

DARJA ŽARKOVIĆ
MILORAD KRGOVIĆ
LJUBINKA RAJAKOVIĆ

Viša politehnička škola,
Beograd

Tehnološko–metalurški fakultet,
Beograd

STRUČNI RAD

676:504.4.062.2:628.5

RACIONALIZACIJA POTROŠNJE VODE U INDUSTRIJI PAPIRA

Predmet ovoga rada je ispitivanje mogućnosti povećanja ekonomičnosti proizvodnje papira primenom mera za racionalizaciju potrošnje vode. U skladu s principima održivog razvoja, industrija celuloze i papira mora da se suoči sa potrebama svetskog tržišta i sa strogom zakonskom regulativom o zaštiti životne sredine. Osnovni cilj je obezbediti postojan i visok kvalitet proizvoda koji je konkurentan na tržištu. Industrija celuloze i papira je jedan od najvećih potrošača i zagađivača prirodnih resursa. Racionalizacija potrošnje sirovina, vode, energije i hemikalija, uz minimalne negativne uticaje na životnu sredinu, u tom svetlu ima pun smisao. Evropska direktiva o zaštiti životne sredine obavezuje proizvođače da smanje zapreminu otpadnih voda i povećaju efikasnost sistema za prečišćavanje. I domaća industrija celuloze i papira biće suočena sa zahtevima za zaštitu životne sredine. U domaćoj i inostranoj literaturi mogu se naći brojni primeri koji se navode kao rešenja problema potrošnje tehnološke vode i kvaliteta otpadne vode u celulozno–papirnoj industriji. Krajnji cilj, racionalna potrošnja vode i minimalan uticaj na prirodne vodotoke, ostvaruje se povećanjem stepena zatvorenosti kružnih tokova vode i primenom savremenih metoda za prečišćavanje. Mogućnosti primene mera koje dovode do racionalizacije potrošnje vode u realnom sistemu, razmatrane su na primeru fabrike kartona UMKA.

Industrija celuloze i papira predstavlja jednog od najvećih potrošača i zagađivača vode. Osnovne sirovine u proizvodnji papira su celulozna vlakna i voda. Uloga koju voda ima kao medijum, reaktant i rastvarač, ukazuje na prisustvo vode u gotovo svim fazama procesa proizvodnje papira. Najveće zapremine vode troše se na razvlaknjivanje celulozne sirovine i stvaranje suspenzije. Voda je rastvarač za pomoćna sredstva koja se dodaju papiru, kao i medijum za transport vlakana, hemijskih aditiva i nus produkata.

ZNAČAJ RECIRKULACIJE VODE

Racionalno korišćenje vode, sa optimalnim stepenom recirkulacije, obezbeđuje manje opterećenje centralnog postrojenja za prečišćavanje vode koja se ispušta u vodoprijemnik. Pored toga, recirkulacija ili ponovna upotreba iskorišćene vode omogućavaju izdvajanje korisnih supstanci koje su dospеле u otpadne tokove vode. Na taj način se u proizvodnji povećava stepen iskorišćenja celuloznih vlakana i hemijskih aditiva, što znatno utiče na smanjenje ukupne potrošnje osnovnih sirovina, hemikalija, vode i energije u proizvodnom procesu [1].

U tabeli 1 date su osnovne prednosti i nedostaci zatvaranja kružnih tokova vode, odnosno primene recirkulacije vode u industriji papira.

Zemlje Evropske Unije su ustanovile pristup očuvanju kvaliteta vodenih resursa uvodeći pravilo i obavezu da onaj ko zagađuje vodu, snosi finansijske posledice i troškove prečišćavanja. Za proizvođače papira ekonomski je neprihvatljivo plaćanje visokih nadoknada za ispuštanje otpadnih voda. Nadoknada se obračunava prema svakom kubiku otpadne vode koja

Tabela 1. Moguće prednosti i nedostaci primene recirkulacije vode u industriji papira [1]

Table 1. Some advantages and disadvantages of water recirculation in the paper industry

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none">• Smanjenje specifične potrošnje vode• Smanjenje zapremine vode koja se prečišćava na postrojenju za pripremu procesne vode, a time i smanjenje troškova pripreme vode• Poboľšano taloženje rastvorenih materija u papirnoj traci (retencija)• Smanjena potreba za energijom za zagrevanje i prepumpavanje• Bolje karakteristike odvođenja vode na situ, što dovodi do ušteda u energiji pri sušenju• Manji investicioni troškovi za redukovanu opremu• Ušteda sirovina zavaljujući manjim gubicima vlakana i punilaca• Veći stepen efikasnosti postrojenja za tretman otpadnih voda• Smanjenje ukupne zapremine otpadnih voda koje se ispuštaju u vodoprijemnike• Povećanje proizvodnje bez ograničenja u odnosu na kapacitet sistema za prečišćavanje otpadnih voda• Povećanje temperature procesne vode (pozitivan efekat na odvodnjavanje papirne trake na situ)	<ul style="list-style-type: none">• Povećanje koncentracije rastvorenih materija, organskih i neorganskih koloida u vodi• Povećanje sadržaja suspendovanih materija u vodi• Rizik od stvaranja sluzavih muljnih naslaga, što stvara opasnost od kidanja trake papira• Rizik od narušavanja kvaliteta krajnjeg proizvoda, npr. svojstava koja se odnose na belinu, čvrstoću i poroznost papira• Povećanje potrošnje pomoćnih sredstava i aditiva u proizvodnji• Opasnost od korozije i taloženja kamena• Povećana opasnost od zapušavanja opreme, blokade pumpi, mlaznica na tuševima, sita i filcane trake• Povećanje temperature procesne vode• Problemi kontrole higijene za tisju papir, ambalažni papir za medicinske potrebe• Složenije odvijanje proizvodnog procesa

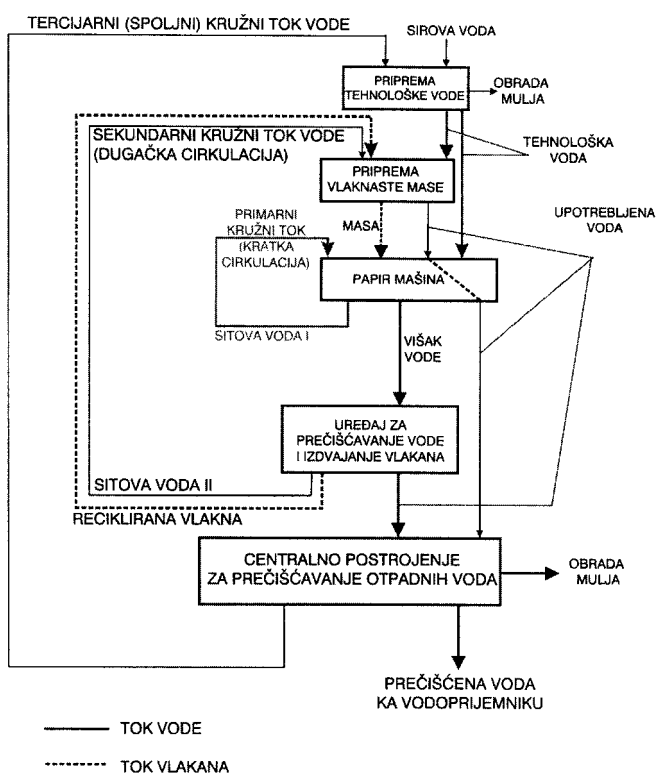
Adresa autora: D. Žarković, Tehnološko–metalurški fakultet, Karijegijeva 4, 11000 Beograd
Rad primljen: April 30, 2004
Rad prihvaćen: Juli 19, 2004

se ispusti u vodoprijemnik, a obično se kreće oko 1,5 eura/m³ otpadne vode [2]. Za velika postrojenja koja godišnje proizvedu i do 100.000 t papira, racionalnom potrošnjom vode može da se ostvari ušteda od oko 150.000 eura godišnje. Izgradnja sistema sa potpuno zatvorenim kružnim tokovima vode (eng. *zero liquid effluent*), prvenstveno bi predstavljala ekološku povoljnost. U evropskim postrojenjima za proizvodnju papira i kartona postiže se stepen iskorišćenja otpadnih voda i do 90 %. Neka postrojenja su ostvarila proizvodnju praktično bez nastajanja otpadnih voda, tj. sa 100 % zatvorenim kružnim tokovima vode [1].

ZATVARANJE KRUŽNIH TOKOVA VODE

U savremenim postrojenjima za proizvodnju papira i kartona, bitan deo proizvodnog procesa čine primarni, sekundarni i tercijarni kružni tok vode. Šema kružnih tokova vode u postrojenju za proizvodnju papira data je na slici 1.

Voda u primarnom kružnom toku (kratka cirkulacija), potiče od ceđenja papirne suspenzije kroz sito papir mašine i sadrži vlakanca celuloze, sitne čestice (manje od 75 mikrona) i punioce. Ova voda, poznata pod imenom sitova voda I, vraća se u proces i koristi za razblaživanje papirne suspenzije na ulasku u papir mašinu. Primarni kružni tok mora biti projektovan tako da bude maksimalno zatvoren.



Slika 1. Pojednostavljena šema tokova vode i vlakana u postrojenju za proizvodnju papira [1]

Figure 1. Water and fiber circulation in a paper mill (simplified scheme)

Sekundarni kružni tok (dugačka cirkulacija) čini višak vode iz primarnog kružnog toka, zatim voda izdvojena iz papirne suspenzije usisavanjem, voda izdvojena na presama, kao i voda za pranje sita. Ove vode nazivaju se jednim imenom sitova voda II i obično se kao zbirna voda prečišćavaju sedimentacijom, flotacijom ili na filter-skoj jedinici u obliku bubnja ili diska. S obzirom na to da se u pomenutom uređaju vrši izdvajanje vlaknaca iz vode, uređaj se naziva i hvatač vlakana. Voda koja se prečisti u ovakvom uređaju je bistra, pa se u fabričkom žargonu i naziva izbistrena voda.

Tercijarni kružni tok vode sadrži višak vode iz sekundarnog kružnog toka i iskorišćenu vodu koja se ne može ponovo upotrebiti. Voda tercijarnog kružnog toka prečišćava se na centralnom postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda. Prečišćena voda se delimično vraća u proces u zavisnosti od kvaliteta krajnjeg proizvoda i zahteva koji važe za ispuštanje otpadnih voda.

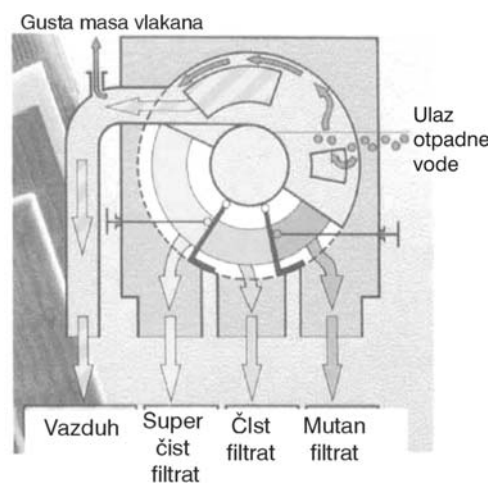
SISTEMI ZA REGENERACIJU VLAKANA

Jedan od najviše primenjivanih uređaja za regeneraciju celuloznih vlakana predstavlja disk filter koji je prikazan na slici 2 [3].

Pomoću ovog uređaja postižu se tri ili četiri separaciona toka:

- 1) gusta masa vlakana (gustine 10 – 50 g/dm³ vlakana),
- 2) prvi filtrat mutne vode i
- 3) i 4) – naredni filtrati čistog i super-čistog filtrata.

Prvi filtrat mutne vode obično sadrži oko 150 mg/dm³ vlakana. Deo toka ove frakcije obično se vraća u filter da bi i sama vlakna formirala filtracioni medijum. Veći stepen recirkulacije mutnog filtrata nazad u disk filter rezultira čistijim izlaznim tokovima iz filtra. Osnovna primena mutne vode u proizvodnom procesu je razblaživanje mase u pripremi.



Slika 2. Shematski prikaz disk filtra [3]

Figure 2. Scheme of a disc-filter

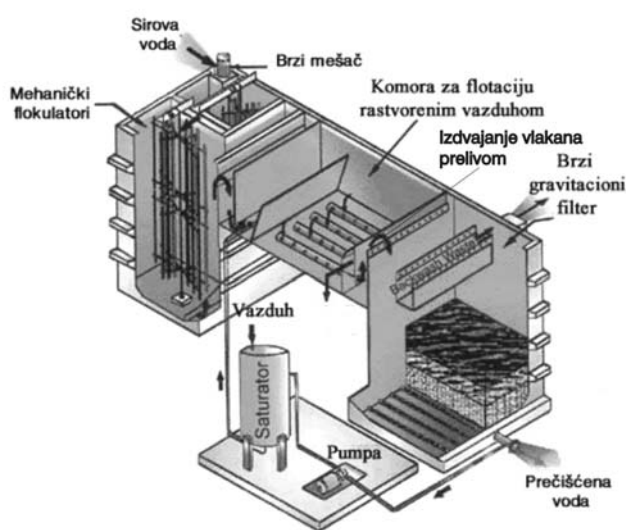
Treća frakcija – čist filtrat sadrži sitne čestice i punioce čija je koncentracija oko 60 mg/dm^3 (kada je sirovina čista celuloza), odnosno $200\text{--}400 \text{ mg/dm}^3$ pri korišćenju starog papira kao sirovine.

Poslednja frakcija – super-čist filtrat obično sadrži manje od 25 mg/dm^3 suspendovanih materija, pa se u nekim slučajevima može koristiti kao zamena za tehnološku vodu. Nakon dodatnog prečišćavanja na peščanom filtru, super-čisti filtrat se može koristiti za sve procese koji zahtevaju tehnološku vodu.

I flotacioni sistemi se koriste kao hvatači vlakana. Flotacija se izvodi uduvavanjem vazduha u otpadnu vodu kojoj su prethodno dodata sredstva za koagulaciju i flokulaciju. Suspendovana vlakna i punila vezuju se za mehurove vazduha, pa flotiraju ka površini. Ovako izdvojena masa čestica na površini, uklanja se pomoću specijalnih uređaja za sakupljanje pene. Masa vlakana i punilaca, kao koristan proizvod razdvajanja faza, vraća se u tehnološki proces, obično u pripremu mase. Pri optimalnim radnim uslovima, efikasnost flotacionih sistema je skoro 100 %. Kod proizvodnje na bazi čiste celuloze, koncentracija suspendovanih čvrstih materija u izlaznom toku prečišćene vode iznosi $10\text{--}50 \text{ mg/dm}^3$. Gustina izdvojene mase čestica obično iznosi $30\text{--}100 \text{ g/dm}^3$.

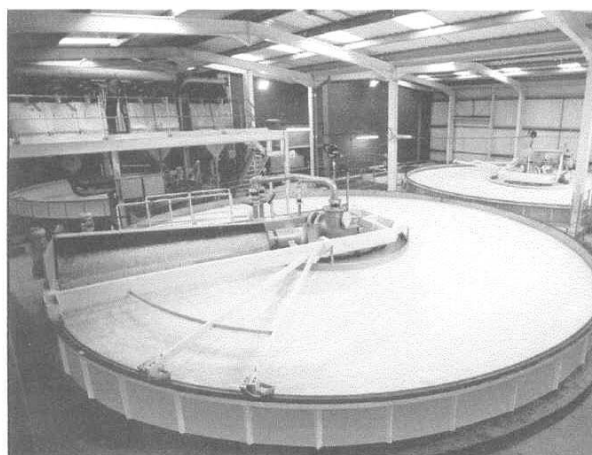
Flotacioni sistemi se sastoje iz bazena za bistrenje vode sa uređajima za uklanjanje guste mase, opremom za aeraciju i uređajima za doziranje hemikalija. Na slici 3 je dat izgled flotacionog uređaja, koji koristi rastvoreni vazduh [4].

Flotacijom se iz vode uklanjaju koloidi, što predstavlja značajnu prednost u postrojenjima koja prerađuju stari papir. Ukoliko se vrši obezbojavanje mase, otpadna voda sadrži visoku koncentraciju koloida. Mulj koji nastaje flotacijom, transportuje se pomoću muljnih pumpi u uređaje za obezbojavanje. Preporučljivo je da se i



Slika 3. Sistem za prečišćavanje vode i izdvajanje vlakana flotacijom [4]

Figure 3. Flotation system for water treatment and fibre recovery



Slika 4. Taložnik tipa KROFTA Supercell [5]

Figure 4. KROFTA Supercell sedimentation tank

mulj reciklira u proces, kao što se to radi u postupku proizvodnje papira bez obezbojavanja.

Jedan od nedostataka flotacionih uređaja je nedovoljna efikasnost bistrenja za vode u kojima je koncentracija suspendovanih materija visoka.

Taložnici kao hvatači vlakana namenjeni su bistrenju otpadnih voda koje karakteriše visoka koncentracija punilaca. Na slici 4 predstavljen je uređaj u kome se izdvajanje vlakana ostvaruje kombinovano flotacijom i taloženjem [5].

Tokom flotacije i taloženja dolazi do razdvajanja čestica po specifičnoj težini. Na površini se izdvajaju celulozna vlakna koja su prethodno vezana za mehurove vazduha. Na dnu se talože čestice koje su specifično teže od vode, a to su punioci, pigmenti i biomasa nastala biološkom razgradnjom.

Frakcije izbistrene vode iz hvatača vlakana koriste se kao povratna voda, dok se izdvojena vlakna vraćaju kao sirovina na početak pripreme mase. Jednom iskorišćena voda, nakon određenog stepena prečišćavanja, ponovo se koristi u tehnološkom procesu. Na taj način prečišćena voda zamenjuje tehnološku vodu i smanjuje ukupnu potrošnju vode.

POTROŠNJA VODE U SAVREMENIM FABRIKAMA PAPIRA I KARTONA

Potrošnja vode pri proizvodnji papira i kartona u mnogome zavisi od vrste papira koji se proizvodi. U tabeli 2 prikazane su karakteristične vrednosti specifične potrošnje vode za različite vrste proizvoda [1]. Dati podaci predstavljaju uobičajene vrednosti u evropskim postrojenjima za proizvodnju papira.

Vrednosti specifične potrošnje vode date u tabeli 2, ujedno bi trebalo da predstavljaju i vrednosti zapremine otpadnih voda koje nastaju u proizvodnji. Međutim, u sušnoj partiji papir mašine dolazi do isparavanja oko $1,5 \text{ m}^3$ vode po toni papira. Upravo je zato zapremina otpadnih voda za oko $1,5 \text{ m}^3/\text{t}$ manja od specifične potrošnje sveže vode.

Tabela 2. Specifična potrošnja vodi pri proizvodnji različitih vrsta papira [1]

Table 2. Specific water consumption in different paper mills [1]

Vrsta proizvoda	Specifična potrošnja vode (m ³ /t)
Nepremazni karton za složive kutije	2 – 10
Premazni karton za složive kutije	7 – 15
Talasasta lepenka i ambalažni papir	1,5 – 10
Novinski papir	10 – 20
Tisju papir	5 – 100
Pisaći štamparski papir	7 – 20

Podaci dati u tabeli 2 ukazuju na to da postrojenja za proizvodnju papira unutar Evropske Unije, prosečno troše između 2 i 20 m³ sveže vode po toni proizvoda, pri čemu se za proizvodnju tisju papira troši čak i do 100 m³/t. Na slici 5 data je pojednostavljena šema glavnih potrošača sveže vode u fabrici za proizvodnju papira koja troši 10,5 m³ sveže vode po toni papira.

Kao što se vidi na slici 5, pripremljena tehnološka voda koristi se kao dopuna za vodu koja recirkuliše u sistemu. Na slici 5 se mogu uočiti najznačajnija mesta primene tehnološke vode. Vrednosti potrošnje vode koje su navedene u daljem tekstu odnose se na uobičajene vrednosti u evropskim postrojenjima, gde se tehnološka voda najčešće koristi:

- za hlađenje procesne opreme: 3 – 15 m³/t; većina postrojenja ovu vodu recirkulišu ili je koriste kao tehnološku vodu; ostala postrojenja tu vodu ispuštaju zasebno, tj. nezavisno od centralnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, jer su vode od hlađenja uglavnom čiste; stoga voda za hlađenje obično nije uključena u vrednosti potrošnje vode postrojenja za proizvodnju papira;

- kao voda za pranje sita papir mašine koje se vrši pomoću posebnih brizgaljki sa vodom; uloga brizgaljki je da operu sito na formerima i filc na vlažnim presama, kako bi se održavale zadovoljavajuće performanse odvođenja vode (specifična potrošnja 5 – 20 m³/t);

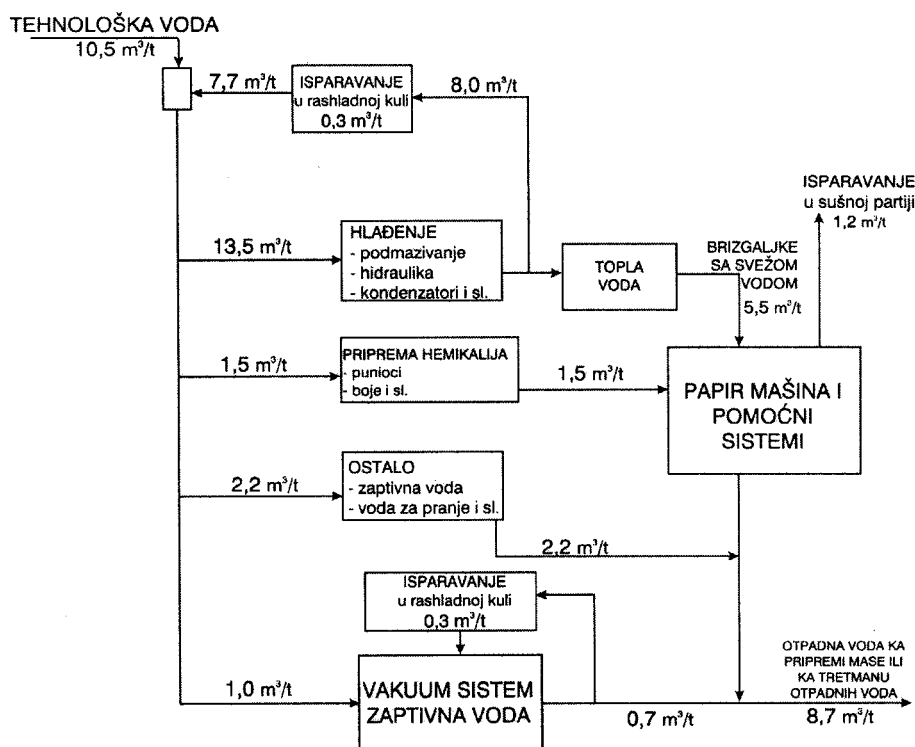
- za pripremu hemikalija, gde se tehnološka voda koristi kao rastvarač i dispergaciono sredstvo za punioce i aditive tokom pripreme rastvora: 1,5 – 3 m³/t;

- kao voda za zaptivanje u zaptivnim kutijama, vakuum sistemu i prečišćavačima: 1 – 6 m³/t;

- za neke vrste papira: voda za podešavanje gustine u pripremi mase;

- kao napojna voda za kotlovsko postrojenje (2–3 m³/t); ova voda obično nije uključena u vrednosti specifične potrošnje vode postrojenja za proizvodnju papira.

Uz sliku 5 treba napomenuti da voda za potrebe hlađenja u većini postrojenja recirkuliše, tako se za ovu potrebu ne troši sveža (tehnološka), već upotrebljena voda. Stoga je znatno češći slučaj da se sveža voda uvodi u proces proizvodnje putem brizgaljki u okviru sitove partije i brizgaljki u partiji presa. U jedinicama za



Slika 5. Shema kružnog toka i materijalni bilans vode u savremenom postrojenju za proizvodnju papira [1]

Figure 5. Water circulation and material balance in a modern paper mill

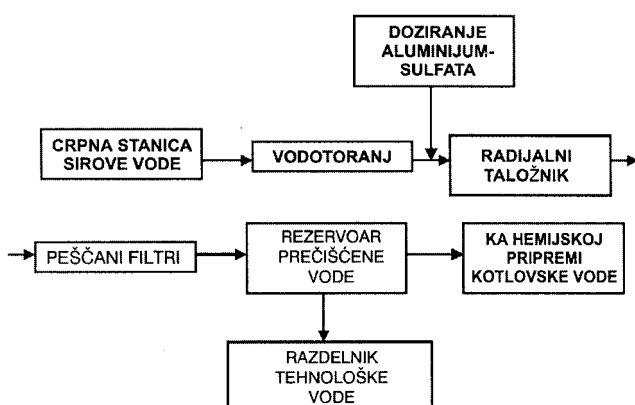
pripremu mase ne postoji potreba za svežom vodom. Sveža voda se troši na rastvaranje i razređivanje hemikalija i kao zaptivna voda za pojedine delove opreme. Većina hemikalija se mora razblažiti svežom vodom pre ulaska u papir mašinu, jer bi u protivnom moglo doći do narušavanja kvaliteta papira, pa bi upotrebijene doze hemikalija morale da se povećaju. Za pravljenje suspenzije punilaca, moguće je zameniti svežu vodu sa izbistrenom vodom, ukoliko ne postoji rizik od anaerobne biološke aktivnosti.

SISTEM VODA U FABRICI KARTONA UMKA

Radi jednostavnijeg sagledavanja sistema voda u fabrici kartona UMKA, svi tokovi vode se mogu posmatrati kroz tri osnovne faze koje su prikazane na slici 6.

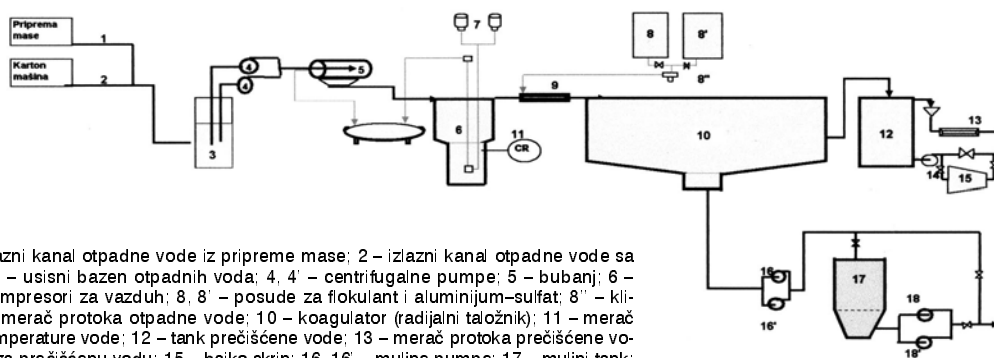


Slika 6. Osnovne faze tokova vode u proizvodnji kartona
Figure 6. Main phases of water flows in a paperboard mill



Slika 7. Blok dijagram osnovnih elemenata sistema za pripremu tehnološke vode u FK UMKA

Figure 7. Main equipment in water preparation plant in FK UMKA (scheme)



Legenda: 1 – izlazni kanal otpadne vode iz pripreme mase; 2 – izlazni kanal otpadne vode sa karton mašine; 3 – usisni bazen otpadnih voda; 4, 4' – centrifugalne pumpe; 5 – bubanj; 6 – peskolov; 7 – kompresori za vazduh; 8, 8' – posude za flokulant i aluminijum-sulfat; 8'' – klipna pumpa; 9 – merač protoka otpadne vode; 10 – koagulator (radijalni taložnik); 11 – merač pH vrednosti i temperature vode; 12 – tank prečišćene vode; 13 – merač protoka prečišćene vode; 14 – pumpa za prečišćenu vodu; 15 – haiko skrin; 16, 16' – muljne pumpe; 17 – muljni tank; 18, 18' – muljne pumpe

Slika 8. Šematski prikaz centralnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u FK UMKA

Figure 8. Wastewater treatment plant in the paperboard mill UMKA (scheme)

Faze predstavljene na slici 6 sukcesivno se nastavljaju jedna na drugu, tako da i protok i kvalitet vode u svakoj fazi zavise od protoka i kvaliteta vode u prethodnim fazama. Potrošnja sveže vode, kao i zapremina i kvalitet otpadnih voda, mogu se posmatrati u sve tri faze pojedinačno (slika 6). Vrednost potrošnje vode praktično predstavlja i ukupnu zapreminu otpadnih voda.

Kod prve faze, protok tehnološke vode zavisi od ulaznog protoka sirove savske vode koja se zahvata na crpnoj stanici. Postrojenje za pripremu tehnološke vode treba da obezbedi ujednačen i postojan kvalitet tehnološke vode, nezavisan od kvaliteta ulazne vode. U ovom postrojenju vrši se mehaničko prečišćavanje vode, čiji je zadatak uklanjanje suspendovanih materija i drugih grubih nečistoća iz vode. Na slici 7 šematski je dat prikaz osnovnih operacija u sklopu postrojenja za pripremu tehnološke vode.

Pripremljena tehnološka voda koristi se u pogonu pripreme mase i na karton mašini, gde postoje lokalni kružni tokovi koji podrazumevaju recirkulaciju ili ponovnu upotrebu vode za različite namene. Zatvaranje kružnih tokova vode postiže se usklađivanjem kvaliteta vode u pojedinim fazama procesa sa specifičnom namenom vode u proizvodnji. Na ovaj način, maksimalnim stepenom recirkulacije već upotrebijene vode, kao i izdvajanjem korisnih sirovina iz otpadne vode, smanjuje se potrošnja sveže vode i povećava ekonomičnost proizvodnje. Višak vode sa svih uređaja u pogonu pripreme mase i sa karton mašine, koji se ne može ponovo iskoristiti u proizvodnji, sakuplja se i odvodi u otvoreni tehnološki kanal čineći zbitmu tehnološku otpadnu vodu. Ova voda se prečišćava na centralnom postrojenju za tretman otpadnih voda, čija je tehnološka šema data na slici 8.

Tokom prečišćavanja otpadnih voda nastaju velike zapremine otpadnog mulja (oko 25 tona dnevno). Povremeno se nastali mulj vraća u proces (meša se u određenom odnosu sa starim papirom u pripremi mase). Međutim, ustanovljeno je da ponovna upotreba mulja utiče na smanjenje mehaničke čvrstoće proizvedenog kartona. pa se navedena praksa recirkulacije mulja ko-

risti samo u retkim slučajevima kada se proizvode lošije vrste kartona.

Čvrsti otpad u proizvodnji kartona potiče iz uređaja za prečišćavanje sirovina, posebno starog papira. U otpadu ima peska, metalnih delova (spajalica), bitumena i sl. Ovako nastali čvrsti otpad lageruje se na fabričku deponiju i povremeno odvozi.

MERENJE POTROŠNJE I KONTROLA KVALITETA VODE U FK UMKA

Praćenje potrošnje i kvaliteta vode u osnovnim fazama proizvodnog procesa predstavljaju najvažniji preduslov za racionalizaciju potrošnje vode. U tom cilju, u fabrici kartona UMKA vršeno je određivanje protoka i kontrola kvaliteta vode.

Merenje protoka zahvaćene savske vode za potrebe proizvodnje u FK UMKA vršeno je u periodu oktobar–decembar 2003. godine. Ustanovljeno je da se specifična potrošnja vode kretala od 53,4 m³/t do 66,8 m³/t, što predstavlja znatno veću vrednost od evropske norme za proizvodnju kartona iz mešanih primarnih i sekundarnih vlakana (8 – 15 m³/t).

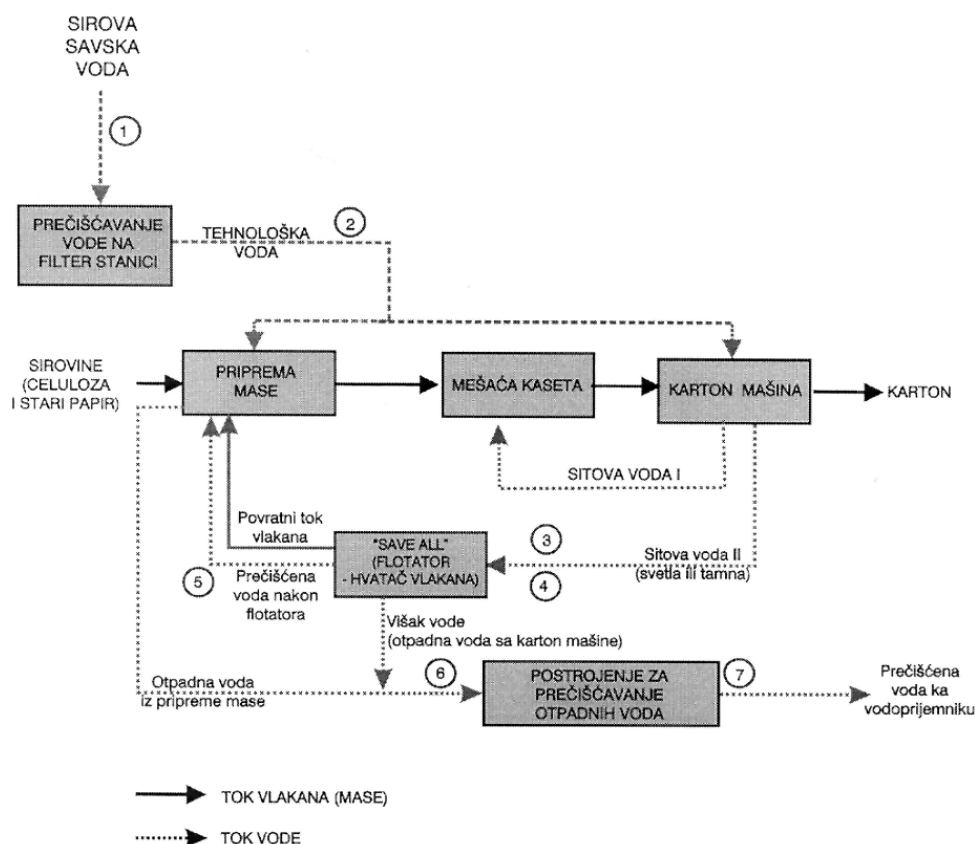
Svakodnevno određivanje osnovnih parametara kvaliteta otpadnih voda, ukazuje na to da otpadna voda iz proizvodnog pogona karton mašine sadrži 2–3 kg/m³ suspendovanih materija. Ova otpadna voda takođe često sadrži i premazna sredstva (CaCO₃ i kaolin), koja u

principu potiču iz sasvim zasebnog pogona premaza. Do skora se otpadna voda iz pogona premaza mešala sa relativno čistom otpadnom vodom sa karton mašine. Na taj način je dolazilo do štetnog efekta povećanja zapremine i stepena zagađenosti zbirnih otpadnih voda sa karton mašine, koje su praktično nezagađene. Upravo je završeno tehničko rešenje za zasebno prikupljanje i prečišćavanje otpadnih voda iz pogona premaza.

U cilju ispitivanja kvaliteta vode u celom toku proizvodnog procesa u fabrici kartona UMKA, vršena je analiza vode u karakterističnim fazama proizvodnje. U skladu sa tehnološkom koncepcijom proizvodnje, izabrano je nekoliko kontrolnih pozicija, u kojima se vršila kontrola kvaliteta tehnološke, povratne i otpadne vode. Izabrane su sledeće pozicije:

1. sirova voda reke Save – ulazna voda;
2. tehnološka voda, tj. prečišćena voda nakon filterne stanice;
3. sitova voda II (svetla);
4. sitova voda II (tamna);
5. prečišćena voda nakon hvatača vlakana – flotatora;
6. zbirna otpadna voda iz pripreme mase i sa karton mašine (pre postrojenja za prečišćavanje) i
7. prečišćena voda nakon postrojenja za prečišćavanje.

Na slici 9 data je uprošćena tehnološka šema proizvodnog procesa u fabrici kartona UMKA, sa označenim



Slika 9. Tehnološka šema proizvodnog procesa u FK UMKA sa označenim pozicijama za kontrolu kvaliteta vode

Figure 9. Technological scheme of production in FK UMKA with positions for water quality control

Tabela 3. Zbirni prikaz rezultata analize vode na kontrolnim pozicijama
Table 3. Results of water analysis at the control positions (summary review)

Merno mesto (pozicija)	Vrsta vode	P a r a m e t r i								
		Temperatura (°C)	pH vrednost	Elektroprovodljivost (μS/cm)	Sadržaj rastvorenog O ₂ (mg/dm ³)	Sadržaj suspendovanih materija (mg/dm ³)	Tvrdoća – ukupna (mg/dm ³ CaCO ₃)	Sadržaj hlorida (mg/dm ³)	Sadržaj sulfata (mg/dm ³)	Potrošnja KMnO ₄ (mg/dm ³)
1.	Sirova savska	5,2	7,55	383	14,3	354	220	14,2	3,6	14,2
2.	Tehnološka	5,9	7,7	380	14,2	49	240	17,7	4,0	9,7
3.	Sitova voda II – svetla (gornji sloj)	17,9	8,1	447	16,25	1015	248	28,4	32	270,2
4.	Sitova voda II – tamna (srednji sloj)	20,2	7,7	640	19,23	4980	720	35,5	31	597,2
5.	Prečišćena voda nakon flotatora	19,7	7,6	657	17,7	86	300	35,5	11	796,3
6.	Zbirna otpadna voda pre sistema za prečišćavanje	17,8	7,8	597	15,24	2290	420	31,9	13	597,2
7.	Prečišćena voda nakon postrojenja za prečišćavanje	17,7	7,4	631	14,86	175	360	28,4	14	625,7

kontrolnim pozicijama u kojima je određivan kvalitet vode.

Na svih sedam izabranih kontrolnih pozicija, vršeno je određivanje osnovnih parametara kvaliteta vode: temperature, pH vrednosti, elektroprovodljivosti, sadržaja rastvorenog kiseonika, sadržaja suspendovanih materija, ukupne tvrdoće, sadržaja hlorida, sadržaja sulfata i potrošnje KMnO₄. Zbirni rezultati analize vode prikazani su u tabeli 3.

Rezultati iz table 3 ukazuju na to da je opšti kvalitet vode u FK UMKA zadovoljavajući, jer se ne uočavaju ekstremne vrednosti bilo kog parametra. Kvalitet tehnološke vode je relativno dobar, izuzev nešto povećane vrednosti sadržaja suspendovanih materija od 49 mg/dm³. U trenutku uzorkovanja i sirova savska voda imala je relativno visok sadržaj suspendovanih materija (354 mg/dm³). Ova pojava se objašnjava visokim vodostajem reke Save i povećanom mutnoćom, što direktno utiče na sadržaj suspendovanih materija. Poređenjem vrednosti sadržaja suspendovanih materija u sirovoj savskoj i tehnološkoj vodi, može se zaključiti da se na postrojenju za pripremu vode (filter stanici) iz vode uklonilo oko 86% ukupnih suspendovanih materija. U pogledu efikasnosti prečišćavanja, postrojenje za pripremu vode u potpunosti obezbeđuje zahtevani kvalitet tehnološke vode.

DOSADAŠNJI REZULTATI ISPITIVANJA KVALITETA OTPADNIH VODA

Kompletna analiza otpadnih voda u FK UMKA vrši se jedanput u tri meseca od strane ovlašćene ustanove.

Pregledom dosadašnjih rezultata analize otpadnih voda u prethodnih pet godina [9], uočava se nekoliko bitnih činjenica.

1. Izmerene vrednosti pojedinih parametara kvaliteta prečišćene vode premašuju maksimalno dozvoljene vrednosti (MDV) za ispuštanje u vodoprijemnik. Izrazito velika odstupanja kvaliteta prečišćene vode javljaju se kod četiri parametra: sadržaja rastvorenog kiseonika, sadržaja suspendovanih materija, BPK₅ i HPK parametra. Kod merenja sadržaja rastvorenog kiseonika uočen je manjak kiseonika, dok su vrednosti ostalih parametara bile znatno veće od dopuštenih.

2. Povremena odstupanja kvaliteta prečišćene vode uočena su kod sadržaja amonijaka, detergenata i mineralnih ulja.

3. Visoke vrednosti sadržaja suspendovanih materija u prečišćenoj vodi ukazuju na nedovoljnu efikasnost postojećeg sistema za prečišćavanje; to može biti posledica prevelikog hidrauličkog opterećenja (postrojenje je projektovano za 300 m³/h, dok je prosečna vrednost protoka otpadne vode na ulasku u postrojenje 465,5 m³/h).

4. Visoke vrednosti BPK₅ i HPK parametra u prečišćenoj vodi ukazuju na prisustvo velike količine biorazgradljivih organskih materija koje uglavnom čine celulozna vlakna. Vrednosti navedenih parametara ukazuju na neophodnost modernizacije sistema za prečišćavanje otpadnih voda, čime bi se u liniju obrade uključio i biološki tretman.

5. Iako postoje velika odstupanja kvaliteta prečišćene otpadne vode od vrednosti MDV, rezultati analize savske vode na mestima uzvodno i nizvodno od izliva, ukazuju da se ispuštanjem otpadnih voda FK UMKA ne narušava kvalitet reke Save, koja spada u II kategoriju vodotoka.

Na osnovu izvršenih ispitivanja u FK UMKA, uočena su dva osnovna problema vezana za potrošnju i kvalitet vode:

1. potrošnja vode i zapremina otpadnih voda su znatno više od vrednosti koje su propisane evropskim normama i

2. kvalitet prečišćene vode ne odgovara ni domaćim ni evropskim normama za ispuštanje otpadnih voda u vodoprijemnik.

Da bi se ispoštovala domaća zakonska regulativa, neophodno je ili smanjiti zapreminu otpadnih voda koja dolazi na centralno postrojenje za prečišćavanje vode, ili povećati efikasnost prečišćavanja celokupne nastale zapremine otpadnih voda. Krajnji cilj racionalizacije potrošnje vode je dostizanje vrednosti 8 – 15 m³/t, što predstavlja evropsku normu specifične potrošnje vode za proizvodnju kartona iz mešanih primarnih i sekundarnih vlakana.

Racionalizacija potrošnje vode i unapređenje kvaliteta voda predstavljaju osnovne zahteve za postizanje ekonomične proizvodnje koja će se u budućnosti ostvarivati u skladu sa Evropskom direktivom za zaštitu životne sredine u celulozno-papirnoj industriji. U tom smislu predložene su mere koje mogu dovesti do značajnog smanjenja potrošnje sveže vode, kao i do poboljšanja kvaliteta svih tokova voda u proizvodnom ciklusu.

MERE ZA SMANJENJE POTROŠNJE VODE

Opšte mere za smanjenje potrošnje vode koje se navode kao preporuke proizvođačima celuloze i papira [1], ogledaju se u tri osnovna principa:

1. maksimalno zatvaranje kružnih tokova vode,
2. primena efikasnih sistema za prečišćavanje i
3. praćenje potrošnje i kontrola kvaliteta svih postojećih tokova vode.

Predlog mera za racionalizaciju potrošnje vode u FK UMKA dat je na osnovu:

1. opštih mera za smanjenje potrošnje vode u papirnoj industriji, datih od strane Evropske komisije,
2. detaljno analiziranog tehnološkog procesa proizvodnje u FK UMKA,
3. rezultata dobijenih merenjem protoka i određivanjem kvaliteta vode,
4. pozitivnih iskustava savremenih fabrika za proizvodnju kartona, uz poštovanje specifičnosti proizvodnje u FK UMKA i
5. sveobuhvatnih saznanja iz oblasti voda.

Racionalizacija potrošnje vode u FK UMKA zasniva se na rekonstrukciji i osavremenjavanju kružnih tokova vode sa ciljem maksimalno tehnički izvodljivog zatvara-

nja sistema voda. Predlog je da se smanjenje potrošnje vode realizuje u dve faze.

U prvoj fazi bi se, uz minimalna finansijska ulaganja, izvršila manja rekonstrukcija postojećeg sistema voda, što bi dovelo do smanjenja potrošnje vode za oko 30 do 40 %. Za I fazu predlažu se sledeće mere:

1. za potrebe zaptivanja na vakuum pumpama, ne koristiti tehnološku, već prečišćenu vodu sa flotatora koja sadrži do 200 mg/dm³ suspendovanih materija; ova mera bi predstavljala značajnu uštedu u potrošnji vode, jer se za potrebe zaptivanja vakuum pumpi troši oko 120 m³/h sveže vode (14,4 m³/t);

2. za sva razređenja u pripremi mase, gde se trenutno koristi tehnološka voda, predlaže se korišćenje povratne vode, što bi dovelo do smanjenja ukupne potrošnje vode za oko 16,4 m³/t;

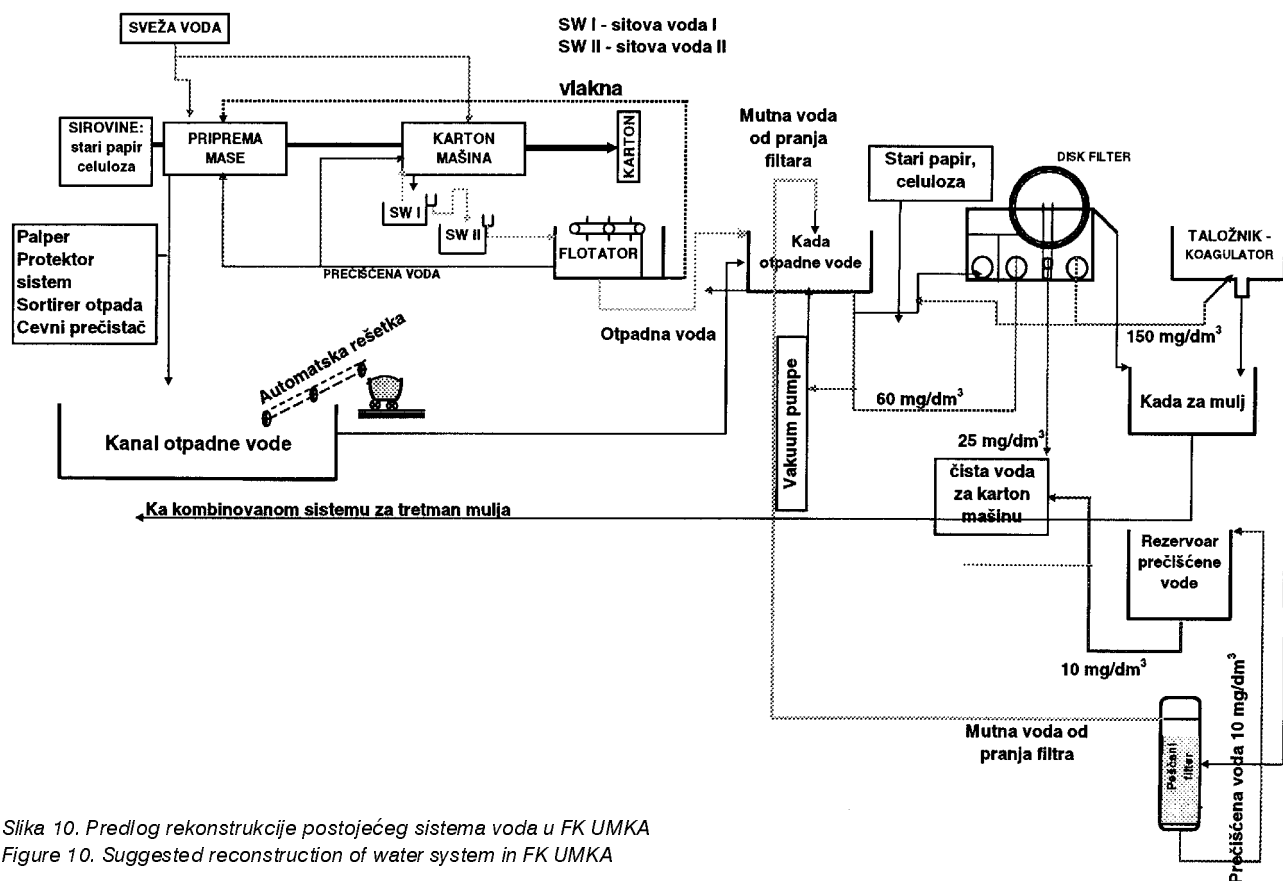
3. vode od hlađenja potrebno je vratiti u bazen sveže vode i ponovo koristiti, čime bi se potrošnja vode smanjila za oko 33 m³/h (4 m³/t)

4. izbor i ugradnja on-line uređaja za merenje protoka i praćenje kvaliteta vode.

U drugoj fazi rekonstrukcije sistema voda, težilo bi se krajnjem cilju – ostvarenju ukupne potrošnje vode od 12 m³/t. Druga faza rekonstrukcije izvršila bi se nakon realizacije prve faze i snimanja novonastalog stanja potrošnje vode. Za drugu fazu smanjenja potrošnje vode, predviđena je ugradnja novih uređaja za prečišćavanje vode u unutrašnjem sistemu kruženja voda. Predložen je uređaj tipa disk-filtra, kojim bi se prečišćavale zbirne otpadne vode objedinjene u zajednički tok. Izgled i opis disk filtra dat je na slici 2.

Izlazni tokovi iz disk-filtra mogu se ili spojiti u jedan tok, ili se svaki tok može posebno koristiti za specifične potrebe koje zahtevaju veću ili manju čistoću vode. Ultra čista voda sa 25 mg/dm³ suspendovanih materija, može se direktno koristiti u tehnološkom procesu za brizgaljke za pranje sita koje rade na pritisku od 25 bara, dok bistri filtrat može da se upotrebi i za brizgaljke niskog pritiska. Za potrebe brizgaljki koje rade na pritisku od 60 bara, bila bi potrebna izuzetno čista voda, sa svega 5–10 mg/dm³ suspendovanih materija. Ova voda bi se mogla dobiti primenom peščane filtracije nakon prečišćavanja vode na disk filtru. Opisani predlog rekonstrukcije postojećeg sistema voda prikazan je na slici 10.

Jedan od predloga za racionalizaciju potrošnje vode bio je da se prečišćena voda sa centralnog postrojenja za prečišćavanje, nakon koagulatora, umesto u Savu, odvodi na vodotoranj, a zatim u postrojenje za pripremu tehnološke vode (filter stanicu). Međutim, prema iskustvima drugih fabrika, problemi bi mogli da nastanu zbog veoma čestog zapušavanja peščanih filtera, najverovatnije zbog pojave sluzave mase usled biološke aktivnosti mikroorganizama. Stoga bi filtri morali često da se peru, tako da bi se više vremena utrošilo na njihovo pranje nego na filtriranje. Ovaj problem bi se jedino mogao rešiti hlorisanjem vode u cilju dezinfekcije. Na ovaj način bi se, u poslednjoj fazi obrade otpadnih voda, inaktivirala mikrobiološka populacija, što bi sprečilo pojavu nas-



Slika 10. Predlog rekonstrukcije postojećeg sistema voda u FK UMKA
Figure 10. Suggested reconstruction of water system in FK UMKA

tanka služi i zapušavanje opreme. Još jedan od razloga za neprihvatanje predložene opcije, jeste visok sadržaj hemikalija koje su dodate tokom prečišćavanja na koagulatoru (posebno $Al_2(SO_4)_3$); prisustvo nekih hemikalija u tehnološkoj vodi bilo bi neprihvatljivo za proizvodnju vodene pare.

Praćenje protoka vode i osnovnih parametara kvaliteta, bilo bi omogućeno ugradnjom on-line mernih uređaja pomoću kojih bi se merio zapreminski protok vode, temperatura, sadržaj suspendovanih materija i pH vrednost vode.

MERE ZA UNAPREĐENJE KVALITETA VODE

Rezultati analize vode u osnovnim fazama proizvodnog procesa u FK UMKA ukazuju na dobar kvalitet tehnološke vode i nezadovoljavajući kvalitet otpadnih voda pre i posle prečišćavanja. Stoga je očigledno da se pri proizvodnji kartona akcenat u pogledu kvaliteta vode orijentiše na otpadne vode.

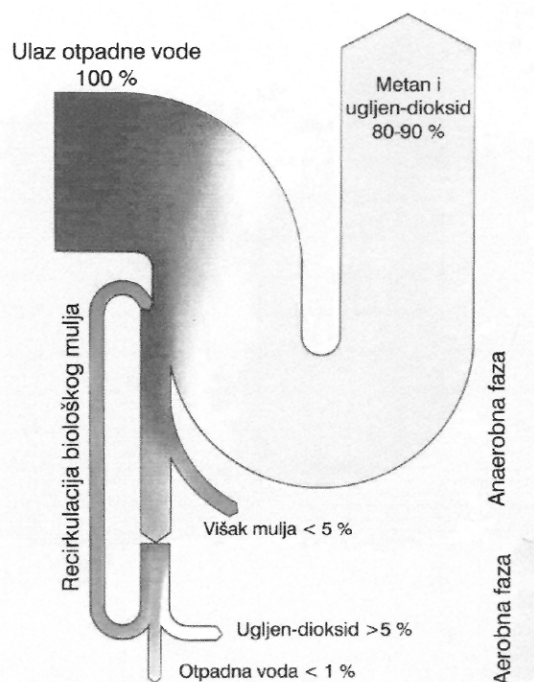
Postojeći sistem za prečišćavanje otpadnih voda u FK UMKA obezbeđuje samo mehaničko prečišćavanje vode. To praktično znači da u vodi i nakon prečišćavanja ima biorazgradljivih materija (merilo je vrednost BPK5), kao i ostalih materija koje troše kiseonik (merilo je HPK vrednost). Povećanjem doze koagulant u otpadnoj vodi može se uticati na efikasnije uklanjanje suspendovanih materija i koloida. Međutim, ovom merom se ne može postići smanjenje BPK5 i HPK vrednosti u prečišćenju vodi.

Da bi se unapredio kvalitet otpadnih voda, neophodno je rekonstruisati postojeći sistem za prečišćavanje. Modernizacija sistema podrazumevala bi ugradnju uređaja za sekundarno – biološko prečišćavanje sa kombinovanom anaerobnom i aerobnom obradom, uz nastanak biogasa kao potencijalnog goriva. Princip prečišćavanja prikazan je na slici 11.

Otpadne vode sa visokim sadržajem biorazgradljivih organskih materija, kakve su i otpadne vode industrije papira, ekonomski je najopravdanije prečišćavati u dve faze: anaerobnoj i aerobnoj (slika 11). Ulaz u sistem predstavlja sirova otpadna voda. U prvoj, anaerobnoj fazi obrade dolazi do biološke razgradnje pod dejstvom anaerobnih mikroorganizama. Rezultat razlaganja čini smeša metana i ugljen-dioksida koja čini 80 – 90% ulazne mase.

U drugoj, aerobnoj fazi dolazi do razlaganja preostalog mulja pod dejstvom aerobnih mikroorganizama. Rezultat aerobne faze predstavljaju tri toka: višak mulja koji čini manje od 5 % ulazne mase vode, gasoviti ugljen-dioksid (u iznosu većem od 5%) i prečišćena voda koja čini manje od 1 % ulazne mase otpadne vode. Na bazi opisanog koncepta dvofazne obrade otpadne vode i mulja, za FK UMKA predložen je biološki sistem prečišćavanja prikazan na slici 12. Sistem je namenjen sekundarnom prečišćavanju vode koja izlazi iz postojećeg sistema za mehaničko prečišćavanje.

Anaerobna faza biološkog prečišćavanja vode predstavlja proces koji je energetski povoljan, proizvodi malu zapreminu mulja i generiše metan visoke energet-



Slika 11. Princip prečišćavanja otpadne vode i obrade mulja biološkim tretmanom sa mogućnošću korišćenja biogasa [7]

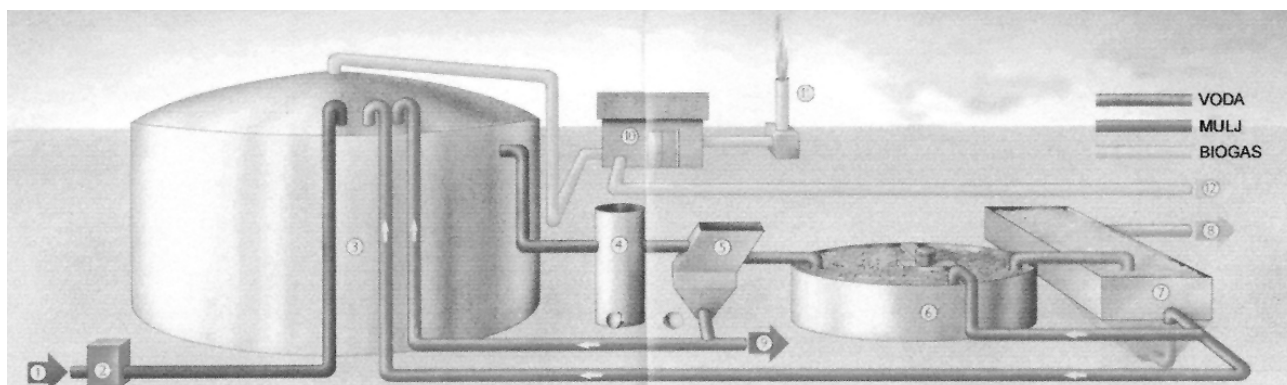
Figure 11. Scheme of wastewater and sludge treatment with possible usage of biogas

- mala zapremina nastalog mulja,
- mali zahtevi za radnom snagom i održavanjem opreme,
- visoka produkcija metana.

U zavisnosti od veličine postrojenja, karakteristika otpadne vode i lokalnih uslova, postrojenje se može isplatiti za period od 2 do 10 godina.

ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja voda koja su vršena u fabrici kartona UMKA ukazuju na visoku potrošnju sveže vode i nezadovoljavajući kvalitet otpadnih voda. U cilju poboljšanja stanja, preložene su mere kojima bi se potrošnja vode smanjila sa trenutnih 66,8 m³/t na 8–12 m³/t, što je propisano evropskim normama. U radu su predložene mere koje omogućavaju zatvaranje sistema kruženja vode i značajno smanjenje potrošnje sveže vode. Kvalitet vode koja se prečišćava na postojećem postrojenju, ne ispunjava ni domaće ni evropske norme za ispuštanje u vodoprijemnik. Najveća odstupanja uočena su kod sadržaja suspendovanih materija i parametara BPK5 i HPK. U radu je dat predlog rekonstrukcije postojećeg sistema prečišćavanja vode uključivanjem biološkog tretmana. Na taj način bi se omogućilo znatno unapređenje kvaliteta prečišćene vode, a takođe bi se rešio i problem odlaganja mulja.



Slika 12. Šematski prikaz predloženog sistema za biološku obradu otpadnih voda u FK UMKA [7]

Figure 12. Suggested system for the biological treatment of wastewater in FK UMKA

Legenda: 1 – ulaz otpadne vode; 2 – razmenjivač toplote; 3 – anaerobni reaktor; 4 – rezervoar za uklanjanje gasova i flokulaciju; 5 – sekundarni taložnik za anaerobni mulj; 6 – bazen za aeraciju; 7 – taložnik za finalno prečišćavanje vode; 8 – prečišćena voda; 9 – odvođenje viška stabilizovanog mulja; 10 – sigurnosni uređaj za rukovanje gasom; 11 – baklja; 12 – biogas kao gorivo

ske vrednosti. Redukcija BPK₅ vrednosti u anaerobnoj fazi iznosi 80 % do 95 %.

U slučajevima gde postojeći kapacitet postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda nije dovoljan za uklanjanje biorazgradljivih materija, kao što je slučaj u FK UMKA, primena samo anaerobnog stupnja je idealna. U postrojenju koje je prikazano na slici 12 mogu se prečišćavati skoro sve otpadne vode čija je BPK₅ vrednost veća od 1.000 mg/dm³.

Osnovne karakteristike predloženog sistema su:

- visoka efikasnost prečišćavanja,
- mala potrošnja električne energije i nutrijenata,

LITERATURA

- [1] EUROPEAN COMMISSION, IPPC BREF in the Pulp & Paper Industry, July 2002.
- [2] D. Žarković, D. Čičkarić, V. Rajaković, M. Krgović, Lj. Rajaković, Konceptija sistema za prečišćavanje otpadnih voda industrije celuloze i papira, Međunarodna konferencija Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad, Budva 2003., Zbornik radova (2003) 594.
- [3] Prospekti materijal firme ANDRITZ
- [4] Web sajt www.clearwaterworld.com
- [5] D. Petrović, Tretman otpadnih voda u preduzeću Papirpak a.d., VI Jugoslovenski simpozijum iz oblasti celuloze, pa-

- pira, ambalaže i grafike sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, jun 2000.
- [6] Prospektni materijal firme Janbacher, Austrija
- [7] Prospektni materijal firme AC Biotechnics, Švedska
- [8] D. Žarković, D. Čičkarić, V. Rajaković, Lj. Rajaković, IX međunarodni simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Zlatibor 2003., Knjiga izvoda radova (2003) 182–185
- [9] Dokumentacija o analizi otpadnih voda u FK UMKA u periodu 1999–2004.
- [10] D. Žarković, Mogućnosti upotrebe recikliranih (sekundarnih) vlakana u savremenoj proizvodnji kvalitetnih papira i kartona, XII Savetovanje o grafičkoj tehnologiji, Beograd 2003., Zbornik radova (2003) 13–16
- [11] D. Žarković, D. Čičkarić, V. Rajaković, Lj. Rajaković, M. Krgović, Prečišćavanje otpadnih voda industrije celuloze i papira, IX Međunarodni simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, 17–20. Jun 2003., Zlatibor, Srbija i Crna Gora (2003.) 199
- [12] M. Krgović, B. Mijatović, Water consumption rationalization in pulp – paper industry, Bled – Slovenija, 2003.
- [13] V. Rekalic, Analiza zagađivača vazduha i vode, TMF, Beograd, 1996.
- [14] D. Tuhtar, Zagađenje zraka i vode, Svjetlost, Sarajevo, 1984.
- [15] T. Stuthridge, "New Pulp & Paper Wastewater Treatment Technologies from Forest Research", www.maf.govt.nz
- [16] S. Jovanović, Problemi zaštite životne sredine u industriji celuloze, papira, ambalaže i grafičkoj industriji, VIII Međunarodni simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike – Zlatibor, jun 2002.
- [17] D. Žarković, Kontrola kvaliteta vode u industriji celuloze i papira, Magistarski rad, TMF, Beograd, april 2004.
- [18] Leslie Webb, Water and waste trends, Pulp & Paper International, april 2003., 33–36.

SUMMARY

RATIONALIZATION OF WATER CONSUMPTION IN PAPER INDUSTRY

(Professional paper)

Darja Žarković, Milorad Krgović, Ljubinka Rajaković
Viša politehnička škola, Beograd, Tehnološko–metalurški fakultet, Beograd

The subject of this paper was to consider the possibilities of economical paper production with rationalization of water consumption. In accordance with the principles of viable development. The pulp & paper industry has had to face global market needs and strict regulation concerning the environment. The basic motive was to provide consistent and high product quality, which is competitive on the market. The pulp & paper industry is one of the largest consumers and pollutants of natural resources. In that light, the rationalization of raw material, water, energy and chemicals consumption with minimization of environmental impact is essential. The European directive on environmental protection obliges producers of pulp & paper to decrease the volume of wastewater and to increase the efficiency treatment. Pulp and paper industry in Serbia and Montenegro will also be faced with the demands for environmental protection. Numerous examples of water consumption rationalization and improvement of water quality in the pulp & paper industry could be found in different literature sources. It is necessary to increase water system closure and implement up-to-date treatment methods. The possibilities for water consumption rationalization, in a real system the paperboard mill UMKA, were examined.

Key words: Water consumption • Rationalization • Economy • water quality • Environment protection •
Ključne reči: Potrošnja vode • Racionalizacija • Ekonomičnost • Kvalitet • Zaštita životne sredine •