionalnu presu. Princip rada visokoučinske prese, kao modela koji postiže visoki stepen suvoće papirne trake i time postiže visoku energetska efikasnost, prikazan je na slici 16. Na osnovu napred iznesene teorije i praktičnih iskustava ovaj model je odabran kao najpovoljniji za ugradnju u fabrici kartona «UMKA», pa je investicioni zahvat realizovan kao sastavni deo projekta, na predlog koji je usvojen od strane fabrike. Investiciona ulaganja u ovoj fazi rekonstrukcije su iznosila približno 3 MIO € i vratiće se za 2,5 godine.



Slika 20. Zavisnost suvoće papirne trake od tipa prese i linijskog pritiska.

Figure 20. Dependency of the dryness of paper tape from the type of press and line pressure.

Merenja izvršena u stabilnim proizvodnim uslovima pre rekonstrukcije, tokom 2004. godine, ponovljena su posle izvršene rekonstrukcije, tokom 2007. godine [10]. Poređenjem rezultata dobijenih u toku ove dve kalendarske godine, moguće je oceniti kakvo je realno stanje i proceniti efekte ove rekonstrukcije. Dobijeni rezultati su prikazani u tabelama 4, 5 i 6, i slikama 21, 22 i 23.

Tabela 4. Potrošnja gasa po toni proizvedenog kartona u periodu januar–decembar 2004. i 2007. godine
Table 4. Consumption of gas per ton of produced board between January and December of 2004 and 2007

Mesec	2004. godina (proizvodnja 50.822 t kartona)			2007. godina (proizvodnja 75.461 t kartona)		
	Proizvodnja, t	Potrošnja, (000)		Proizvodnja, t	Potrošnja, (000)	
		N m ³	N m ³ /t		N m ³	N m ³ /t
Januar	1389	486	349,89	6137	1481	241,35
Februar	3902	1234	316,30	5707	1316	230,55
Mart	4761	1339	281,26	6641	1447	217,88
Jan–mart	10052	3059	304,34	18485	4244	229,58
April	5010	1181	235,67	6314	1355	214,66
Maj	4265	1063	249,16	6221	1272	204,40
Jun	4722	1091	231,00	6589	1242	188,49
Jul	2997	587	195,93	6318	1234	195,27
Avgust	4478	1010	225,46	5945	1218	204,94
Septembar	4594	1021	222,35	6296	1312	208,39
Oktobar	5011	1035	206,63	6621	1457	220,00
Novembar	4468	1125	251,71	6179	1404	227,17
Decembar	5225	1217	232,95	6493	1594	245,45
Januar–decembar	50822	12389	243,77	75.461	16331	216,42

Tabela 5. Potrošnja i poređenje potrošnje električne energije po toni proizvedenog kartona u 2004. i 2007. godini
Table 5. Consumption and comparison of the consumption of electric energy per ton of produced board in 2004 and 2007

Mesec	Potrošnja električne energije, kW h/t		
	2004	2007	Razlika,%
Januar	1555,02	1.225,40	78,80%
Februar	1182,00	1.020,08	86,30%
Mart	1292,79	896,87	69,37%
April	1115,08	897,53	80,49%
Maj	1069,97	916,52	85,66%
Juni	1251,88	684,55	54,68%
Juli	997,05	878,66	88,13%
Avgust	1178,65	815,30	69,17%
Septembar	1180,71	930,88	78,84%
Oktobar	1000,73	741,46	74,09%
Novembar	1245,99	847,63	68,03%
Decembar	834,50	765,34	91,71%
Prosečno	1133,77	881,94	77,79%

Na osnovu izvršenih merenja pre i posle rekonstrukcije na komercijalnoj mašini fabrike kartona «UMKA», postignuti su sledeći efekti:

1. smanjenje specifične potrošnje gasa sa 244 N m³/t na 216 N m³/t, ili 12%;

2. smanjena je potrošnja električne energije sa 1.134 kW h/t na 882 kW h/t, ili 32%;

3. smanjenje specifične potrošnje vodene pare sa 3,00 t/t na 2,17 t/t papira, ili 35%;

4. povećana je proizvodnja kartona sa 50.000 t/god. na 75.000 t/god. ili 50%, sa tehnološkom mogućnošću od 100000 t/god, koju će ostvariti već 2008. i 2009. godine.

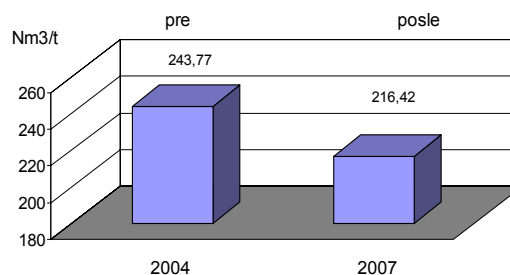
Smanjenje potrošnje toplotne i električne energije je znatno veće nego što pokazuju rezultati u tabelama i grafikonima i ono se ogleda u sledećem:

1. izvršena je kompletna rekonstrukcija karton mašine u tehnologiji u cilju zamene celuloze, kao skupe sirovine, (600 €/t), sa 100% starim papirom (80 €/t);

2. povećan je kvalitet kartona uvođenjem III pre-maza, koji je takođe dodatni potrošač toplotne energije.

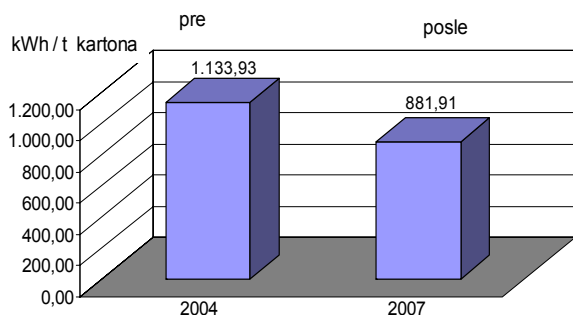
Ova tehnološka unapređenja značajno su smanjila troškove sirovina, ali su zato bitno uticala na povećanje troškova toplotne i električne energije, zbog primene savremene tehnologije u preradi starog papira i prečišćavanju otpadnih voda. Ovo povećanje se procenjuje da iznosi približno 10–20%.

Vrednost ovih ostvarenih rezultata je u tome što su potvrđeni i dobijeni od komercijalno finansijske službe fabrike kartona «UMKA», a ako se navedene uštede prevedu u količinu mazuta koju «UMKA» godišnje potroši, konstatujemo da je ostvarena godišnja ušteda od 7627 tona mazuta, za kapacitet od 100000 tona godišnje proizvedenog kartona.



Slika 21. Uporedni prikaz potrošnje gasa po toni proizvedenog kartona u 2004. i 2007. godini.

Figure 21. Comparison between gas consumption per ton of produced board in 2004 and 2007.



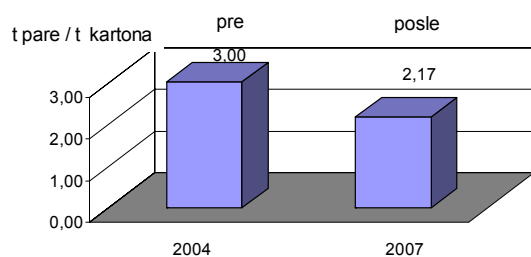
Slika 22. Uporedni prikaz potrošnje električne energije po toni proizvedenog kartona u 2004. i 2007. godini.

Figure 22. Comparison of the consumption of electric energy per ton of produced board in 2004 and 2007.

Tabela 6. Potrošnja pare po toni proizvedenog kartona u periodu 2004–2007. godina

Table 6. Consumption of steam per ton of produced board between 2004 and 2007

Mesec	t pare/t kartona			
	2004	2005	2006	2007
Januar	3,77	2,32	2,80	2,03
Februar	3,24	2,31	1,42	1,92
Mart	3,28	2,27	2,23	1,89
April	2,62	1,95	2,65	1,90
Maj	3,41	1,93	2,44	1,86
Juni	2,69	1,78	1,81	1,72
Juli	2,70	2,18	1,83	1,71
Avgust	2,81	2,13	1,82	1,85
Septembar	2,75	1,62	1,92	1,88
Oktobar	2,63	1,84	1,79	1,91
Novembar	2,91	2,16	1,89	1,90
Decembar	2,65	2,13	2,06	2,02
Prosečno	2,95	2,05	2,06	1,88



Slika 23. Uporedni prikaz potrošnje pare po toni proizvedenog kartona u 2004. i 2007. godini.

Figure 23. Comparison of the consumption of steam per ton of produced board in 2004 and 2007.

PRIMENA REZULTATA PROJEKTA NA OSTALE FABRIKE PAPIRA U SRBIJI – PRIMER BEOGRADSKE FABRIKE HARTIJE

Na osnovu iskustava u fabrici kartona «UMKA» izrađen je investicioni projekat za Fabriku hartije «BEOGRAD», po kojem će se izvršiti rekonstrukcija ove fabrike. Pored tehničko-tehnoloških modernizacija i povećanja kapaciteta sa 40.000 na 100.000 tona godišnje proizvedenog ambalažnog papira, primenila bi se i sva

saznanja koja su stečena na ovom istraživanju u fabrici kartona «UMKA» u trajanju od tri godine, a u cilju veće energetske efikasnosti.

U ovom delu biće pomenuta samo partija presa, jer su u ovom delu najveće uštede, kao što smo ranije rekli. Po tom modelu predviđena je kompletna rekonstrukcija partije presa sa ugradnjom prese sa papučom, čime bi se postigla suvoća papirne trake iza presa od 52–53%, odnosno, ostvarila bi se specifična potrošnja pare od 1.7–1.9 tona pare po toni papira, a dosadašnja potrošnja pare je bila 3.1–3.5 t/t, što znači da bi godišnja ušteda mazuta iznosila 10.880 t mazuta, za navedeni kapacitet od 100.000 t/god.

Treba napomenuti da ovo nije projekat raden po nečijoj želji, nego je sastavni deo tendera prilikom prodaje fabrike papira «Beograd» i on je obavezujući za novog vlasnika.

ZAKLJUČAK

Sveobuhvatnim istraživanjem i primenom najnovijih saznanja o štednji energije u ovoj oblasti industrije, u ovom radu su prikazane mogućnosti i realnost primene u praksi, to jest, u papirnoj industriji Srbije.

Date su sugestije i predlozi kako se minimalnim finansijskim ulaganjima postižu značajne energetske uštede, a takođe su data i tehničko-tehnološka rešenja koja, istina, zahtevaju velika investiciona ulaganja, ali su i efekti impresivni, a uložena sredstva se relativno brzo vraćaju, od 1 do 2,5 godine. Istraživanjem i primenom rezultata istraživanja u Fabrici kartona «UMKA» postignuto je:

1. smanjenje specifične potrošnje gasa sa 244 N m³/t na 216 Nm³/t, ili 12%;
2. smanjenje potrošnje električne energije sa 1134 kW h/t na 882 kW h/t, ili 32%;
3. povećanje proizvodnje kartona sa 50.000 t/god na 75.000 t/god. ili 50%, sa tehnološkom mogućnošću od 100.000 t/god;
4. dodatno smanjenje za još 10–20% specifične potrošnje energije, zbog modernizacije tehnologije i dodatnog povećanja potrošnje energenata.

Prema tome, može se konstatovati da je ukupno, realno, smanjenje potrošnje energije u ovoj fabrici kartona ostvareno za više od 60%. Prema sadašnjem stanju tehnologije i planiranom ostvarenju instaliranog kapaciteta od 100000 tona kartona u narednom periodu u Fabrici kartona «UMKA», ušteda toplotne energije bi iznosila 7627 tona mazuta godišnje, a za Beogradsku fabriku hartije 10880 tona mazuta godišnje, pošto je planirano pokretanje proizvodnje do kraja 2008. godine, a puni kapacitet da se ostvari u toku sledeće godine. Ako ove rezultate primenimo za čitavu Srbiju i instalirane kapacitete od 300000 tona papira godišnje, imali bi uštedu od 27760 tona mazuta.

LITERATURA

- [1] R. Thiel, Aktuelle Energiepolitik-Auswirkungen auf die Papierindustrie, *Wochenblatt* **23–24** (2007) 1275.
- [2] R. Greimel, Tehnička dokumentacija firme ANDRITZ AG, Graz, Austrija, <http://www.andritz.com>
- [3] E. Retulainen, A. Hämäläinen, Three years of condebelt drying at stora enso's pankakoski mill, *Tappi Journal* **83** (5) (2000) 1.
- [4] J. C. Biermann, Press section water balance using portable sensors, *Technical Information Paper TIP 0502-18*, 2001.
- [5] I. Cedra, S. Köster, M. Staiger, Energieeffizienzsteigerung durch innovative Prozesstechnologie, *Wochenblatt für Papierfabrikation* **18** (2007) 1000.
- [6] A. Eichler, Energiemanagement aus der Sicht des Processlieferanten, *Wochenblatt* **23–24** (2007) 1299.
- [7] M. Krgović, Dvostruka sitova partija za proizvodnju papirne trake, primenjen u Belišću na PM3, a kasnije širom sveta na preko 40 PM, Patent-Prijavni broj P-802/88, u Registru patenata pod br. 46835, 1988.
- [8] J. Schlegel, Rebuild with PRIMEPRESS X at Fabrika kartona UMKA, KM1 – MAY 2006, Andritz Küsters GmbH, Krefeld (Germany), *Zbornik radova XIV međunarodnog simpozijuma iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Zlatibor, 17–20. jun 2008*, s. 195.
- [9] J. Schlegel, Erfahrungen von verchiedenen Schuhpressen-Anwendungen, *Wochenblatt für Papierfabrikation* **136** (2008) 670.
- [10] Dokumentacija fabrike kartona A.D. UMKA, Umka (<http://www.umka.co.yu>).

SUMMARY**INCREASE OF THE ENERGY EFFICIENCY IN PAPER INDUSTRY**

Milorad V. Krgović¹, Vladimir J. Valent¹, Marina M. Kršikapa², Miodrag B. Milojević³, Branko S. Rašeta³, Danijela V. Ošap³

¹Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

²Centar CPA&G Centre – TMF, Karnegijeva 4, Belgrade, Serbia

³A. D. UMKA Board Factory, 13. Oktobra 1, Umka, Serbia

(Professional paper)

In this work, phenomena of heat and mass transfer in process of paper drying are given, certain technology units are analyzed, while possibility for decrease of specific heat and electric energy consumption by modernization of technology is examined. Some of the solutions applied on paper machines worldwide in order to improve energy efficiency are shown. Theoretic and practical discoveries in this area are applied in Board factory UMKA, and these results are shown in the work as well.

Key words: Energy efficiency • Paper
• Paper mashine
Ključne reči: Energetska efikasnost •
Papir • Papir mašina