**UVOD**

Termičko sušenje višeslojnog kartona skopčano je sa transportnim procesima razmene toplote i pod njenim dejstvom transporta mase isparene vlage u agens za su­šenje vlažnog materijala /1, 2/. Intenzivnost pomenutih procesa je uzajmno spregnu­ta i uslovljena termodinamičkim stanjem i dinamikom svih učesnika procesa. U os­novi zavisi od kvaliteta rada sistema za grejanje – rada sušnih cilindara tokom industrij­skog sušenja višeslojnog papira – kartona, agregatnog stanja vlažnog materijala (čije se agregatno stanje od fluidne mase – suspenzije – menja do črstog stanja na­sta­log pa­pira različitog i opadajućeg sadržaja vlage u smeru izlaza papira iz sušnice, agensa za sušenje – nezasićenog vlažnog vazduha, njegove dinamike i ravnomernosti strujanja vazduha po svim zonama sušnice, kvaliteta termičke izolacije haube, obez­beđenja naj­više temperature rosišta vlažnog vazduha i efikasne rekuperacije energije iz vlaž­nog vazduha na izlazu tog vazduha iz postrojenja za sušenje kartona.

Uzajamnost i složenost svih procesa ogleda se u tome što termički – energijski potencijal grejnog fluida – suvozasićene vodene pare zahtevanog pritiska, tokom kon­denzovanja u sušnim valjcima stvara film kondenzata po unutrašnjem obodu cilindra i istovremeno tokom sušenja greje vlažan materijal i obezbeđuje uklanjanje vlage – is­paravanjem vlage – iz tog materijala. Uz to za povećanje energetske efikasnosti proce­sa nekondenzovane pare grejnog fluida – ovde označene kao bridove pare – kaska­dnim sistemom uz termokompresiju tih, sekundarnih (bridovih), para dodatno služe kao grej­ni fluid u pojedinim fazama termičkog sušenja. Pri tome se povećava efikas­nost korišćenja energije i istovremeno usložnjava sam postupak ter­mičkog sušenja.

**TEHNOLOŠKE MERE**

**Paro – kondenzacioni sistem**

U cilju povećanja efikasnosti procesa i korišće­nja raspoloživog potencijala energije grejnog fluida (suvozasićene vodene pa­re pro­izvedene u kotlarnici privrednog subjekta) proces kondenzovanja pare, unutar cilinda­ra za sušenje suspenzije i iz nje nastalog papira, bitno je onemogućiti stvaranje deb­ljeg sloja kondenzata vode po unutrašnjoj površini cilindra. U industrijskom pogonu klasični paro - kondenzacioni sistem je zamenjen protočnim paro - kondenzacionim sistemom da bi se, uz produvavanje to sistema grejnom vodenom parom, smanjila debljina sloja tečnog kondenzata po unutrašnjoj površini cilindara. Smanjenje de­bljine tečnog kondenzata vode po unutrašnjoj površini cilindra je registrovano pove­ćanjem razmena toplote kondukcijom. Efekat povećanja konduktivne razmene toplote iznosi do 8 %.

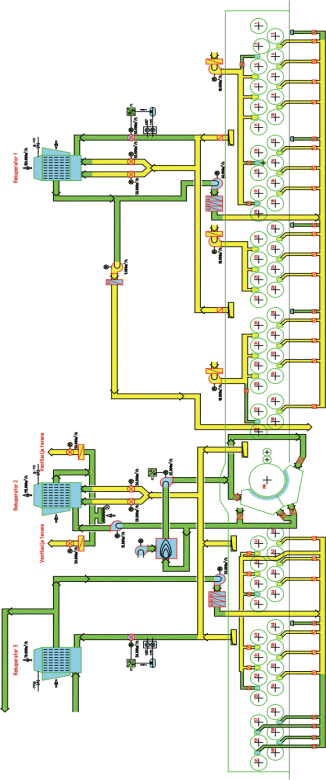
**Vlažan vazduh i njegovo temodinamičko stanje**

Već je rečeno da po širini valjka za sušenje papira intenzitet konvektivne razmene toplote između papira i struje­ćeg vazduha zavisi i od zona nedovoljno oblivanih vazduhom i od temperature (pred­grejanosti) tog vazduha. Zbog toga je nužno vazduh preusmeravati po celoj širini valj­ka kako bi se konvektivna razmena toplote homogenizovala po celoj širini cilindra po kojem se kreće sloj papira. Specijalnim kasetama ugrađenim u džepovima između ci­lindara i sita, na kojem se nalazi suspenzija, i uduvavanjem vrelog vazduha tempera­ture 80 ÷110 oC, putem tih kaseta, dodatno je obezbeđena ventilacija mrtvih zona su­šnice. Time je povećana ne samo konvektivna razmena toplote već i obezbeđno ujed­načenije polje temperature površinskog sloja ppapiraa i sadržaja vlage u njemu.

S druge strane kapacitativnost vazduha na isparenu vodu povećava se, na da­tom pritisku vlažnog vazduha, sa porastom njegove temperature /3, 4/. Zbog toga je vazduh prethodno predgrevan do temperature 110 oC. To je obezbedilo da sadržaj vla­ge u vazduhu na izlazu iz sušnice, isparene vode iz vlažnog materija­la, bude vrednosti 250 ÷ 280 g/m3. Zahvaljujući tome specifična potrošnja suvog va­zduha se smanjila za 40 mas %. To je istovremeno dovelo do povećanja energetske efikasnosti sušenja i rada uređaja za cirkulaciju vazduha u sušnici.

**Rekuperacija energije**

Energetska efikasnost termičkog sušenja zavisi od to­ga u kom temperaturnom režimu ovlažen i iskorišćen vazduh se odvodi iz sušnice i da li se njegov energijski potencijal koristi za rekuperaciju energije /4/. Termodinamika na­laže /2/ da se i vlaga i energija rekuperišu do maksimuma iz ovlaženog vazduha pre ispuštanja tog vazduha u atmosferu. Radi povećanja energetske efikasnosti procesa potrebna je višestepena rekuperacija energije iz izlaznog vlažnog vazduha.



Slika 1

Temperaturni režim rekuperatora može da obezbedi različite izlazne tempera­ture vazduha na izlazu iz rekuperatora. Tehničko – ekonomski i termodinamički ra­zlozi, koji uvažavaju rad rekuperatora i u zimskom periodu, nalažu da na izlazu iz rekuperatora temperatura izlaznog vazduha bude viša od 45 oC.

**DISKUSIJA**

**Postrojenje za sušenje papira**

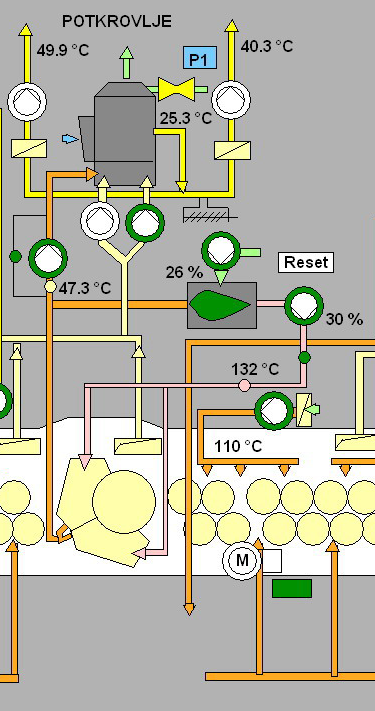
Postrojenje za sušenje papira je složen sistem. Složenost se ogleda i u tome što iz tečne vodene suspenzije (pripremljene mase za proizvodnju kartona) u toku pro­cesa na sušnim valjcima nastaje čvrsta faza papira – karton. To usložnjava razmenu mase vlage i njeno prenošenje sa fluidne mase a nakon formiranja trake papira iz po­rozne trake kartona u okolni zagrejan vazduh. Površina za razmenu mase vlage stalno se menja i povećava se usled napredovanja sušenja i migracije vlage iz unutrašnjosti čvrste faze u agens za sušenje. Intenzitetu razmenu mase vlage i toplote, i nji­hovoj raz­meni, doprinose termodinamičke i difuzione pogonske sile /1/, termički i di­fuzioni otpori i površina za razmenu toplote i supstancije – vlage koju o proizvodnji kartona čini voda (H2O).

Za razmenu energije – konduktivnu i konvektivnu razmenu toplote – bitni su termički otpori prostiranja toplote /2/ između zagrejanih (vrelih) površi cilindara (po čijim površinama se kreće traka nosača suspenzija – sito – a posle formiranja čvrste fa­ze sama traka papira) i konvektivne razmene toplote između površi suspenzije, za­tim nastalog kartona i okolnog agensa. Drugi bitan fenomen je prenošenje vlage iz suspenzije, zatim nastalog poroznog sloja papira u agens. Pri tome, kinetika termičkog sušenja bitno zavisi od parcijalnog pritiska vlage u agensu za sušenje.

**Dodatni izvori energije**

Navedeni činioci ukazali su na potrebu da se dinami­ka i termički režim sušenja kartona – procesa – posmatraju u dve faze. Te faze u stva­rnosti postoje pri proizvodnji papira i specifične su za formiranje čvrste faze (papira) iz tečne suspenzije (potrebnih sirovina). Prvu fazu sušenja čini zagrevanje suspenzije do tre­nutka nastajanja čvrste faze; to se pojednostavljeno može označiti i kao režim predsušenja papira. Drugu fazu čini sušenje na­stalog kartona i hlađenje kartona. I ovaj drugi deo sušenja kartona prati smer kretanja trake kartona. Najme sadržaj vlage u kartonu opada do izlaza trake iz sušnice. Na izlazu iz postrojenja karton postigne fi­nalnu, poželjnu, vrednost. U tom smislu se i govori o smeru opadanje sadržaja vlage u kartonu a koje sledi kretanje trake ka izlazu iz sušnice. Zbog tih činilaca za pobolj­šanje sušenja kartona dodatno je angažovan izvor energije u vidu sagorelog gasovitog goriva čiji dimni gasovi direktno oblivaju traku kartona.

Tehničko rešenje sa Jenki cilindrom pokazano je na slici 2.



Slika 2. Tehnološka šema rekonstruisanog Jenky cilindra

**Termoradijaciono sušenje**

Poznato je da je gustina energetskog toka termi­čkog zračenja za približno 10 puta veća od gustine termičkog toka energije saopštene konvektivnim putem /1, 5/. Zbog toga se u završnoj obradi površinskog sloja formi­rane trake kartona, na koju se nanose posebni premazi, efektivnost sušenja povećava izlaganjem trake kartona termoradijacionom toku energije /5/. Takav rekonstruisan si­stem sušenja kartona uz pomoć infracrvenih zračilaca energije, i konvektivnu razmenu toplote sa vazduhom temperature 180 ÷ 250 oC, u Fabrici Kartona Umka dodatno je u­većao uštede energije za proces proizvodnje višeslojnog kartona.

Tehničko – tehnološke intervencije, inovacije i intenzifikacije procesa razme­ne toplote i mase supstancije obezbeđuju Fabrici kartona Umka uštedu u potrebama za primarnom energijom (fosilno gorivo) na nivou 40 ÷ 60% u odnosu na stanje pre re­konstrukcije.

Inovacije i intenzifikacije procesa zahtevale su značajna finansijska ulaganja Fa­brike kartona, Umka. Evidentirano je da su intervencije povećale kapacitet sušnice za 27 %. Orijentaciono u tom iznosu se javlja i smanjenje potrebe za prima­rnom ener­gijom (fosilnim gorivom) u privrednom subjektu. To znači da je u tom izno­su privre­dni subjekat povećao svoju energetsku efikasnost. Ako se bitno ne poremete privre­dno - ekonomski tokovi na tržištu roba i usluga procenjuje se da bi se uložena finan­sijska sredstva privrednom subjektu mogla vratiti u toku jedne kalendarske go­dine.

**ZAKLJUČAK**

Tehničko – tehnološkim intervencijama na postrojenju za proizvodnju kartona u Fabrici kartona Umka – Umka obezbeđen je:

- efikasan rad paro – kondenzacionog sistema a korišćenje sekundarne pare grejnog fluida uticalo je sa za 8 % na povećanu energetsku efikasnost procesa;

- ugradnjom dodatnih komora za vazduh ujednačilo se polje temperature i sa­držaja vlage u kartonu;

- promenjenom dinamikom agensa za sušenje smanjili su se termički i difuzio­ni otpori i uve­ćala se razmena toplote i susptancije tokom sušenje kartona čime su se za 4 % sma­njile se potrebe za toplotom iz drugih izvora;

- povišenjem temperature vlažnog vazduha – agensa za sušenje – povećana je njegova kapacitativnost na isparenu vodu usled čega se specifična potrošnja suvog va­zduha smanjila do 40 % u odnosu na period pre rekonstrukcije;

- rekonstrukcijom haube promenjena je temperatura rošenja vlažnog vazduha; to je imalo za posledicu povećanje sadržaja vlage u ovlaženom vazduhu, povećanje ka­pacitativnosti vazduha na isparenu vodu iz kartona i istovremeno je sa 3% uticalo na sma­njenje potrebe za toplotom;

- ugradnjom novog ventilacionog sistema smanjili su se termički i difuzioni ot­pori čime su se za 7 % smanjile potrebe za konvektivno razmenjenom toplotom;

- rekonstrukcijom termoradijacionog sušenja, i promenom temperaturnog reži­ma konvektivnog sušenja premaza kartona (kao finalnog proizvoda) uvećana je ener­getska efikasnost procesa;

- višestepenom rekuperacijom energije iz izlaznog vazduha iz postrojenja za sušenje obezbeđen je dodatni izvor energije za sekundarne potrebe privrednog subje­kta; time se sa oko 5% uticalo na smanjenje potreba za primarnim izvorima energije;

- rekonstrukciom pogonskih uslova rada kinetika sušenja se povećala i omo­gućila je da se kapacitet sušnice povećao za 27 %; u tom iznosu su se smanjile po­trebe za energijom u postrojenju za sušenje kartona;

- značajna finansijska ulaganja za obavljenu rekonstrukciju u Fabrici kartona **–**  Umka, prema proceni izvršilaca, bi se mogla u celini vratiti za jednu kalendarsku go­dinu ne­prekidnog rada pogona.