



Tehnološko-metalurški fakultet
Univerziteta u Beogradu
Faculty of Technology and Metallurgy
University of Belgrade



Centar celuložno-papirne, ambalažne i
grafičke industrije Srbije
Center for Pulp, Paper, Packaging and
Graphics in Serbia

XXVI MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM IZ OBLASTI CELULOZE, PAPIRA, AMBALAŽE I GRAFIKE

XXVI INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN THE FIELD OF PULP, PAPER, PACKAGING AND GRAPHICS

Zbornik radova Proceedings

Beograd, 23-24. jun 2025.
Belgrade, June 23rd-24th 2025

Izdavač – Publisher

Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu
Centar celuložno-papirne, ambalažne i grafičke industrije Srbije

Za izdavača –In charge of Publishing

Prof. dr Mirjana Kijevčanin, dekanka

Glavni i odgovorni urednik – Editor-in-chief

Prof. dr Dušan Mijin, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Recenzenti – Reviewers

Dr Milorad Krgović, redovni profesor u penziji, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Nenad Milosavljević, Adj. Prof., Abo Akademi University, Faculty of Science and Engineering, Laboratory of Process and Systems Engineering, Turku, Finland

Dr Đorđe Janačković, redovni profesor Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

(<https://orcid.org/0000-0002-8291-4345>)

Dr Mirjana Kostić, redovni profesor Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

(<https://orcid.org/0000-0001-9925-4884>)

Dr Predrag Živković, vanredni profesor Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

(<https://orcid.org/0000-0002-9268-9495>)

Priprema za štampu – Prepress

Predrag Živković

Tiraž – Impression

100 primeraka

Godina izdavanja – Year of publication

2025.

Štampa – Printed by

TMF, Beograd, RIC grafičkog inženjerstva, Karnegijeva 4, 11000 Beograd

ISBN 978-86-7401-398-4

Svi radovi u ovom Zborniku su licencirani pod – All papers in this Proceedings are licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. (CC BY 4.0)



CIP –Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије

CIP

676(082)

621.798.14(082)

655(082)

МЕЂУНАРОДНИ СИМПОЗИЈУМ ИЗ ОБЛАСТИ ЦЕЛУЛОЗЕ, ПАПИРА, АМБАЛАЖЕ И ГРАФИКЕ (26 ; 2025 ; БЕОГРАД)

Zbornik radova = Proceedings / XXVI međunarodni simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, Beograd, 23-24. jun 2025. = XXVI International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics, Belgrade, June 23rd-24th 2025 ; [glavni i odgovorni urednik, editor-in-chief Dušan Mijin]. - Beograd : Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta, Centar celuložno-papirne, ambalažne i grafičke industrije Srbije, 2025 (Beograd : TMF, RIC grafičkog inženjerstva). - 137 str. : ilustr. ; 30 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7401-398-4

a) Индустија хартије и целулозе --Зборници b) Индустија амбалаже --Зборници v) Графичка индустрија --Зборници

COBISS.SR-ID 170875913

XXVI MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM IZ OBLASTI CELULOZE, PAPIRA, AMBALAŽE I GRAFIKE
XXVI INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN THE FIELD OF PULP, PAPER, PACKING AND GRAPHICS

NAUČNI ODBOR SIMPOZIJUMA – SCIENTIFIC BOARD:

- Prof. Djordje Janackovic, Ph. D., Faculty of Technology and Metallurgy, (TMF) Belgrade, Serbia, chairman
- Prof. Mirjana Kijevcanin, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Predrag Zivkovic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Petar Uskokovic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Nenad Milosavljevic, Ph. D., Faculty of Science and Engineering, Turku, Finland
- Prof. Juha Leimu, Ph. D., Turku University of Applied Sciences, Turku, Finland
- Prof. Paul H. Wilson, Ph. D., TAPPI Pulp & Paper Safety Committee, Norcross, Georgia, USA
- Prof. Valentin I. Popa, Ph. D., Faculty of Chemical Industry, Iasi, Romania
- Prof. Stanka Nedeva, Ph. D., Pulp and Paper Institute, Sofia, Bulgaria
- Prof. Krasimir Savov, Ph. D., Pulp and Paper Institute, Sofia, Bulgaria
- Daven Chamberlain, Ph. D., Paper Industry Technical Association – PITA, Lancashire, United Kingdom
- Prof. Vilko Ziljak, Ph. D., Faculty of Graphic Arts of the University of Zagreb, Zagreb, Croatia
- Prof. Ivana Ziljak Stanimirovic, Ph. D., Faculty of Graphic Arts of the University of Zagreb, Zagreb, Croatia
- Prof. Anastasios E. Politis, Ph. D., University of West Attica and Hellenic Open University, Athens, Greece
- Prof. Melina Kalagasidis Kruscic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Mirjana Kostic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Ivanka Popovic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Zorica Knezevic-Jugovic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Sanja Jevtic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Milos Petrovic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia
- Prof. Goran Jankes, Ph. D., Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia
- Prof. Milan Bebic, Ph. D., Faculty of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia
- Prof. Milos Djukic, Ph. D., Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia
- Petronela Nechita, Ph. D., Dunarea de Jos University of Galati, Galati, Romania
- Marko Jagodic, BSc, DITP-Pulp and Paper Engineers and Technicians Association, Ljubljana, Slovenia
- Prof. Urska Vrabec Brodnjak, Ph. D., Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia
- Prof. Klemen Mozina, Ph. D., Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia
- David Ravnjak, Ph. D., ICP – Pulp and Paper Institute, Ljubljana, Slovenia
- Prof. Hrustem Smailhodzic, Ph. D., Faculty of Technical Studies, Travnik, Bosnia & Herzegovina
- Prof. Sefkija Botonjic, Ph. D., Faculty of Metallurgy and Technology, Zenica, Bosnia & Herzegovina
- Prof. Milorad Krgovic, Ph. D., TMF, Belgrade, Serbia

ORGANIZACIONI ODBOR – ORGANIZATIONAL BOARD:

- **Milorad Krgovic**, Faculty of Technology and Metallurgy (TMF), Belgrade, chairman
- Predrag Zivkovic, TMF, Belgrade
- Marina Krsikapa, Center CPA&G, TMF, Belgrade
- Danijela Osap, Center CPA&G, TMF, Belgrade
- Natasa Govedarica, Chamber of commerce and industry of Serbia, Belgrade
- Ninkola Pejovic, UMKA, Umka
- Sasa Dobric, UMKA, Umka
- Bojan Bilal, SMURFIT WESTROCK BELGRADE, Belgrade
- Ivan Stefanov, SMURFIT WESTROCK BELGRADE, Belgrade
- Djurdja Radivojevic, SMURFIT WESTROCK AVALA ADA, Belgrade
- Nikola Marinkovic, SMURFIT WESTROCK AVALA ADA, Belgrade
- Dinko Buric, The Town of Belisce, Croatia
- Denis Pavic, ASTRABEL, Belisce, Croatia
- Kseni Rudan Vrbljanin, Local Development Agency, Belisce, Croatia
- Mirko Stanic, NATRON HAYAT, Maglaj, Bosnia & Herzegovina
- Zoran Petkovic, KARTONVAL, Belgrade
- Zoran Devic, PROGRES, Belgrade
- Biljana Lazarevic, CASA FORTE, Belgrade
- Tibor Kiss, HUNTHAI LOGISTICS, Budapest, Hungary
- Nenad Milosavljevic, Faculty of Science and Engineering, Turku, Finland
- Aldin Obucina, Faculty of Technical Studies, Travnik, Bosnia & Herzegovina
- Milos Petrovic, TMF, Belgrade
- Darko Radosavljevic, TMF, Belgrade
- Djordje Janackovic, TMF, Belgrade, Belgrade

CONTRIBUTORS – POKROVITELJI

- **MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I INOVACIJA REPUBLIKE SRBIJE, Beograd, Srbija**
- **UDRUŽENJE ZA ŠUMARSTVO, PRERADU DRVETA, INDUSTRIJU NAMEŠTAJA I PAPIRA PRIVREDNE KOMORE SRBIJE, Beograd, Srbija**
- **BTG Instruments GmbH, Wessling, Germany**
- **ERGA d.o.o, Vrpolje, Republika Hrvatska**
- **HONEYWELL d.o.o. Beograd, Srbija**
- **INNOMOTICS d.o.o. Beograd, Srbija**
- **NATRON HAYAT D.D, Maglaj, Bosna i Hercegovina**
- **NOVOS d.o.o, Beograd, Srbija**
- **OMYA International AG, Oftringen, Switzerland**
- **OMYA VENČAC d.o.o, Banja-Arandjelovac, Srbija**
- **SKF Commerce d.o.o, Beograd, Srbija**
- **SMURFIT WESTROCK AVALA ADA d.o.o, Beograd, Srbija**
- **SMURFIT WESTROCK BEOGRAD d.o.o., Beograd, Srbija**
- **SUNNEA OY, CONSULTING &ENGINEERING, Jyskä, Finland**
- **UMKA d.o.o, Umka, Srbija**
- **VALMET Technologies Inc.**

SPONSORS – SPONZORI

- **BVG Bauer-Verfahrenstechnik-GmbH, Gewerbering, Germany**
- **DETO d.o.o, Pančevo, Srbija**
- **FASIL A.D, Arilje, Srbija**
- **GRAFOTEX d.o.o, Banja Luka, Bosna i Hercegovina**
- **KEMIRA CHEMIE GesmbH, Krems, Austria**
- **KEMIRA KTM d.o.o, Ljubljana, Slovenia**
- **O2 PROCESS SOLUTIONS d.o.o, Beograd, Srbija**
- **SHP Celex, a.d, Banja Luka, Bosna i Hercegovina**

**PROGRAM OF THE
XXVI INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN THE FIELD OF PULP,
PAPER, PACKAGING AND GRAPHICS**

Belgrade, PKS, June, 23rd-24th, 2025

**PROGRAM
XXVI MEĐUNARODNOG SIMPOZIJUMA IZ OBLASTI CELULOZE,
PAPIRA, AMBALAŽE I GRAFIKE**

Beograd, PKS, 23-24. jun, 2025.



*Faculty of Technology and
Metallurgy
University of Belgrade*

*Tehnološko-metalurški
fakultet
Univerzitet u Beogradu*



*Center for Pulp, Paper,
Packaging and Graphics
in Serbia*

*Centar celulozno-papirne,
ambalažne i grafičke
industrije Srbije*

Official languages: English and Serbian
Službeni jezici: engleski i srpski

MONDAY, June 23rd
PONEDELJAK, 23.06.2025.

09:00-10:00

Notification of participants and distribution of materials (PKS, Belgrade, Resavska 13-15)
Prijava učesnika i podela materijala (PKS, Beograd, Resavska 13-15)

10:00-10:15

OPENING OF THE XXVI SYMPOSIUM
OTVARANJE XXVI SIMPOZIJUMA

10:15-12:30

TEHNOLOŠKE INOVACIJE I SIROVINE U
CELULOZNOJ I PAPIRNOJ INDUSTRIJI –
TECHNOLOGICAL INNOVATIONS AND RAW
MATERIALS IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Chairman – Predsedavaju:

Miload Krgović, Saša Dobrić, Danijela Ošap

10:15-10:30

Lecture 1 – Predavanje 1

INVESTIGATION OF DILUTE ACID HYDROLYSIS OF BLEACHED PULP TO MCC AND PULP FOR MFC

ISTRAŽIVANJE HIDROLIZE RAZBLAŽENOM KISELINOM IZBELJENE CELULOZE DO MIKROKISTALNE CELULOZE I MODIFIKOVANE CELULOZE ZA MIKROFIBRILNU CELULOZU

Ivaylo Gavrilov, Petya Mileva-Petrova, Stoyko Petrin ^a, Ivo Valchev ^b, Greta Radeva

University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria

10:30-10:45

Lecture 2 – Predavanje 2

CELLULOSE FIBERS OBTAINED FROM ANNUAL PLANTS FOR SHOPPING BAGS

CELULOZNA VLAKNA DOBIJENA IZ JEDNOGODIŠNJIH BILJAKA ZA IZRADU KESA ZA KUPOVINU

Ana Štrucelj, Klemen Možina ^a

¹University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia

10:45-11:00

Lecture 3 – Predavanje 3

UTICAJ KVALITETA REZANJA I PROSIJAVANJA SJEČKE NA DELIGNIFIKACIJU I KVALITET NEBJELJENE ČETINARSKE CELULOZE

INFLUENCE OF THE QUALITY OF CHIPS CUTTING AND SCREENING ON DELIGNIFICATION AND QUALITY OF UNBLEACHED SOFTWOOD PULP

Armina Čamić ¹, Nevres Hajdić ¹, Šefkija Botonjić ², Mirko Stanić ¹

¹ Natron-Hayat d.o.o. Maglaj; Bosna i Hercegovina;

² Univerzitet u Zenici, Fakultet inženjerstva i prirodnih nauka; Bosna i Hercegovina

11:00-11:15

Lecture 4 – Predavanje 4

SMANJENJE POTROŠNJE ŠKROBA U PROIZVODNJI AMBALAŽNOG PAPIRA KORIŠTENJEM MODELA ZA PREDIKCIJU SCT VRIJEDNOSTI

REDUCTION OF STARCH CONSUMPTION IN PACKAGING PAPER PRODUCTION USING SCT VALUE PREDICTION MODEL

Mihael Cikoja

Erga d.o.o., Vrpolje, Croatia

11:15-11:30

Lecture 5 – Predavanje 5

THE ROLE OF PERIODICAL ENERGY AUDITS IN ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF PAPER MACHINES

ULOGA PERIODIČNIH ENERGETSKIH AUDITA U UNAPREĐENJU ENERGETSKE EFIKASNOSTI I ODRŽIVOSTI PAPIRNIH MAŠINA

Nenad Milosavljević ^{1,2}, Mario Milosavljević ²

¹ Abo Akademi University, Faculty of Science and Engineering, Laboratory of Process and Systems Engineering, Turku, Finland; ² Sunnea Oy, Consulting & Engineering, Air Systems, Drying & Runnability of Paper, Board and Tissue Machines, Jyskä, Finland

11:30-11:45

Lecture 6 – Predavanje 6

REZULTATI REKONSTRUKCIJE SUŠENJA PREMAZA U FABRICI KARTONA UMKA

RESULTS OF THE RECONSTRUCTION OF COATING DRYING AT THE UMKA CARDBOARD FACTORY

Milan Mitić, Pavle Milošević

Fabrika kartona Umka, Umka, Srbija

11:45-12:00

Lecture 7 – Predavanje 7

BLEACHING OF DATE PALM TREE LEAVES AND THERMAL MECHANICAL EUCALYPTUS PULP USING A NEW GENERATION OF POLYOXOMETALATE AS CATALYSTS

IZBELJIVANJE LIŠĆA PALME DATULE I TERMOMEHANIČKE PULPE EUKALIPTUSA KORIŠĆENJEM NOVE GENERACIJE POLIOKSOMETALATA KAO KATALIZATORA

Grigore Crăciun, Gheorghe Duțuc, Bogdan Botar ^a, Sergiu Crăciun, Alexandru Botar

SC L&G Consulting SRL, Dej, Romania

12:00-12:30

DISKUSIJA – DISCUSSION

12:30-13:30

PAUZA ZA RUČAK – LUNCH BREAK

13:30-15:30

INDUSTRIAL PROCESSES, STANDARDIZATION, AND SOCIAL RESPONSIBILITY – INDUSTRIJSKI PROCESI, STANDARDIZACIJA I DRUŠTVENA ODGOVORNOST

Chairman – Predsedavaju:

Nenad Milosavljević, Đurđa Radivojević, Nataša Govedarica

13:30-13:45

Lecture 8 – Predavanje 8

RAZVOJ STANDARDIZACIJE U OBLASTI CELULOZNE, PAPIRNE, AMBALAŽNE I GRAFIČKE INDUSTRIJE U SRBIJI: TRENUTNO STANJE, IZAZOVI I PERSPEKTIVE

DEVELOPMENT OF STANDARDIZATION IN THE FIELD OF PULP, PAPER, PACKAGING, AND GRAPHICS IN SERBIA: CURRENT STATE, CHALLENGES AND PERSPECTIVES

Bojana Stanimirović, Branka Tomašević, Mirjana Mirković-Đorđević

Institut za Standardizaciju Srbije, Beograd, Srbija

13:45-14:00**Lecture 9 – Predavanje 9**

PRIMENA I DIMENZIONISANJE HIDROCIKLONA U PAPIRNOJ INDUSTRIJI

APPLICATION AND SIZING OF HYDROCYCLONES IN THE PAPER INDUSTRY

Nikola Tanasić ^{1,a}, Mirjana Stamenić ^{2,b}, Goran Jankes ²¹ Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Srbija;² Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet**14:00-14:15****Lecture 10 – Predavanje 10**

BENEFITI INSTALIRANJA TURBOBLOWERA UMJESTO VAKUUM PUMPI SA VODENIM PRSTENOM NA PAPIR MAŠINI U NATRON HAYATU

BENEFITS OF INSTALLING A TURBOBLOWER INSTEAD OF A WATER RING VACUUM PUMP ON A PAPER MACHINE AT NATRON HAYAT

Edina Husić, Almir Muftić, Ejub Ajan, Mirko Stanić
Natron-Hayat d.o.o. Maglaj, Bosna i Hercegovina**14:15-14:30****Lecture 10 – Predavanje 11**

DEVELOPMENTS, TRENDS AND PROSPECTS IN THE IMPLEMENTATION OF CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY PRACTICES IN THE GREEK GRAPHIC ARTS AND PRINTING INDUSTRY

RAZVOJ, TRENDovi I PERSPEKTIVE U PRIMENI PRAKSI KORPORATIVNE DRUŠTVENE ODGOVORNOSTI U GRAFIČKOJ INDUSTRIJI GRČKE
Thomais Salogianni^{1,2,3} Anastasios Politis^{1,2,3}¹ University of West Attica, Greece; ² GRAPHMEDLAB - The Hellenic Graphic-Media Research Lab, University of West Attica; ³ HELGRAMED - The Hellenic Union of Graphic Arts & Media Technology Engineers, Athens, Greece**14:30-14:45****Lecture 12 – Predavanje 12**

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF BACTERIAL NANOCELLULOSE/POLYVINYLIDENE FLUORIDE DOUBLE-LAYER FILMS

ISPITIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA DVOSLOJNOG FILMA BAKTERIJSKA NANOCELULOZA/POLIVINILIDEN FLUORID

Aleksandra Krstić ¹, Aleksandra Sknepnek ^{2,a}, Danijela Kovačević ³, Miloš Petrović ^{4,b}, Ivan Petronijević ^{5,c}, Aleksandra Janičević ¹, 'Radmila Jančić-Heinemann ^{1,d}, Vesna Radojević ^{1,e}¹ Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia;² Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; ³ Academy of Applied Studies Polytechnic, Belgrade, Serbia; ⁴ Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; ⁵ Faculty of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia**14:45-15:00****Lecture 13 – Predavanje 13**

USKLAĐIVANJE TEHNOLOGIJE I MENTALITETA U PORODIČNIM FIRMAMA PRED GLOBALNIM IZAZOVOM: KOMPARATIVNA ANALIZA GRAFIČKE I PAPIRNE INDUSTRIJE U BOSNI I HERCEGOVINI I ITALIJI

HARMONIZING TECHNOLOGY AND MENTALITY IN FAMILY COMPANIES IN THE FACING OF GLOBAL CHALLENGES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GRAPHIC AND PAPER INDUSTRY IN BOSNIA AND HERZEGOVINA AND ITALY

Jovan Janković

„Grafotex“ d.o.o. Banja Luka, Bosna i Hercegovina

15:00-15:30**DISKUSIJA – DISCUSSION****20:00-****CEREMONIAL DINNER – SVEČANA VEČERA;****Tuesday, June 24th****Utorak, 24. jun 2025.****10:00-12:30****DIGITALIZACIJA, CIRKULARNA EKONOMIJA I ENERGETSKA EFIKASNOST – DIGITALIZATION, CIRCULAR ECONOMY, AND ENERGY EFFICIENCY****Chairman - Predsedavaju:****Đorđe Janačković, Petar Uskoković, Predrag Živković****10:00-10:15****Lecture 14 – Predavanje 14**

COMPOSITE DESIGN FOR THE CIRCULAR ECONOMY: EMBRACING SUSTAINABLE FILLER-CELLULOSE INTERACTIVE BIOPRODUCT REGENERATION

KOMPOZITNI DIZAJN ZA CIRKULARNU EKONOMIJU: PRIHVATANJE ODRŽIVE REGENERACIJE BIOPROIZVODA ZASNOVANIH NA INTERAKCIJI PUNILA I CELULOZE

Patrick Gane^{1,2}¹ Department of Bioproducts and Biosystems, School of Chemical Engineering, Aalto University, Helsinki, Finland;² Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia**10:15-10:30****Lecture 15 – Predavanje 15**

SUSTAINABILITY AND CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS: HOW DO THEY AFFECT THE BUSINESS MODELS OF THE PRINTING INDUSTRY?

ODRŽIVOST I KONCEPTI CIRKULARNE EKONOMIJE: KAKO UTIČU NA POSLOVNE MODELE U ŠTAMPARSKOJ INDUSTRIJI?

Anastasios E. Politis ^{1,2,3}¹ IC - International Circle of Educational Institutes of Graphic-Media Technology and Management; ² HELGRAMED - The Hellenic Union of Graphic Arts and Media Technology Engineer; ³ PackPrint Science - The Hellenic Center for Research and Education initiative**10:30-10:45****Lecture 16 – Predavanje 16**

SMURFIT WESTROCK – „DEKARBONIZACIJA KAO INSPIRACIJA”

SMURFIT WESTROCK – „DECARBONIZATION AS INSPIRATION”

Nikola Marinković

Smurfit Westrock Avala Ada doo Beograd

10:45-11:00**Lecture 17 – Predavanje 17**

MODERNIZACIJA ELEKTROMOTORNih POGONA I UPRAVLJAČKOG SISTEMA POPREČNOG REZAČA VALMET 14,5 U FABRICI KARTONA UMKA

MODERNIZATION OF ELECTRICAL DRIVES AND CONTROL SYSTEM OF CROSSCUTTER VALMET 14,5 AT THE UMKA CARDBOARD MILL

Milan Bebić ¹, Neša Rašić ², Dragomir Stanić ³, Slobodan Đurić ³, Miloš Stanković ³, Saša Dobrić ³

¹ Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija; ² Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva; ³ Fabrika kartona Umka, Umka, Srbija

11:00-11:15 Lecture 18 – Predavanje 18

INNOVATIVE SOLUTIONS FOR ENERGY EFFICIENCY & BALANCED GROWTH FOR BOARD, PAPER AND TISSUE MACHINES

INOVATIVNA REŠENJA ZA ENERGETSKU EFIKASNOST I URAVNOTEŽEN RAST ZA KARTON, PAPIR I TISJU MAŠINE

Tomasz Radziszewski

Valmet

11:15-11:30 Lecture 19 – Predavanje 19

SKF INFINIUM – RESISTANCE EQUALS RELIABILITY – DESIGNED FOR CIRCULAR PERFORMANCE

SKF INFINIUM – OTPORNOST JE POUZDANOST – DIZAJNIRANO ZA CIRKULARNE PERFORMANSE

Marica Ersson

AB SKF, Gothenburg, Sweden

11:30-11:45 Lecture 20 – Predavanje 20

BIG DATA: AUTONOMOUS PROCESSES WITH ONLINE ANALYZERS

VELIKI PODACI: AUTONOMNI PROCESI SA ONLINE ANALIZATORIMA

Mr. Markus Claaßen

BTG Instruments GmbH / Germany

11:45-12:00 Lecture 21 – Predavanje 21

UŠTEDA ELEKTRIČNE ENERGIJE U PAPIRNOJ INDUSTRIJI

ENERGY SAVING IN THE PAPER INDUSTRY

Miroslav Ribarić

Innomotics d.o.o., Beograd

12:00-12:30

DISKUSIJA – DISCUSSION

12:30-13:30

PAUZA ZA RUČAK – LUNCH BREAK

13:30-15:00

ROUND TABLE – OKRUGLI STO

Moderators: M. Krgović, P. Uskoković, Đ.

Janačković, N. Govedarica, N. Milosavljević

KRATKO PREDSTAVLJANJE SVIH UČESNIKA – BRIEF INTRODUCTION OF ALL PARTICIPANTS

STANJE U CELULOZNO – PAPIRNOJ, AMBALAŽNOJ I GRAFIČKOJ INDUSTRIJI – SITUATION IN PULP, PAPER, PACKAGING AND GRAPHIC INDUSTRY

UMREŽAVANJE I SARADNJA U OVOJ GRANI INDUSTRIJE – NETWORKING AND COOPERATION IN THIS BRANCH OF INDUSTRY

EDUKACIJA I RAZVOJ KADROVA – EDUCATION AND STAFF DEVELOPMENT

SADRŽAJ – CONTENT

INVESTIGATION OF DILUTE ACID HYDROLYSIS OF BLEACHED PULP TO MCC AND PULP FOR MFC	11
ISTRAŽIVANJE HIDROLIZE RAZBLAŽENOM KISELINOM IZBELJENE CELULOZE DO MIKROKRISTALNE CELULOZE I MODIFIKOVANE CELULOZE ZA MIKROFIBRILNU CELULOZU	11
IVAYLO GAVRILOV, PETYA MILEVA-PETROVA, STOYKO PETRIN ^A , IVO VALCHEV ^B , GRETA RADEVA	11
University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria	11
CELLULOSE FIBERS OBTAINED FROM ANNUAL PLANTS FOR SHOPPING BAGS	19
CELULOZNA VLAKNA DOBIJENA IZ JEDNOGODIŠNJIH BILJAKA ZA IZRADU KESA ZA KUPOVINU	19
ANA ŠTRUCELJ, KLEMEN MOŽINA ^A	19
¹ University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia	19
UTICAJ KVALITETA REZANJA I PROSIJAVANJA SJEČKE NA DELIGNIFIKACIJU I KVALITET NEBJELJENE ČETINARSKÉ CELULOZE	27
INFLUENCE OF THE QUALITY OF CHIPS CUTTING AND SCREENING ON DELIGNIFICATION AND QUALITY OF UNBLEACHED SOFTWOOD PULP	27
ARMINA ČAMIĆ ¹ , NEVRES HAJDIĆ ¹ , ŠEFKIJA BOTONJIĆ ² , MIRKO STANIĆ ¹	27
¹ Natron-Hayat d.o.o. Maglaj; Bosna i Hercegovina; ² Univerzitet u Zenici, Fakultet inženjerstva i prirodnih nauka; Bosna i Hercegovina	27
SMANJENJE POTROŠNJE ŠKROBA U PROIZVODNJI AMBALAŽNOG PAPIRA KORIŠTENJEM MODELA ZA PREDIKCIJU SCT VRIJEDNOSTI	37
REDUCTION OF STARCH CONSUMPTION IN PACKAGING PAPER PRODUCTION USING SCT VALUE PREDICTION MODEL	37
MIHAEL CIKOJA	37
Erga d.o.o., Vrpolje, Croatia	37
THE ROLE OF PERIODICAL ENERGY AUDITS IN ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF PAPER MACHINES	45
ULOGA PERIODIČNIH ENERGETSKIH AUDITA U UNAPREĐENJU ENERGETSKE EFIKASNOSTI I ODRŽIVOSTI PAPIRNIH MAŠINA	45
NENAD MILOSAVLJEVIĆ ^{1,2} , MARIO MILOSAVLJEVIĆ ²	45
¹ Abo Akademi University, Faculty of Science and Engineering, Laboratory of Process and Systems Engineering, Turku, Finland;	
² Sunnea Oy, Consulting & Engineering, Air Systems, Drying & Runnability of Paper, Board and Tissue Machines, Jyskä, Finland	45
REZULTATI REKONSTRUKCIJE SUŠENJA PREMAZA U FABRICI KARTONA UMKA	57
RESULTS OF THE RECONSTRUCTION OF COATING DRYING AT THE UMKA CARDBOARD FACTORY	57
MILAN MITIĆ, PAVLE MILOŠEVIĆ	57
Fabrika kartona Umka, Umka, Srbija	57
BLEACHING OF DATE PALM TREE LEAVES AND THERMAL MECHANICAL EUCALYPTUS PULP USING A NEW GENERATION OF POLYOXOMETALATE AS CATALYSTS	65
IZBELJIVANJE LIŠĆA PALME DATULE I TERMOMEHANIČKE PULPE EUKALIPTUSA KORIŠĆENJEM NOVE GENERACIJE POLIOKSOMETALATA KAO KATALIZATORA	65
GRIGORE CRĂCIUN, GHEORGHE DUȚUC, BOGDAN BOTAR ^A , SERGIU CRĂCIUN, ALEXANDRU BOTAR	65
SC L&G Consulting SRL, Dej, Romania	65
RAZVOJ STANDARDIZACIJE U OBLASTI CELULOZNE, PAPIRNE, AMBALAŽNE I GRAFIČKE INDUSTRIJE U SRBIJI: TRENUTNO STANJE, IZAZOVI I PERSPEKTIVE	71
DEVELOPMENT OF STANDARDIZATION IN THE FIELD OF PULP, PAPER, PACKAGING, AND GRAPHICS IN SERBIA: CURRENT STATE, CHALLENGES AND PERSPECTIVES	71
BOJANA STANIMIROVIĆ, BRANKA TOMAŠEVIĆ, MIRJANA MIRKOVIĆ-ĐORĐEVIĆ	71
Institut za Standardizaciju Srbije, Beograd, Srbija	71
PRIMENA I DIMENZIONISANJE HIDROCIKLONA U PAPIRNOJ INDUSTRIJI	79
APPLICATION AND SIZING OF HYDROCYCLONES IN THE PAPER INDUSTRY	79
NIKOLA TANASIĆ ^{1A} , MIRJANA STAMENIĆ ^{2B} , GORAN JANKES ²	79
¹ Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Srbija; ² Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet	79
BENEFITI INSTALIRANJA TURBOBLOWERA UMJESTO VAKUUM PUMPI SA VODENIM PRSTENOM NA PAPIR MAŠINI U NATRON HAYATU	85
BENEFITS OF INSTALLING A TURBOBLOWER INSTEAD OF A WATER RING VACUUM PUMP ON A PAPER MACHINE AT NATRON HAYAT	85
EDINA HUSIĆ, ALMIR MUFTIĆ, EJUB AJAN, MIRKO STANIĆ	85
Natron-Hayat d.o.o. Maglaj, Bosna i Hercegovina	85
DEVELOPMENTS, TRENDS AND PROSPECTS IN THE IMPLEMENTATION OF CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY PRACTICES IN THE GREEK GRAPHIC ARTS AND PRINTING INDUSTRY	91
RAZVOJ, TRENDOVI I PERSPEKTIVE U PRIMENI PRAKSI KORPORATIVNE DRUŠTVENE ODGOVORNOSTI U GRAFIČKOJ INDUSTRIJI GRČKE	91
THOMAS SALOGIANNI ^{1,2,3} ANASTASIOS POLITIS ^{1,2,3}	91
¹ University of West Attica, Greece; ² GRAPHMEDLAB - The Hellenic Graphic-Media Research Lab, University of West Attica;	
³ HELGRAMED - The Hellenic Union of Graphic Arts & Media Technology Engineers, Athens, Greece	91
INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF BACTERIAL NANOCELLULOSE/POLYVINYLIDENE FLUORIDE DOUBLE-LAYER FILMS	99
ISPITIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA DVOSLOJNOG FILMA BAKTERIJSKA NANOCELULOZA/POLIVINILIDEN FLUORID	99

ALEKSANDRA KRSTIĆ ¹ , ALEKSANDRA SKNEPNEK ^{2,A} , DANIJELA KOVAČEVIĆ ³ , MILOŠ PETROVIĆ ^{4,B} , IVAN PETRONIJEVIĆ ^{5,C} , ALEKSANDRA JANIČIJEVIĆ ³ , RADMILA JANČIĆ-HEINEMANN ^{1,D} , VESNA RADOJEVIĆ ^{1,E}	99
¹ Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia; ² Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; ³ Academy of Applied Studies Polytechnic, Belgrade, Serbia; ⁴ Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; ⁵ Faculty of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia	99
USKLAĐIVANJE TEHNOLOGIJE I MENTALITETA U PORODIČNIM FIRMAMA PRED GLOBALNIM IZAZOVOM: KOMPARATIVNA ANALIZA GRAFIČKE I PAPIRNE INDUSTRIJE U BOSNI I HERCEGOVINI I ITALIJI	107
HARMONIZING TECHNOLOGY AND MENTALITY IN FAMILY COMPANIES IN THE FACING OF GLOBAL CHALLENGES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GRAPHIC AND PAPER INDUSTRY IN BOSNIA AND HERZEGOVINA AND ITALY	107
JOVAN JANKOVIĆ	107
„Grafotex“ d.o.o. Banja Luka, Bosna i Hercegovina	107
COMPOSITE DESIGN FOR THE CIRCULAR ECONOMY: EMBRACING SUSTAINABLE FILLER-CELLULOSE INTERACTIVE BIOPRODUCT REGENERATION	117
KOMPOZITNI DIZAJN ZA CIRKULARNU EKONOMIJU: PRIHVATANJE ODRŽIVE REGENERACIJE BIOPROIZVODA ZASNOVANIH NA INTERAKCIJI PUNILA I CELULOZE	117
PATRICK GANE ^{1,2}	117
¹ Department of Bioproducts and Biosystems, School of Chemical Engineering, Aalto University, Helsinki, Finland; ² Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia	117
SUSTAINABILITY AND CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS: HOW DO THEY AFFECT THE BUSINESS MODELS OF THE PRINTING INDUSTRY?	119
ODRŽIVOST I KONCEPTI CIRKULARNE EKONOMIJE: KAKO UTIČU NA POSLOVNE MODELE U ŠTAMPARSKOJ INDUSTRIJI?	119
ANASTASIOS E. POLITIS ^{1,2,3}	119
¹ IC - International Circle of Educational Institutes of Graphic-Media Technology and Management; ² HELGRAMED - the Hellenic Union of Graphic Arts and Media Technology Engineer; ³ PackPrint Science - the Hellenic Center for Research and Education initiative	119
SMURFIT WESTROCK – „DEKARBONIZACIJA KAO INSPIRACIJA“	121
SMURFIT WESTROCK – „DECARBONIZATION AS INSPIRATION“	121
NIKOLA MARINKOVIĆ	121
Smurfit Westrock Avala Ada doo Beograd	121
MODERNIZACIJA ELEKTROMOTORNIH POGONA I UPRAVLJAČKOG SISTEMA POPREČNOG REZAČA VALMET 14,5 U FABRICI KARTONA UMKA	123
MODERNIZATION OF ELECTRICAL DRIVES AND CONTROL SYSTEM OF CROSSCUTTER VALMET 14,5 AT THE UMKA CARDBOARD MILL	123
MILAN BEBIĆ ¹ , NEŠA RAŠIĆ ² , DRAGOMIR STANIĆ ³ , SLOBODAN ĐURIĆ ³ , MILOŠ STANKOVIĆ ³ , SAŠA DOBRIĆ ³	123
¹ Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija; ² Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva; ³ Fabrika kartona Umka, Umka, Srbija	123
INNOVATIVE SOLUTIONS FOR ENERGY EFFICIENCY & BALANCED GROWTH FOR BOARD, PAPER AND TISSUE MACHINES	131
INOVATIVNA REŠENJA ZA ENERGETSKU EFIKASNOST I URAVNOTEŽEN RAST ZA KARTON, PAPIR I TISJU MAŠINE	131
TOMASZ RADZISZEWSKI	131
Valmet	131
SKF INFINIUM – RESISTANCE EQUALS RELIABILITY – DESIGNED FOR CIRCULAR PERFORMANCE	133
SKF INFINIUM – OTPORNOST JE POUZDANOST – DIZAJNIRANO ZA CIRKULARNE PERFORMANSE	133
MARICA ERSSON	133
AB SKF, Gothenburg, Sweden	133
BIG DATA: AUTONOMOUS PROCESSES WITH ONLINE ANALYZERS	135
VELIKI PODACI: AUTONOMNI PROCESI SA ONLINE ANALIZATORIMA	135
MR. MARKUS CLAAßEN	135
BTG Instruments GmbH / Germany	135
UŠTEDA ELEKTRIČNE ENERGIJE U PAPIRNOJ INDUSTRIJI	137
ENERGY SSAVINGS IN THE PAPER INDUSTRY	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
MIROSLAV RIBARIĆ	137
Innomotics d.o.o., Beograd	137

INVESTIGATION OF DILUTE ACID HYDROLYSIS OF BLEACHED PULP TO MCC AND PULP FOR MFC

ISTRAŽIVANJE HIDROLIZE RAZBLAŽENOM KISELINOM IZBELJENE CELULOZE DO MIKROKRISTALNE CELULOZE I MODIFIKOVANE CELULOZE ZA MIKROFIBRILNU CELULOZU

Ivaylo Gavrilov, Petya Mileva-Petrova, Stoyko Petrin ^a, Ivo Valchev ^b, Greta Radeva
University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria

^a <https://orcid.org/0000-0001-8347-7039>

^b <https://orcid.org/0009-0000-5536-0802>

Abstract

Microcrystalline cellulose (MCC) is a powder-like multifunctional product with wide-spread and diverse applications, especially in the food, pharmaceutical and cosmetic industries. This study investigates mild dilute acid hydrolysis of bleached hardwood pulp to MCC and to modified pulp for microfibrillated cellulose (MFC). The obtained temperature-time and concentration dependences show that for the production of MCC with degree of polymerization (DP) according to the European Pharmacopoeia, the temperature of the sulfuric acid hydrolysis process should be 130°C and higher. Modified cellulose with a DP higher than 350 is obtained at a hydrolysis temperature of 120°C and a sulfuric acid content of up to 2%. MFC obtained from acid hydrolysis modified cellulose was a stable, flowable and sprayable dispersion.

Keywords: microcrystalline cellulose, acid hydrolysis, microfibrillated cellulose

Izvod

Mikrokristalna celuloza (MCC) je praškasti, multifunkcionalni proizvod sa širokom i raznovrsnom primenom, naročito u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Ova studija ispituje blagu hidrolizu izbeljene celuloze liščara razblaženom kiselinom do MCC i do modifikovane celuloze za mikrofibrilnu celulozu (MFC). Dobijene temperaturno-vremenske i koncentracione zavisnosti pokazuju da, za dobijanje MCC sa stepenom polimerizacije (DP) u skladu sa Evropskom farmakopejom, temperatura procesa hidrolize sumpornom kiselinom treba da bude 130°C ili viša. Modifikovana celuloza sa DP većim od 350 dobija se na temperaturi hidrolize od 120°C i pri sadržaju sumporne kiseline do 2%. MFC dobijena iz modifikovane celuloze tretirane kiselinom bila je stabilna, protočna i pogodna za raspršivanje.

Ključne reči: mikrokristalna celuloza, hidroliza kiselinom, mikrofibrilna celuloza

1. INTRODUCTION

Microcrystalline cellulose (MCC) is a partially depolymerized cellulose, which according to the European Pharmacopoeia has a degree of polymerization of less than 350 [1]. Due to the properties resulting from its chemical nature, MCC is a multifunctional product with wide-spread and diverse applications, especially in the food, pharmaceutical and cosmetic industries [2].

Microcrystalline cellulose is produced in industry, only from bleached dissolving pulp, which can be softwood, hardwood, cotton, straw, etc. The main advantage of dissolving pulp is its high purity, and the disadvantage is its high price.

The classic process for MCC production, pioneered by Battista [3] is acid hydrolysis in a 2.5 normal solution of hydrochloric acid, followed by mechanical treatment. Toshkov et al. developed a method using 1% sulfuric acid solution as hydrolysing medium and obtained a high yield, which decreased the aggregation by optimizing the pulping process [4]. Ha and Landi used optimized steam explosion to reduce the cost of the process, while maintaining or improving the quality of MCC [5]. According to the AaltoCell™ process, microcrystalline cellulose can be effectively produced from paper grade pulp by sulfuric acid hydrolysis at a high consistency of at least 8% and temperature of at least 80 °C, and the manufacturing process can be integrated into a kraft pulp mill [6].

Our research group has been working hard for several years in the field of obtaining MCC from bleached paper grade pulp. Technology has been developed for obtaining MCC by hydrolysis with dilute sulfuric acid in two stages, which allows the production of microcrystalline cellulose with high brightness, better particle uniformity and a desirable degree of polymerisation, from hardwood bleached kraft pulp [7]. Cleaning effects and increasing pulp brightness have been established, in the initial step of acid hydrolysis due to the dissolution of the residual chromophores absorbed on the xylan, and in the second hydrolysis stage due to the removal of the absorbed humins. A method for producing bleached microcrystalline cellulose from unbleached cellulose has also been developed, with the main advantage of efficient bleaching with significant chemicals saving [8].

The commonly used MCC products have an average particle size of 40 - 60 μm . The highest particle size of available MCC products is 250 μm . Products with a size of more than 100 μm are much more expensive, due to the difficulty in achieving the required degree of polymerisation.

MCC is found to be also a suitable raw material in the manufacture of microfibrillated cellulose (MFC) [9, 10]. Considerable strength improvements have been gained by adding MFC to paper, composite structures, or other structures [11,12]

The aim of the study is to investigate the temperature-time and concentration dependences of mild dilute acid hydrolysis of bleached pulp to microcrystalline cellulose and to modified pulp for microfibrillated cellulose.

2. EXPERIMENTAL

The experimental studies were carried out with bleached hardwood kraft pulp delivered by "Svilocel" AD, Bulgaria, which has been previously disintegrated and dehydrated.

The sulfuric acid hydrolysis was performed in 1L stainless laboratory autoclaves at the following conditions: mass concentration of pulp 12,5%, charge of acid 1%, 1.5% and 2%, temperature 120°C, 130°C and 140°C and reaction time 40 to 120 minutes. The process was stopped by cooling of autoclaves.

The obtained cellulose was washed and filtered through a filter with a pore size 2 – 3 μm . The filtrate was analyzed by a Dionex HPLC system according to NREL Technical Report (NREL/TP-510-42623).

The cellulose yield was determined by weight. Microscopic analysis was performed and microscopic photographs were taken of the obtained samples with BOECO light microscope equipped with a OPTICA Pro 5 digital camera.

The cellulose degree of polymerisation was determined according to the standard used by SCAN-CM 15:88 standard, Mark-Hownik equation, as well as the Japanese Pharmacopoeia standard used by JRS Pharma.

The particle size and distribution were determined with the Fritsch Analysette 22 Micro Tec Plus laser analyzer in "Svilocel" AD – Bulgaria.

The Scanning Electron Microscope (SEM) pictures were obtained Zeiss apparatus Model - EVO 10 and Software - SmartSEM Version 7.05 with Service Pack 3.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The kinetic studies of acid hydrolysis at temperatures of 120°C, 130°C and 140°C and sulfuric acid charge of 1%, 1.5% and 2% show that in the time interval 40 - 120 min, the degree of polymerization DP of the cellulose is in the range 265 – 615, as for DP lower than 350, temperatures of 130° and 140° are required (fig. 1).

As can be seen from the results presented in Table 1, at process durations of 60 and 120 min MCC with an average particle size of 32 to 70 μm is obtained. At hydrolysis temperatures of 120°C and 130°C and durations of 40 and 60 min the Fritsch Analysette 22 Micro Tec Plus laser analyzer does not report real results. A modified product - hydrolyzed cellulose is obtained.

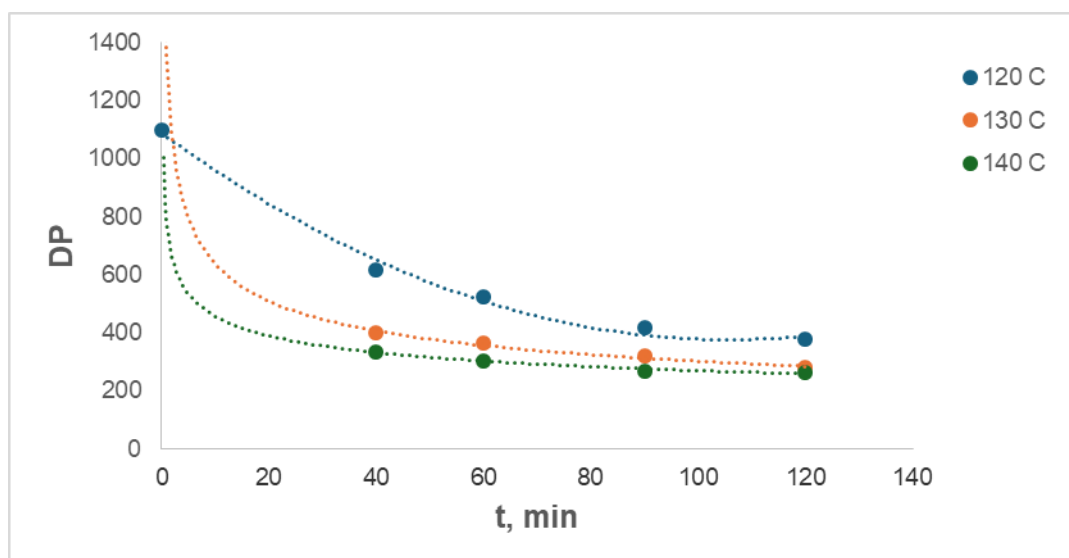


Figure 1: Kinetic curve of DP at different temperature and sulfuric acid charge 2%

Slika 1: Kinetička kriva DP-a na različitim temperaturama pri sadržaju sumporne kiseline od 2%

Table 1: Average particle size at different temperature and acid charge 2 %

Tabela 1: Prosečna veličina čestica na različitim temperaturama pri sadržaju kiseline od 2%

t, min	Average particle size on MCC, μm		
	T=120°C	T=130°C	T=140°C
40	-	-	45.0
60	-	-	39.8
90	69.4	42.0	36.3
120	58.7	41.8	32.7

To optimize the process of modified cellulose producing, the kinetic studies are led under milder acid hydrolysis conditions 120°C and 130°C and acid concentration 1% and 1.5%. Under these conditions, the yield remains high, the dissolved xylose is minimal, and furfural formation is not observed (Fig. 2, Table 2).

Table 2: Yields of modified cellulose at different temperature and acid charge

Tabela 2: Prinosi modifikovane celuloze na različitim temperaturama i sadržaju kiseline

t, min	Yields of modified cellulose, %			
	T=120°C, 1%	T=120°C, 1,5%	T=130°C, 1%	T=130°C, 1,5%
40	>99.0	>98.5	>98.5	>98.0
60	>98.5	>98.0	97.3	97.0
90	>98.0	97.3	96.7	96.5
120	97.5	97.0	96.5	96.0

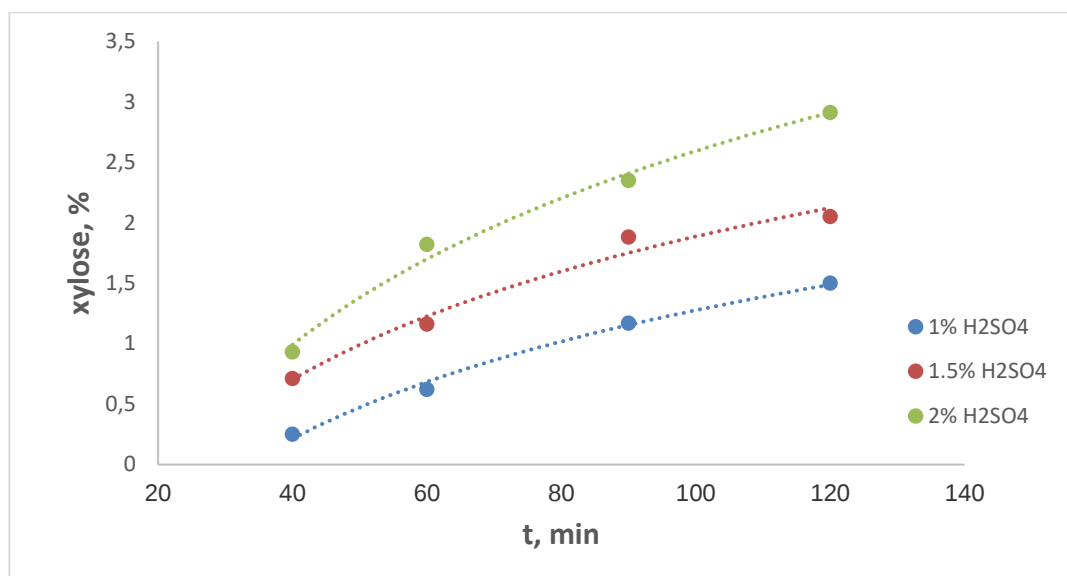


Figure 2: Influence of acid charge and hydrolysis duration on xylose content

Slika 2: Uticaj sadržaja kiseline i trajanja hidrolize na sadržaj ksiloze

The microscopic analysis performed shows fiber cutting only in the samples with a duration of acid hydrolysis of 120 min (Fig. 3).

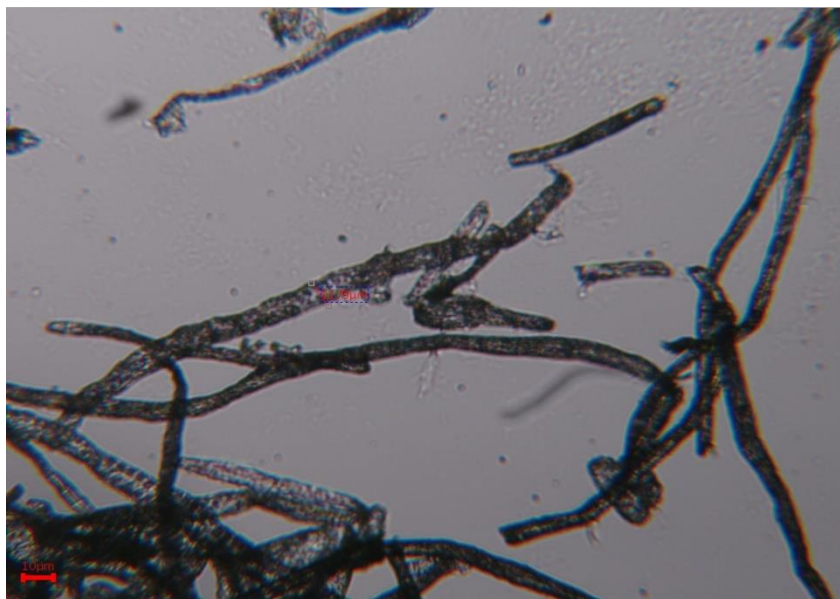


Figure 3: Picture of obtained modified cellulose after hydrolysis at 130°C with acid charge 1% and reaction time 120 m

Slika 3: Izgled dobijene modifikovane celuloze nakon hidrolize na 130°C, pri sadržaju kiseline od 1% i vremenu reakcije od 120 minuta

At a hydrolysis temperature of 120°C, in a time interval of 40 - 120 min and charge of sulfuric acid up to 2%, DP of modified cellulose was higher than 350 (Fig. 4).

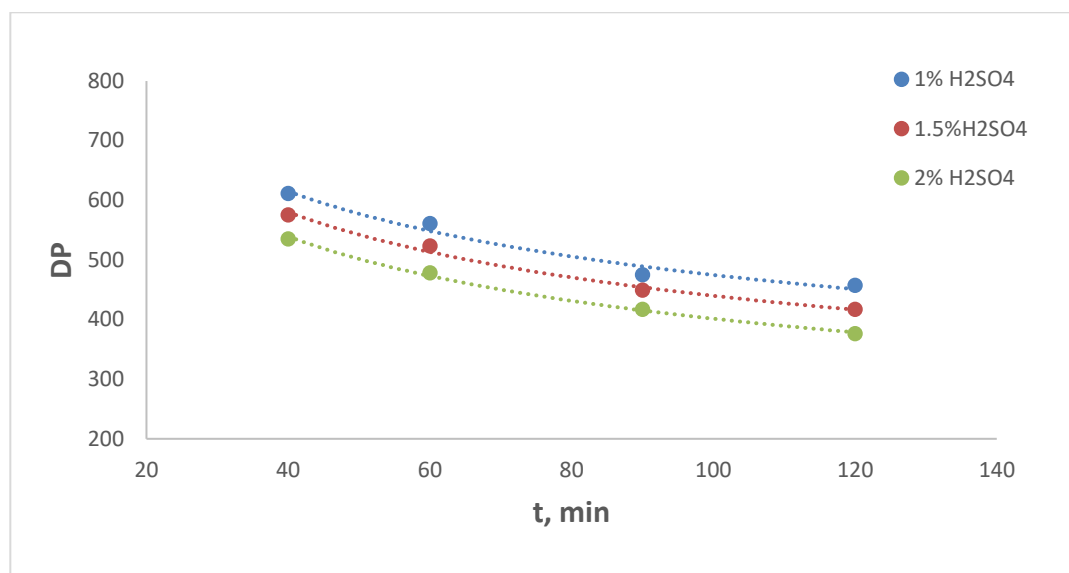


Figure 4: Kinetic curve of DP at different sulfuric acid charge at temperature 120°C

Slika 4: Kinetička kriva DP pri različitim sadržajima sumporne kiseline na temperaturi od 120°C

It is also being studied how this modified cellulose works as feedstock for MFC production. MFC is produced with laboratory homogenizer equipment (GEA Xstream Lab Homogenizer 2000) using 1200 bar processing pressure. The microscopic analysis shows that higher part of the like MCC materials, with average particle size of 46.6µm are converted to fibril-form MFC (Fig. 5).

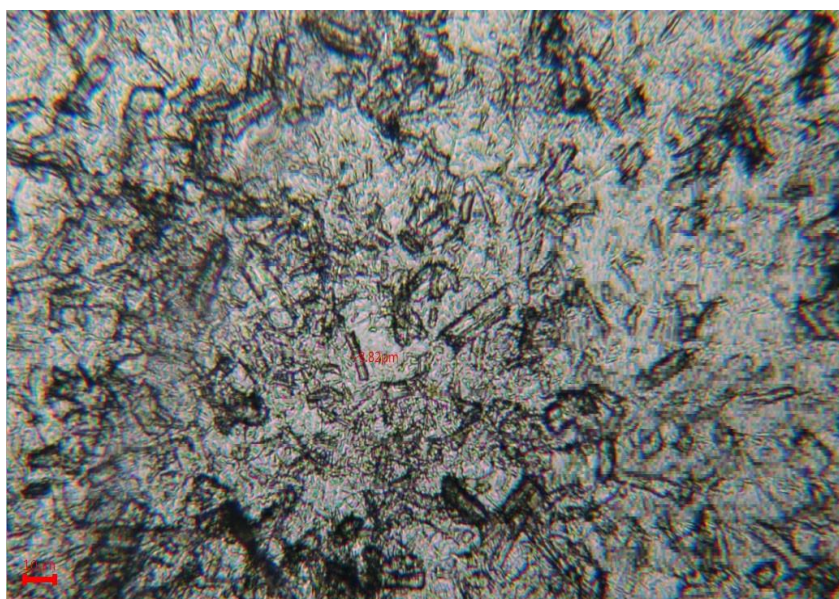


Figure 5: Picture of the modified cellulose after homogenization

Slika 5: Izgled modifikovane celuloze nakon homogenizacije

Based on SEM micrographs thin fibrils from 1 to 10µm are observed (Fig. 6). The produced 1% microfibril suspension is a stable dispersion that is flowable and sprayable. A semi-transparent film is obtained upon drying.

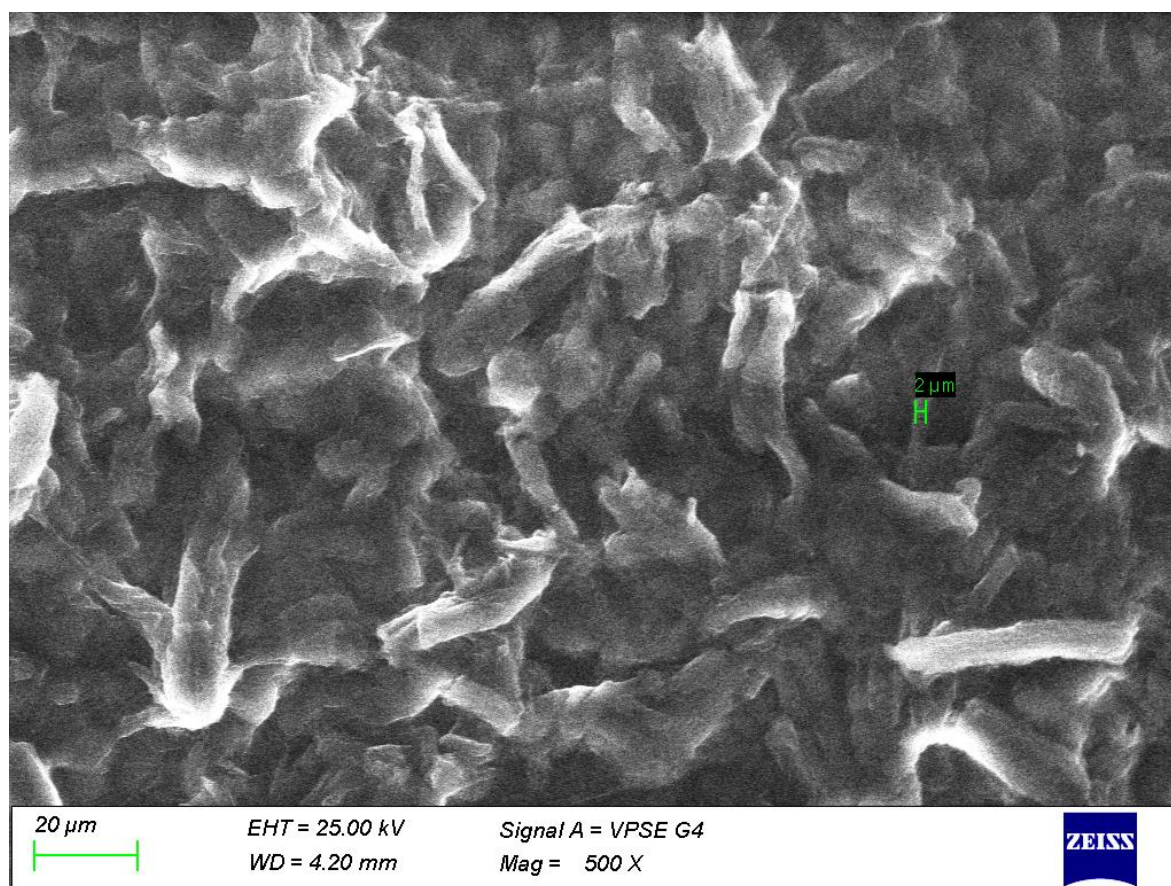


Figure 6: SEM picture of the modified cellulose after homogenization
 Slika 6: SEM slika modificovane celuloze nakon homogenizacije

4. CONCLUSIONS

The results of this study show that for the MCC production of with a DP of less than 350, the temperature of the dilute sulfuric acid hydrolysis of bleached hardwood pulp should be 130°C and higher.

At a hydrolysis temperature of 120°C and a sulfuric acid content of up to 2%, only modified cellulose is obtained. Under these conditions, the yield remains high, and dissolution of xylose is minimal.

It is established that the modified cellulose obtained by acid hydrolysis is a suitable raw material for production of microfibrillated cellulose. A microfibril suspension can be produced as a stable, flowable and sprayable dispersion.

4. ZAKLJUČCI

Rezultati ove studije pokazuju da za proizvodnju MCC-a sa stepenom polimerizacije (DP) manjim od 350, temperatura hidrolize razblaženom sumpornom kiselinom izbeljene lišćarske celuloze treba da bude 130°C ili viša.

Na temperaturi hidrolize od 120°C i sadržaju sumporne kiseline do 2%, dobija se samo modificovana celuloza. Pod ovim uslovima, prinos ostaje visok, a rastvaranje ksiloze je minimalno.

Utvrđeno je da je modificovana celuloza dobijena kiselom hidrolizom pogodna sirovina za proizvodnju mikrofibrilne celuloze. Moguće je proizvesti mikrofibrilnu suspenziju kao stabilnu disperziju, protočnu i pogodnu za raspršivanje.

Acknowledgements:

This research is supported by the Bulgarian Ministry of Education and Science under the National Program "Young Scientists and Postdoctoral Students-2"

References

- [1] European Pharmacopoeia (Ph. Eur.), 8.0, pp. 1824-1828 (07/2013)
- [2] M. Krstic, Z. Maksimovic, S. Ibric, T. Bakic, J. Prodanovic et al., Lignocellulosic biomass as a source of microcrystalline cellulose – chemical and technological characterization and future perspectives, *Cellulose Chem. Technol.*, 52, 577 (2018), [http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8\(2018\)/Contents.pdf](http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8(2018)/Contents.pdf)
- [3] A. O. Battista and P. A. Smith, U.S. Patent 2,978,446 (1961), <https://patents.google.com/patent/US2978446A>
- [4] T. S. Toshkov, N. R. Gospodinov and E. P. Vidimski, U.S. Patent 3,954,727 (1976), <https://patents.google.com/patent/US3954727>
- [5] E. Y. W. Ha and C. D. Landi, U.S. Patent 5,769,934 (1998), <https://patents.google.com/patent/US5769934A>
- [6] O. Dahl, K. Vanhatalo and K. Parviainen, U.S. Patent 9,469,695 B2 (2016), <https://patents.google.com/patent/US9469695B2/>
- [7] EP 3710487B1, Method for production of microcrystalline cellulose, Applicant Svilosa AD, Inventors: I. V. Valchev, K. B. D, E. P. Vidimsky, S. A. Petrin, N. A. Yavorov, 23.10.2024, Bulletin 2024/43. <https://patents.google.com/patent/EP3710487B1/en>
- [8] Издаден патент № 67533 B1, Метод за получаване на избелена микрокристална целулоза от неизбелена целулоза, И. Вълчев, К. Дачев, Н. Яворов, от 15.06.2023. https://portal.bpo.bg/web/quest/bpo_online/-/bpo/patent-search
- [9] K. Vanhatalo, T. Lundin, A. Koskimäki, M. Lillandt, O. Dahl, Microcrystalline cellulose property–structure effects in high-pressure fluidization: microfibril characteristics. *Journal of Materials Science* 51(12), 6019–6034, (2016)
- [10] A. Lähdeniemi, A. Knuts and O. Dahl, "Manufacturing of microfibrillated cellulose from never-dried microcrystalline cellulose using Masuko grinder," *BioResources* 19(4), 9375–9395, (2024).
- [11] Ø. Eriksen, K. Syverud, Ø. Gregersen, The use of microfibrillated cellulose produced from kraft pulp as strength enhancer in TMP paper. *Nord Pulp Paper Res J* 23, 299-304, (2008)
- [12] T. Taipale, M. Österberg, A. Nykänen, J. Ruokolainen, J. Laine, Effect of microfibrillated cellulose and fines on the drainage of kraft pulp suspension and paper strength. *Cellulose* 17, 1005-1020, (2010)

Corresponding author:

Ivaylo Gavrilov

University of Chemical Technology and Metallurgy

Sofia

Bulgaria

igavrilov@uctm.edu

CELLULOSE FIBERS OBTAINED FROM ANNUAL PLANTS FOR SHOPPING BAGS

CELULOZNA VLAKNA DOBIJENA IZ JEDNOGODIŠNJIH BILJAKA ZA IZRADU KESA ZA KUPOVINU

Ana Štrucelj, Klemen Možina ^a

¹University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia

^a(<https://orcid.org/0000-0002-9234-7612>)

Abstract

*Durable paper is essential for the production of durable paper bags. Although there is sufficient wood available in Europe, the technology for obtaining cellulose fibers from annual plants is also of great interest to inventors and manufacturers of cellulose fibers. The advantages of annual plants are easier delignification, lower water consumption and the use of agricultural by-products that would otherwise have to be disposed of in other ways. The main disadvantage of obtaining cellulose fibers from annual plants is that the plants are only available at certain times of the year, which requires large storage capacities. We compared three types of paper produced in Europe that are used to make paper bags. The first paper sample contained only primary wood cellulose fibers, the second sample contained fibers from grass, wood and secondary fibers and the third sample contained cellulose fibers from fallen leaves and secondary cellulose. By comparing the physical **and** mechanical properties (tear strength, burst strength, tensile strength, sound propagation speed), we wanted to determine whether paper made from tested annual plant fibers could replace paper made from wood cellulose in the production of paper bags. We assumed that paper made from wood cellulose would be more resistant than others because the wood fibers are longer and therefore improve the physical-mechanical strength of the paper. We were able to confirm this hypothesis, as the paper with primary wood pulp performed better in all measurements except for tear strength, where the grass and wood fiber paper performed better. The paper containing no wood cellulose fibers performed the worst of all three papers tested. Even though the production of paper from tested/investigated annual plant fibers is a welcome innovation, it unfortunately cannot yet replace wood cellulose paper.*

Keywords: paper bags, cellulose, annual plants, physical-mechanical properties.

Izvod

Izdržljiv papir je ključan za proizvodnju čvrstih papirnih kesa. Iako u Evropi postoji dovoljno drveta, tehnologija dobijanja celuloznih vlakana iz jednogodišnjih biljaka takođe izaziva veliko interesovanje među pronalazačima i proizvođačima celuloznih vlakana. Prednosti jednogodišnjih biljaka su lakša delignifikacija, manja potrošnja vode i iskorišćavanje poljoprivrednih nusproizvoda koji bi inače morali biti zbrinuti na druge načine. Glavni nedostatak dobijanja celuloznih vlakana iz jednogodišnjih biljaka jeste njihova sezonska dostupnost, što zahteva velike skladišne kapacitete. Uporedili smo tri vrste papira proizvedene u Evropi koje se koriste za izradu papirnih kesa. Prvi uzorak sadržao je samo primarna celulozna vlakna iz drveta, drugi uzorak je sadržao vlakna iz trave, drveta i sekundarna vlakna, dok je treći uzorak sadržao celulozna vlakna iz opalog lišća i sekundarne celuloze. Upoređivanjem fizičkih i mehaničkih osobina (otpornost na cepanje, otpornost na pucanje, zatezna čvrstoća, brzina širenja zvuka), želeli smo da utvrdimo da li papir napravljen od testiranih vlakana jednogodišnjih biljaka može zameniti papir od drvene celuloze u proizvodnji papirnih kesa. Pretpostavili smo da će papir od drvene celuloze biti otporniji od ostalih, jer su drvena vlakna duža i samim tim poboljšavaju fizičko-mehaničke osobine papira. Ova hipoteza je potvrđena, jer je papir sa primarnom drvenom celulozom pokazao najbolje rezultate u svim merenjima, osim u otpornosti na cepanje, gde se bolje pokazao papir od trave i drvenih vlakana. Papir koji nije sadržao drvena celulozna vlakna imao je najslabije performanse od sva tri testirana uzorka. Iako je proizvodnja papira od testiranih jednogodišnjih biljaka dobrodošla inovacija, ona nažalost još uvek ne može da zameni papir od drvene celuloze.

Ključne reči: papirne kese, celuloza, jednogodišnje biljke, fizičko-mehaničke osobine.

1. INTRODUCTION

Shopping bags are the "necessary evil" of modern consumer society. The formerly ubiquitous polythene bags have now been replaced by reusable bags for more conscious shopping. Paper bags have established themselves

as an alternative to plastic bags. Paper for carrier bags must have sufficiently good physical and mechanical properties to withstand the stresses that occur first during printing and finishing and then during primary use. Annual plants are widely used as a source of cellulose fibers, especially in tropical countries. In our country, the technology for processing annual plants into cellulose fibers has not yet been massively developed as we have sufficient quantities of wood. Cellulose fibers for packaging paper are obtained from the trunks of coniferous and deciduous trees using the sulphate process. The fibers obtained give the paper excellent physical and mechanical properties, but the processing is energy and technology intensive. There is also a growing trend towards forest conservation and the search for other pulp sources that are easier to process and have less impact on the environment. In Europe, two alternatives have emerged, namely the production of cellulose fibers from grass and leaves. These two alternative raw materials are already being used on an industrial scale for the production of paper and carrier bags. In our research, we determined the physical-mechanical properties of three different papers for carrier bags and established whether papers made from the fibers of annual plants can replace papers made from wood cellulose fibers on an equal footing in this area. Today, paper made from annual plants is once again becoming an alternative to paper made from cellulose fibers obtained from thick trees. This is especially true in countries where the amount of wood is limited due to natural conditions or forest protection, i.e. as a more environmentally friendly alternative, it is also spreading in countries that otherwise have sufficient quantities of wood.

There are several reasons for this:

- less availability of wood,
- greater availability of annual plants,
- faster growth of annual plants and
- growth of the paper industry.

The area of forests worldwide is decreasing for various reasons, to which the paper industry also contributes. Despite the tendency to switch to other fibers, it is still necessary for the time being to add wood fibers in order to achieve the desired properties. In areas where there are no forests due to climatic conditions, the lack of wood is an even greater problem. Paper consumption will most likely only increase due to the growth of the world's population and the desire for education (1). Although the extinction of paper as a medium has long been predicted with widespread digitalisation, it is becoming increasingly clear that this is not true (2). Paper consumption per capita is increasing, and text written on paper is permanent, has greater meaning and outlasts all digital recording media, many of which we have already had to replace in the age of digitalisation. The annual plants from which paper fibers are obtained can be divided into three groups depending on their origin:

- agricultural by-products (e.g. wheat or rice straw, bagasse),
- specially cultivated plants (e.g. jute, hemp, kenaf) and
- naturally occurring plants in the environment (e.g. bamboo, reeds).

Obtaining fibers from annual plants can have its own specific problems. They usually have to be harvested by hand, which involves considerable costs. Different plants can only be harvested for a short period each year, so it is necessary to ensure sufficient quantities for uninterrupted production and to provide suitable storage (volume, possibility of spontaneous combustion). We must bear in mind that stored products spoil in the presence of moisture and micro-organisms, which change their physical, chemical and visual properties. The annual harvest varies from year to year and depends on weather conditions, so the same quantity and quality cannot be guaranteed every year. The targeted cultivation of plants for the production of fibers is controversial, as it consumes resources and agricultural land that could otherwise be used for food production. In order to utilise plants that occur in the natural environment, the impact of mass harvesting on other factors in their natural environment must also be carefully considered. From an environmental perspective, it therefore makes the most sense to use plants or parts of plants that are by-products or unwanted in the environment and would otherwise have to be composted, incinerated or otherwise utilised. By focusing on the use of fibers from annual plants, such as straw, they are working in countries that have large agricultural areas but little forest. Ukraine, for example, imports large quantities of wood or recycled paper to produce paper (3). In the Ukraine, the idea was born to produce paper from the leaves of trees in the urban environment. Table 1 shows the weight percentages of annual plants used for paper production.

In Asia, the use of annual plants for the production of paper fibers is widespread, mainly due to the lack of wood resources. China leads the way here, where as much as two-thirds of the world's paper material is produced

from non-wood sources. In the USA and Europe, despite the presence of forests, annual plants are used to a limited extent as a source of cellulose fibers, as they reduce the cost of disposing of agricultural by-products (straw, corn stalks) and reduce the impact of their destruction on the environment (4).

Table 1: Proportion of annual plants for paper production (4)

Tabela 1: Udeo jednogodišnjih biljaka u proizvodnji papira (4)

Material	Proportion [%]
straw	44
bagasse	18
reed	14
bamboo	3
other	21

2. EXPERIMENTAL

2.1 Materials and methods

The measurements were carried out on three paper samples from which paper bags are manufactured. All the papers listed are produced industrially on a paper machine. The samples for kraft and grass paper were taken directly from the paper roll, while the paper from fallen tree leaves was taken from bags that had already been produced. Kraft paper and grass paper were provided to us by Dama d.o.o., where they are used for the production of carrier bags. We purchased paper bags made from the pulp of fallen tree leaves from the manufacturer Releaf paper, Ukraine. We selected papers that have a similar basis weight and are all intended for the production of paper bags. The three selected papers (Table 2) are suitable for food contact and, as long as they are not contaminated, can be disposed of normally in waste paper and recycled further.

Table 2: Description of paper samples

Tabela 2: Opis uzoraka papira

Paper sample	Producer	G [g/m ²]	Description
S1	Mondi	110	Unbleached, machine-made, contains only kraft cellulose fibers, no secondary fibers (5)
S2	Creapaper	110	Contains grass fibers, wood and secondary cellulose fibers, non-glossy and opaque, with a distinct smell of dry grass
S3	Releafpaper	120	It contains fibers from fallen tree leaves and secondary cellulose fibers

We used the following methods to analyse the properties:

- basic properties (thickness (t [mm]), basis weight (G [g/m²]), density (ρ [kg/m³]), specific volume (v [cm³/g]) and moisture content (MC [%])) and
- physical-mechanical properties (tear strength and tear index (Schopper), tear strength and tear index (Elmendorf), sound pulse propagation velocity (PPM-5R), tear strength, elongation and tear length, tensile strength, work of rupture, tensile absorption energy and the corresponding index (Instron 6022), modulus of elasticity.

3. RESULTS WITH DISCUSSION

3.1 Basic properties

We measured the basic properties of the paper and thus described the paper samples for paper bags included in the study (Table 3).

Contrary to expectations, the smallest deviation in terms of grammage is found in S3 (1.07%), as it looks the least homogeneous of all three (Figure 1). The inhomogeneity of the paper is an undesirable property as its properties are also non-uniform due to the non-uniform internal structure. In the paper where the fibre

concentration is higher, fibre bundles (haze) are visible. This is due to the inhomogeneity of the paper suspension and is unavoidable to a certain extent.

Table 3: Basic properties.

Tabela 3: Osnovna svojstva

		t [mm]	G [g/m ²]	ρ [kg/m ³]	v [cm ³ /g]	MC [%]
S1	$\bar{x}$	0.151	107.9	713	1.40	6.4
	S_x	0.003	1.5	16	0.03	1.3
	CV	2.00	1.42	2.23	2.20	20.11
S2	$\bar{x}$	0.185	114.6	622	1.61	4.8
	S_x	0.011	2.4	34	0.09	1.9
	CV	6.12	2.13	5.44	5.51	39.37
S3	$\bar{x}$	0.229	120.4	526	1.90	5.6
	S_x	0.009	1.3	21	0.08	1.1
	CV	3.75	1.07	3.93	4.03	18.81



Figure 1: Cloudiness of paper bags specimens

Slika 1: Oblačnost uzoraka papirnih kesa

3.2 Physical-mechanical properties

3.2.1 Bursting strength and burst index – Schopper

As can be seen in Figure 2, S1 ruptured at 280 kPa on side A and 264 kPa on side B, while the bursting strength of S2 was twice as high, namely 127 kPa on side A and 116 kPa on side B. S3 had an even lower bursting strength, namely 68 kPa on side A and 80 kPa on side B (Figure 2). S1 achieved a better result because it contains only primary cellulose fibers, which are longer than secondary ones. We can also infer a higher proportion of fibers from coniferous trees, which are longer than fibers from annual plants and deciduous trees, as is the case with S2, which contains grass fibers and wood fibers, so its burst resistance is lower (127 and 116 kPa), but still higher than S3 (68 and 80 kPa), which does not contain primary cellulose fibers from trees. As can be seen from the burst index, the grammage, i.e. the fibre composition and its origin, plays the most important role.

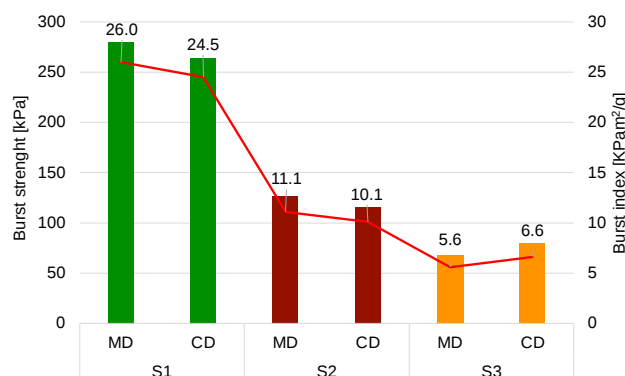


Figure 2: Bursting strenght – Schopper

Slika 2: Otpornost na pucanje pod pritiskom – Šoper

3.2.2 Tear strenght – Elmendorf

The results of the tensile strength measurements for cross direction (CD) are in all cases higher (592 mN for S1, 606 mN for S2 and 469 mN for S3) than for machine direction (MD)(481 mN for S1, 496 mN for S2 and 418 mN for S3), which is to be expected to a certain extent, i.e. due to the anisotropy where the forces between the fibers are stronger than the connections between the fibers. It is noticeable that the tensile strength S2 (496 mN in MD and 606 mN in CD), i.e. of bagasse paper, is greater than S1 (481 mN in MD and 592 mN in CD). The difference is 2% (CD) and 3% (MD). From this we can conclude that the wood cellulose fibers in S2 most likely originate from deciduous trees (Figure 3).

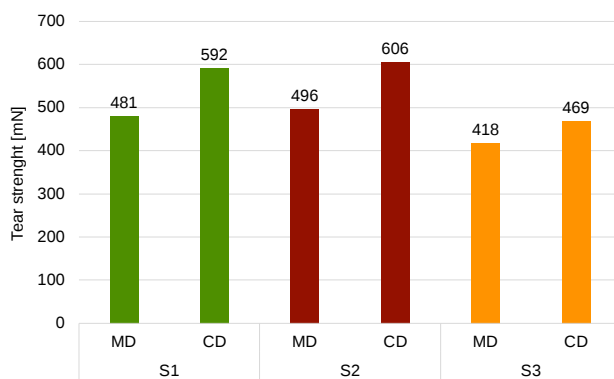


Figure 3: Tear strenght – Elmendorf
Slika 3: Otpornost na cepanje – Elmendorf

3.2.3 Sound velocity

The sound velocity signal is faster in denser matter because there are more covalent bonds. In S1, the paper with the highest density of 713 kg/m^3 (Table 1), the sound signal travelled at a speed of 3.37 km/s , the highest propagation speed of the sound signal among the three samples. The propagation of the sound pulse is faster in the direction of the fibers because the sound pulse propagates along the covalent bonds, which was also demonstrated in our measurements (Figure 4). The propagation speed of the sound pulse in S2 is 2.77 km/s in MD and 1.78 km/s in CD. In S3, the propagation velocity of the sound pulse was 2.69 km/s in MD and 1.68 km/s in CD. The speed of the sound pulse is reflected in the degree of anisotropy and the degree of order of the molecular structure of the analysed causes of the papers. Annual plants have a lower degree of order in the macromolecular structure.

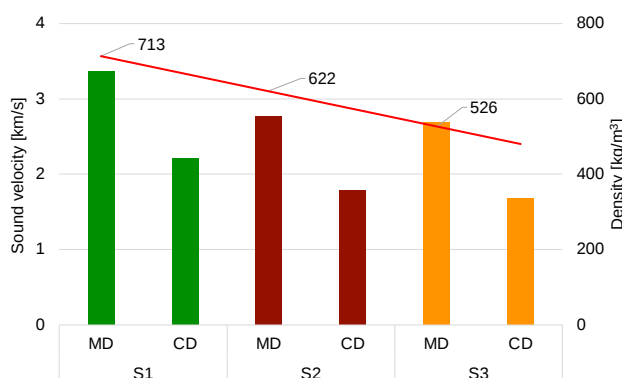


Figure 4: Sound velocity and density of paper bags
Slika 4: Brzina zvuka i gustina papira za kese

3.2.4 Breaking strength, elongation at break, tensile strength energy and Young's module

The S3 samples were obtained from bags that had already been produced, which means that they were grooved to a certain length. In order for the causes to be comparable, they should not have been mechanically damaged beforehand. For this reason, we used a clamping length of 100 mm when measuring the physical and mechanical properties. The breaking force in [N] (Figure 5a), the elongation at break in [%] (Figure 5b), the tensile force energy in [J] (Figure 5c) and the modulus of elasticity in [GPa] (Figure 5d) were measured for selected paper bags that were clamped vertically between the clamps of the dynamometer at a speed of 0.25 mm/s. The results are shown in Figure 5. The results are shown in Figure 5. The breaking force of S1 in MD was 108.92 N (Figure 5a), the highest measured force among all tested paper samples, which can be attributed to the content of primary wood cellulose fibers, i.e. fibers from coniferous trees.

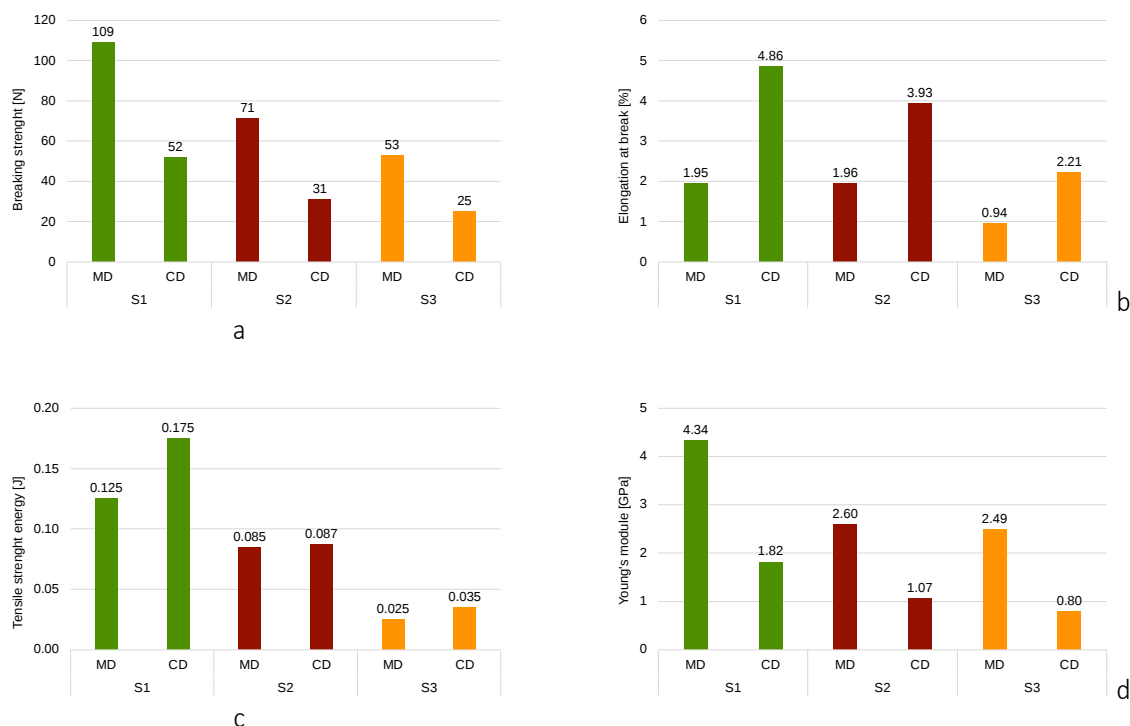


Figure 5: Physical and mechanical properties; a) breaking strenght, b) elongation at break, c) Tensile strenght energy and d) Young's module

Slika 5: Fizičko-mehaničke osobine; a) prekidna jačina, b) izduženje pri kidanju, c) energija zatezne čvrstoće i d) Jungov modul

Since paper is a viscoelastic material in which cellulose is present in crystalline and amorphous form, physical-mechanical stresses initially lead to elastic deformation, which depends on the load time. With increasing load, it then passes through the viscoelastic range up to plastic or irreversible deformation. Figure 5b shows a comparison of the strains between the paper bag samples analysed. The elongation at break in MD is 1.95% for S1 and S2 and 1.96% for S2, while the elongation at break of S3 was only half that of S1 and S2, namely 0.94%. For CD, the elongation at break is highest for S1 at 4.9%, which means that the 10 cm long test piece was stretched by almost half a centimetre until it broke. High extensibility of paper sacks is a required property of the product, which must ensure adaptability to the contents of the sack. This was also measured using the tensile strength energy (Figure 5c), where the value for paper sacks is most influenced by the raw material composition of the paper, as it is a direct indicator of the extent of bonding between the fibers. Therefore, we also measured the modulus of elasticity, which tells us what stress is required for a given elongation. As we can see from Figure 5d, the highest modulus of elasticity for S1 in MD is 4.34 GPa. This means that the paper S1 can withstand the maximum load in the corresponding direction without being permanently deformed. This is desirable for all printing papers, but especially for paper bag papers, where the main objective is to load the paper without physical-mechanical consequences.

4. CONCLUSIONS

The length of the fibers has a direct influence on the physical-mechanical properties of the paper. From the cellulose fibers of coniferous trees, which are obtained using the sulphate process, we obtain a high-quality raw material with long fibers that enable good bonding between the fibers in the paper sheet and greater resistance to physical and mechanical stresses. The measurement results show that the paper made exclusively from kraft pulp (S1) is stronger in terms of physical and mechanical properties than the two papers made from the fibers of the annual plants included in the study. Paper with fibers made partly from grass and partly from wood pulp (S2) was even physically and mechanically stronger than paper made from secondary fibers and fibers from fallen leaves (S3). This shows that the wood fibers obtained by the sulphate process are a valuable raw material that improves the physical and mechanical properties of the paper.

The search for alternative sources of cellulose fibers is to be welcomed from the point of view of lower energy consumption, the use of plant parts that would otherwise have to be destroyed, the shortening of transport routes and the reduction of water consumption. We believe that, at least in Slovenia, it would make more ecological sense to use wood that is sufficient for the paper industry if the forest is well managed. As the length of the fibers also has a significant influence on the quality of the secondary fibre, it is important that the primary cellulose enters the paper production process with fibers that are as long as possible.

If we consider the entire product life cycle of paper sacks made from kraft pulp and sacks made from the fibers of annual plants, we have to weigh up whether a paper sack with better physical-mechanical properties, i.e. a lower probability of tearing during use and a greater chance of being used more than once, has a greater impact on the environment.

An important aspect of actual use is also the price, as paper made from the fibers of annual plants has a higher price than paper made from the cellulose fibers of trees. Another important aspect of carrier bags is their size. Large carrier bags, like the ones we see in grocery shops, have to carry loads of several kilogrammes and be made of paper that can withstand physical and mechanical stress. Small bags in clothing shops, jewellery shops, paper shops etc., where they are unlikely to have to carry a large mass, can be made of less physically and mechanically resistant paper.

For further research, it would be interesting to find out what types of bags consumers would prefer. In terms of the composition of the paper, we could investigate what proportion of wood cellulose fibers and fibers from annual plants should be used so that the paper retains comparable physical and mechanical properties. We could also experiment with replacing the fibers from deciduous trees in the kraft paper with fibers from annual plants, as the fibers are of comparable length.

Paper bags made from cellulose fibers from annual plants are a welcome addition to the market for paper products, but at least for now they cannot completely replace bags made from cellulose fibers from trees.

4. ZAKLJUČCI

Dužina vlakana ima direktan uticaj na fizičko-mehaničke osobine papira. Iz celuloznih vlakana četinarskog drveća, koja se dobijaju sulfatom metodom, dobija se visokokvalitetna sirovina sa dugim vlaknima koja omogućavaju dobro povezivanje vlakana u papiru i veću otpornost na fizička i mehanička opterećenja. Rezultati merenja pokazuju da je papir napravljen isključivo od kraft pulpe (S1) jači u pogledu fizičko-mehaničkih svojstava u odnosu na dva papira izrađena od vlakana jednogodišnjih biljaka obuhvaćenih istraživanjem. Papir sa vlaknima delimično od trave, a delimično od drvene celuloze (S2), takođe je bio fizički i mehanički jači od papira izrađenog od sekundarnih vlakana i vlakana opalog lišća (S3). Ovo ukazuje na to da su drvena vlakna dobijena sulfatom metodom vredna sirovina koja poboljšava fizičke i mehaničke osobine papira.

Potruga za alternativnim izvorima celuloznih vlakana je dobrodošla sa stanovišta manje potrošnje energije, iskorišćavanja biljnih delova koji bi inače morali biti uništeni, skraćanja transportnih ruta i smanjenja potrošnje vode. Smatramo da bi, barem u Sloveniji, sa ekološkog aspekta bilo razumnije koristiti drvo, koje je dostupno u dovoljnoj količini za potrebe industrije papira, pod uslovom da se šumama pravilno upravlja. Kako dužina vlakana značajno utiče i na kvalitet sekundarnih vlakana, važno je da primarna celuloza u proces proizvodnje papira ulazi sa što dužim vlaknima.

Ako razmatramo ceo životni ciklus proizvoda papirnih kesa napravljenih od kraft pulpe i onih izrađenih od vlakana jednogodišnjih biljaka, potrebno je proceniti da li kesa sa boljim fizičko-mehaničkim osobinama — odnosno manjom verovatnoćom cepanja tokom upotrebe i većom mogućnošću višekratne upotrebe — ima veći ili manji uticaj na životnu sredinu.

Važan aspekt praktične upotrebe jeste i cena, jer je papir od vlakana jednogodišnjih biljaka skuplji od papira napravljenog od drvenih celuloznih vlakana. Još jedan značajan aspekt papirnih kesa jeste njihova veličina. Velike kese, kakve vidamo u prodavnicama prehrambenih proizvoda, moraju da podnesu teret od nekoliko kilograma i budu izrađene od papira koji može da izdrži fizička i mehanička opterećenja. Male kese koje se koriste u prodavnicama odeće, nakita, papirne galanterije i slično, gde se ne očekuje veliki teret, mogu se izrađivati od papira sa slabijim fizičko-mehaničkim osobinama.

Za dalja istraživanja bilo bi zanimljivo utvrditi kakve kese potrošači više preferiraju. U smislu sastava papira, moglo bi se istražiti koji udeo drvenih celuloznih vlakana i vlakana jednogodišnjih biljaka je optimalan da bi papir zadržao uporedive fizičko-mehaničke osobine. Takođe bi se moglo eksperimentisati sa zamenom vlakana listopadnog drveća u kraft papiru vlaknima jednogodišnjih biljaka, jer su dužine tih vlakana uporedive.

Papirne kese izrađene od celuloznih vlakana jednogodišnjih biljaka predstavljaju dobrodošao dodatak na tržištu papirnih proizvoda, ali bar za sada, one ne mogu u potpunosti zameniti kese napravljene od celuloznih vlakana drveća.

5. REFERENCES

- [1] Ainun, Z. M., Sapuan, S. M. and Ilyas, R. A. 2023. *Pulping and Papermaking of Nonwood Plant Fibres*. Amsterdam: Academic Press, Elsevier.
- [2] Možina, K. 2017. "Viscoelastic properties of graphic papers." PhD diss. University of Ljubljana.
- [3] Tomšič, A. 2020. "Lastnosti papirja, narejenega iz slame." Diploma thess. University of Ljubljana.
- [4] Bajpai, P. 2021. *Nonwood Plant Fibres for Pulp and Paper*. Amsterdam; Oxford; Cambridge: Elsevier.
- [5] Gregor Svetec, D. Franken, G. and Možina, K. 2020. *Papir in grafični izdelki iz invazivk*. URL: <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-KTEVT89R/> (last accessed on 20. 5. 2025).

Corresponding author:

doc. dr. Klemen Možina

Department of Textiles, Graphic Arts and Design

Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana

Aškrčeva 12, 1000, Ljubljana, Slovenia

Phone: +386 1 200 23 99

E-mail: klemen.mozina@ntf.uni-lj.si

Co-author:

Ana Štrucelj

Department of Textiles, Graphic Arts and Design

Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana

Aškrčeva 12, 1000, Ljubljana, Slovenia

E-mail: schweiger.ana@gmail.com

UTICAJ KVALITETA REZANJA I PROSIJAVANJA SJEČKE NA DELIGNIFIKACIJU I KVALITET NEBJELJENE ČETINARSKÉ CELULOZE

INFLUENCE OF THE QUALITY OF CHIPS CUTTING AND SCREENING ON DELIGNIFICATION AND QUALITY OF UNBLEACHED SOFTWOOD PULP

Armina Čamić¹, Nevres Hajdić¹, Šefkija Botonjić², Mirko Stanić¹

¹ Natron-Hayat d.o.o. Maglaj; Bosna i Hercegovina; ² Univerzitet u Zenici, Fakultet inženjerstva i prirodnih nauka; Bosna i Hercegovina

Abstract

Wood is the most widely used raw material in the pulp and paper industry. It has a special character and therefore creates specific problems during processing. Technical and technological progress in the pulp and paper industry, mainly in the last 30 years, has brought a demand for a new understanding of the quality of wood chips for the production of sulphate pulp. Delignification of wood chips always represents a reaction in a heterogeneous system and its course is determined not only by the speed of the reaction itself, but above all by the speed of contact of cooking chemicals with the fibers. The line for cutting and screening wood chips is one of the first stages of innovation, improvement and investment, which ensures the efficiency of the overall production process. In order to achieve the goals in the production of pulp Natron-Hayat, a new knife system and a screen for screening wood chips were installed last year. Significant results have been achieved in increasing the production and quality of wood chips. Other significant results include: reduced downtime due to knife replacement and chip overflow on the screens, lower maintenance and energy consumption costs and improved overall process stability.

Key words: New knife system, Screen, Chip quality, Softwood pulp, delignification

Izvod

Drvo je najrasprostranjenija sirovina u industriji celuloze i papira. Ima poseban karakter i zbog toga stvara specifične probleme prilikom obrade. Tehničko-tehnološki napredak u industriji celuloze i papira uglavnom u posljednjih 30 godina donio je zahtjev za novim razumijevanjem kvaliteta drvne sječke za proizvodnju nebijeljene četinarske celuloze. Delignifikacija sječke uvijek predstavlja reakciju u heterogenom sistemu i njen tok nije određen samo brzinom same reakcije već prije svega brzinom kontakta hemikalija za kuhanje sa vlaknima. Linija za sječenje i prosijavanje sječke je jedna od prvih faza inoviranja, poboljšanja i investiranja čime se obezbjeđuje efikasnost ukupnog proizvodnog procesa. Da bih ostvarili ciljeve u proizvodnji celuloze u Natron-Hayat u prošloj godini instaliran je novi sistem noževa i sito za prosijavanje sječke. Postignuti su značajni rezultati u povećanju proizvodnje i kvaliteta sječke, a time i procesa delignifikacije što rezultira kvalitetom skuhané celuloze. Dodatni benefiti su smanjene broja zastoja zbog zamjene noževa, visokog nivoa sječke na sitima, manji troškovi održavanja i potrošnje energije, veća procesna stabilnost itd.

Ključne riječi: Novi sistem noževa, prosijavanje sječke, kvalitet sječke, nebijeljena četinarske celuloze, delignifikacija

1. INTRODUCTION (UVOD)

Sječka kao sirovina u proizvodnji celuloze i papira te njena svojstva, kao što su vrsta drva, svježina, sadržaj vlage i veličina, najvažniji su faktori koji utiču na kvalitet celuloze. Visok kvalitet sječke rezultira celulozom visokog i ujednačenog kvaliteta, dok nizak kvalitet dovodi do celuloze lošijeg kvaliteta ili čak skupih poremećaja u radu. Varijacije u kvalitetu sječke i njenim vlaknima mogu dovesti i do 30-40% varijacija u svojstvima celuloze [1].

Djelovanje hemikalija kao i vrijeme kuhanja se određuje dužinom sječke; duplanje dužine sječke zahtjeva četverostruku impregnaciju i vrijeme kuhanja! Konkretno, visok udio sječke premalih dimenzija rezultira slabim iscrpkom i celulozom niže čvrstoće. S druge strane, visok udio predebele sječke povećava količinu rejekta jer debljina sječke utiče na impregnaciju u procesu kuhanja, a loša impregnacija rezultira pojavom nedovoljno skuhanih komada sječke. Da bi se postigla jednoličnost kuhanja, sastav tekućine za kuhanje (bijelog luga) mora biti

jednoliko raspodijeljen unutar sječke. Opsežna istraživanja su jasno pokazala da je debljina sječke najkritičnija dimenzija u procesu impregnacije i kuhanja sječke. Veličina sječke će uvijek biti kompromis između mehaničke oštećenosti vlakna uzrokovane procesom sječenja i procesa impregnacije [1,2].

Kako bi se dobila željena svojstva celuloze, sa maksimalnim prinosom, a minimalnom potrošnom hemikalija i tečnosti, i na taj način da se osigurala ekonomična proizvodnja, potrebne su gotovo jednake jedinice sječke, kao sirovine za doziranje u kuhač. Zbog dimenzija trupaca, nesavršenosti drveta i varijacija vezanih za proces, sječka može varirati u veličini i obliku, zbog toga je neophodna klasifikacija sječke prema veličini i dimenzijama (Tabela 1). Prihvatni materijal mora biti odvojen od odbačenog, veliki dijelovi odbačenog materijala moraju se ponovo sjeći radi povećanja prinosa dostupnog sirovog materijala, i piljevina mora biti odvojena iz procesa. [3,4].

Table 1: Tipična i idealna raspodjela frakcija sječke [3]

Table 1: Typical and ideal distribution of wood chip fractions [3]

Frakcije sječke	Tipična raspodjela	Idealna raspodjela
Sječka iznad dozvoljene veličine	2%-5%	Manje od 2%
Sječka iznad dozvoljene debljine	5%-10%	Manje od 2%
Prihvatljiva sječka*	82%-88%	88%-90%
Opiljci	5%-10%	Manje od 5%
Piljevina	2%-6%	Manje od 0.5%

Kada se reže sječka, oštećenje drveta i vlakana bi trebalo da bude što manje; dužina sječke bi trebala biti prilagođena dužini vlakna pojedinačne vrste da bi se postigla dobra jačina papira. Oprema koje se koriste za proizvodnju i prosijavanje sječke stalno se usavršava, a njen dizajn se kontinuirano mijenja. Čak i male promjena u sistemu mogu značajno uticati na kvalitet sječke. Danas su najpoznatija poboljšanja novi sistem noževa kao i ugradnja različitih dodatnih elemenata koji olakšavaju razbijanje sječke, te sita za prosijavanje visoke efikasnosti.

Povećanje efikasnosti procesa sječenja i prosijavanja sječke ima direktan uticaj na process kuhanja celulozne mase. Gubici koji se javljaju kod konvencionalnog sistema sječenja i prosijavanja sječke mogu biti i do 13-15 %, dok se kod savremenih sistema taj gubitak smanjuje na 10-13 %.

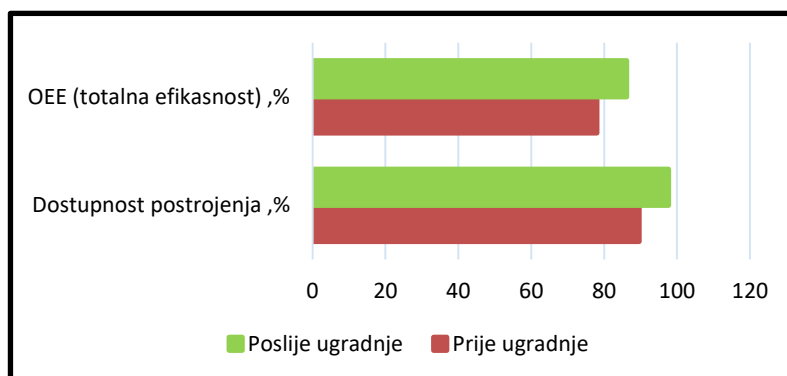
Stari sistem noževa i prosijavanja sječke uključivao je:

- Dizajn noževa sa dodatkom za razbijanje krupne sječke (zamjena noževa svakih 8 sati);
- Stari stroj za sječenje sa velikim procentom usitnjavanja krupne sječke;
- Tri sita za prosijavanje sječke;

Novi koncept sječenja i prosijavanja dizajniran je tako da :

- Proizvodi minimalnu količinu krupne sječke;
- Omogućiti visoku efikasnost u prosijavanje i dodatnoj obradi krupnih frakcija;

Dostupnost i totalna efikasnost (OEE) djela postrojenja nakon instalacije novog sistema noževa i sita je porasla za 8 % (Slika 1).



Slika 1: Prikaz dostupnosti i totalne efikasnosti OEE djela postrojenja prije i nakon ugradnje sita i sistema noževa
Figure 1: Availability and total OEE efficiency of the plant section before and after the installation of the screen and knife system

Noževi su napravljeni od tvrdog alatnog čelika kako bi mogli izdržati i do tri smjene bez zamjene dajući tako kvalitet tokom cijelodnevnog sječenja. Sito i dezintegrator su dizajnirani su tako da osiguraju maksimalni kvalitet sječke koji se može postići u ovom procesu (Slika 2).



Slika 2: Prikaz novog sita za prosijavanje
Figure 2: Illustration of the new screening sieve



Slika 2: Novi sistem noževa
Figure 2: New knife system

2. EXPERIMENTALNI DIO

Cilj eksperimentalnog rada je praćenje rezultat kvaliteta sječke i celulozne mase u periodu pet mjeseci nakon ugradnje sita i sistema noževa, te upoređivanje dobijenih rezultata sa podacima zabilježenim prije ugradnje.

Kako bi eksperimentalni dio dao što pouzdanije rezultate i i omogućio relanu procjenu efikasnosti instalirane opreme, izvršena su sljedeća istraživanja:

- odabrane su lokacije uzorkovanja;
- izvršena su mjerenja na laboratorijskim uređajima i instrumentima u laboratoriji Natron-Hayat prema ISO standardima;
- istraživanje je sprovedeno u industrijski stabilnim uslovima pripreme sječke i proizvodnje nebijeljene četinarske celuloze u Natron-Hayat;

2.1 Metodologija određivanja kvaliteta sječke i metoda prosijavanja i sortiranja celuloze

Metoda ispitivanja kvaliteta sječke poznata je pod nazivom SCAN 40:01, i opisuje aparat i postupak za klasifikacija drvene sječke, namijenjena za proizvodnju hemijske celuloze. Metoda je primjenjiva za određivanje kvaliteta drvene sječke s obzirom na veličinu sječke i sadržaj sitnih čestica (Slika 3).



Slika 3: Prikaz frakcija sječke prema SCAN 40:01
Figure 3: Distribution of wood chip fractions according to SCAN 40:01

Za analizu vlakana koristi se metoda TAPPI T 275, koja omogućava izdvajanje onečišćenja u svrhu određivanja kvaliteta i količine vlakana. U ovom postupku koristi Somerville aparat, a princip rada se zasniva na razlici u veličine između vlakana i onečišćenja. Zavisno od njihove fleksibilnosti i ili geometrijskog oblik, sva onečišćenja koja su veća od veličine vlakana će biti zadržana na situ.

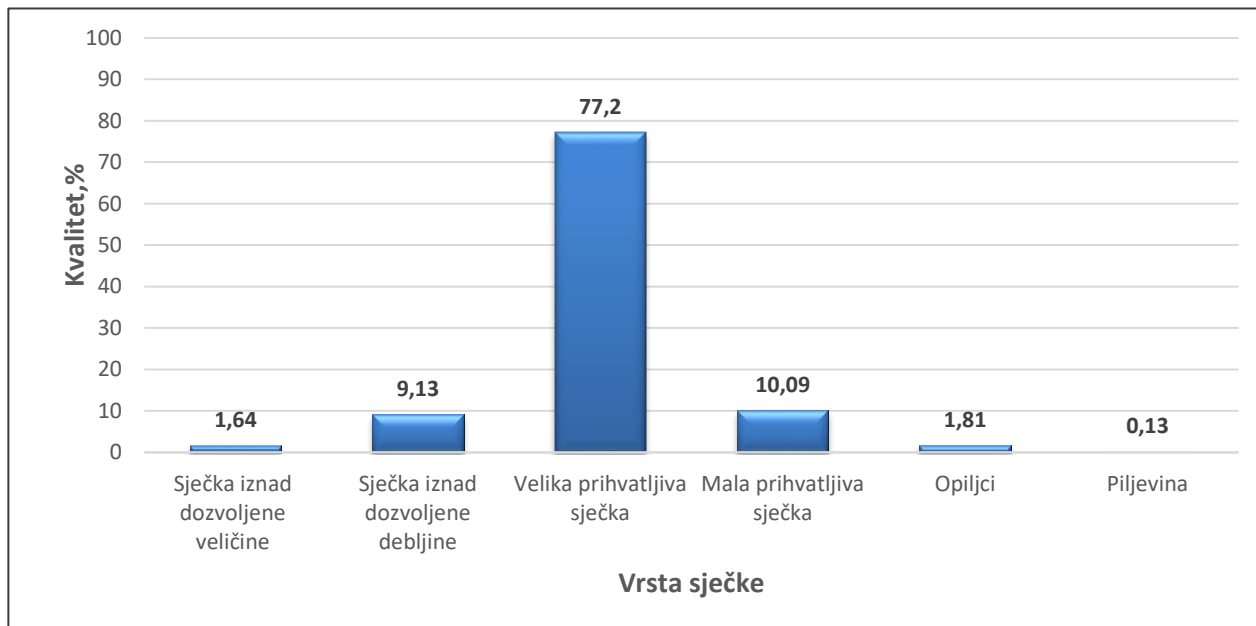
3. RESULTATI I DISKUSIJA

Analizom podataka o kvalitetu sječke u period 5 mjeseci (Tabela 2; Slika 4) prije instalacije sita i sistema noževa uočeni su ključni pokazatelji performansi postojećeg sistema i indentificirani glavni uzroci gubitaka u kvalitetu sječke.

Tabela 2: Kvalitet sječke prije ugradnje sita i novog sistema noževa

Table 2: Quality of wood chips before the installation of the screen and new knife system

VRSTA SJEČKE	KVALITET %
Sječka iznad dozvoljene veličine (Oversize Chips) %	1,64
Sječka iznad dozvoljene debljine (Overthick Chips)%	9,13
Velika prihvatljiva sječka (Large Accept Chips)%	77,2
Mala Prihvatljiva sječka (Small Accept Chips)%	10,09
Opilci (pin)%	1,81
Piljevina Fines %	0,13

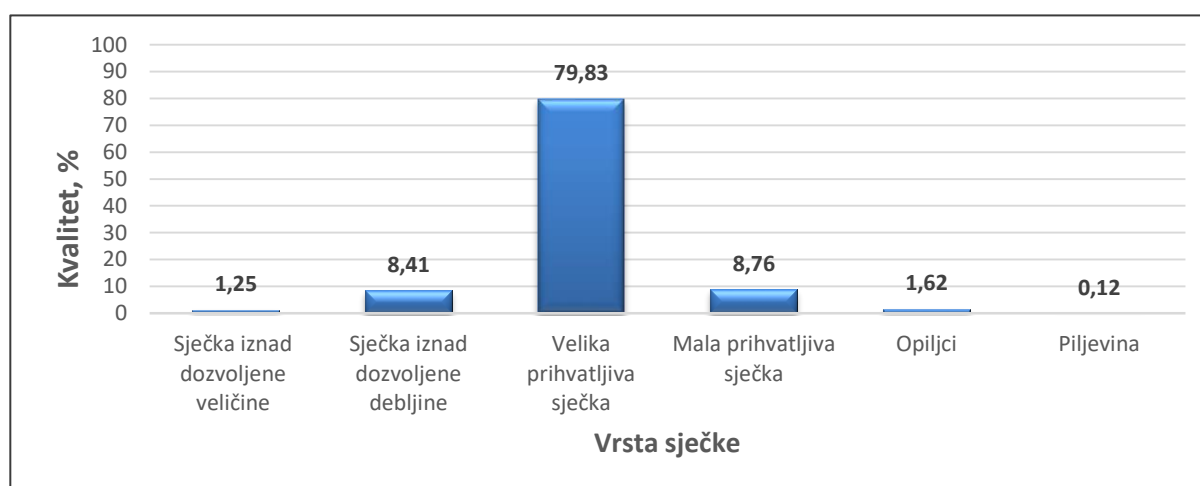


Slika 4 : Grafički prikaz kvaliteta sječke prije ugradnje sita i novog sistema noževa

Figure 4: Graphical representation of wood chip quality before the installation of the screen and new knife system

Tabela 3: Kvalitet sječke nakon ugradnje sita i novog sistema noževa**Table 3: Quality of wood chips after the installation of the screen and new knife system**

VRSTA SJEČKE	KVALITET, %
Sječka iznad dozvoljene veličine (Oversize Chips) %	1,25
Sječka iznad dozvoljene debljine (Overthick Chips)%	8,41
Velika prihvatljiva sječka (Large Accept Chips)%	79,83
Mala Prihvatljiva sječka (Small Accept Chips)%	8,76
Opilci (pin)%	1,62
Piljevina Fines %	0,12

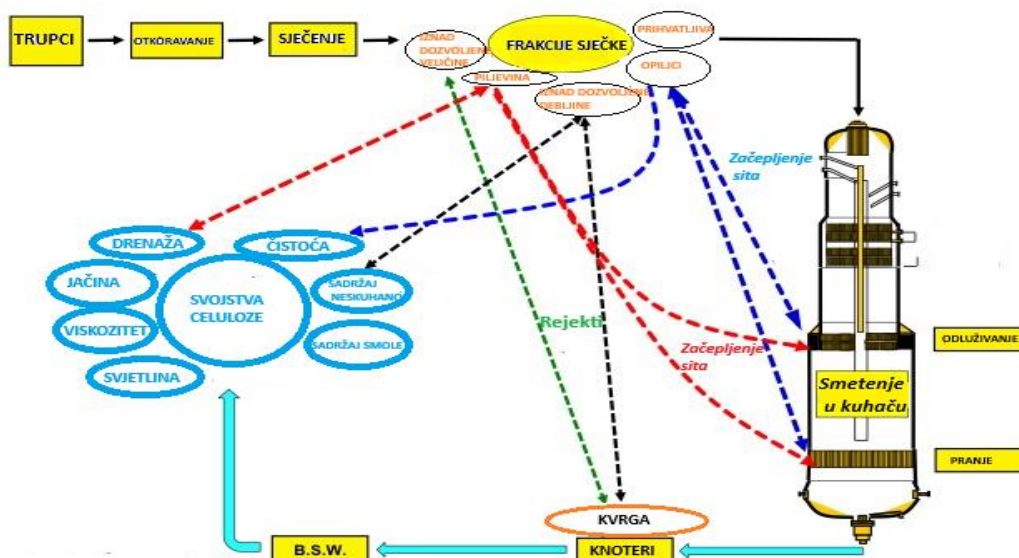
*Slika 5: Grafički prikaz kvaliteta sječke nakon ugradnje sita i novog sistema noževa**Figure 5: Graphical representation of wood chip quality after the installation of the screen and new knife system*

Nakon instalacije sita i novog sistema noževa u procesu proizvodnje sječke značajno poboljšanje zabilježeno je u povećanju udjela velike prihvatljive sječke (Tabela 2; Slika 4) .

Ovo poboljšanje ima direktan pozitivan uticaj na efikasnost i stabilnost procesa proizvodnje celuloze, iz više razloga:

- Ujednačeno kuhanje sječke -omogućava ravnomjerniji prodor bijelog luga u unutrašnjost čestica sječke, što se potvrđuje kroz rezultate analize frakcija vlakana;
- Smanjenje količine neskuhane mase-manji je povrat materijala na ponovno kuhanje, čime se povećava efikasnost procesa;
- Preciznija kontrola reakcije delignifikacije-olakšano održavanje ciljanog Kappa broja;
- Povećanje prinosa celuloze- veći procenat iskoristive sječke koja ulazi u hemijski proces i postaje dio krajnjeg proizvoda-celuloze. To direktno povećava ukupni prinos i povećava ekonomičnost procesa.

Najzahtjevniji zadatak za rad operatora kontinuiranog kuhača jest održavanje nivoa sječke. To zahtjeva razmatranje niza faktora: nivo sječke u kuhaču, pritisak posteljice sječke, kompaktnost sječke ,protok luga i sječke, distribucija veličine sječke kao i neke smetnje u radu kuhača kao što su začepljenje sita, kanalisanje unutar kuhača itd.



Slika 6: Uticaj frakcija sječke na rad kontinuiranog kuhača

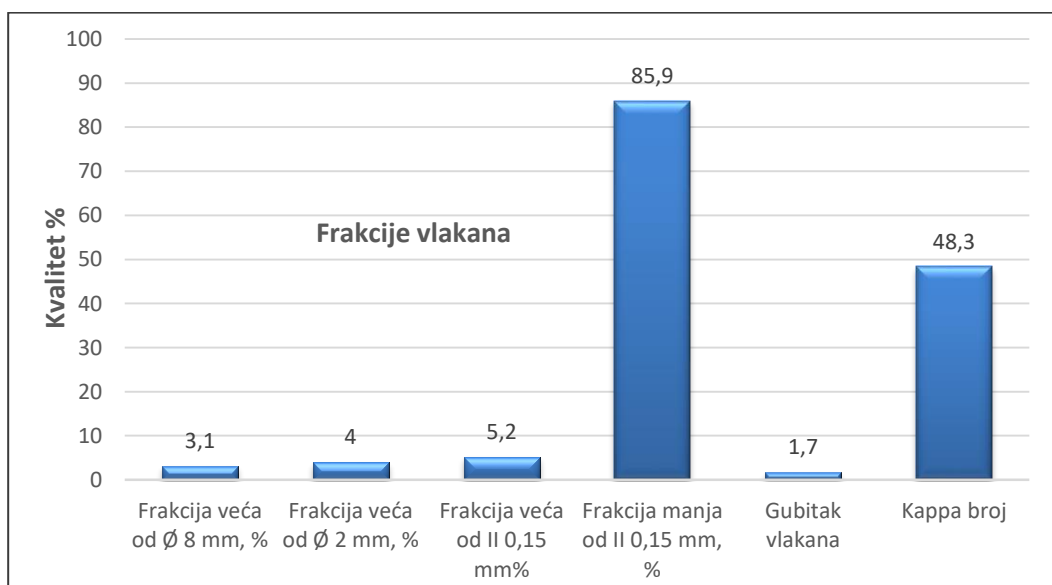
Figure 6: Influence of wood chip fractions on the operation of the continuous digester

Analizirajući podatke frakcije vlakana u periodu 5 mjeseci koji je prethodio instalaciji novog sistema sita i noževa (Tabela 4; Slika 7) uočena su određena odstupanja od kvaliteta, dok su nakon modernizacije zabilježena značajna poboljšanja i to ukazuje na pozitivne efekte unaprijeđenja opreme (Tabela 5; Slika 8).

Tabela 4: Frakcije vlakana celuloze prije ugradnje sita i novog sistema noževa

Table 4: Fiber fractions of pulp before the installation of the screen and new knife system

FRAKCIJE VLAKANA CELULOZE	KVALITET, %
Frakcija veća od Ø 8 mm, %	3,1
Frakcija veća od Ø 2 mm, %	4
Frakcija veća od II 0,15 mm%	5,2
Frakcija manja od II 0,15 mm, %	85,9
Gubitak vlakana	1,7
Kappa broj	48,3

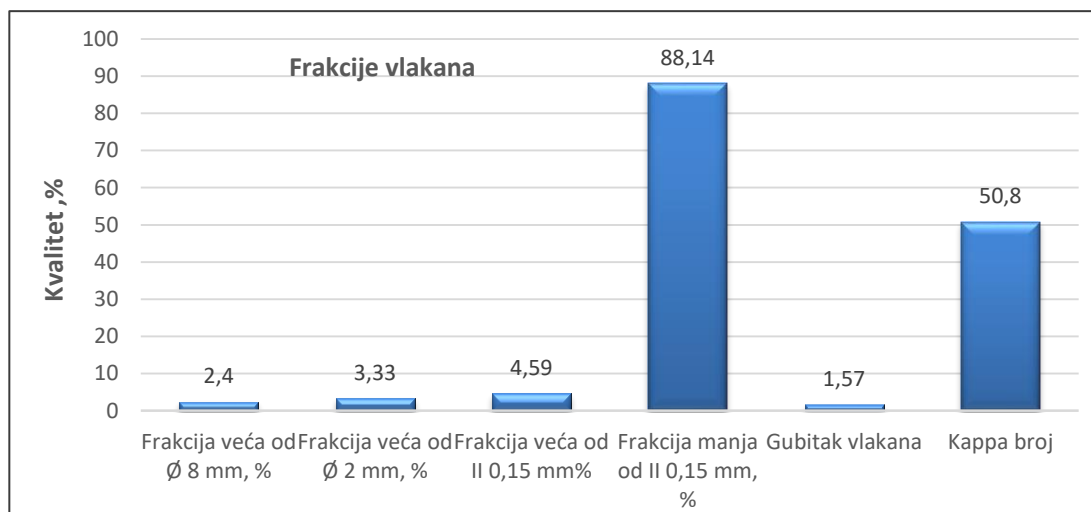


Slika 8: Frakcije celuloznih vlakana prije ugradnje sita i novog sistema noževa

Figure 8: Pulp fiber fractions before the installation of the screen and new knife system

Tabela 5: Frakcije celuloznih vlakana nakon ugradnje sita i novog sistema noževa**Table 5: Pulp fiber fractions after the installation of the screen and new knife system**

FRAKCIJE CELULOZNIH VLAKANA	KVALITET, %
Frakcija veća od $\varnothing$ 8 mm, %	2,4
Frakcija veća od $\varnothing$ 2 mm, %	3,33
Frakcija veća od II 0,15 mm%	4,59
Frakcija manja od II 0,15 mm, %	88,14
Gubitak vlakana	1,57
Kappa broj	50,8

*Slika 8: Frakcije vlakana celuloze nakon ugradnje sita i novog sistema noževa**Figure 8: Pulp fiber fractions after the installation of the screen and new knife system*

Nakon ugradnje sita i novog sistema noževa zabilježen je pad sadržaja frakcija vlakana većih od 8 mm što olakšava proces separacije pri radu sa visokim Kappa brojevima (iznad 50) u proizvodnji nebijeljene četinarske celuloze. Ovo znači da se smanjuje količina neskuhne mase (tzv "kvrge") koja se vraća na ponovno kuhanje što direktno doprinosi povećanju prinosa skuhanе celulozne mase (Slika 8).

4. ZAKLJUČAK

Kvalitet sječke se definiše se kroz njenje dimenzije, raspodjelu frakcija i prisustvo nečistoća.

Dužina debljina i širina sječke imaju značajan uticaj na proces kuhanja.

- Dužina sječke utiče na dužinu celuloznih vlakana,
- Debljina sječke na stepen prodora luga u sječku
- Širina utiče na gustoću punjenja, produktivnost i efikasnost obrade;

Kvalitet sječke ima veliki uticaj na troškove proizvodnje celuloze. Kvalitet celulozne mase i crnog luga posljedica su uticaja kvaliteta sječke, kvaliteta bijelog luga i stabilnosti u radu kuhača. Osim dimenzija i frakcijskog sastava važni parametri su sadržaj kore i prisutnost piljevine. Optimalno sječenje zahtjeva upotrebu oštih noževa jer tupi noževi deformišu sječku, što rezultira celulozom lošijih mehaničkih svojstava (pada dužina kidanja, otpor za propust zraka i cijepanje). Dobar način povećanja prinosa celuloze jeste korištenje što većeg procenta prihvatljive sječke uz posebno pažnju na sadržaj debele sječke. Sadržaj piljevine u sječki treba biti što manji jer njen veći sadržaj negativno utiče na prinos. To rezultira povećanim udjelom prekuhanе mase i čestim začepljenjem sita na odlučivanju i pranju što narušava stabilan rad kuhača. Smanjenje sadržaja opiljaka smanjuje potrebnu količinu bijelog luga. Velika promjenjivost Kappa broja može biti rezultat neadekvatne količine alkalija (odnos bijeli lug i drvo) i/ili neadekvatog H- factora i/ili kanalisanja protoka sječke i luga. Kanalisanje u kuhaču nastaje kada sabijena sječka ima neujednačenu gustinu duž dijagonale, što stavlja kanala kroz koje bijeli lug protiče na mjestima gdje je

gustina najmanja. Takvo strujanje otežava pravilnu interakciju sječke i luga, kao i efikasnu razmjenu toplote što dovodi do velikih varijacija Kappa broja i alkalija.

Investicija kupovine, instalacije i puštanja u rad novog sistema noževa i sita za prosijavanje sječke pokazala se izuzetno značajnom za poboljšanje kvaliteta celulozne mase.

Implementacijom nove opreme ostvareni su slijedeći benefiti :

- Smanjenje udjela krupne i debele sječke;
- Povećan procenat prihvatljive frakcije sječke;
- Povećan prinos skuhane celuloze;
- Smanjenje udjela neskuhane mase i bolja efikasnost procesa separacije;
- Bolja kontrola Kappa broja;

Dodatne prednosti uključuju:

- Smanjene broja zastoja zbog zamjene noževa visokog nivoa sječke na sitima čime je dostupnost i totalna efikasnost dijela postrojenja povećana za 8% ;
- Niži troškovi održavanja i potrošnje energije ;
- Veća procesna stabilnost i smanjenje zastoja uzrokovanih visokim udjelom neskuhane celulozne mase.

Analiza godišnjih ušteda pokazuje da se investicija u novo sito i noževe isplati unutar perioda od četiri godine, čime je opravdana i sa tehničkog i sa ekonomskog aspekta.

4. CONCLUSION

The quality of wood chips is defined by their dimensions, fraction distribution, and the presence of impurities.

The length, thickness, and width of the chips significantly impact the cooking process:

- **Chip length** affects the length of pulp fibers,
- **Chip thickness** influences the degree of liquor penetration into the chip,
- **Chip width** affects packing density, productivity, and processing efficiency.

The quality of wood chips greatly influences the cost of pulp production. The quality of the pulp and black liquor is affected by chip quality, white liquor quality, and the operational stability of the digester. In addition to dimensions and fractional composition, important parameters include bark content and the presence of sawdust. Optimal chipping requires the use of sharp knives, as dull knives deform the chips, resulting in pulp with poorer mechanical properties (e.g., reduced tear length, air resistance, and splitting strength).

A good way to increase pulp yield is to maximize the proportion of acceptable chips, with particular attention to thick chip content. Sawdust content should be kept as low as possible, as its increase negatively impacts yield. It leads to a higher proportion of overcooked pulp and frequent clogging of screens during washing and dewatering, disrupting the stable operation of the digester.

Reducing shive content decreases the required amount of white liquor. Large fluctuations in Kappa number may result from inadequate alkali levels (white liquor to wood ratio), and/or insufficient H-factor, and/or channeling of chip and liquor flow. Channeling in the digester occurs when compacted chips have uneven density across the diagonal, creating channels where white liquor flows through areas of lower density. This flow pattern hinders proper interaction between chips and liquor and reduces efficient heat exchange, causing significant variations in Kappa number and alkali consumption.

The investment in purchasing, installing, and commissioning a new knife system and chip screening equipment has proven extremely important for improving pulp quality.

By implementing the new equipment, the following benefits were achieved:

- Reduction in the proportion of coarse and thick chips;
- Increased proportion of acceptable chip fractions;
- Increased yield of cooked pulp;
- Reduction in the proportion of uncooked mass and improved separation efficiency;
- Better control of Kappa number.

Additional advantages include:

- Reduced downtime due to knife replacement and high chip levels on screens, increasing availability and total efficiency of the plant section by 8%;
- Lower maintenance and energy consumption costs;
- Greater process stability and fewer stoppages caused by high levels of uncooked pulp.

Annual savings analysis shows that the investment in the new screen and knives pays off within four years, making it justified both technically and economically.

References

- [1] Botonjić Š., *Proizvodnja celuloze-teorija i praksa*, Zenica (2017)
- [2] Čamić A., Botonjić Š., *The Effect of main parameters on Brown Stock Pulp Washing at Natron-Hayat Maglaj*, JST&M 1-2 (2021)
- [3] Quinde A. , *Chip considerations: Papermaking processes start with wood chip quality*, Pulp & Paper Canada, (2020)
- [4] Gullichsen, J., Kolehmainen, H., & Sundqvist, H., *On the nonuniformity of the kraft cook*, *Paperi ja Puu*, 74, 486–490 (1992)

Corresponding author:

Armina Čamić

Natron-Hayat, Liješnica bb 74250 Maglaj

Bosna i Hercegovina

armina.camic@natron-hayat.ba

SMANJENJE POTROŠNJE ŠKROBA U PROIZVODNJI AMBALAŽNOG PAPIRA KORIŠTENJEM MODELA ZA PREDIKCIJU SCT VRIJEDNOSTI

REDUCTION OF STARCH CONSUMPTION IN PACKAGING PAPER PRODUCTION USING SCT VALUE PREDICTION MODEL

Mihael Cikoja

Erga d.o.o., Vrpolje, Croatia

Abstract

In the production of paper and paperboard, starch is used to improve mechanical and physicochemical properties, or, in general, to improve quality. One of these properties is SCT ("Short-Span Compression Test"), which represents the ability of paper packaging material to withstand mechanical crushing. However, excessive use of starch, leads to significant costs and inefficient use of resources. By developing a virtual sensor for measuring SCT values, it is possible to precisely monitor SCT values during paper production, and by applying advanced optimization techniques, starch consumption can be reduced to a minimal level, while still producing the desired paper type and in accordance to TAPPI standard T1826. The practical results of the application in the DS Smith Belišće factory, presented in this paper, show promising potential for cost reduction and increasing resource efficiency in the paper industry.

Keywords: Starch Consumption Optimization, Short-Span Compression Test, Virtual Sensor, Prediction Model

Izvod

Škrob se u proizvodnji papira i kartona koristi u svrhu poboljšanja mehaničkih i fizikalno-kemijskih svojstava, odnosno, općenito za poboljšanje kvalitete. Jedno od tih svojstava je SCT ("Short span Compression Test") koji predstavlja sposobnost papirnog ambalažnog materijala da izdrži mehanička opterećenja. Međutim, prekomjerna upotreba škroba dovodi do znatnih financijskih troškova i neučinkovitog korištenja resursa. Razvojem virtualnog senzora za mjerenje SCT vrijednosti moguće je precizno pratiti vrijednosti SCT-a tijekom proizvodnje papira, pri čemu se primjenom naprednih optimizacijskih tehnika, potrošnja škroba može smanjiti na minimalnu razinu, a da se pri tome proizvodi željena vrsta papira i papir u skladu s TAPPI standardom T1826. Praktični rezultati primjene rješenja u tvornici DS Smith Belišće, izloženi u ovome radu, pokazuju obećavajući potencijal za ostvarenje ušteda i povećanje resursne učinkovitosti u papirnoj industriji.

Ključne reči: optimizacija potrošnje škroba, Short-Span Compression Test, virtualni senzor, prediktivni model

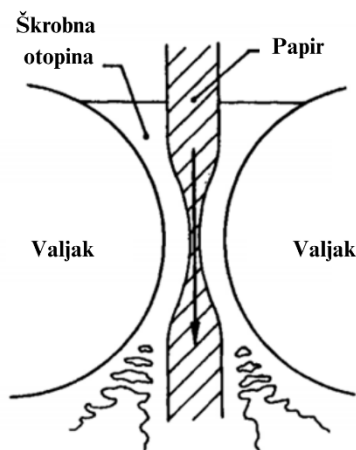
1. UVOD

Papir se većinski proizvodi temeljem principa Fourdrinierovog stroja, izumljenog 1799. godine pri čemu je bio prvi stroj koji je omogućio proizvodnju kontinuirane papirne trake. Ovakav princip proizvodnje papira podrazumijeva dovod razrijeđene mase kroz glavu natoka na pomično, dugo, beskonačno sito [1]. Na situ velika količina vode otječe kroz sito te se sadržaj vlage smanjuje. Nakon toga, papirna traka prolazi kroz presu pri čemu se istiskuje voda, a vlakna se dovode u bliski kontakt. Ostatak vlage se iz papira uklanja u sustavu sušnih skupina. Moderni papirni strojevi sadrže i dodatne elemente koji se koriste za površinsko keljenje, kalandriranje i premazivanje. Površinsko keljenje odvija se na tzv. size presi gdje se na površinu papira nanosi škrob, a sve u svrhu stvaranja specifičnih svojstava papira koja se zahtijevaju od suhog papira [2].

Iako je princip proizvodnje papira ostao gotovo nepromijenjen, znatno ubrzanje proizvodnje mehanizacijom, posebni zahtjevi nad gotovim proizvodom, ali i sve veće korištenje starog papira kao sirovine, doveli su do potrebe za korištenjem raznih aditiva u procesu proizvodnje papira. Aditivi koji se koriste, a bez kojih moderna proizvodnja papira ne bi bila moguća su mineralna punila, veziva (keljiva), bojila, sredstva protiv pjenjenja, sredstva koja poboljšavaju mokru čvrstoću, sredstva za ubrzavanje uklanjanja vode, retencijska sredstva i sl. [3]. Dakle, uz celulozna vlakna koja čine osnovnu sirovinu, druge dvije najzastupljenije sirovine u papiru su mineralna punila i škrob, što čini papirnu industriju najvećim konzumentom škroba u Europi [4],[5].

1.1 Škrob u proizvodnji papira

Škrob je ugljikohidrat biljnog porijekla, polimer glukoze koji se sastoji od amiloze i amilopektina. Glavni izvori komercijalnog škroba su kukuruz, krumpir i pšenica [5]. Škrob se u papirnoj industriji koristi u različitim oblicima i u različite svrhe. Oblici škroba koji se najčešće koriste su nativni, modificirani (oksidirani, kiselo ili enzimski konvertirani) i kationski škrob te mješavina škroba i lateksa. Područja primjene škroba su kao dodatak u mokrom dijelu, površinsko keljenje, premazivanje i lijepljenje, a sve u svrhu povećanja retencije, odvoda vode i čvrstoće i mehaničkih svojstava suhog papira te smanjenja upijanja, poboljšanja tiskarskih svojstava, svjetline i glatkoće, a u slučaju lijepljenja predstavlja jeftinu sirovinu za proizvodnju ljepenki i laminata [5],[4].



Slika 1: Shematski prikaz size prese [2]

Figure 1: Schematic representation of a size press [2]

Površinsko keljenje uz pomoć škroba kao keljiva, odvija se na size presi (Slika 1). Size presa je uređaj koji nanosi tanak sloj keljiva (škroba) na površinu već formirane i djelomično osušene papirne trake. Sastoji se od dva rotirajuća valjka koji formiraju „nip“ odnosno dodirnu zonu, uronjenih u otopinu škroba. Otopina škroba koja se nalazi u škrobnoj kadi sadrži između 2 % i 15 % škroba, ovisno o vrsti papira. Papirna traka prolazi između valjaka, kroz nip, gdje se škrob mehanički nanosi na papir, a u unutrašnjost papira prodire kapilarnim upijanjem. Size presa se nalazi unutar sušne sekcije, odnosno, na nju dolazi djelomično osušeni papir, koji se nakon izlaganja škrobnoj otopini pri površinskom keljenju, mora dodatno osušiti [2],[4].

Količina škroba koji se stvarno ugradi u papir ne ovisi samo količini nanese otopine škroba, već i o brojnim drugim međusobno povezanim faktorima, kao što su poroznost papira, koncentracija, temperatura i pH škrobne otopine, prisutnost aditiva, tlak između valjaka size prese i brzina prolaska papirne trake kroz size presu. Ciljevi dorade papirne mase površinskim keljenjem su poboljšanje mehaničkih i optičkih svojstava papira, točnije ono povećava otpornost papira na mehanička oštećenja i vlagu, smanjuje propusnost papira na tekućine te poboljšava tiskovne karakteristike, izgled i teksturu papira [2],[4].

1.2 Short-Span Compression Test

SCT (eng. „Short-Span Compression Test“) je metoda za ispitivanje tlačne čvrstoće papira, točnije, SCT vrijednost predstavlja sposobnost materijala da izdrži tlačna naprezanja bez lomljenja i deformacija [6]. SCT vrijednost određuje se laboratorijski, standardnom metodom ISO 9895:2009, na način da se uzorak papira širine 15 mm, postavlja između dvije steznice na međusobnoj udaljenosti od 0,7 mm. Uzorak papira se zatim podvrgava tlačnom opterećenju te se mjeri maksimalna sila koju uzorak može izdržati prije nego li dođe do deformacije ili izvijanja. Izmjerena sila se dijeli sa širinom uzorka, a kao rezultat se dobije SCT vrijednost izražena u kN/m (Jednadžba 1) [7].

$$SCT = \frac{F}{w} \left[\frac{kN}{m} \right] \quad (1)$$

gdje su: SCT – SCT vrijednost (kN/m), F – maksimalna izdržana sila (N), w – širina uzorka (mm).

SCT test razvijen je i najčešće se koristi za ispitivanje tlačne čvrstoće kartona i ljepenki namijenjenih za ambalažni materijal, budući da se od ambalažnog papirnog materijala zahtijeva određena razina čvrstoće kako bi se osigurao siguran transport proizvoda unutar ambalažnog materijala.

Vrsta papira, odnosno gramatura, sama po sebi ima velik utjecaj na SCT vrijednost. Teži papiri su otporniji na tlačna opterećenja te pokazuju veću SCT vrijednost. Osim toga, postupak površinskog keljenja papira škrobom, također povećava čvrstoću i mehaničke osobine papira, uključujući i SCT vrijednost. Prema Lipponen i sur. [8], površinsko keljenje poboljšava SCT vrijednost papira, pri čemu se povećanjem koncentracije škroba u škrobnoj otopini povećava i SCT vrijednost, ali do određene granice. Nakon prijeđene granice, utjecaj povećanja koncentracije škroba na povećanje SCT-a stagnira ili dovodi čak do negativnih posljedica, kao što su neravnomjerno upijanje škroba u papir ili prekomjerno očvršćivanje površine papira. Također, autori potvrđuju kako osim koncentracije škroba, razina upijanja škroba u papir ima značajan utjecaj na čvrstoću papira, odnosno SCT. Ravnomjerno i umjereno upijanje škroba u papir, dovodi do boljih mehaničkih osobina papira. Dakle, postoji optimalna koncentracija škroba koja dovodi do postizanja željenih SCT vrijednosti.

1.3. Virtualni senzori

Virtualni senzori (softverski ili soft senzori) su računalni algoritmi koji izračunavaju, odnosno predviđaju, vrijednost neke fizikalne veličine. Predstavljaju zamjenu za uobičajene, fizičke mjerne instrumente. Dakle, virtualni senzori za razliku od fizičkih mjernih instrumenata, ne mjere neku fizikalnu veličinu direktno, već procjenjuju njenu vrijednost na temelju matematičkog modela. Matematički modeli korišteni unutar virtualnih senzora, opisuju ovisnost veličine koja se želi mjeriti, o drugim, poznatim i mjerljivim procesnim veličinama [9]. Matematički modeli se mogu kreirati temeljem fizikalnih zakonitosti („*first-principle*“ ili „*white box*“ modeli) ili empirijski dokazanim zakonitostima („*data-driven*“ ili „*black box*“ modeli). Budući da su industrijski proizvodni procesi često vrlo kompleksni i nelinearni, prethodno teorijsko znanje o fizikalnim zakonitostima koji utječu na međuovisnost pojedinih veličina nije uvijek poznata. Zbog toga, empirijski modeli dobiveni prikupljanjem, obradom i analizom povijesnih procesnih podataka o tijeku odvijanja industrijskog procesa, predstavljaju učinkovit pristup razvoju virtualnih mjernih instrumenata s visokom razinom točnosti. Empirijski matematički modeli razvijaju se pomoću različitih matematičko-statističkih metoda, poput regresije, strojnog učenja te u novije vrijeme pomoću metoda umjetne inteligencije kao što su neuronske mreže [10].

Dva osnovna načina primjene virtualnih senzora su kao virtualna kopija fizičkog mjernog instrumenta („*back-up*“ senzor) i za procjenu vrijednosti procesnih veličina koje se ne mogu mjeriti fizičkim mjernim instrumentima ili se mjere s dugačkim vremenom uzorkovanja („*on-line*“ senzor). „*Back-up*“ senzori koriste se kao zamjena u slučaju kvara fizičkog instrumenta, za ranu identifikaciju krivog rada fizičkog instrumenta te u slučajevima kada predstavljaju jeftinu alternativu za skupe i kompleksne fizičke senzore. „*On-line*“ senzori omogućuju uvid u stanje neke fizikalne veličine koja se inače ne može mjeriti, čime je omogućeno uspješnije upravljanje industrijskim procesom u željenom smjeru te detaljna kontrola određenih procesnih veličina koja se inače ne bi mogla ostvariti [11].

Korisna primjena virtualnih senzora u proizvodnji papira je za procjenu vrijednosti mehaničkih osobina papira. Ne postoje fizički mjerni instrumenti koji mogu mjeriti mehanička svojstva, već se ona određuju laboratorijskom analizom nakon proizvodnje. Uvid u procijenjene buduće vrijednosti mehaničkih svojstava tijekom proizvodnje papira, omogućuje pravovremeno ispravljanje mehaničkih osobina koje ne ispunjavaju zahtjeve nad kvalitetom, usmjeravanje procesa proizvodnje u nekom željenom smjeru te optimizaciju korištenja energenata i sirovina u proizvodnji [12].

2. EKSPERIMENT

Zadatak eksperimenta bio je razviti, testirati i implementirati virtualni senzor za procjenu SCT vrijednost ambalažnog papira, kao i rješenje za optimizaciju potrošnje škroba na size presi. Rješenje je razvijeno i implementirano za potrebe postrojenja za proizvodnju papira DS Smith Belišće. Navedeno postrojenje proizvodi širok spektar proizvodnog asortimana ($80 \text{ g/m}^2 - 160 \text{ g/m}^2$), a za svaku vrstu i gramaturu proizvedenog ambalažnog papira, garantira kupcima određenu SCT vrijednost tog papira. Radi ispunjavanja zagaraniranih vrijednosti SCT-a, trenutno se proces proizvodnje odvija u tzv. sigurnoj zoni, odnosno proizvodi se papir sa SCT vrijednostima višima od garantiranih, pri čemu je i potrošnja škroba veća od potrebne.

Virtualni SCT senzor omogućio bi uvid u stanje mehaničkih svojstava papira, prije laboratorijske analize, odnosno tijekom same proizvodnje papira, čime bi se omogućila optimizacija potrošnje škroba na size presi bez opasnosti od proizvodnje papira koji ne ispunjava zadane zahtjeve nad kvalitetom.

2 Virtualni SCT senzor

2.1. Prikupljanje i obrada podataka

Podaci o povijesnim vrijednostima procesnih veličina identificiranih kao ključne veličine koje utječu na SCT vrijednost, kao što su gramatura, vlaga, specifična potrošnja škroba, protok guste mase itd., prikupljeni su sistematično s DCS-a („*Distributed Control System*“), u periodu od godinu dana. Ukupno su korištene dvadeset i tri procesne veličine za izradu virtualnog senzora. Uz povijesne podatke o vrijednostima procesnih veličina, prikupljeni su i rezultati laboratorijske analize SCT vrijednosti, određene u skladu s normom ISO 9895:2009, za isti vremenski period.

Podaci su obrađeni na način da su se uklonile minimalne i maksimalne vrijednosti, podaci koji nedostaju, izgladen je šum te su identificirana područja „normalnog“ rada. Vrijednosti su raspoređene prema broju role te im je pridijeljena laboratorijska SCT vrijednost, određena za tu rolu.

2.1.2. Modeliranje

Prikupljeni podaci podijeljeni su u tri dijela, set za treniranje modela, set za test i set za validaciju te je određen empirijski matematički model, odnosno matematička funkcija koji opisuje ovisnost SCT vrijednosti o identificiranim ključnim parametrima (Jednadžba 2).

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = y \quad (2)$$

gdje su $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ sve ulazne procesne veličine u model, y izlaz iz modela, tj. SCT vrijednost koja se procjenjuje.

Empirijski model određen je testirajući velik broj različitih regresijskih metoda i metoda strojnog učenja. Odabrana je metoda koja je pokazivala najbolje performanse i vrijednosti za procjenu točnosti modela. Vrijednosti koje ukazuju na točnost modela, a koje su uzete u obzir pri odabiru najprikladnijeg modela, su RMSE (korijen srednje kvadratne pogreške, „*Root Mean Squared Error*“), MSE (srednja kvadratna pogreška, „*Mean Squared Error*“), MAE (srednja apsolutna pogreška, „*Mean Absolute Error*“) i R^2 (koeficijent determinacije), a vrijednost koja ukazuje na performanse modela bila je brzina izvođenja i računalna snaga potrebna za izvođenje predikcije.

2.1.3. Puštanje u rad i validacija

Kreirani matematički model, odnosno virtualni senzor, integriran je u samostalnu pozadinsku Windows Servis aplikaciju, koja je puštena u rad na računalo unutar postrojenja, a koje ima pristup DCS-u. Aplikacija ciklički prikuplja trenutne vrijednosti svih procesnih veličina s DCS-a, koje ulaze u matematički model, putem OPC DA komunikacijskog protokola, koristeći ERGA OPC Client aplikaciju. Nakon prikupljanja podataka, izvršava se matematički model, odnosno izračunava se procjena SCT vrijednost pri trenutnim uvjetima proizvodnje. Procijenjena SCT vrijednost šalje se natrag na DCS, ponovno putem OPC DA komunikacijskog protokola.

Zahtijevale su se minimalne izmjene na postojećem DSC sustavu. Na postojeću SCADA-u dodan je prikaz izračunate procijenjene SCT vrijednosti, koju operateri imaju na uvid. Osim toga, izmijenjeni su postojeći izvještaji tambura, na način da je dodana SCT vrijednost sa virtualnog senzora u izvještaj.

Nakon prvotnog puštanja virtualnog SCT senzora u rad, uspoređene su izmjerene vrijednosti sa stvarnim SCT vrijednostima određenima u laboratoriju s ciljem validacije ispravnosti virtualnog senzora, nakon čega je virtualni senzor u potpunosti pušten u rad.

2.2 Optimizacija potrošnje škroba pri nanošenju na površinu papira

Rješenje je prvotno zamišljeno kao savjetodavni sustav u otvorenoj petlji, koji će davati preporuku operaterima o optimalnoj zadanoj vrijednosti specifične potrošnje škroba pri trenutnim uvjetima proizvodnje. Daljnjim

razvojem, biti će moguće automatizirati rješenje radom u zatvorenoj petlji, pri čemu će se samostalno izvršavati preporučena zadana vrijednost specifične potrošnje škroba.

2.2.1. Postavljanje i rješavanje optimizacijskog problema

Cilj optimizacije bio je smanjiti potrošnju škroba na size presi, uz ostvarivanje željene SCT vrijednosti. Postavljeni nelinearni optimizacijski problem sastojao se od funkcije cilja i ograničenja. Funkcija cilja definirana je kao globalni minimum varijable odlučivanja, koja predstavlja potrošnju škroba, tako da se i dalje ostvari željeni izlaz iz modela, odnosno željena SCT vrijednost, pri čemu su svi ostali ulazni parametri definirani kao konstante. Postavljeni optimizacijski problem dan je u Jednadžbama 3, 4 i 5.

$$\min_x f(x, c_1, c_2, c_3, \dots, c_{n-1}) \quad (3)$$

$$\text{takav da je } f(x, c_1, c_2, c_3, \dots, c_{n-1}) = y' \quad (4)$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \quad (5)$$

gdje su: x – varijabla odlučivanja, odnosno specifična potrošnja škroba, $c_1, c_2, c_3, \dots, c_{n-1}$ – ulazne procesne veličine, n – ukupan broj ulaznih procesnih veličina u model, y' – željena SCT vrijednost, $x_{\min}$ – minimalna dozvoljena vrijednost specifične potrošnje škroba, $x_{\max}$ – maksimalna dozvoljena vrijednost specifične potrošnje škroba.

Za rješavanje postavljenog nelinearnog optimizacijskog problema korištene su iterativne metode, na način da metoda kreće od početne točke, tj. početne vrijednosti varijable odlučivanja (u ovom slučaju, od trenutne vrijednosti specifične potrošnje škroba), i u svakoj se iteraciji pomiče kroz skup dopustivih rješenja, sve dok ne pronađe globalni minimum dopustivih rješenja. Pronađeni globalni minimum skupa dopustivih rješenja, predstavlja optimalnu vrijednost specifične potrošnje škroba, pri kojoj će se ostvariti željena SCT vrijednost proizvedenog papira.

2.2.2. Puštanje u rad

Algoritam za rješavanje optimizacijskog problema, integriran je u zasebnu, samostalnu pozadinsku Windows Servis aplikaciju koja ostvaruje komunikaciju s DCS-om, putem OPC DA komunikacijskog protokola preko ERGA OPC Client aplikacije. Aplikacija ciklički čita trenutne vrijednosti svih procesnih veličine koje predstavljaju ulaz u model, izvršava rješavanje optimizacijskog problema na prethodno opisani način te vraća dobiveno rješenje na DCS, ponovno putem OPC DA komunikacijskog protokola. Rješenje optimizacijskog problema, odnosno optimalna vrijednost specifične potrošnje škroba, prikazuje se na SCAD-i te služi kao preporuka operaterima kolika je optimalna koncentracija škroba na size presi.

3. REZULTATI I RASPRAVA

Mjere točnosti matematičkog modela za predviđanje SCT vrijednosti, korištenog kao virtualni senzor, na validacijskom setu podataka prije puštanja senzora u rad, iznosile su:

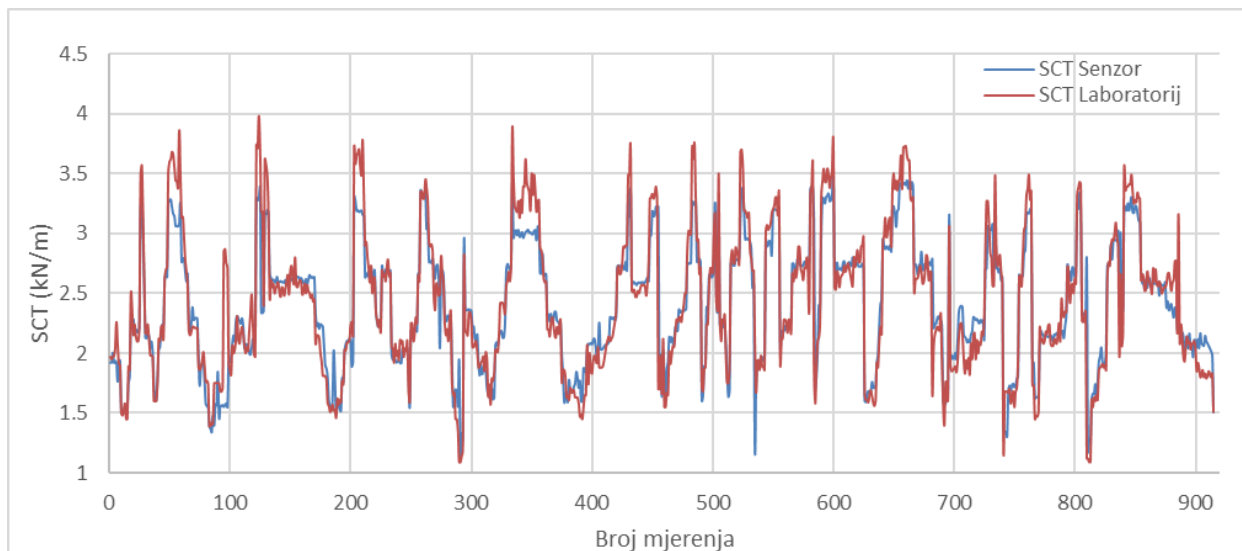
- Srednja apsolutna pogreška, MAE = 0,0598;
- Srednja kvadratna pogreška, MSE = 0,0069;
- Korijen srednje kvadratne pogreške, RMSE = 0,083;
- Koeficijent determinacije, $R^2 = 0,9759$.

MAE, MSE i RMSE su poželjnije što su bliže nuli, stoga se dobivene vrijednosti navedenih mjera točnosti smatraju zadovoljavajućima. Primjerice, prema MAE, prosječno odstupanje virtualnog senzora od prave vrijednosti SCT-a, iznosit će 0,0598 kN/m. Budući da se SCT vrijednost izražava pomoću dvije decimale, dobivena greška smatrana je zadovoljavajućom. S druge strane, koeficijent determinacije je poželjniji što je bliži jedinici. Dobiveni rezultat koeficijenta determinacije od 0,9759, pokazuje da je modelom objašnjeno 97,59 % varijacija izlazne vrijednosti iz modela, odnosno 97,59 % varijacija u SCT vrijednosti, modelom se može direktno objasniti varijacijama u ulaznim procesnim veličinama.

Nakon puštanja virtualnog senzora u rad i prikupljanja preko devetsto novih mjerenja, uspoređene su SCT vrijednosti dobivene virtualnim senzorom s onima određenim laboratorijskom analizom (Slika 2).

Mjere točnosti virtualnog senzora nakon puštanja u rad, iznosile su:

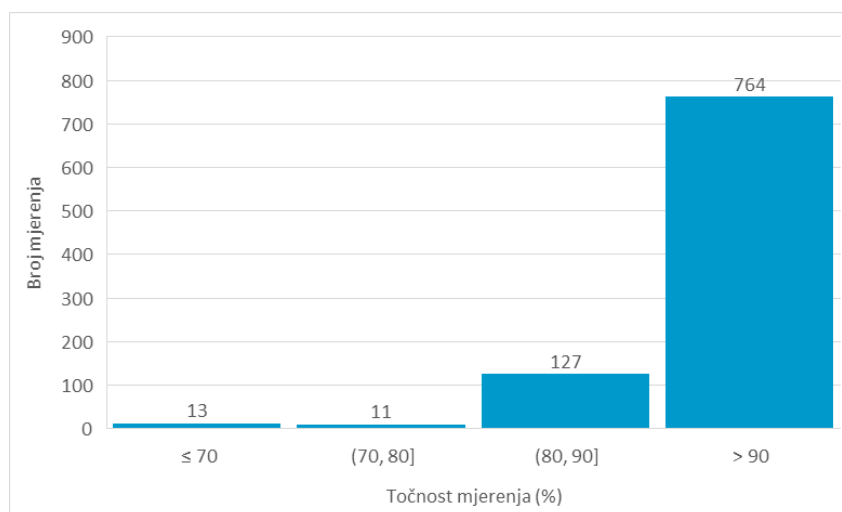
- Srednja apsolutna pogreška, MAE = 0,1724;
- Srednja kvadratna pogreška, MSE = 0,0495;
- Korijen srednje kvadratne pogreške, RMSE = 0,223;
- Prosječna točnost = 93,77 %.



Slika 2: Usporedba predviđenih i stvarnih SCT vrijednosti

Figure 2: Comparison of predicted and actual SCT values

Iako su mjere točnosti modela nakon puštanja u rad, odnosno na novim setovima podataka, smanjenje u odnosu na validacijski set, prosječna točnost od 93,77 % i dalje je zadovoljavajuća. Smanjenje vrijednosti mjera točnosti može se objasniti time što svega nekoliko mjerenja znatno smanjuju prosjek čitavog seta dobivenih rezultata, što se jasnije može shvatiti na Slici 3 koja prikazuje razdiobu točnosti dobivenih rezultata s virtualnog senzora u usporedbi s laboratorijskom analizom.



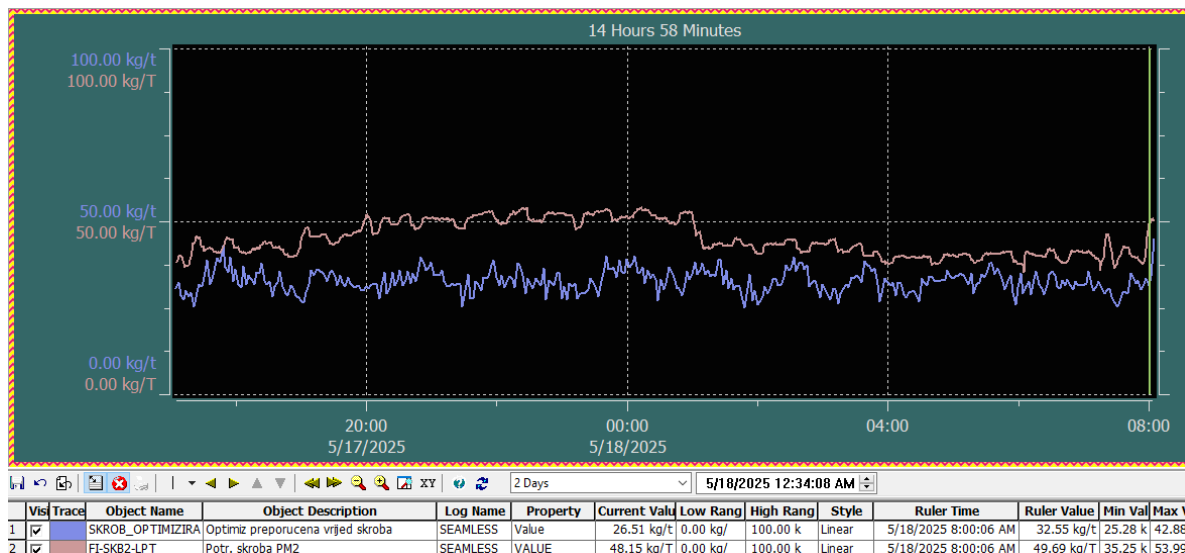
Slika 3: Razdioba točnosti mjerenja virtualnog SCT senzora

Figure 3: Distribution of the accuracy of the virtual SCT sensor measurements

Razdioba ukazuje na visoku točnost virtualnog senzora, koji je u 83,49 % slučajeva pokazivao SCT vrijednost s više od 90 % točnosti u odnosu na stvarne vrijednosti SCT-a. Dok je u svega 1,42 % slučajeva točnost virtualnog senzora bila ispod 70 %. Sukladno tome, medijalna vrijednost točnosti iznosila je 95,55 %, dok je mod vrijednost, odnosno vrijednost točnosti koja je najčešće postignuta, iznosila 96,35 %. Kao što je i očekivano, najniža točnost

virtualnog senzora je pri uvjetima proizvodnje te za vrste i gramature papira koje su najmanje zastupljene u setu podataka na kojemu je model treniran.

Optimizacijski algoritam kontinuirano izračunava optimalnu vrijednost specifične potrošnje škroba za postizanje standardne vrijednosti SCT-a pri danim uvjetima proizvodnje. Ove informacije su dostupne operaterima koji preuzimaju daljnje upravljanje proizvodnjom u željenom smjeru. Primjer rada algoritma za optimizaciju specifične potrošnje škroba dan je u nastavku (Slika 4).



Slika 4: Prikaz rada savjetodavnog sustava za optimizaciju potrošnje škroba na DCS-u; Ružičasto – stvarna specifična potrošnja škroba kg/t; Plavo – preporučena specifična potrošnja škroba kg/t

Figure 4: Display of the advisory system operation for starch consumption optimization on the DCS; Pink – actual specific starch consumption in kg/t; Blue – recommended specific starch consumption in kg/t

Stvarna prosječna specifična potrošnja škroba, pri uobičajenoj proizvodnji smeđeg Liner 2 140 g/m² papira, bez uzimanja u obzir preporuke optimizacijskog algoritma, iznosila je 44,62 kg/t, pri čemu se proizveo papir s prosječnom SCT vrijednosti od 2,85 kN/m. Tipična SCT vrijednost za spomenutu vrstu papira iznosi 2,6 kN/m, dok minimalna garantirana SCT vrijednost iznosi 2,40 kN/m te je sukladno tome, algoritam izračunao optimalnu specifičnu potrošnju škroba od 34,08 kg/t, pri kojoj bi se prema prediktivnom SCT modelu, SCT smanjio na nivo TAPPI standarda. To predstavlja smanjenje potrošnje škroba od 23,62 %.

4. ZAKLJUČCI

Primjenom metoda strojnog učenja, moguće je empirijskim putem kreirati virtualni senzor za predviđanje SCT vrijednosti, s visokom razinom prosječne točnosti od 93,7 %, medijalne točnosti od 95,55 % te mod vrijednosti točnosti od 96,35 %, u usporedbi sa laboratorijski određenim SCT vrijednostima. Najveći nedostatak empirijski dobivenih matematičkih modela su niska razinu točnosti u slučajevima uvjeta proizvodnje koji nisu zastupljeni u setu podataka za treniranje modela, odnosno koji nisu opisani modelom. Međutim, s dovoljno velikim setom ulaznih podataka, takvih slučajeva će tijekom rada modela biti vrlo malo i mogu se uzeti u obzir kao anomalije u proizvodnji.

Preciznim praćenjem SCT vrijednosti tijekom proizvodnje ambalažnog papira, dostupne su informacije o kretanju procesa proizvodnje, omogućena je kontrola same SCT vrijednosti te usmjeravanje proizvodnje, odnosno optimizacija proizvodnje u nekom željenom smjeru.

Škrob je kao treća najzastupljenija sirovina u proizvodnji papira, identificiran kao područje visokog potencijala za optimizaciju potrošnje i ostvarenje financijskih ušteda. Kreiranjem algoritma za rješavanje optimizacijskog problema izračuna minimalne specifične potrošnje škroba, moguće je ostvariti znatne financijske uštede u proizvodnji papira, bez narušavanja kvalitete gotovog proizvoda.

4. CONCLUSIONS

By applying machine learning methods, it is possible to empirically create a virtual sensor for predicting SCT values, with a high level of average accuracy of 93.7%, a median accuracy of 95.55%, and a mode accuracy of 96.35%, compared to laboratory-determined SCT values. The main drawback of empirically derived mathematical models is their low accuracy under production conditions not represented in the model's training dataset—that is, conditions not described by the model. However, with a sufficiently large set of input data, such cases will be very rare during model operation and can be considered production anomalies.

By accurately monitoring SCT values during packaging paper production, information about the production process flow becomes available, allowing for control of SCT values and guidance of the production process, i.e., optimization in a desired direction.

Starch, being the third most used raw material in paper production, has been identified as an area with high potential for consumption optimization and cost savings. By creating an algorithm to solve the optimization problem of calculating the minimum specific starch consumption, significant financial savings can be achieved in paper production without compromising the quality of the final product.

Literatura

- [1] Petrić D, Vusić D, Geček R: Kartoni: od proizvodnje do konačne primjene. *Tehnički glasnik* 6(2):219-227, 2012.
- [2] Mentzer M J: Starch in the Paper Industry. U *Starch: Chemistry and Technology 2nd edition*, Food Science and Technology, 543—574. Academic Press, 1984.
- [3] Goedvriend G J M: Papermaking past and present. *Endeavour* 2(1):38-43, 1988.
- [4] Maurer H W: Starch in the Paper Industry. U *Starch: Chemistry and Technology 3rd edition*, Food Science and Technology, 657-713. Academic Press, 2009.
- [5] Özden Ö, Sönmez S: Starch Usage in the Paper Industry. U *Research & Reviews in Engineering*, 208-223. Gece Akademi, 2019.
- [6] Šarčević I, Banić D, Milčić D: Evaluation of compressive test methods for paper using a mathematical model, based on compressive test for corrugated board. *Acta Graphica* 27(1):47-50, 2016.
- [7] Härmäläinen P, Hallbäck N, Gård A, Lestelius M: On the determination of transverse shear properties of paper using the short span compression test. *Mechanics of Materials* 107:22-30, 2017.
- [8] Lipponen J, Pakarinen J, Jääskeläinen J, Grön J: Mechanical properties of woodfree paper sheets at different surface size starch amounts. *Paperi Ja Puu/Paper and Timber* 87(3):170-175, 2005.
- [9] Fortuna L, Graziani S, Rizzo A, Xibilia M G: Soft Sensors in Industrial Applications. U *Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes*, Advances in Industrial Control, 1-10. Springer, 2005.
- [10] Shang C, Yang F, Huang D, Lyu W: Data-driven soft sensor development based on deep learning technique. *Journal of Process Control* 24:223-233, 2014.
- [11] Kadlec P, Gabrys B, Strandt S: Data-driven Soft Sensors in the process industry. *Computers and Chemical Engineering* 33:795-814, 2009.
- [12] Bratek D, Cikoja M: Adaptive model predictive control applications in paper production. U *XXV International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics Proceedings*, 111-118. CPA&G 2024.

Corresponding author:

Mihael Cikoja

Erga d.o.o., Bana Jelačića 197, 35210 Vrpolje

Croatia

mihael.cikoja@erga.hr

THE ROLE OF PERIODICAL ENERGY AUDITS IN ENHANCING ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF PAPER MACHINES

ULOGA PERIODIČNIH ENERGETSKIH AUDITA U UNAPREĐENJU ENERGETSKE EFIKASNOSTI I ODRŽIVOSTI PAPIRNIH MAŠINA

Nenad Milosavljevic^{1,2}, Mario Milosavljevic²

¹*Abo Akademi University, Faculty of Science and Engineering, Laboratory of Process and Systems Engineering, Turku, Finland;* ²*Sunnea Oy, Consulting & Engineering, Air Systems, Drying & Runnability of Paper, Board and Tissue Machines, Jyskä, Finland*

Abstract

In the paper production industry, performing regular energy audits of the drying section and associated heat recovery systems is crucial for reducing operational costs and minimizing environmental impact. As the most energy-intensive stage of the process, the dryer section presents a prime opportunity for energy optimization.

A practical example of the benefits of periodic energy audits can be seen in the improvements made to Paper Machine in DS Smith corporation. By optimizing airflow (supply and exhaust air in drying section) and aligning it more closely with the system's original design parameters, the facility achieved significant energy savings and enhanced overall operational efficiency and environmental impacts.

Keywords: *paper machine, drying section, audit, airflow, efficiency, sustainability*

Izvod

U industriji proizvodnje papira, redovno provođenje energetske audita sušne partije papir masine i pripadajućih sistema za rekuperaciju toplote od suštinskog je značaja za smanjenje operativnih troškova i minimizaciju uticaja na životnu sredinu. Kao energetski najintenzivnija faza procesa proizvodnje papira, sušna partija predstavlja ključnu priliku za optimizaciju potrošnje energije.

Praktičan primer periodičnih energetske audita može se videti kroz unapređenja provedena na Papir mašini u kompaniji DS Smith. Optimizacijom protoka vazduha (ulazni i izlazni vazduh u susnoj partiji) i njihovim usklađivanjem sa originalnim projektovanim parametrima sistema, postrojenje je ostvarilo značajne uštede energije, povećalo ukupnu operativnu efikasnost i smanjilo negativan uticaj na životnu sredinu.

Ključne reči: *papir mašina, sušna partija, audit, protok vazduha, efikasnost, održivost*

1. INTRODUCTION

Effective energy management and regular energy audits on paper machines should be a core part of every management strategy, given the significant benefits they offer. When combined with industry best practices, these audits lead to improved machine efficiency, reduced energy consumption, and increased production output.

A key focus of these audits is the drying section, where airflow balance in both the supply and exhaust systems is measured. Since nearly all energy exiting the dryer section is carried away with the exhaust air—which has significantly higher specific enthalpy than the incoming supply air—this presents a major opportunity for energy recovery. More than 50% of this exhaust energy can be reclaimed with a well-designed heat recovery system.

Periodic audits of the drying section, combined with efficient heat recovery, can deliver substantial energy savings and significantly reduce CO₂ emissions. The greatest impact is achieved through consistent auditing and systematic monitoring of key process parameters and equipment performance. This ensures optimal operation of both the drying section and its associated heat recovery systems.

This article includes a practical example showcasing the benefits of regular, systematic energy audits conducted across DS Smith Corporation's paper machines.

2. THEORETICAL REVIEW OF THE AIR SYSTEMS FOR THE PAPER AND BOARD MACHINES

In the domain of paper production, heat energy accounts for 70%, while electric energy makes up the remaining 30% of the total energy consumption. Notably, most of the steam energy consumed in a paper machine, around 80% (Figure 1.), is dedicated to paper drying, making the dryer section the largest energy consumer in the paper production process. Consequently, effective energy management and optimizing the drying conditions play crucial roles in identifying and enhancing the current situation in paper and board machines.

The ventilation systems on board and paper machines consume between 5 and 8% of the total steam consumption.

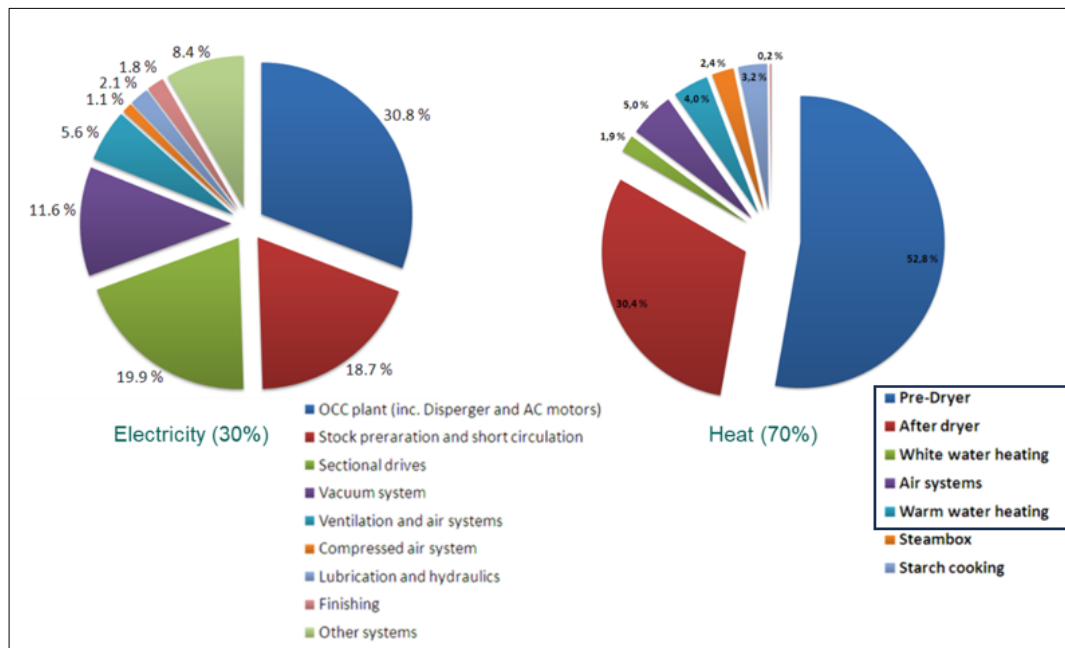


Figure1. Typical distribution of energy consumption Liner and fluting machines (Ref. 3, Milosavljevic, N., (2000))

Slika 1. Tipična raspodela potrošnje energije na mašinama za fluting i liner (Ref. 3, Milosavljević, N., (2000))

The largest part is used for heating the supply air. The end consumption depends on the desired air end temperature, the design of the heat recovery and the exhaust air humidity. The maximum effect of heat recovery can be between 55 and 80%.

3. ENERGY AUDIT AT PAPER MACHINE

3.1 Production data

The energy audit was conducted over a defined period, during which comprehensive measurements are of the air systems on PM2 were performed. The corresponding production data are presented in Table 1.

Table 1 The process parameters on PM2. This information is sourced from the DCS.

Tabela 1 Procesni parametri na PM2. Ove informacije su preuzete iz DCS sistema.

Paper grade	(MEDIUM PLUS) 120g/m ²	
Production, after-dryer section (total at reel)	20,05	t/h
Web width at reel	5080	mm
Basis weight @ reel	120,18	g/m ²
Reel speed	540	m/min
Dryness after the press section	53	%
Dryness before the size press	88	%
Dryness after the dryer section(s)	92	%

3.2 Drying Section Air System Configuration of PM2

The drying section of PM2 (as shown in Figure 2 and detailed in Table 2) includes one heat recovery tower in the Pre-Drying (PD) section and another in the After-Drying Section (ADS). The specific stages of the heat exchangers are outlined in Table 2.

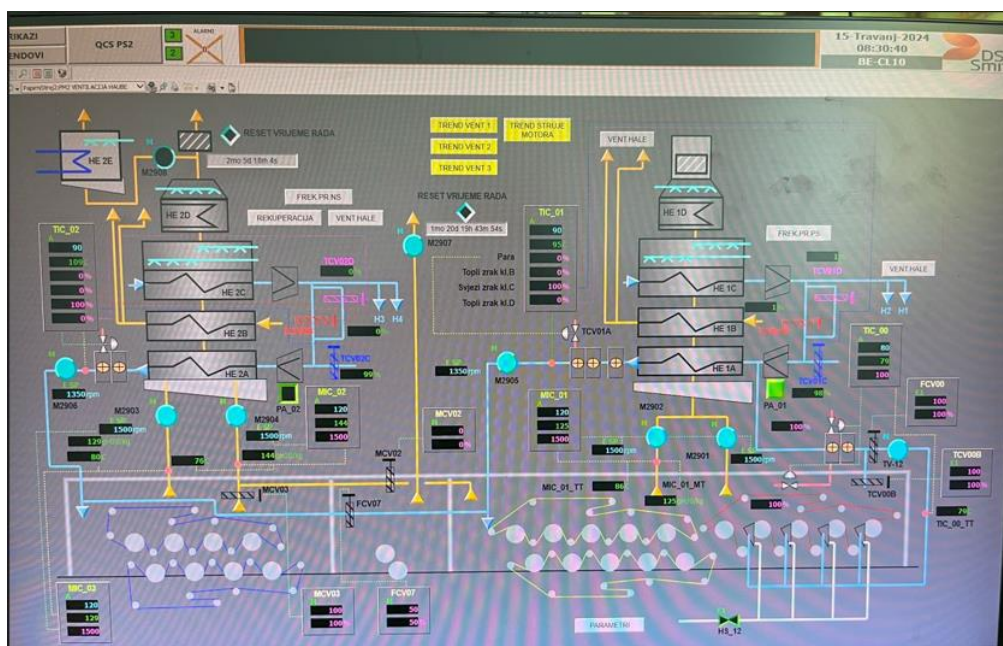


Figure 2. QCS PM2 Hood ventilation system

Slika 2. Ventilacioni sistem haube QCS PM2

Table 2. Ventilation System overview for PM2 (Pre-drying and After-drying Sections)

Tabela 2. Pregled ventilacionog sistema za PM2 (sekcije pre i posle sušne partije)

PREDRYING SECTION	
V2901 (exhaust fan)	Exhaust air from drying hood (predrying section)
V2902 (exhaust fan)	Exhaust air from drying hood (predrying section)
V2905 (supply fan)	Supply air to drying hood
HE1A (Air/Air)	Preheating of the supply air to drying hood
HE1B (Air/Air)	False Ceiling
HE1C (Air/Air)	Hall ventilation
HE1D (Air/Water)	Fresh water heating
AFTERDRYING SECTION	
V2903 (exhaust fan)	Exhaust air from drying hood (predrying section)
V2904 (exhaust fan)	Exhaust air from drying hood (predrying section)
V2906 (supply fan)	Supply air to drying hood
HE2A (Air/Air)	Preheating of the supply air to drying hood
HE2B (Air/Air)	False Ceiling
HE2C (Air/Air)	Hall ventilation
HE1D (Air/Water)	White water heating

Accurate measurement of the air systems on the machine requires careful selection and preparation of measuring points. This is essential to ensure that the recorded data reliably reflect the actual operating conditions of the machine.

4. MEASUREMENT

Airflow measurements were carried out to assess the balance between the supply and exhaust air within the system. Steam consumption is directly affected by the regulation of these two airflows, which in turn influences the efficiency of the drying section and the overall drying conditions for the paper. The results of these measurements are presented in Table 3.

Table 3 Measuring results of process parameters at PM2

Tabela 3. Rezultati merenja procesnih parametara na PM2

Measurement 5.02.2025	Exhaust						Supply		
Positions	2901	2902	2903	2904	Hood (1)	AVERAGE	2905	TV-12	2906
Process parameters									
Td (°C)	79,60	77,8	79,2	77,4	76,5	78,10	100,6	77,3	116
Tw (°C)	55,20	56,4	57,3	60,6	47,9		42,4	43,2	37
X (g/kg)	102,80	112,3	118,36	147,7	62,9	108,81	16,55	43,17	7,7
PH (%)	30,85	35,8	35	45,6	22,6		2,23	15,5	1,78
Tdp (°C)	53,10	54,7	55,6	59,4	44,4	53,44	21,9	37,9	10,2
h (kJ/kg)	300,40	317,2	329,8	382	217		142,89	175,8	134,7
ro (kg/m ³)	0,95	0,95	0,94	0,934	0,97		0,985	0,98	0,9
pst (Pa)	-610,00	-560	-752	-715	-850		-1605	-993	-2360
pdir (Pa)	220,00	164,2	152	45,4	206		86,1	190,3	12,2
d (m)	0,97	1	1,12	1,10	0,5		1,16	0,72	1,31
A (m ²)	0,74	0,79	0,98	0,95	0,20		1,056	0,407	1,347
Calculation									
v (m/s)	21,52	18,59	17,98	9,86	20,61		13,22	19,71	5,21
V (m ³ /s)	15,90	14,60	17,71	9,37	4,04		13,97	8,02	7,01
Air flows m(kg a.s./s)	13,69	12,47	14,88	7,62	3,69		13,53	7,53	6,26
Total air flows m(kg a.s./s)			52,4					27,3	52,2%
Water in Air streams m(kg/hours)	1,41	1,40	1,76	1,13	0,23		0,22	0,33	0,05
Total water m(kg h2o/s)			5,93					0,60	
Air balance evaporation mev (kg h2o/s)			5,33						
Supplier designed									
Air flows m(kg d.a./s)	13,10	12,50	18,50	9,50	4,00		16,50	8,33	14,20
Total air flows m(kg d.a./s)			57,60					39,03	67,8%
Difference (Measured-Design)	0,59	-0,03	-3,62	-1,88	-0,31		-2,97	-0,80	-7,94

5. RESULTS ANALYSE

5.1 Supply Air temperature and mass flow

It was found that the supply air temperatures of the two supply ventilators, 2905 and 2906 (Figure 3), are higher than needed, with T(2905) = 100.6°C and T(2906) = 116°C, respectively.

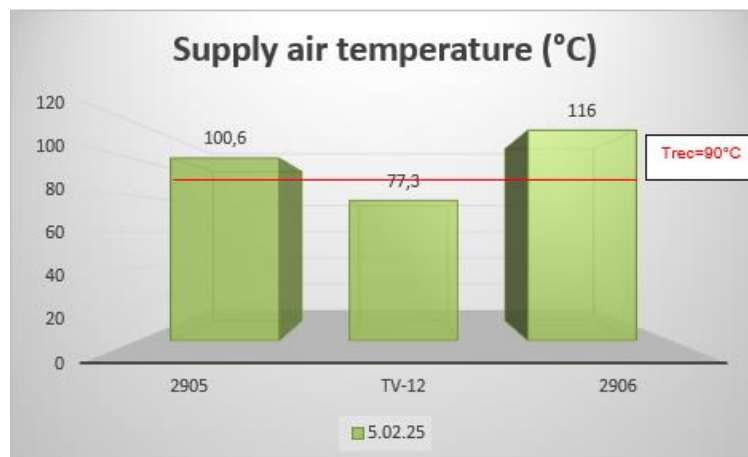


Figure 3. Supply air temperature comparison
Slika 3. Poređenje temperature dovodnog vazduha

The optimal supply air temperature should range between 90-95°C. Increasing the supply air temperature beyond this range will not provide significant benefits but will instead lead to higher steam consumption.

$$Q_{\text{extra}} (2905) = 136 \text{ kW equivalent to } 0,05 \text{ t steam/h}$$

The difference between the measured airflow and the design value is 7.94 kg/s. This amount of air needs to be compensated by cold leakage air, which will be heated at the drying cylinders, resulting in increased fresh steam consumption ($m(2906) = 6,26 \text{ kg/s}$ (design value $14,2 \text{ kg/s}$)

$$Q_{\text{extra}}(2906) = 481 \text{ kW equivalent to } 0,61 \text{ t/h}$$

TV-12 delivers air to the runnability boxes, where evaporation is not as significant. Therefore, a lower air temperature is sufficient for maintaining good machine runnability. The recommended temperature is about 70°C (Recommended temperature for supply air at T12 = 70°C)

By comparing the supply airflows with the design values (Figure 4) shows that all ventilators are delivering less air than optimal, especially ventilator 2906. This shortage in supply air results in increased cold leakage air, which consequently raises the consumption of fresh steam.

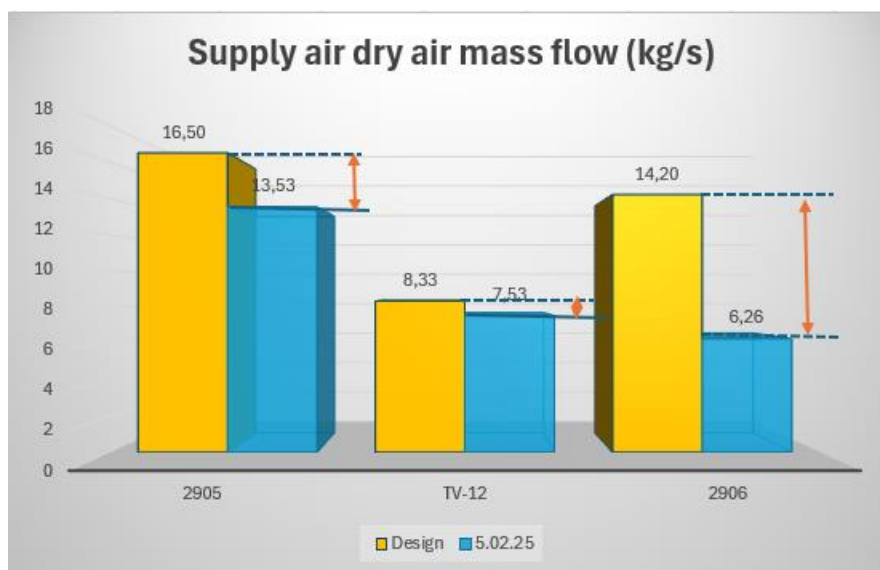


Figure 4. Supply air flows comparison (design vs. measured)

Slika 4. Poređenje protoka dovodnog vazduha (projektovani u odnosu na izmereni)

5.2 Exhaust air temperature, absolute moisture and flows

For the PM2 type of drying hood, the optimal exhaust air temperature should be around $80-85^\circ\text{C}$, with an absolute moisture content of $120-140 \text{ g/kg}$.

The exhaust air temperatures from ventilators 2903 and 2904 are slightly lower than the design value (Figure 5), likely due to a shortage of supply air from ventilator 2906 and the presence of a large amount of cold leakage air.

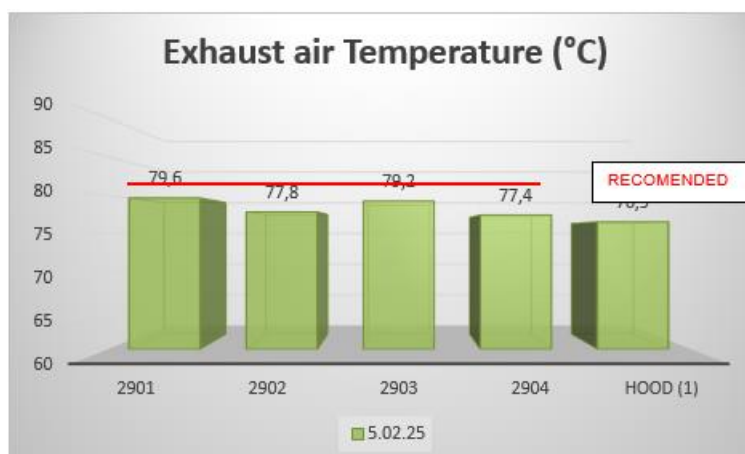


Figure 5. Exhaust air temperature

Slika 5. Temperatura izduvnog vazduha

The exhaust air's absolute humidity is lower except 2904 which shows higher absolute humidity. (Figure 6).

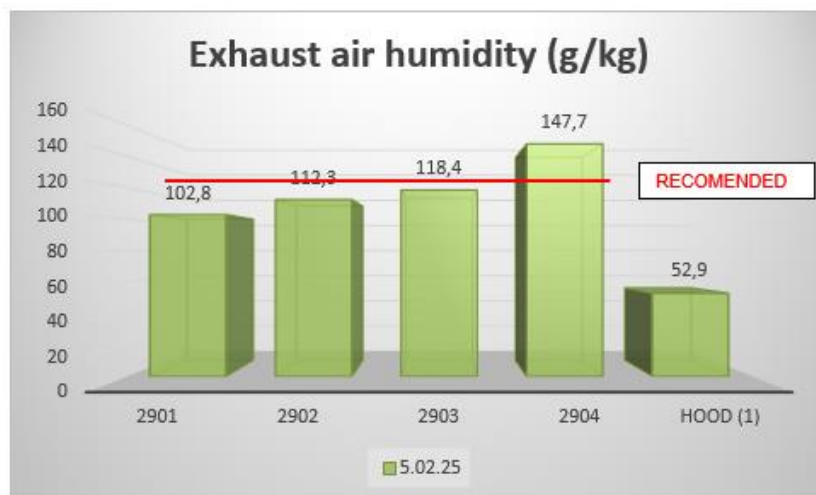


Figure 6. Exhaust air absolute moisture
Slika 6. Apsolutna vlažnost izduvnog vazduha

Figure 7 shows the exhaust air flows, which are slightly lower than the design values.

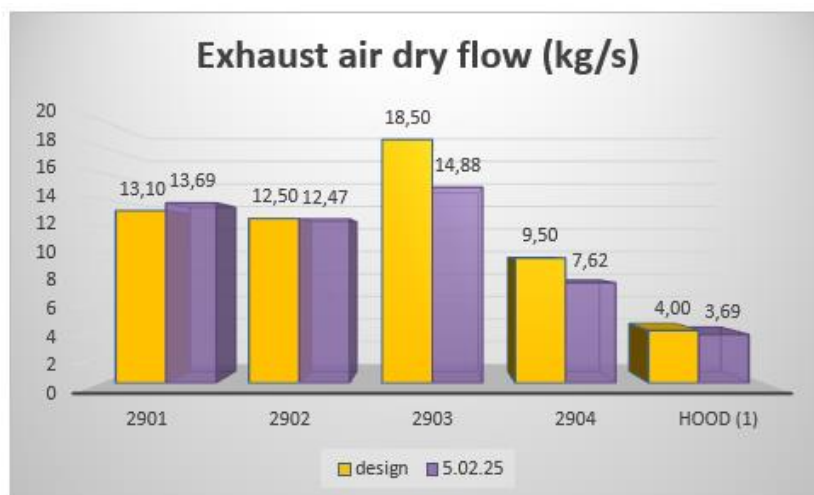


Figure 7. Exhaust air flows comparison (design vs. measured)
Slika 7. Poređenje protoka izduvnog vazduha (projektovani u odnosu na izmereni)

6. PM 2 DRYING HOOD BALANCE

6.1 The air-balance of the pre-dryer hood

To better understand the behaviour of the airflows in the drying section, it was conducted separate air balance calculations for the pre-drying and after-drying sections. Tables 4 present the air balance for the pre-dryer section of the PM hood.

Table 4. Pre-dryer section air balance (05.02.2025)**Tabela 4. Bilans vazduha u zoni pre sušne partije (05.02.2025)**

PREDRYING SECTION	$\dot{m}_{d.a.}$ [kg d.a./s]	$\dot{m}_{H_2O}$ [kgH ₂ O/s]	x [gH ₂ O/kg d.a.]	t [°C]	Ratio (%)
2901 – Exhaust 1, wet end	13,69	1,41	102,8	79,6	-
2902 – Exhaust 2, wet end	12,47	1,4	112,3	77,8	-
Hood (1) – Exhaust for runnability boxes	3,69	0,23	62,9	76,5	-
EXHAUST	29,85	3,04			
2905 – Supply air	13,53	0,22	16,6	100,6	
TV-12 – Runnability boxes	7,53	0,33	43,17	77,3	
SUPPLY	21,06	0,55			70
Evaporation	According to air-balance		2,49 kgH₂O/s		

According to the air balance, the evaporation rate is 2.49 kgH₂O/s. The air flow ratio supply/exhaust air flow is 70%.

6.2 The air-balance of the after-dryer hood

Table 5 present the air balance of the after-dryer section of the PM hood

Table 5. After-dryer section air balance (5.02.2025)**Tabela 5. Bilans vazduha u zoni iza sušne partije (5.02.2025)**

AFTERDRYING SEC	$\dot{m}_{d.a.}$ [kg d.a./s]	$\dot{m}_{H_2O}$ [kgH ₂ O/s]	x [gH ₂ O/kg d.a.]	t [°C]	Ratio %
2903 – Exhaust air	14,88	1,76	118,4	79,2	
2904 – Exhaust air	7,62	1,13	147,7	77,4	
EXHAUST	22,5	2,89			
2906 – Supply air	6,26	0,05	7,7	116	
SUPPLY	6,26	0,05			27,8
Evaporation	According to air-balance		2,84 kgH₂O/s		

Due to low amount of the supply air from V2906 the ratio supply/exhaust is only 27,8 %.

The air balance ratio of supply to exhaust air is too low in the pre-dryer section, standing at only 27,8%. This suggests a significant amount of leakage air and high consumption of fresh steam. The supply air fan V2906 is only delivering 44% of its design value flow.

6.3 Total hood balance at the PM2

Table 6 shows the total air system balance of the dryer section at PM2.

Under optimal conditions, the supply air flow should increase to 75% of the exhaust air, and in this case by 11,9 kg/s.

Assuming that the required amount of air is replaced with cold leakage air from the basement and surroundings, with an approximate temperature of 20-30°C, there will be an increased live steam consumption to heat the leakage air to the exhaust air condition (approximately 82°C). This is achieved through the cylinders, which heat the air up to around 82°C.

Table 6. Total hood balance (5.02.2025)

Tabela 6. Ukupni bilans haube (5.02.2025)

TOTAL HOOD BALANCE	d.a. m [kg d.a./s]	H ₂ O m [kgH ₂ O/s]	x [gH ₂ O/kg d.a.]	t [°C]	Ratio %
2901 – Exhaust 1, wet end	13,69	1,41	102,8	79,6	
2902 – Exhaust 2, wet end	12,47	1,4	112,3	77,8	
2903 – Exhaust air	14,88	1,76	118,4	79,2	
2904 – Exhaust air	7,62	1,13	147,7	77,4	
Hood (1) – Exhaust for runnability boxes	3,69	0,23	62,9	76,5	
EXHAUST	52,3	5,93			
2905 – Supply air	13,53	0,22	16,6	100,6	
2906 – Supply air	6,26	0,05	7,7	116	
TV-12 (runnability boxes)	7,53	0,33	43,17	77,3	
SUPPLY	27,3	0,6			52
Evaporation According to air-balance 5,33 kgH ₂ O/s					

7. MAIN FINDINGS DURING THE AUDIT

7.1 Failure of the measuring instruments (temperature sensor)

During the measurement, it was found that the temperature sensor for the supply air at V2905 was showing a different value (84°C) compared to the measured value (100.6°C). As a result, the set point of 90°C could not be reached, leading to the use of excess fresh steam (Figure 8).

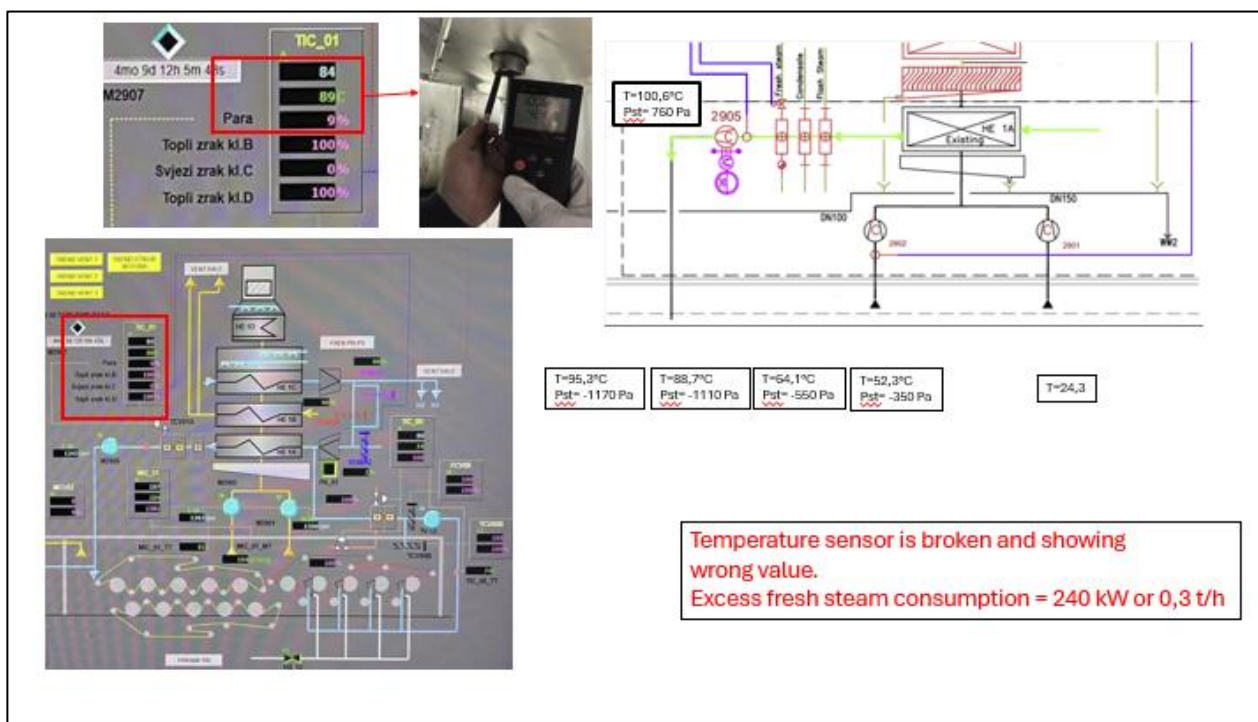


Figure 8. The difference in values between the PT100 temperature sensor (84°C) and the hand-measured temperature (100.6°C).

Slika 8. Razlika u vrednostima između PT100 senzora temperature (84 °C) i ručno izmerene temperature (100,6 °C).

7.2 Small air flow at fan 2906 due to plugged filters and leakage air

The measurement showed low airflow for the supply air fan V2906 and very high static pressure on the suction side of the fan (-2360 Pa). During the machine stop, the ventilation duct was opened, and it was found that the filters were plugged, and there was a leakage in the duct on the pressure side of V2906 (Figure 9).

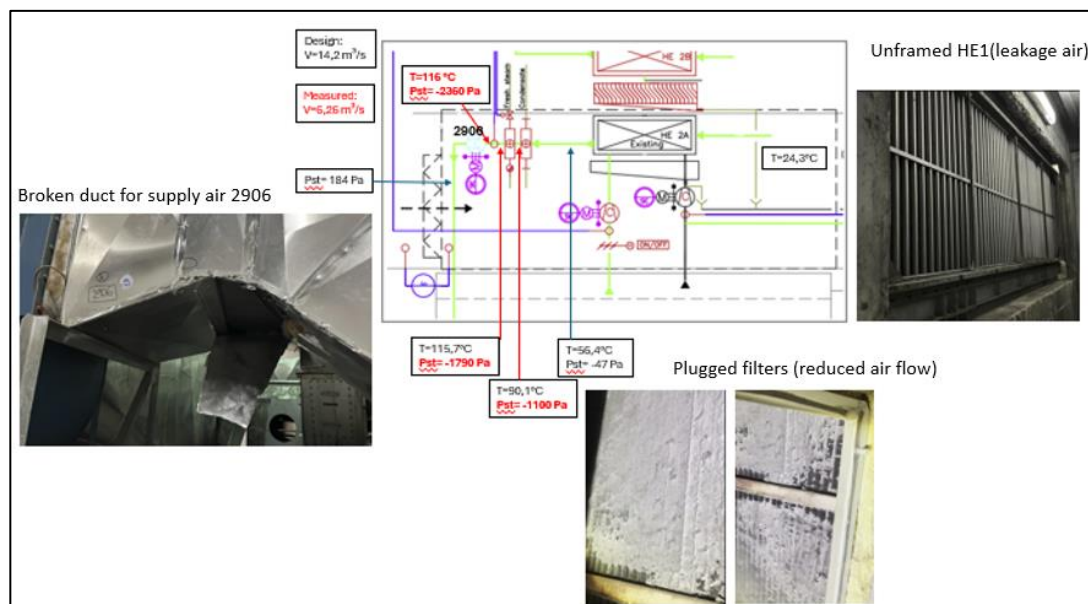


Figure 9. The plugged filters for the supply air of V2906.

Slika 9. Zapušeni filteri za dovodni vazduh V2906.

At the steam/condensate heat exchanger (HE) before V2906, a high static pressure of -2360 Pa was observed, indicating potential plugging of the HE and a reduction in the flow of V2906.

During the installation of the tube heat exchanger at the heat recovery tower (stage 1 air/air HE), the frame for the exchanger was missing, which resulted in a significant amount of leakage air.

7.4 Action plan realization

The immediate action plan focused on addressing identified issues in the ventilation system. This included replacing a faulty temperature sensor for the supply air (Figure 10), cleaning the steam heat exchangers (Figure 11), and insulating a leak found at the heat exchanger (Figure 12).

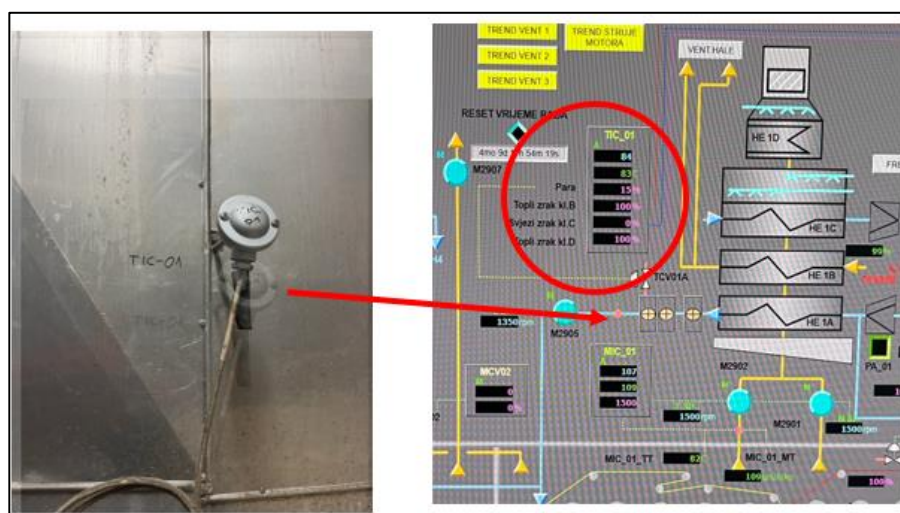


Figure 10. Replacement of the failure temperature sensor for the supply air

Slika 10. Zamena neispravnog senzora temperature za dovodni vazduh



Figure 11. Improved air flow with cleaning of the plugged filter for the supply air V2906
Slika 11. Poboljšán protok vazduha nakon čišćenja začepljenog filtera za dovodni vazduh V2906



Figure 12. Insulation of the leakage at Heat exchanger (Problems of leakage air)
Slika 12. Izolacija curenja na izmjenjivaču toplote (Problemi curenja vazduha)

Implementing the proposed action led to a reduction in steam consumption on PM2 by 746 kW, equivalent to 0.98 tons of steam per hour—representing a 3.2% decrease in total steam usage

What does 1 ton per hour (1t/h) of potential steam savings truly means is shown in Figure 13.

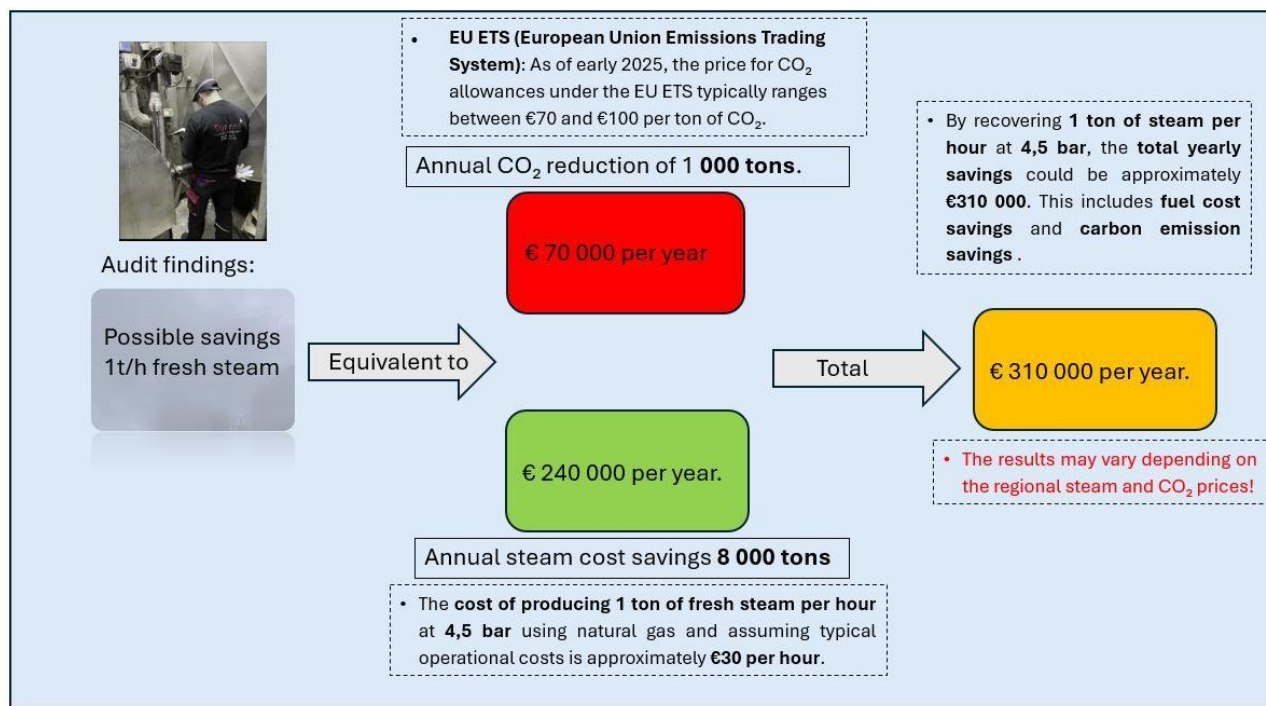


Figure 13. Savings achieved with systematic energy audit at PM2
Slika 13. Uštede ostvarene sistematskim energetske pregledom na PM2

8. CONCLUSIONS

When discussing energy savings and CO₂ reduction, we often refer to technical metrics such as “steam per hour,” “kWh,” or “tons of CO₂ saved.” However, these figures are frequently overlooked in terms of their real economic impact on overall machine efficiency and cost savings.

The dryer section—typically the largest energy consumer on a paper machine—offers the greatest potential for energy optimization. Yet, to fully engage both management and machine crews, these savings need to be visualized in a more tangible, financial context.

In the case study featured in this article, an energy audit revealed the potential to reduce steam consumption by 1 ton per hour or almost 3% of the hourly consumption.

Numerous factors can influence energy efficiency on a paper machine, but periodic audits—when combined with well-balanced heat recovery systems and optimized airflows—can lead to significant energy and CO₂ reductions. These improvements not only enhance machine performance but also create better conditions for the paper drying process.

Every kilowatt-hour saved truly matters—not just for the environment, but for the bottom line.

8. ZAKLJUČCI

Kada govorimo o uštedi energije i smanjenju emisije CO₂, često se oslanjamo na tehničke pokazatelje poput „tona pare na sat“, „kWh“ ili „tona uštedenog CO₂“. Međutim, ovi pokazatelji se često zanemaruju kada je reč o njihovom stvarnom ekonomskom uticaju na ukupnu efikasnost mašine i uštede troškova.

Sušna partija – koja je obično najveći potrošač energije na papirnoj mašini – pruža najveći potencijal za optimizaciju potrošnje energije. Ipak, da bi se postigla puna angažovanost, kako menadžmenta, tako i operatera mašine, ove uštede moraju biti prikazane u konkretnijem, finansijskom kontekstu.

U studiji slučaja prikazanoj u ovom radu, energetske pregled je pokazao potencijal za smanjenje potrošnje pare za jednu tonu na sat, što predstavlja skoro 3% ukupne potrošnje po satu.

Mnogi faktori mogu uticati na energetske efikasnost papirne mašine, ali periodični energetske pregledi – u kombinaciji sa dobro podešenim sistemima za rekuperaciju toplote i optimizovanim protokom vazduha – mogu

dovesti do značajnog smanjenja potrošnje energije i emisije CO₂. Ova poboljšanja ne samo da unapređuju rad mašine, već i stvaraju bolje uslove za proces sušenja papira.

Svaki uštedeni kilovat-čas zaista je važan – ne samo za životnu sredinu, već i za poslovni rezultat.

Literature

- [1] Milosavljevic, N., and Skansi, D., (1993), Research of Heat Recovery Systems in Paper Mill Belisce, Second Symposium on Ecologically Rational Development of Chemical Technologies, Zagreb, Croatia.
- [2] Milosavljevic, N., Malinen, P., Heikkilä, P., Jokioinen, I. and Edelmann, K., (1997), Experimental and Theoretical Investigations for the Design of Scrubber in Heat Recovery from Paper Machines, Applied Thermal Engineering, Elsevier Science, Great Britain, vol.17, No.6, pp. 569-581.
- [3] Milosavljevic, N., (2000), New Aspects of Energy Utilization in the Paper Industry, Experimental and Theoretical Work, Academic Dissertation, Åbo Akademi University, Turku, Finland.
- [4] Milosavljevic, N., (2006), Quality and runnability with energy-efficient Air Systems, International Austrian Paper Conference, APV Graz, Austria, 30th May-1st June 2006.
- [5] Milosavljevic, N., Sundqvist, H., Pettersson, H., (2012), Energy Economy of the dryer Section of Paper and Board Machines, 18th International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics, June 19th-22nd 2012, Zlatibor, Serbia, pp. 159-165.
- [6] Timofeev, O. and Milosavljevic, N., (2013), An experimental study of board sticking to the hot metal surface, EuroDrying'2013, 2-4th October 2013, Paris, France.
- [7] Milosavljevic, N., Jerbic, I., Milosavljevic, M., Energy Economy of the Heat Recovery at the Paper Machine, 24th International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics, June 21st -22nd 2023, Belgrade, Serbia.
- [8] Milosavljevic, N., Dartagnan, M., Mastrogiovanni, S., Bomenuto, A., Milosavljevic, M., Krstanovic, Lj., OPTIMIZING ENERGY FLOWS: STRATEGIES FOR SUSTAINABILITY IN PAPER DRYER SECTION, 25th International Symposium in the Field of Pulp, Paper, Packaging and Graphics, June 21st -22nd 2023, Belgrade, Serbia.

Corresponding author:

Nenad Milosavljević

Nenad.Milosavljevic@abo.fi

REZULTATI REKONSTRUKCIJE SUŠENJA PREMAZA U FABRICI KARTONA UMKA

RESULTS OF THE RECONSTRUCTION OF COATING DRYING AT THE UMKA CARDBOARD FACTORY

Milan Mitić, Pavle Milošević
Fabrika kartona Umka, Umka, Srbija

Izvod

Rekonstrukcija premaza je izvršena u sklopu niza projekata, koji imaju za cilj povećanje produktivnosti karton mašine. Stari sistem za sušenje premaza, koji je podrazumevao infracrvene grejače i duvaljke projektovane za manje brzine karton mašine je zamenjen sistemom duvaljki novije generacije. Zamenom sistema za sušenje premaza je omogućena veća brzina karton mašine, a samim tim i veći kapacitet proizvodnje. Osim toga, novi sistem omogućuje i bolje upravljanje kvalitetom kartona, veću energatsku efikasnost kao i smanjenje rizika od požara na karton mašini. U radu su prikazani rezultati uštede energije nakon rekonstrukcije.

Ključne reči: sušenje premaza, duvaljke, produktivnost, energetska efikasnost

Abstract

The coating reconstruction was carried out as part of a series of projects aimed at increasing the productivity of the cardboard machine. The old coat drying system, which involved infrared heaters and air blowers designed for lower machine speeds, was replaced with a next-generation air-blowing system. By upgrading the coating drying system, higher machine speeds were achieved, leading to increased production capacity. Additionally, the new system enables better quality control of the cardboard, higher energy efficiency, and reduced fire risk on the cardboard machine. The paper presents the results of energy savings after reconstruction.

Keywords: coating drying, air blowers, productivity, energy efficiency

UVOD

Rekonstrukcija sušenja premaza u fabrici kartona Umka predstavlja ključni projekat modernizacije proizvodnog procesa, čiji je cilj unapređenje kapaciteta, kvaliteta i bezbednosti. U skladu sa uvećanom potražnjom za gotovim proizvodom, poslednjih godina započeto je sa investicijama i primenom tehničkih rešenja koja omogućavaju veću produkciju uz unapređenje parametara kvaliteta. Pored toga, postojeći sistem sušenja premaza pokazivao je određena ograničenja, kako u pogledu regulisanja svojstava gotovog proizvoda, tako i u smislu rizika od požara i energetske neefikasnosti. Ovim radom analiziraju se promene uvedene rekonstrukcijom, njihov uticaj na povećanje proizvodnih kapaciteta, stabilnost kvaliteta kartona, smanjenje operativnih rizika i optimizaciju potrošnje energije. Kroz prikaz konkretnih podataka i iskustava sa implementacije, ističu se prednosti novog rešenja i perspektive za dalji razvoj.

RAZLOZI REKONSTRUKCIJE

1) Povećanje kapaciteta karton mašine

Stari sistem je limitiran na maksimalnu brzinu trake od 500 m/min, dok je novi projektovan za 600 m/min.

2) Mogućnost boljeg upravljanja parametrima kvaliteta kartona

Sušenje premaza na većini gramatura je pre rekonstrukcije bilo podešeno na maksimum i vrlo malo je bilo prostora za korekcije kako bi se kontrolisali parametri kvaliteta kartona.

3) Smanjenje rizika od požara na premazu

Sušenje premaza se pre rekonstrukcije obavljalo pomoću duvaljki sa toplim vazduhom i gasnih infracrvenih grejača sa otvorenim plamenom koji su bili čest uzrok požara na premazu, posebno u situacijama neplaniranog nestanka električne energije. Operateri ove požare relativno uspešno stavljaju pod kontrolu ali su oštećenja opreme ponekad neizbežna (najčešće progorevanje transportne trake).

4) Povećanje energetske efikasnosti

Sušne duvaljke imaju značajno veću energetska efikasnost od infracrvenih grejača što dovodi do ušteda u potrošnji gasa.

OPIS SUŠENJA PREMAZA

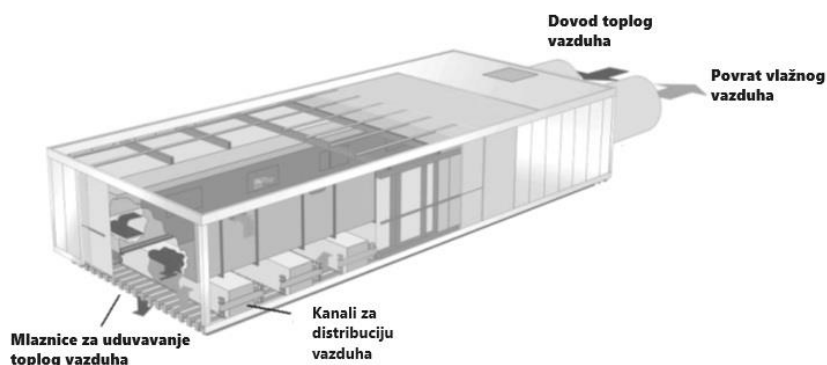
Nakon izlaska iz sušnog dela mašine, a pre ulaska u premazne stanice karton prolazi između dva čelična valjka koji dodatno glačaju površinu i ujednačavaju karton po debljini. Na lice kartona se nanose maksimalno tri sloja premaza, a na naličje jedan sloj u zavisnosti od tipa proizvoda. Svaka stanica za nanošenje premaza se sastoji od korita za boju, uređaja za nanošenje i skidanje viška premaza, uređaja za sušenje toplim vazduhom, kao i prateće opreme - posuda za premaze, pumpi, ventilatora, ventila itd. Premazi se prave od sirovina koje u svom sastavu imaju: pigment (karbonati, kaolin), vezivo, ugušćivač, optički izbeljivač, sredstvo za tečljivost.

Sušna partija se sastoji od 7 sušnih hauba (duvaljki za sušenje lica premaza kartona) i jedne kružne duvaljke (sušenje naličja premaza kartona)

Osam gasnih gorionika, smešteni izvan pogona za premaz kartona napolju, se koriste za proizvodnju toplote potrebne za zagrevanje vazduha koji se dovodi do sušnih hauba. U sušne haube se dovodi topao vazduh i on se direktno usmerava na karton, u četiri haube maksimalna temperatura vazduha je 470 °C (tip: OptiDry Coat High Intensity), u tri 370 °C (tip: OptiDry Coat), a u jednoj 270 °C (tip: OptiDry Turn).

Otpadni vazduh, nastao u procesu sušenja kartona, vraća se jedim delom u gorionik i tu se dodatno zagreva i ponovo koristi za sušenje premaza, a drugi deo se izbacuje u spoljašnju sredinu.

Sušne duvaljke



Slika 1: Sušna duvaljka

Figure 1: Drying blower

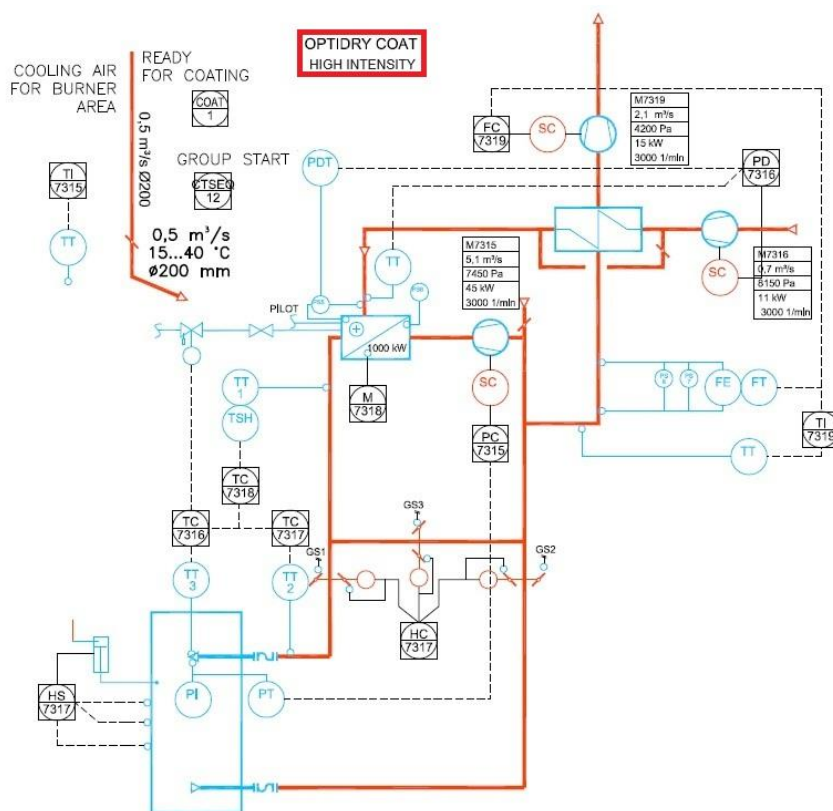
OptiDry duvaljke se koriste za beskontaktno sušenje kartona sa premazom pomoću suvog vazduha.

Princip rada

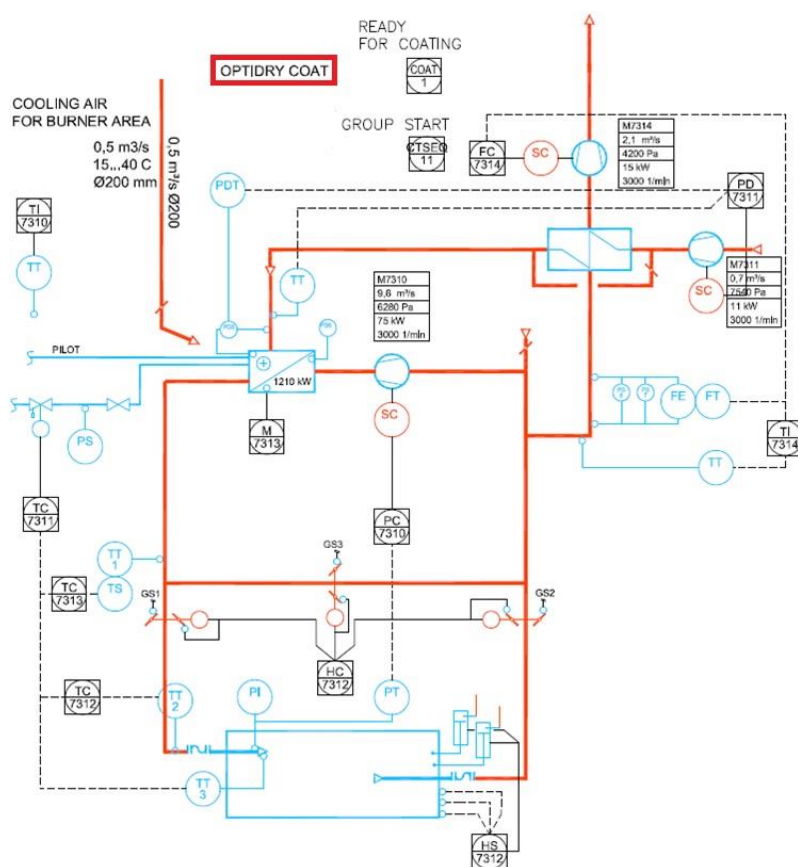
Princip rada OptiDry Coat, OptiDry Coat High Intensity i OptiDry Turn je isti s tim što je maksimalno dozvoljena temperatura na izlazu iz duvaljke različita i iznosi 470 °C za OptiDry Coat High Intensity, 280°C za OptiDry Turn, a 380°C za OptiDry Coat.

Premaz na kartonskoj traci se suši uduvavanjem toplog vazduha na njenu površinu. Topao vazduh prenosi toplotnu energiju na vlagu koja je u kartonu što dovodi do njenog isparavanja u okolni vazduh. Taj okolni vazduh koji je sada ohlađen i vlažniji se usisava sa trake i vraća se ka gorioniku (recirkulacija). Recirkulisani vazduh se ponovo obrađuje tako da postigne odgovarajuće parametre kako bi bio pogodan za sušenje:

- Deo recirkulisnog vazduha se izbacuje u spoljašnju sredinu radi kontrole relativne vlažnosti.
- Suviji vazduh se usisava iz spoljne sredine kao zamena za izbačeni recirkulisani vazduh.
- Novonastala smeša se greje u gorioniku i distribuira do duvaljke i na kartonsku traku.



Slika 2: Šematski prikaz sistema duvaljke OptiDry Coat High Intensity
Figure 2: Schematic diagram of the OptiDry Coat High Intensity blower system



Slika 3: Šematski prikaz sistema duvaljke OptiDry Coat
Figure 3: Schematic diagram of the OptiDry Coat blower system

Vazduh za sušenje recirkuliše pomoću opreme koja se sastoji od:

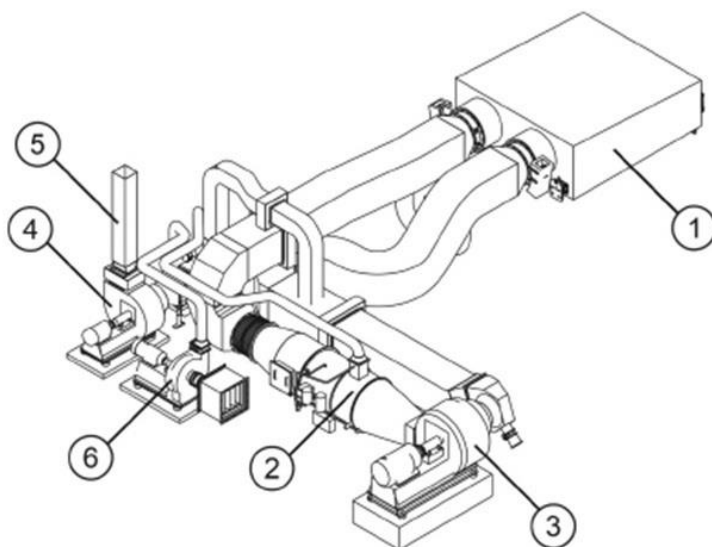
- • Ventilator svežeg vazduha (combustion air fan)
- • Gorionik
- • Kanal recirkulacionog vazduha
- • Ventilator recirkulacionog vazduha (circulation air fan)
- • Kanal otpadnog vazduha
- • Ventilator otpadnog vazduha (exhaust air fan)

Sistem za sušenje premaza se jednim delom nalazi u hali karton mašine (duvaljke i deo kanalskog razvoda), a ostatak se nalazi van hale karton mašine (gorionici, ventilatori i ostatak kanalskog razvoda).



Slika 6: Deo sistema za sušenje premaza smešten van hale karton mašine

Figure 6: Part of the coating drying system located outside the cardboard machine hall



- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 - Duvaljka | 4 - Ventilator otpadnog vazduha |
| 2 - Gasni gorionik | 5 - Kanal otpadnog vazduha |
| 3 - Recirkulacioni ventilator | 6 - Ventilator svežeg vazduha |

Slika 7: Elementi sistema sušne duvaljke

Figure 7: Components of the drying blower system

Brzina strujanja vazduha na izlazu iz mlaznica duvaljke se indirektno kontroliše regulisanjem rada ventilatora recirkulacionog vazduha. U duvaljci se mere pritisak i temperatura vazduha koji se izbacuje. Brzina vazduha na izlazu iz duvaljke se preračunava na osnovu rezultata merenja i upoređuje se sa vrednošću zadatom od strane operatera. Temperatura vazduha na duvaljci se indirektno reguliše preko gasnog regulacionog ventila na gorioniku koji kontroliše protok gasa. Vlažnost recirkulacionog vazduha se kontroliše preko otpadnog i svežeg vazduha. Kada se vlažan vazduh vrati iz duvaljke, deo se izbacuje preko ventilatora otpadnog vazduha i taj vazduh se zamenjuje svežim vazduhom.

OptiDry Coat High Intensity i OptiDry Turn



OptiDry Coat high intensity

*Slika 8: Duvaljka OptiDry High Intensity
Figure 8: OptiDry High Intensity blower*



OptiDry Turn

*Slika 9: Duvaljka OptiDry Turn
Figure 9: OptiDry Turn blower*

ZAKLJUČAK

Rekonstrukcija premaza karton mašine pokazala se kao uspešan projekat koji je doneo značajne benefite u pogledu kapaciteta, kvaliteta i bezbednosti proizvodnje:

1) Povećanje kapaciteta karton mašine

Brzina trake je pre rekonstrukcije dostizala maksimalno 500 m/min, a nakon rekonstrukcije 600 m/min, što je doprinelo povećanju produkcije karton mašine.

2) Mogućnost boljeg upravljanja parametrima kvaliteta kartona

Sada je opseg u kojima je moguće podešavati parametre sušenja (temperatura na izlazu iz duvaljki, brzina vazduha na izlazu iz duvaljki, brzina trake) znatno veći. Takođe kružna duvaljka, zbog toga što omogućava regulaciju rastojanja trake od mlaznica (0 do 30 mm) prilikom sušenja, smanjuje rizik od oštećenja usled trenja i pregrevanja i time se značajno smanjuje prašenje tokom štampe, što dovodi do boljeg kvaliteta kartona.

3) Smanjenje rizika od požara na premazu

Nakon rekonstrukcije više nemamo sušenje gasnim grejačima sa otvorenim plamenom tako da je najčešći uzrok požara na karton mašini otklonjen. Sada se požari ne javljaju i ne dovode do oštećenja opreme. Eliminacija otvorenog plamena značajno je smanjila rizik od požara, čime je poboljšana stabilnost rada i sigurnost operatera i opreme.

4) Povećanje energetske efikasnosti

Analizirajući podatke iz perioda pre i posle rekonstrukcije sušenja premaza, dobili smo rezultate koji pokazuju da je smanjena potrošnja gasa po toni proizvedenog kartona. Prosečna potrošnja prirodnog gasa pre rekonstrukcije iznosila je 16 Nm³/t Q3, dok je prosečna potrošnja gasa nakon rekonstrukcije 14 Nm³/t Q3, odnosno umanjeње za 12%.

Ovi rezultati potvrđuju da je investicija modernizacije sušenja premaza opravdana, kako u ekonomskom, tako i u operativnom smislu, otvarajući put ka daljim optimizacijama u budućnosti.

CONCLUSION

The reconstruction of the cardboard machine coating system proved to be a successful project that brought significant benefits in terms of capacity, quality, and production safety:

1) Increase in cardboard machine capacity

The belt speed before the reconstruction reached a maximum of 500 m/min, while after the reconstruction it increased to 600 m/min, contributing to higher production output of the cardboard machine.

2) Improved control over cardboard quality parameters

The range within which drying parameters can be adjusted (temperature at the blower outlet, air speed at the blower outlet, belt speed) has significantly expanded. Additionally, the circular blower allows regulation of the distance between the belt and the nozzles (0 to 30 mm) during drying, reducing the risk of damage caused by friction and overheating. This substantially decreases dust during printing, resulting in better cardboard quality.

3) Reduced fire risk on the coating

Following the reconstruction, gas heaters with open flames were removed, eliminating the most common cause of fires on the cardboard machine. Fires no longer occur, preventing equipment damage. The removal of open flames greatly reduced fire risk, improving operational stability and safety for both operators and equipment.

4) Increased energy efficiency

Analysis of data from before and after the coating drying system reconstruction shows a reduction in gas consumption per ton of produced cardboard. The average natural gas consumption before reconstruction was 16 Nm³/t Q3, while after reconstruction it dropped to 14 Nm³/t Q3, a 12% decrease.

These results confirm that the investment in modernizing the coating drying system is justified both economically and operationally, paving the way for further optimizations in the future.

References

- [1] <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/coating-drying/optidry-coat/>
- [2] <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/coating-drying/optidry-turn/>

Corresponding author:

Milan Mitić

Fabrika kartona Umka,

13. oktobra 1, 11260Umka

Srbija

milan.mitic@umka.rs

BLEACHING OF DATE PALM TREE LEAVES AND THERMAL MECHANICAL EUCALYPTUS PULP USING A NEW GENERATION OF POLYOXOMETALATE AS CATALYSTS

IZBELJIVANJE LIŠĆA PALME DATULE I TERMOMEHANIČKE PULPE EUKALIPTUSA KORIŠĆENJEM NOVE GENERACIJE POLIOKSOMETALATA KAO KATALIZATORA

Grigore Crăciun, Gheorghe Duțuc, Bogdan Botar ^a, Sergiu Crăciun, Alexandru Botar
SC L&G Consulting SRL, Dej, Romania

^a (<https://orcid.org/0000-0002-6204-336X>)

Abstract

This study investigates the bleaching potential of date palm tree leaves and TMP Eucalyptus pulp, using polyoxometalate (POM)-based catalysts. Several classes of POMs were evaluated in hydrogen peroxide-mediated systems. Analyses confirmed the efficiency of POMs, catalysts showing superior bleaching performance, compared to the classical bleaching sequences. The method demonstrates high potential for sustainable biomass processing.

Keywords: Palm leaves, Polyoxometalates, Catalysis, Bleaching, Biomass valorization

Izvod:

Ova studija istražuje potencijal izbeljivanja lišća palme datule i termomehaničke pulpe (TMP) eukaliptusa korišćenjem katalizatora na bazi polioksomatalata (POM). Evaluirane su različite klase POM-ova u sistemima sa vodonik-peroksidom. Analize su potvrdile efikasnost POM katalizatora, koji su pokazali superiorne performanse izbeljivanja u poređenju sa klasičnim sekvencama izbeljivanja. Ova metoda pokazuje veliki potencijal za održivu preradu biomase.

Ključne reči: palmino lišće, polioksomatalati, kataliza, izbeljivanje, valorizacija biomase.

1. INTRODUCTION

Date palm tree leaves, a lignocellulosic waste product in tropical regions, represent a valuable raw material for bio-based industries. However, their natural coloration due to lignin content limits their direct application. Polyoxometalates (POMs) are metal-oxygen clusters with strong redox properties, making them suitable candidates for oxidative delignification in green chemistry contexts.

As well thermal mechanical pulp from Eucalyptus is difficult to bleach and need a lot of chemicals and hard reaction conditions to fulfill the process.

Intensive research is being carried out with a view to the superior valorization, in different fields, of the date palm tree leaves, thermal mechanical eucalyptus pulp and the cellulosic material, respectively to obtain a cellulose with possibilities of use in the paper and composites industry [1-11].

In the specialized literature, research is known and carried out in order to find ecological methods for bleaching cellulose from different cellulosic materials and natural fibers [12 - 24].

The disadvantages of these methods consist in the fact that the oxidation reaction of lignin and hemicelluloses is difficult to control, requiring high temperatures, large amounts of chemicals, many treatment steps, conditions at which the cellulose fiber degrades.

An ecological, efficient process for the extraction and bleaching of cellulose from above mentioned raw materials is proposed, which uses peroxo-polyoxometalate catalysts of Mo (VI) and W(VI) for the selective oxidation of lignin, hemicelluloses, polyphenols and other organic compounds. These catalysts are easily synthesized in aqueous solution, are stable in the range of pH = 3-11, are used in small quantities and are easily regenerated.

The technical problem that the research solves is the realization of a new ecological technology for the extraction and bleaching of cellulose from waste resulting from the processing industry, for the paper industry and some special composites, using catalysts from the class of peroxo-polyoxometalates of Mo (VI) and W(VI) for the oxidation of lignin, hemicelluloses and other organic compounds present in the system, thus removing the previously mentioned disadvantages.

Usually, in the process of bleaching the cellulose from such waste, treatments with alkalis, hydrogen peroxide, organic solvents, phosphoric acid, acetic acid, NaOCl, NaClO₂ or their combinations are used.

Polyoxometalates synthesized for this application are a new class of environmentally friendly and highly efficient catalysts.

2. OBJECTIVES

- To evaluate the bleaching effectiveness of POMs catalysts.
- To determine optimal reaction conditions.
- To propose a mechanism for lignin oxidation.

3. EXPERIMENTAL SECTION

3.1 General process description

The general process of extracting and bleaching cellulose by treating with peroxo-polyoxometalate catalysts of Mo (VI) and W(VI) is done in two stages:

- In the first stage, the date palm tree leaves are finely chopped, and TMP Eucalyptus pulp is pulped, then suspended in the aqueous solution containing the peroxo-metalate Mo (VI) or W(VI) catalyst, 0.01 - 0.03 gr./ml, anionic surfactant 0.01 - 0.2% and hydrogen peroxide 1-5%, the suspension is heated with stirring at 40-60° C for one hour and atmospherically pressure, the solid part is filtered under vacuum and washed with small portions of water.
- In the second stage, the cellulose obtained in the first stage is suspended in an aqueous 0.1-2.0 N NaOH solution, which contains 2-6% hydrogen peroxide and 0.2-3% sodium silicate, the suspension is heated under stirring for 40 minutes at 45 - 50 °C, the suspension is cooled, the cellulose is filtered under vacuum, washed with water and dried in air.

This process of isolation and bleaching of cellulose from date palm tree leaves and thermal mechanical pulp introduces the following economic and ecological advantages:

- The isolation and bleaching of cellulose is carried out in two stages;
- A bleached cellulose with a brightness between 45-59 % is obtained, after the first stage. The brightness increases up to 75 – 80% ISO after the second bleaching stage;
- Cellulose bleaching is carried out without using chlorine compounds, without the release of toxic substances;
- Small amounts of catalysts are used which are recovered and reused;

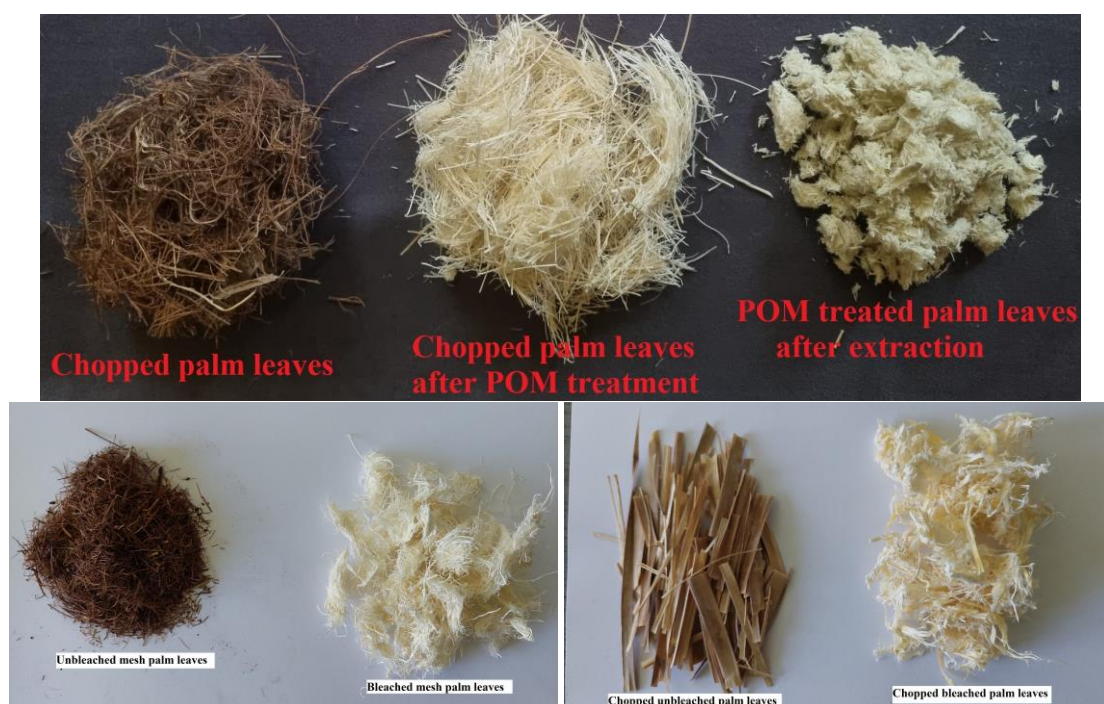
4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Bleaching of cellulose from date palm tree leaves:

100 gr. sample of dry, fine chopped palm leaves is suspended in a liter of aqueous solution containing 0.02 gr. catalyst, 2-6 gr. hydrogen peroxide and 0.2 gr. anionic surfactant, the suspension is heated with stirring at 45° C for 40 minutes. The suspension is cooled, the cellulose is filtered under vacuum, washed with small portions of water. The filtrate containing the catalyst is kept, regenerated and reused. The cellulose resulting is suspended in a liter of aqueous solution containing 8-14 gr. NaOH, 2.6 – 4 gr. sodium silicate and 2.5 - 12 gr. hydrogen peroxide. The suspension is heated with stirring at 45-60 °C for one hour, then it cools, the bleached cellulose is filtered under vacuum, washed with water until pH = 6.5 - 7.5 and dried in air. The obtained experimental results are presented in table 1.

Table 1. Bleaching of cellulose from palm leaves, compared to the brightness of unbleached one.**Tabela 1.** Izbeljivanje celuloze iz palminog lišća, u poređenju sa svetlinom neizbeljene celuloze.

Catalyst	Brightness (%), bleached cellulose from palm leaves
Unbleached sample	23
First stage catalyst A	51
Second stage catalyst A	62
First stage catalyst B	55
Second stage catalyst B	66
Catalyst C, after extraction stage (mesh)	82
Catalyst C, after extraction stage (chopped)	76

*Fig. 1* Date palm tree leaves bleached with various POM catalysts*Slika 1:* Lišće palme datule izbeljeno različitim POM katalizatorima

4.2 Bleaching of cellulose from Eucalyptus thermal mechanical pulp:

100 gr. sample of dry-crushed thermomechanical eucalyptus pulp is suspended in a liter of aqueous solution containing 0.02 gr. catalyst, 2-6 gr. hydrogen peroxide and 0.2 gr. anionic surfactant, the suspension is heated with stirring at 45°C for 40 minutes. The suspension is cooled, the cellulose is filtered under vacuum, washed with small portions of water. The filtrate containing the catalyst is kept, regenerated and reused.

The cellulose resulting is suspended in a liter of aqueous solution containing 8-14 gr. NaOH, 2.6 – 4 gr. sodium silicate and 2.5 - 12 gr. hydrogen peroxide. The suspension is heated with stirring at 45-60 °C for one hour, then it cools, the bleached cellulose is filtered under vacuum, washed with water until pH = 6.5 - 7.5 and dried in air. The obtained experimental results are presented in table 2.

Table 2. Bleaching of cellulose from Eucalyptus thermal mechanical pulp, compared to the brightness of unbleached one.

Tabela 2. Izbeljivanje celuloze iz termomehaničke pulpe eukaliptusa, u poređenju sa svetlinom neizbeljene pulpe.

Catalist	Brightness (%), bleached cellulose from eucalyptus thermal mechanical pulp
Unbleached sample	23,3
A 50 I	41,9
A 50 II	53,5
M 50 I	48,1
M 50 II	57,2

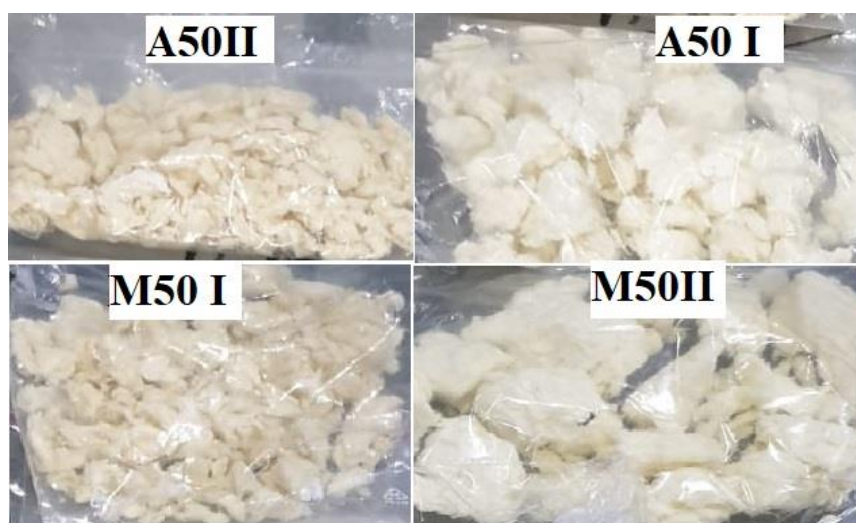


Fig. 2 Thermal Mechanical pulp from Eucalyptus bleached with POM

Slika 2: Termomehanička pulpa eukaliptusa izbeljena pomoću POM katalizatora

5. CONCLUSIONS

- POM-based bleaching of date palm tree leaves and Eucalyptus thermal mechanical pulp is a sustainable and effective process.
- POMs outperformed, suggesting great oxidative power and catalyst stability.
- The process is promising for eco-friendly biomass valorization.

5. ZAKLJUČCI

- Izbeljivanje lišća palme datule i termomehaničke pulpe eukaliptusa pomoću POM katalizatora je održiv i efikasan proces.
- POM katalizatori su pokazali bolje rezultate, ukazujući na snažnu oksidativnu moć i stabilnost katalizatora.
- Proces ima veliki potencijal za ekološki prihvatljivu valorizaciju biomase.

References

1. Pope, M. T., Müller, A. (1991). *Polyoxometalate Chemistry*. Angew. Chem. Int. Ed.
2. Hill, C. L. (1998). *Polyoxometalates in Catalysis*. Chem. Rev.
3. Sharma, R. K., et al. (2018). *Sustainable bleaching of lignocellulosic biomass*. Green Chem.
4. S.I. Mussatto, E.M.S. Machado, S. Martins and J.A. Teixeira, *Food and Bioprocess Technology*, 2011, 4, 661-672.
4. Hejna, *Waste Management*, 2011, 121, 296-330.

5. P.S. Murthy and M.M. Naidu, *Resources, Conservation and Recycling*, 2012, 66, 45-58.
6. R.C. Vega, G.L. Piria, H.A. Vergara-Castarieda and B.D. Oomah, *Trend in Food Science and Technology*, 2015, 45, 24-38.
7. L. Cruz-Lopes, I. Domingos, J. Ferreira and B. Esteves, *Agriculture and Food*, 2117, 5, 85-92.
8. Patent WO 2018,136763 A1.
9. L.D. Tolesa, B.S. Gupta and M.J. Lee, *ACS Omega* 2018, 3, 10806 – 10876.
10. B.A. Frost and E.J. Foster, *Journal of Renewable Materials*, 2019, 7, 187 – 203.
11. N.Kanai.H.Takumi.Y.Naoki.O.Toshiyuki.N.Akora.K.Kazuyoshi and K.Izuru. *Cellulose*.2020.27.5017–5028.
12. Y. Leov, P.Y.M. Yew, P.L. Chee, X.J. Loh and D. Kai, *RSC Adv.*, 2021, 11, 2682 – 2692.
13. M.Pettinato.E.Drago.R.Camparrdelli and P.Perago. *Chemical Engineering Transaction*.2021.87.583–588.
14. *Wood and Cellulose*, ed. D.N.S. Hon and N. Shiraishi, Marcel Dekker, New York and Basel, 1991.
15. *Pulp Bleaching: Principles and Practice*, ed. C. W. Dence and, D.W. Reeve, Tappi Press, Atlanta, 1996.
16. W. Strunk, *Pulp and Paper*, 1990, October, 112-116.
17. G. Gelllerstedt, K. Gastavson and E. L. Linford, *Nordic Pulp Pap. Res. J.* 1986, 36, 55-64.
18. Brolin, J.Geierer and Y. Zhang, *Wood Sci. Technol.*, 1993, 27, 115-129.
19. J.A. Weinstock, R. H. Attala, R. S. Reiner, M. A. Moen and K. E. Hammel, *New J. Chem.* 1996, 20, 269-275.
20. D. V. Evtuguin and C. Netto-Pascual, *Holzforschung*, 1997, 51, 313-318.
21. C. Sirghie, **A. Botar**, N. Dinca, G. Craciun and M. Dochia, Patent RO 122728/2007.
22. C. Sirghie, **B. Botar**, **A. Botar** and N. Dinca, Patent RO 122817/2007.
23. C. Sirghie, **A. Botar**, A.M. Bodescu and M. Dochia, Patent EP 2703553A1/2012.
24. C. Sirghie and **A. Botar**, Patent RO 128764/2014.
25. C. Sirghie, A.M. Bodescu, **A. Botar**, A. Carvaco-Paulo and F.D. Munteanu, *Carbohydrate Polymers*, 2013, 98, 490-494.
26. S. W. Kook and **A. Botar** Patent Appl., 20140227920
27. **Gr. Craciun, A Botar, Ghe. Dutuc**, Patent „Special papers from annual plant fibers, bleached with P.O.M.”, Registered No. by OSIM București: A/00345 from 13-04-2011
28. **Gr. Craciun** 2009, Doctoral thesis, Research on the use of polyoxometallates in the delignification of vegetable fibrous materials
29. **Ghe. Dutuc** 2011, Doctoral thesis, Researches regarding obtaining and characterization of high yield pulps
30. Peter Anca, Nicula Camelia, Mihaly Cozmuta Anca, Mihaly Cozmuta Leonard, Danciu Virginia, Baia Gheorghe Lucian, Kovacs Gabor, Ciric Alexandru, Begea Mihaela, Craciun Liliana, **Craciun Grigore, Dutuc Gheorghe**, Falup Anca, Ziemkowska Wanda, Jastrzebska Agnieszka, Kurtycz Patrycja, Karwowska Ewa, Miaskiewicz Peska Ewa, Zaleska Radziwill Monica, Olszyna Andrej, Kunicki Antoni, Sitarz Karolina, Roslon Magdalena – „**Processes for obtaining smart food packages**”, European patent nr. 80298/28.04.2016 Munich Germany, ROA 201500256. **With this patent we obtained 4 gold medals and 2 silver medals.**

Corresponding Author:

dr. eng. Gheorghe Dutuc

SC L&G Consulting SRL, Dej, Romania

Email: dutucgheorghe@yahoo.com

Tel: +40 744 646 838

RAZVOJ STANDARDIZACIJE U OBLASTI CELULOZNE, PAPIRNE, AMBALAŽNE I GRAFIČKE INDUSTRIJE U SRBIJI: TRENUTNO STANJE, IZAZOVI I PERSPEKTIVE

DEVELOPMENT OF STANDARDIZATION IN THE FIELD OF PULP, PAPER, PACKAGING, AND GRAPHICS IN SERBIA: CURRENT STATE, CHALLENGES AND PERSPECTIVES

Bojana Stanimirović, Branka Tomašević, Mirjana Mirković-Đorđević
Institut za Standardizaciju Srbije, Beograd, Srbija

Abstract

In today's business environment, standardization plays a key role in strengthening competitiveness, supporting innovation, and achieving sustainable development goals. In the pulp, paper, packaging, and graphics (PPPG) industry, alignment with European and international standards serves as a foundation for technological progress, digital transformation, and the transition to a circular economy. The Institute for Standardization of Serbia (ISS), through the work of its technical committees, actively contributes to the development and implementation of modern standards, in cooperation with relevant national and international partners. Special emphasis is placed on the need for stronger ties with the industry—through the active participation of professionals from the field in the standardization process. The goal is to build a common platform for the creation of standards that reflect actual market needs, support sustainability, and accelerate the adoption of innovations.

Keywords: standardization, standards, Institute for Standardization of Serbia, ISS, paper, cardboard, pulp, packaging, graphics, directives, regulations, SRPS, EN, ISO, CEN

Izvod

U savremenim uslovima poslovanja, standardizacija igra ključnu ulogu u jačanju konkurentnosti, pružanju podrške inovacijama i ostvarivanju ciljeva održivog razvoja. U oblasti celulozno-papirne, ambalažne i grafičke (CPAG) industrije, usklađenost sa evropskim i međunarodnim standardima predstavlja osnov za tehnološki napredak, digitalnu transformaciju i prelazak ka cirkularnoj ekonomiji. Institut za standardizaciju Srbije (ISS) kroz rad Komisija za standarde aktivno doprinosi razvoju i primeni najnovijih izdanja standarda, u saradnji sa relevantnim domaćim i međunarodnim partnerima. Poseban akcenat stavlja se na potrebu za jačim povezivanjem sa industrijom – kroz aktivno učešće stručnjaka iz prakse u procesu standardizacije. Cilj je izgradnja zajedničke platforme za kreiranje standarda koji odgovaraju stvarnim potrebama tržišta, doprinose održivosti i ubrzavaju primenu inovacija.

Ključne reči: standardizacija, standardi, Institut za standardizaciju Srbije, ISS, papir, karton, celuloza, ambalaža, grafika, direktive, regulativa, SRPS, EN, ISO, CEN

1. UVOD

U savremenim uslovima ubrzane globalizacije, digitalne transformacije i zahteva za održivošću, standardizacija postaje ključni faktor koji povezuje konkurentnost privrede, inovacije i zaštitu životne sredine. U kontekstu celulozno-papirne, ambalažne i grafičke (CPAG) industrije u Srbiji, harmonizacija sa evropskim i međunarodnim standardima predstavlja temelj za tehnološki napredak, ekološki prihvatljivu proizvodnju i nesmetan izvoz.

Institut za standardizaciju Srbije, jedino nacionalno telo za standardizaciju, deluje u skladu sa principima transparentnosti, dobrovoljnosti, uključivanja svih zainteresovanih strana i postizanja konsenzusa. ISS sistematski razvija, usvaja, preispituje i usklađuje nacionalne standarde sa evropskim i međunarodnim standardima, objavljuje publikacije i pruža stručno tumačenje standarda.

Poseban fokus u CPAG oblasti imaju četiri stručne komisije – KS H006 (Celuloza, papir i karton), KS Z261-5 (Ambalaža), KS H130 (Grafička tehnologija) i KS Z183 (Cirkularna ekonomija i upravljanje otpadom). One usvajaju standarde koji su podrška propisima EU u oblasti zaštite životne sredine, od IPPC direktive (2010/75/EZ) i Direktive

o ambalaži i ambalažnom otpadu (94/62/EZ), do REACH Uredbe (*Uredba o registraciji, ocenjivanju, izdavanju odobrenja i ograničenju hemikalija* 1907/2006/EZ). To istovremeno znači da preuzeti evropski standardi kao srpski standardi predstavljaju osnovu za nacionalnu regulativu kojom su preuzeta prethodno navedena pravna akta EU. Osim toga, ISS kroz seminare, radionice i savetodavne aktivnosti aktivno podstiče šire uključivanje stručnjaka iz industrije i akademije – što je ključ za relevantan i primenljiv nacionalni sistem standardizacije.

Ovaj rad analizira trenutni razvoj standarda u ISS, ulogu komisija u CPAG industriji, identifikuje izazove i ukazuje na perspektive razvoja, posebno kroz jačanje saradnje sa industrijom, digitalnu dostupnost i uključivanje standardizacije u inovacije i tranziciju ka cirkularnoj ekonomiji.

2. INSTITUT ZA STANDARDIZACIJU SRBIJE

Institut za standardizaciju Srbije predstavlja jedino nacionalno telo za standardizaciju u Republici Srbiji, osnovano od strane Vlade i organizovano kao ustanova od javnog značaja. Deluje u skladu sa Zakonom o standardizaciji i drugim važećim pravnim aktima, pri čemu se njegova uloga temelji na principima transparentnosti, javnosti, dobrovoljnosti, uključivanju i postizanja konsenzusa svih zainteresovanih strana. Upravo ovi principi čine osnovu za izgradnju poverenja u sistem standardizacije, omogućavaju tehnološku usaglašenost i doprinose unapređenju konkurentnosti srpske privrede.

Institut kontinuirano razvija, donosi, objavljuje, preispituje i povlači srpske standarde u skladu sa svojim pravilima, a takođe daje i zvanična tumačenja standarda i njihove primene. Poseban akcenat stavlja se na usaglašenost domaćih standarda sa evropskim i međunarodnim, čime se obezbeđuje harmonizacija tehničkih zahteva i olakšava izvoz domaćih proizvoda i usluga. Institut vodi zvanični registar važećih i povučenih standarda, omogućava njihovu dostupnost javnosti i bavi se distribucijom standardizacionih publikacija.

Kroz aktivno učešće u radu međunarodnih i evropskih organizacija kao što su ISO, IEC, CEN i CENELEC, Institut za standardizaciju Srbije predstavlja interese Republike Srbije na globalnom nivou. Ovo učešće omogućava domaćim stručnjacima da direktno učestvuju u izradi standarda od značaja za nacionalnu privredu i tehnološki razvoj. Rad na izradi i primeni standarda realizuje se preko tehničkih radnih tela tj. komisija za standarde i stručnih saveta. Komisije pripremaju predloge standarda i učestvuju u radu međunarodnih tela, dok stručni saveti preuzimaju funkciju komisija u slučajevima kada nije moguće formirati komisije i koordiniraju radom komisija, čime se osigurava kontinuitet i efikasnost u radu.

Pored osnovne delatnosti, ISS ima važnu edukativnu i savetodavnu ulogu – pruža stručnu podršku u primeni standarda, organizuje seminare, obuke i radionice, čime doprinosi širenju znanja o značaju standardizacije za unapređenje kvaliteta, bezbednosti proizvoda, kao i podsticanje inovacija. Takođe, ISS deluje kao nacionalni informativni centar za standarde, obezbeđujući relevantne informacije svim zainteresovanim stranama, uključujući organe državne uprave, privredu i građane.

Institut odobrava i korišćenje nacionalnog znaka usaglašenosti, a stručnjaci iz Instituta učestvuju u pripremi tehničkih propisa. Kao akreditovano sertifikaciono telo za sisteme menadžmenta, ISS značajno doprinosi izgradnji infrastrukture kvaliteta u Srbiji.

Na taj način ISS predstavlja ključnu instituciju u procesu tehničkog usklađivanja, podrške inovacijama i jačanja integracije Srbije u međunarodne tokove, a njegova delatnost je od suštinskog značaja za unapređenje privrednog ambijenta, zaštitu potrošača i podizanje nivoa društvene odgovornosti.

3. STANDARDIZACIJA U OBLASTI CPAG INDUSTRIJE- TRENUTNO STANJE

U Republici Srbiji, pravni osnov za donošenje srpskih standarda i srodnih dokumenata je član 7. Zakona o standardizaciji. Prilikom planiranja aktivnosti u oblasti standardizacije, uzimaju se u obzir dva ključna prioriteta ekonomske politike države: pristupanje Svetskoj trgovinskoj organizaciji (STO) i sticanje statusa kandidata za članstvo u Evropskoj uniji. Takođe, posebna pažnja se posvećuje ispunjavanju obaveza koje proističu iz Evropskog partnerstva, CEFTA sporazuma, Pakta za stabilnost Jugoistočne Evrope i drugih regionalnih inicijativa od značaja za Srbiju.

U tom kontekstu, harmonizacija srpskih standarda sa međunarodnim i evropskim treba da omogući postupno uklanjanje tehničkih barijera u trgovini. Republika Srbija će prilikom pristupanja STO morati da prihvati Sporazum o

tehničkim preprekama u trgovini, koji sadrži Kodeks dobre prakse za pripremu, donošenje i primenu standarda. ISS, kao nacionalno telo za standardizaciju, još 1998. godine je obavestio ISO/IEC centar u Ženevi da dobrovoljno prihvata ovaj kodeks i obavezao se da koristi međunarodne standarde kao osnovu za izradu srpskih standarda.

Od 2007. godine sve komisije za standarde sistematski rade na usklađivanju srpskih standarda sa evropskim standardima i ta usklađenost iznosi 99,8%. Primenjuju se metode prevođenja, proglašavanja i preštampavanja u zavisnosti od potreba i interesa zainteresovanih strana, kao i njihovih ulaganja u proces prevođenja.

Rad ISS zasniva se na internim pravilima standardizacije, koja su u potpunosti usklađena sa pravilima evropskih i međunarodnih organizacija za standardizaciju (CEN, CENELEC, ISO, IEC). Ova pravila obuhvataju: (1) donošenje, objavljivanje, održavanje i povlačenje standarda, (2) obrazovanje i rad komisija za standarde i (3) uobličavanje strukture standarda. Javnosti su dostupna putem internet stranice ISS.

U skladu sa Zakonom, stručna tela ISS su stručni saveti i komisije za standarde. Stručni saveti usmeravaju rad komisija, predlažu interne akte, planove i formiranje komisija. U Institutu postoje dva saveta: za opšte oblasti standardizacije (nadležni su ISO i CEN) i za elektrotehniku, IT i telekomunikacije (nadležni su IEC, ITU, ISO/IEC JTC 1, CENELEC i ETSI). Članove stručnih saveta imenuje Upravni odbor ISS.

Komisije za standarde su tehnička radna tela koja izrađuju, preispituju i održavaju srpske standarde, kao i srodne dokumente. Prate međunarodne i evropske tehničke komitete i učestvuju u njihovom radu. Prema poslednjim podacima aktivne su 166 komisije u raznim oblastima.

Inicijativu za formiranje nove komisije mogu podneti članovi ISS, zainteresovane strane, stručni saveti. Postupak obrazovanja komisije obuhvata razmatranje inicijative, javni poziv za predlaganje članova, ocenu prijave, konstituisanje komisije i donošenje rešenja od strane direktora ISS. Na konstitutivnoj sednici članovi komisije biraju predsednika, upoznaju se sa pravilima rada i obavezama.

Srpski standardi i srodni dokumenti mogu se donositi kao izvorni ili kao preuzeti iz međunarodnih i evropskih izvora. Predloge mogu podneti razna stručna i pravna lica, uključujući državne organe, komore, organizacije potrošača i druge. Postupci donošenja su detaljno opisani u Internim pravilima standardizacije – Deo 1 (IPS-1).

Ovaj sistem, zasnovan na transparentnosti, stručnosti i usklađenosti sa međunarodnim praksama, omogućava efikasnu izgradnju infrastrukture kvaliteta u Republici Srbiji, čime se doprinosi konkurentnosti privrede i zaštiti interesa svih zainteresovanih strana.

Standardizacija u oblasti CPAG industrije realizuje se kroz rad odgovarajućih tehničkih komisija pri ISS-u. Među njima posebno se izdvajaju:

1. Komisija za standarde KS H006 *Celuloza, papir i karton*
2. Komisija za standarde KS Z261-5 *Ambalaža*
3. Komisija za standarde Z183 *Cirkularna ekonomija i upravljanje otpadom*
4. Komisija za standarde KS H130 *Grafička tehnologija*

Komisija za standarde KS H006 nadležna je za standardizaciju u oblasti celuloze, papira i kartona i osnovana je početkom šezdesetih godina dvadesetog veka. Oblast delovanja KS H006 obuhvata standardizaciju u oblasti celuloze, papira i kartona sa aspekta terminologije, postupaka uzimanja uzoraka, klasifikacije, metoda ispitivanja, specifikacija kvaliteta i proizvoda, uspostavljanja i održavanja prikladnih kalibracionih sistema. Istovremeno, rad Komisije usmeren je ka punom usklađivanju sa aktivnostima relevantnih evropskih i međunarodnih tehničkih komiteta, kao što su CEN/TC 172, CEN/TC 198, ISO/TC 6 i ISO/TC 6/SC 2, čime se podstiče integracija domaćeg tržišta u šire regulatorne i tehnološke tokove. Neki od značajnih standarda u ovoj oblasti koje je ova komisija usvojila dati su u tabeli 1.

U okviru industrije papira i kartona posebno se ističu zahtevi evropskih direktiva i uredbi poput Direktive koja se odnosi na integrisanu prevenciju i kontrolu zagađenja (IPPC direktiva 2010/75/EZ), Uredbe o materijalima i predmetima koji dolaze u dodir sa hranom (1935/2004/EZ), Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu (64/62/EZ), Uredba o opštoj sigurnosti proizvoda (2023/988/EZ) i Direktiva o bezbednosti mašina (2006/42/EZ). U domaćem pravnom kontekstu, industrija papira i kartona se oslanja na Zakon o predmetima opšte upotrebe („Sl. glasnik RS“, br. 25/2019-88, 14/2022-52), Pravilnik o uslovima u pogledu zdravstvene ispravnosti predmeta opšte upotrebe koji se mogu stavljati u promet („Sl. glasnik RS“, br. 26/1983-578, 61/1984-1366, 56/1986-1651, 50/1989-1242, 18/1991-290, RS 60/2019-4 (dr. pravilnik), 78/2019 (dr. pravilnik)) i Pravilnik o bezbednosti mašina („Sl. glasnik RS“, br. 58/2016-13, 21/2020-151).

Tabela 1: Standardi iz oblasti rada KS H006**Tabela 1: Standardi iz oblasti rada KS H006**

Oznaka standarda	Naziv standarda na srpskom jeziku
SRPS EN 643:2016	Papir i karton — Evropska lista standardnih klasa papira i kartona za reciklažu
SRPS EN ISO 12625-1:2019	Higijenski papir i proizvodi od higijenskog papira – Deo 1: Rečnik
Kontakt sa hranom / Ekstrakti	
SRPS EN 645:2008	Papir i karton predviđeni da budu u kontaktu sa hranom - Priprema hladnog vodenog ekstrakta
SRPS EN 647:2008	Papir i karton predviđeni da budu u kontaktu sa hranom - Priprema toplog vodenog ekstrakta
SRPS EN 1230-1:2011	Papir i karton predviđeni da budu u kontaktu sa hranom - Senzorska analiza - Deo 1: Miris
SRPS EN 1230-2:2011	Papir i karton predviđeni da budu u kontaktu sa hranom - Senzorska analiza - Deo 2: Izmenjena ukusnost (kvarenje)
SRPS CEN/TR 15645-1:2011	Papir i karton predviđeni da budu u kontaktu sa hranom – Kalibracija za ispitivanje mirisa- Deo 1: Miris
Metode ispitivanja	
SRPS H.N5.100:1991	Papir, karton i lepenka - Fluting za izradu talasastog kartona - Tehnički uslovi
SRPS ISO 8787:1993	Papir i karton - Određivanje kapilarnog upijanja - Metoda po Klemu
Bezbednost mašina	
SRPS EN 1034-1:2021	Bezbednost mašina – Zahtevi za bezbednost za projektovanje i konstrukciju mašina za proizvodnju i završnu obradu papira – Deo 1: Opšti zahtevi
SRPS EN 1034-4:2021	Bezbednost mašina – Zahtevi za bezbednost za projektovanje i konstrukciju mašina za proizvodnju i završnu obradu papira – Deo 4: Palperi i uređaji za punjenje

Razvoj ambalaže u 21. veku ne predstavlja isključivo tehnički i tržišni izazov, već sve više postaje prioritet u oblasti zaštite potrošača i očuvanja životne sredine. U tom kontekstu, **Komisija za standarde KS Z261-5** ima ključnu ulogu u procesima kreiranja, unapređivanja i harmonizacije nacionalnih standarda koji se odnose na ambalažu i ambalažne sisteme. Delokrug rada Komisije obuhvata različite segmente standardizacije, uključujući definisanje terminologije, dimenzija, ambalažnog materijala, obeležavanja, metode ispitivanja, zahteva za performanse i aspekata životne sredine u oblasti ambalaže. Rad Komisije odnosi se na sve vrste ambalaže, osim paleta (koje su u nadležnosti KS Z051/SS 1), a poseban akcenat stavlja se na ambalažu koja dolazi u direktan kontakt sa hranom, opasnom robom i farmaceutskim proizvodima. U cilju međunarodnog usklađivanja, Komisija prati i aktivno učestvuje u radu relevantnih tehničkih tela Evropskog komiteta za standardizaciju (CEN/TC 261) i Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO/TC 122). Najznačajniji preuzeti standardi iz ove oblasti dati su tabeli 2.

Tabela 2: Standardi iz oblasti rada KS Z261-5**Tabela 2: Standardi iz oblasti rada KS Z261-5**

Oznaka standarda	Naziv standarda na srpskom jeziku
Bezbednost ambalaže	
SRPS EN ISO 8317:2017	Ambalaža bezbedna za decu – Zahtevi i metode ispitivanja ambalaže namenjene za višekratno otvaranje
SRPS EN ISO 28862:2023	Ambalaža – Ambalaža bezbedna za decu – Zahtevi i metode ispitivanja ambalaže namenjene za jednokratno otvaranje za nefarmaceutске proizvode
SRPS EN ISO 13127:2013	Ambalaža — Ambalaža bezbedna za decu — Mehaničke metode ispitivanja ambalažnih sistema bezbednih za decu, namenjenih za višekratno otvaranje
SRPS ISO 11683:2005	Pakovanje - Taktilni simboli upozorenja na opasnost - Zahtevi
SRPS EN 15593:2009	Ambalaža - Upravljanje higijenom u proizvodnji ambalaže za prehrambene proizvode - Zahtevi
Fleksibilna i plastična ambalaža	
SRPS EN 13592:2017	Plastične vreće za sakupljanje otpada u domaćinstvu — Vrste, zahtevi i metode ispitivanja
SRPS EN 13590:2009	Ambalaža - Savitljive kese za nošenje razne robe u maloprodaji - Opšte karakteristike i metode ispitivanja za određivanje zapremine i nosivosti
SRPS EN 13628-1:2011	Ambalaža — Fleksibilni ambalažni materijal — Određivanje zaostalog rastvarača statičnom "headspace" gasnom hromatografijom (HSGC) — Deo 1: Apsolutne metode
SRPS EN 14477:2012	Ambalaža- Fleksibilni ambalažni materijal- Određivanje otpornosti prema probijanju- Metode ispitivanja
Staklena ambalaža	
SRPS EN ISO 12818:2016	Staklena ambalaža — Standardne tolerancije za staklene boce koje se upotrebljavaju za farmaceutske, medicinske, kozmetičke i hemijske proizvode
SRPS EN ISO 7458:2010	Staklene posude — Otpornost na unutrašnji pritisak — Metode ispitivanja

SRPS EN ISO 8113:2017	Staklene posude – Otpornost na vertikalno opterećenje – Metoda ispitivanja
Metalne posude i aerosol boce	
SRPS EN ISO 15750-1:2009	Ambalaža - Čelična burad - Deo 1: Burad sa odvojivim poklopcem (neučvršćenim) minimalnog ukupnog kapaciteta od 208 L, 210 L i 216,5 L
SRPS EN 15007:2017	Aerosol-boce – Boce od belog lima – Mere dvodelnih i trodelnih boca
Papirna i kartonska ambalaža	
SRPS EN 14053:2009	Ambalaža - Ambalaža izrađena od talasastog kartona ili lepenke - Vrste i konstrukcije
SRPS EN 14054:2009	Ambalaža - Kartonska i papirna ambalaža - Vrste kartona
SRPS EN ISO 7965-1:2024	Ambalaža – Ispitivanje slobodnim padom – Deo 1: Papirne vreće

Direktiva 94/62/EZ o ambalaži i ambalažnom otpadu ima za cilj da uskladi propise država članica kako bi se smanjio negativan uticaj ambalaže na životnu sredinu i obezbedilo nesmetano funkcionisanje jedinstvenog tržišta EU. U okviru ove direktive razvijen je set harmonizovanih evropskih standarda (EN 13427–EN 13432) koji se odnose na bezbednost, reciklabilnost, kompostabilnost i ograničenje štetnih materijala u ambalaži. Ove standarde je preuzela Komisija za standarde Z183 (oznake i nazivi dati u tabeli 3).

Tabela 3: Standardi iz oblasti rada KS Z183 (harmonizovani standardi)

Tabela 3: Standardi iz oblasti rada KS Z183 (harmonizovani standardi)

Oznaka standarda	Naziv standarda na srpskom jeziku
SRPS EN 13427:2005	Ambalaža - Zahtevi za primenu evropskih standarda u oblasti ambalaže i ambalažnog otpada
SRPS EN 13428:2005	Ambalaža - Specifični zahtevi za izradu i sastav - Sprečavanje nastajanja otpada smanjenom upotrebom sirovina
SRPS EN 13429:2005	Ambalaža - Ponovna upotreba
SRPS EN 13430:2005	Ambalaža - Zahtevi za ambalažu koja je ponovo iskoristiva reciklažom materijala
SRPS EN 13431:2005	Ambalaža - Zahtevi za ambalažu koja je ponovo iskoristiva u obliku energije, uključujući specifikaciju minimalne donje toplotne moći
SRPS EN 13432:2005 SRPS EN 13432:2005/AC:2017	Ambalaža – Zahtevi za ambalažu koja je ponovo iskoristiva kompostiranjem i biorazgradnjom – Šema ispitivanja i kriterijum za procenu prihvatljivosti ambalaže
SRPS CR 13695-1:2008	Ambalaža - Zahtevi za merenje i verifikaciju prisustva četiri teška metala i ostalih opasnih materija u ambalaži i njihovo ispuštanje u životnu sredinu - Deo 1: Zahtevi za merenje i verifikaciju prisustva četiri teška metala u ambalaži
SRPS CEN/TR 13695-2:2019	Ambalaža – Zahtevi za merenje i verifikaciju prisustva četiri teška metala i ostalih opasnih materija u ambalaži i njihovo ispuštanje u životnu sredinu – Deo 2: Zahtevi za merenje i verifikaciju prisustva opasnih materija u ambalaži i njihovo ispuštanje u životnu sredinu

Komisija za standarde Z183 delokrugom obuhvata razvoj, usaglašavanje i primenu standarda koji pokrivaju sve ključne aspekte upravljanja otpadom. To podrazumeva procedure za smanjenje nastanka otpada, ponovnu upotrebu, reciklažu, kompostiranje, biorazgradljivost, kontrolisano spaljivanje i konačno odlaganje. Komisija takođe definiše terminologiju i metode karakterizacije otpada, kao i bezbednosne zahteve za sakupljanje, transport i skladištenje čvrstog i tečnog otpada. Od skora komisija se bavi cirkularnom ekonomijom tj standardima koji olakšavaju tranziciju sa linearnog na cirkularni model poslovanja. Komisija Z183 prati aktivnosti relevantnih tehničkih komiteta evropske organizacije za standardizaciju (CEN/TC 183, CEN/TC 261/SC 4, CEN/TC 343, CEN/TC 363, CEN/TC 366, CEN/TC 383, CEN/TC 397, CEN/TC 444, CEN/TC 308, CEN/TC 351, CEN/TC 466), kao i rad ISO tehničkih komiteta iz ove oblasti (ISO/TC 122, ISO/TC 275, ISO/TC 297, ISO/TC 282, ISO/TC 300, ISO/TC 323).

Komisija za standarde KS H130 je odgovorna za standardizaciju u oblasti grafičke tehnologije. Njen rad obuhvata celokupan lanac procesa grafičke reprodukcije – od dizajna i pripreme za štampu, preko štampanja i završne obrade, do isporuke proizvoda u digitalnom ili fizičkom obliku. Ova oblast podrazumeva standarde koji se odnose na terminologiju, vizuelnu procenu kvaliteta i izgleda, razmenu podataka, kontrolu proizvodnih procesa, upravljanje kvalitetom, ocenjivanje usaglašenosti, kao i na zaštitu životne sredine. Takođe obuhvata ispitivanje materijala, opreme i sistema u proizvodnji grafičkih proizvoda. Rad Komisije KS H130 usklađen je sa međunarodnim standardima koje donosi tehnički komitet ISO/TC 130 (Graphic technology). Najznačajniji standardi u ovoj oblasti koje je ova komisija usvojila dati su u tabeli 4.

Tabela 4: Pregled preuzetih standarda iz oblasti rada KS H130**Tabela 4: Pregled preuzetih standarda iz oblasti rada KS H130**

<i>Grupa standarda</i>	<i>Oznaka standarda</i>	<i>Nazivi standarda</i>
Procesna kontrola štampe	SRPS ISO 12647-1:2023	Grafička tehnologija — Procesna kontrola izrade rasterskih separacija u boji, probnih otisaka i otisaka tiraža- Deo 1: Parametri i metode merenja
	SRPS ISO/TS 15311-1:2022	Grafička tehnologija — Zahtevi za štampane proizvode za komercijalnu i industrijsku proizvodnju - Deo 1: Metode merenja i šema izveštavanja
Upravljanje bojom i standardi vezani za boju	SRPS ISO 13655:2023	Grafička tehnologija - Spektralno merenje i kolorimetrijsko računanje za slike u grafičkoj tehnologiji
	SRPS ISO 15076-1:2022	Upravljanje bojom pri obradi slike — Arhitektura, format profila i struktura podataka — Deo 1: Zasnovano na ICC.1:2010
Razmena digitalnih podataka (PDF/X)	SRPS ISO 15930-1:2020	Grafička tehnologija — Razmena digitalnih podataka u pripremi za štampanje — Upotreba PDF-a - Deo 1: Potpuna razmena upotrebom CMYK podataka (PDF/X-1 i PDF/X-1a)
	SRPS ISO 12640-1:2020	Grafička tehnologija — Razmena digitalnih podataka u pripremi za štampanje - Deo 1: CMYK standardni podaci o slici u boji (CMYK/SCID)
Materijali i štamparske boje	SRPS ISO 2834-1:2023	Grafička tehnologija — Laboratorijska priprema probnih otisaka - Deo 1: Pastozne štamparske boje
	SRPS ISO 2836:2023	Grafička tehnologija — Otisci i štamparske boje — Procena otpornosti otisaka na različite agense
Priprema za štampu i pasovanje	SRPS ISO 11084-1:2020	Grafička tehnologija — Sistemi za pasovanje fotografskog materijala, folija i papira - Deo 1: Sistemi za pasovanje u tri tačke
	SRPS ISO 12218:2020	Kontrola procesa — Izrada štamparskih formi za ofset štampu
	SRPS ISO 12642-1:2022	Grafička tehnologija — Ulazni podaci za karakterizaciju štampanja u četiri procesne boje - Deo 1: Ulazni skup podataka
Završna obrada i pakovanje	SRPS ISO 16762:2022	Grafička tehnologija — Završna grafička obrada — Opšti zahtevi za prenos, rukovanje i skladištenje
	SRPS ISO 16763:2022	Grafička tehnologija — Završna grafička obrada — Zahtevi za proizvode dobijene povezivanjem
Ekološki i bezbednosni standardi	SRPS ISO 14298:2022	Grafička tehnologija — Upravljanje procesima sigurnosne štampe
	SRPS ISO 21632:2020	Grafička tehnologija — Određivanje potrošnje energije uređaja za digitalno štampanje, uključujući prelazni režim i slične režime rada

4. STANDARDIZACIJA U OBLASTI CPAG INDUSTRIJE- IZAZOVI I PERSPEKTIVE

Standardizacija u oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike (CPAG) suočava se sa brojnim izazovima i razvojnim perspektivama koje su u tesnoj vezi sa strateškim ciljevima razvoja sistema nacionalne standardizacije u Republici Srbiji. Aktivnosti u ovoj oblasti su usmerene ka stalnom unapređenju radnih procesa, jačanju saradnje sa privredom i akademskim sektorom, kao i prilagođavanju evropskim i međunarodnim normama. Poseban značaj ima usklađivanje sa pravnom tekovinom Evropske unije, naročito u okviru Poglavlja 1 – Slobodno kretanje roba, što zahteva intenzivno usvajanje harmonizovanih standarda, uključujući one koji se odnose na bezbednost, održivost i kvalitet proizvoda u CPAG industriji.

Standardizacija u ovoj oblasti postaje ključni instrument za podizanje konkurentnosti privrede, podsticanje inovacija i omogućavanje ravnomernog ekonomskog razvoja. U tom kontekstu, ISS uspostavlja intenzivnu saradnju sa privrednim subjektima, visokoškolskim i istraživačkim institucijama, kao i sa relevantnim ministarstvima, s ciljem da se standardi donose uz uvažavanje potreba svih zainteresovanih strana – zakonodavca, proizvođača, potrošača i naučne zajednice. Poseban akcenat stavlja se na digitalizaciju procesa standardizacije, objavljivanje standarda u savremenim formatima pogodnim za mašinsko čitanje i njihovu integraciju u digitalne tokove upravljanja kvalitetom, bezbednošću i sledljivošću proizvoda.

Relevantnost standarda dodatno je naglašena u svetlu novih evropskih politika i zakonodavstva koje ima direktni uticaj na CPAG sektor. Posebno se izdvaja nova *Uredba o ambalaži i ambalažnom otpadu* (2025/40/EZ PPWR – Packaging and Packaging Waste Regulation) koja predstavlja osnovu Evropske strategije o plastici i ambalaži. PPWR uvodi najveće promene od 1994. godine, sa punom primenom od 12. avgusta 2026 i zameniće

Direktivu o ambalaži i ambalažnom otpadu 94/62/EZ, menja Uredbu o tržišnom nadzoru i usklađenosti proizvoda 2019/1020/EZ kao i Direktivu o smanjenju uticaja određenih plastičnih proizvoda na životnu sredinu 2019/904/EZ. Ona propisuje stroža pravila za ambalažu i ambalažni otpad s ciljem smanjenja otpada, povećanja reciklaže i podsticanja ponovne upotrebe ambalaže u cilju postizanja cirkularne ekonomije.

Uspostavljanje usklađenosti sa novim zahtevima EU takođe obuhvata planiranu implementaciju digitalnog pasoša za proizvode (Digital Product Passport), koji će omogućiti praćenje materijala i ambalaže kroz ceo životni ciklus proizvoda. Ovaj pristup zahteva dodatno jačanje digitalnih kapaciteta u oblasti standardizacije, uključujući razvoj operativnih platformi i povezivanje nacionalnih baza podataka sa evropskim informacionim sistemima.

Značajan element u procesu unapređenja standardizacije u CPAG sektoru jeste i kontinuirana edukacija stručnjaka, razvoj kompetencija kroz obuke i uključivanje većeg broja eksperata u rad tehničkih tela. ISS podstiče transparentnost i uključivanje svih zainteresovanih strana u proces donošenja standarda, kroz održavanje javnih rasprava, okruglih stolova i otvorenih poziva za članstvo u komisijama za standarde, čime se osigurava ravnoteža interesa i podstiče društvena odgovornost. Paralelno, raste značaj uključivanja standardizacije u formalno obrazovanje i saradnje sa Privrednom i Inženjerskom komorom Srbije, kao i učešća u međunarodnim projektima i platformama za standardizaciju.

U savremenom regulatornom i tržišnom kontekstu, CPAG industrija predstavlja jednu od ključnih oblasti u kojoj standardizacija ima potencijal da direktno doprinese ostvarenju ciljeva održivog razvoja, unapređenju kvaliteta proizvoda, povećanju bezbednosti potrošača, kao i očuvanju životne sredine. S druge strane, standardizacija u oblasti cirkularne ekonomije pomaže tranziciju sa linearnih modela poslovanja na cirkularne, čime se omogućava visok stepen zadržavanja vrednosti unutar celog životnog ciklusa ambalaže. Posmatrano u širem razvojnog okviru, unapređenje standardizacije u ovoj oblasti predstavlja važan korak ka izgradnji modernog, otvorenog i održivog sistema nacionalne infrastrukture kvaliteta, zasnovanog na principima inovacija, digitalizacije i međunarodne saradnje.

5. ZAKLJUČAK

Standardizacija u oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafičke tehnologije u Srbiji predstavlja ključni mehanizam za usklađivanje tehničkih zahteva sa savremenim evropskim i međunarodnim regulativama. Aktivnosti Instituta za standardizaciju Srbije omogućavaju olakšano definisanje kvaliteta, bezbednosti, zaštite životne sredine i efikasnog korišćenja resursa u CPAG industriji. Implementacijom standarda doprinosi se povećanju konkurentnosti proizvođača, olakšavanju plasmana proizvoda na domaće i strana tržišta i podizanju ukupnog nivoa usklađenosti sa principima održivog razvoja i cirkularne ekonomije.

Ipak, efikasnost i značaj standardizacije zavisi od obima uključenosti stručne i poslovne zajednice u proces donošenja standarda kako na nacionalnom tako i na evropskom/međunarodnom nivou, dostupnošću standarda u digitalnom formatu, kao i mogućnošću njihove integracije u savremene proizvodne i informaciono-komunikacione sisteme. Perspektive razvoja sistema standardizacije u ovoj oblasti u velikoj meri zavise od daljeg jačanja institucionalne saradnje, i primene inovativnih mehanizama za edukaciju i prenos znanja, što ukazuje na potrebu za strateškim pristupom razvoju standardizacije u skladu sa industrijskim, ekološkim i tehnološkim trendovima.

5. CONCLUSION

Standardization in the field of cellulose, paper, packaging, and graphic technology in Serbia represents a key mechanism for aligning technical requirements with modern European and international regulations. The activities of the Institute for Standardization of Serbia facilitate the definition of quality, safety, environmental protection, and efficient resource use in the CPAG industry. The implementation of standards contributes to increasing the competitiveness of manufacturers, facilitating the placement of products on domestic and foreign markets, and raising the overall level of alignment with the principles of sustainable development and the circular economy.

However, the effectiveness and significance of standardization depend on the extent of involvement from the professional and business community in the process of developing standards both at the national and European/international levels, the availability of standards in digital format, as well as the possibility of

integrating them into modern production and information-communication systems. The prospects for the development of the standardization system in this field largely depend on further strengthening institutional cooperation and applying innovative mechanisms for education and knowledge transfer, highlighting the need for a strategic approach to the development of standardization in line with industrial, environmental, and technological trends.

Reference

- [1] Zakon o standardizaciji („Službeni glasnik RS”, broj 36/09 i 46/15)
- [2] Informator o radu 2023., https://iss.rs/sr_Cyrl/information-booklet_p732.html
- [3] Program razvoja Instituta za period 2022-2024, https://iss.rs/sr_Cyrl/program-of-the-development-of-the-institute-for-standardization-of-serbia-2022-2024_p1152.html
- [4] https://iss.rs/sr_Cyrl/download/page-section/document/4607
- [5] https://iss.rs/sr_Cyrl/download/page-section/document/4608
- [6] https://iss.rs/sr_Cyrl/download/page-section/document/4609
- [7] <https://eur-lex.europa.eu/>
- [8] Krupež, J., & Mirković-Đorđević, M. (2015). Trenutno stanje nacionalne standardizacije u oblasti celuloze, papira, kartona i ambalaže, XX međunarodni simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike – Zbornik radova (str. 167). Zlatibor, 16–19. jun 2015

Corresponding author:

Bojana Stanimirović

Institut za Standardizaciju Srbije, Stevana Brakusa 2, Beograd, Srbija

bojana.stanimirovic@iss.rs

PRIMENA I DIMENZIONISANJE HIDROCIKLONA U PAPIRNOJ INDUSTRIJI

APPLICATION AND SIZING OF HYDROCYCLONES IN THE PAPER INDUSTRY

Nikola Tanasić ^{1,a}, Mirjana Stamenić ^{2,b}, Goran Jankes ²

¹ Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Srbija; ² Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

^a (<https://orcid.org/0000-0003-3218-0619>); ^b (<https://orcid.org/0000-0002-7163-8584>);

^c (<https://orcid.org/0000-0003-3695-5397>)

Izvod

Konstantni deo papir mašine je deo pripreme papirne mase između rezervoara u kome se skladišti razvlaknena papirna masa i natočnog korita. Sastoji se od više tehnoloških celina koje obavljaju različite funkcije kao što su izdvajanje nečistoća, rafinacija, deaeracija (uklanjanje vazduha) i razvodnjavanje mase, tj. kontrola koncentracije čvrste materije, pre nego što papirna masa bude ravnomerno raspodeljena po širini papir mašine u natočnom koritu. Dobro projektovan sistem obezbeđuje kontinuirani protok suspenzije sa stalnom koncentracijom, kvalitetom i protokom, pri konstantnom pritisku, ka natočnom koritu. Poželjno je da varijacije protoka mase budu manje od 1% u odnosu na nominalnu vrednost. Hidrocikloni imaju ključnu ulogu u sistemu pripreme papirne mase jer poboljšavaju njenu čistoću pre nego što ona stigne do natočnog korita. Oni predstavljaju posebnu vrstu centrifugalnih prečištača koji uklanjaju neželjene čestice iz suspenzije, kao što su: pesak, druge čvrste čestice mineralnog porekla, metalne čestice, ostaci boje, plastika. Princip rada hidrociklona zasniva se na tangencijalnom ubrizgavanju papirne mase velikom brzinom, pri čemu se u uređaju stvara vrtložno kretanje. Zahvaljujući centrifugalnim silama, teže čestice (nečistoće) se potiskuju ka spoljnim zidovima i izlaze kroz otvor/priključak u donjem delu uređaja, dok tečna faza manje gustine, tj. prečišćena suspenzija izlazi kroz otvor/priključak u gornjem delu uređaja i nastavlja ka natočnom koritu. U ovom radu je analizirana primena hidrociklona u papirnoj industriji i prikazana je metodologija za dimenzionisanje i izbor ovih uređaja.

Ključne reči: priprema papirne mase, prečišćavanje, hidrocikloni

Abstract

The approach flow is the section of a paper machine between the machine chest and the headbox. It is made up of a number of unit operations in order to clean contaminants, refine, deaerate and dilute (control the consistency) stock before it is distributed uniformly over the width of the machine in the headbox. Well-designed approach flow system supply a continuous suspension flow of constant consistency, quality and flow rate at constant pressure to the headbox of the paper machine. Variations of stock flow rates less than 1% from nominal flow rate are preferable. Hydrocyclones play a crucial role in the approach flow system of a paper machine by improving stock cleanliness before the pulp reaches the headbox. They are a type of centrifugal cleaners which remove unwanted particles from the pulp suspension, such as: sand, grit, metal particles, ink residues, plastics. The principle of filtration is based on the high-velocity tangential flow where the pulp slurry is pumped into the hydrocyclone at high speed tangentially, creating a vortex. Centrifugal separation occurs with heavy particles (rejects) that are pushed to the outer wall and exit through the bottom (reject port). Light, clean fiber suspension (accepts) exits through the top (overflow outlet) and continues toward the headbox. In this paper application of hydrocyclones in the paper industry is analyzed and methodology for their sizing and selection is presented.

Keywords: approach flow, purification, hydrocyclones

1. UVOD

Proces proizvodnje papira se u osnovi sastoji iz pet celina [1]:

- Priprema sirovine gde se papirna vlakna (primarna ili sekundarna) mešaju sa vodom i aditivima. U ovoj fazi odvija se prerada, filtriranje i uklanjanje boje da bi se postigle željene karakteristike ulazne sirovine.
- U sitovoj ili sekciji formera iz papirne mase se uklanja voda, gravitacijom, centrifugalnim silama ili vakuumom.
- Nakon formiranja papirna traka se uvodi u sekciju presa gde se odvija dalje odstranjivanje vode mehaničkim putem. Udeo čvrste materije u papirnoj traci nakon ove sekcije obično iznosi 33 do 55 % u zavisnosti od gramature i tipa papira koji se proizvodi i konstrukcije prese.

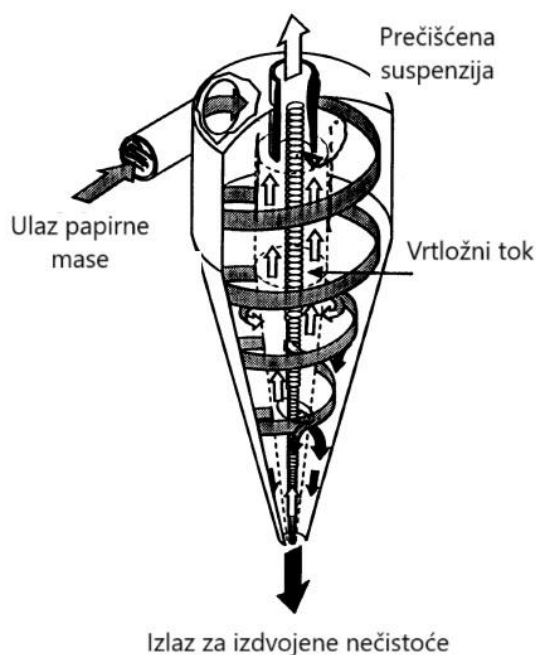
- Preostala vlaga u papiru se odstranjuje termičkim putem u sušnoj sekciji. U zavisnosti od karakteristika finalnog proizvoda papir se posle sušne sekcije tretira premazima, lepkom ili skrobom.
- U slučaju tretmana papira nekom vrstom premaza, neophodan je još jedan stepen termičkog sušenja. Nakon finalnog sušenja papir sadrži vlagu u granicama od 5 do 9 % i kao takav se namotava u rolne na namotaču.

Iz procesa pripreme papirne mase vodena suspenzija se dovodi u natočno korito papir mašine sa masenim udelom čvrste materije od 0,2 do 1,2 % [2]. Natok, sito i prese čine mokri deo papir mašine. Karton mašina je slične konstrukcije kao i papir mašina. Najveća razlika je u sitovoj partiji koja zbog postojanja više slojeva ima više posebnih natoka i sita. Pored sistema sa više sita postoje i mašine sa usisnim formerima ili kombinacijom usisnih formera i ravnih sita [2].

Proces pripreme sirovine se sastoji od više tehnoloških jedinica koje obavljaju različite funkcije kao što su izdvajanje nečistoća, rafinacija, deaeracija (uklanjanje vazduha) i razvodnjavanje mase, tj. kontrola koncentracije čvrste materije, pre nego što papirna masa bude ravnomerno raspodeljena po širini mašine u natočnom koritu. Kod modernih papir mašina neophodno je u svakom momentu obezbediti sigurno snabdevanje natočnog korita, fleksibilnu proizvodnju, jednostavno upravljanje i efikasno korišćenje energije. Konstantni deo papir mašine koji je optimalno projektovan obezbeđuje približno konstantan protok papirne mase, konstantne koncentracije u natok papir mašine, pri konstantnom pritisku, za dati tip i gramaturu papira. Poželjno je da odstupanja stvarnog protoka papirne mase od nominalnog protoka budu manja od 1%. Hidrocikloni imaju ključnu ulogu u sistemu pripreme papirne sirovine sa ulogom da izdvoje nečistoće koje degradiraju fizičke karakteristike papirne mase i negativno utiču na krajnji kvalitet papira. U ovom radu je analizirana primena hidrociklona u papirnoj industriji u procesu pripreme papirne sirovine i prikazana je metodologija za dimenzionisanje i izbor ovih uređaja.

2. PRIMENA HIDROCIKLONA U PAPIRNOJ INDUSTRIJI

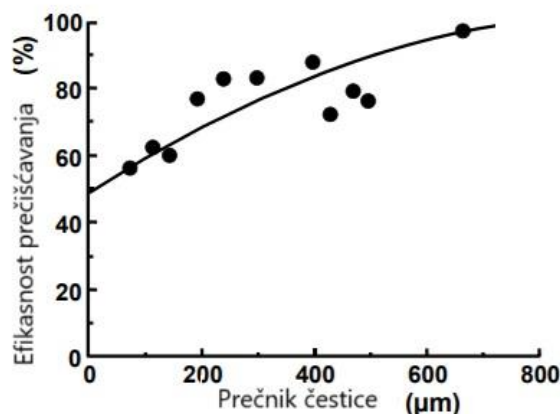
Hidrocikloni predstavljaju posebnu vrstu centrifugalnih prečištača koji uklanjaju neželjene čestice iz papirne suspenzije, kao što su: pesak, druge čvrste čestice mineralnog porekla, metalne čestice, čvrsti ostaci boje i lepila, plastika. Princip rada hidrociklona zasniva se na tangencijalnom kretanju papirne mase velikom brzinom, pri čemu se u aparatu stvara vrtložno kretanje. Zahvaljujući centrifugalnim silama, teže čestice (nečistoće) se potiskuju ka spoljnim zidovima, odnosno prema plaštu hidrociklona i izlaze kroz otvor/priključak u donjem delu uređaja, dok tečna faza manje gustine, tj. prečišćena suspenzija izlazi kroz unutrašnji cevovod i otvor/priključak u gornjem delu uređaja i tako nastavlja ka narednom stepenu prečišćavanja (slika 1).



Slika 1: Sema strujanja suspenzije u hidrociklonu [3]
Figure 1: Suspension flow diagram in a hydrocyclone [3]

APPLICATION AND SIZING OF HYDROCYCLONES IN THE PAPER INDUSTRY

Efikasnost izdvajanja nečistoća zavisi od nekoliko faktora a jedan od najvažnijih je gustina čvrstih čestica. Samo pri gustinama čestica većim od $1,05 \text{ g/cm}^3$ se može postići efikasnost prečišćavanja veća od 90% [3]. Na efikasnost prečišćavanja takođe utiče veličina čestice koja se najčešće aproksimira oblikom idealne sfere (slika 2). Pri većim dimenzijama čestica postiže se veća efikasnost izdvajanja. Efikasnost prečišćavanja zavisi i od udela čvrste materije u suspenziji na taj način da efikasnost raste sa smanjenjem koncentracije čvrstih čestica u papirnoj sirovini.



Slika 2: Zavisnost efikasnosti prečišćavanja hidrociklona od prečnika čvrste čestice u suspenziji na ulazu u aparat [3]
 Figure 2: Dependence of hydrocyclone purification efficiency on the diameter of solid particles in the suspension at the inlet of the device [3]

Hidrocikloni imaju široku primenu u konstantnom delu papir mašine a razlikuju se hidrocikloni za suspenziju visoke gustine, umerene gustine i hidrocikloni za fino prečišćavanje. Osnovne karakteristike ova tri tipa hidrociklona su prikazane u tabeli 1. Tipičan pad pritiska na hidrociklonima u papirnoj industriji je 140 do 200 kPa. Kako bi se omogućilo prečišćavanje velike količine papirne mase pri minimalnom padu pritiska, hidrocikloni se najčešće grupišu u nekoliko baterija sa paralelnim tokom fluida (slika 3). U prednosti hidrociklona se ubrajaju jednostavna konstrukcija bez pokretnih delova, jednostavna montaža i održavanje i kompaktni gabariti. Nedostaci su manja fleksibilnost pri značajnoj promeni procesnih parametara, niža efikasnost prečišćavanja, mogućnost akumulacije nečistoća i zagušenje aparata i visoki troškovi za transport/pumpanje suspenzije.

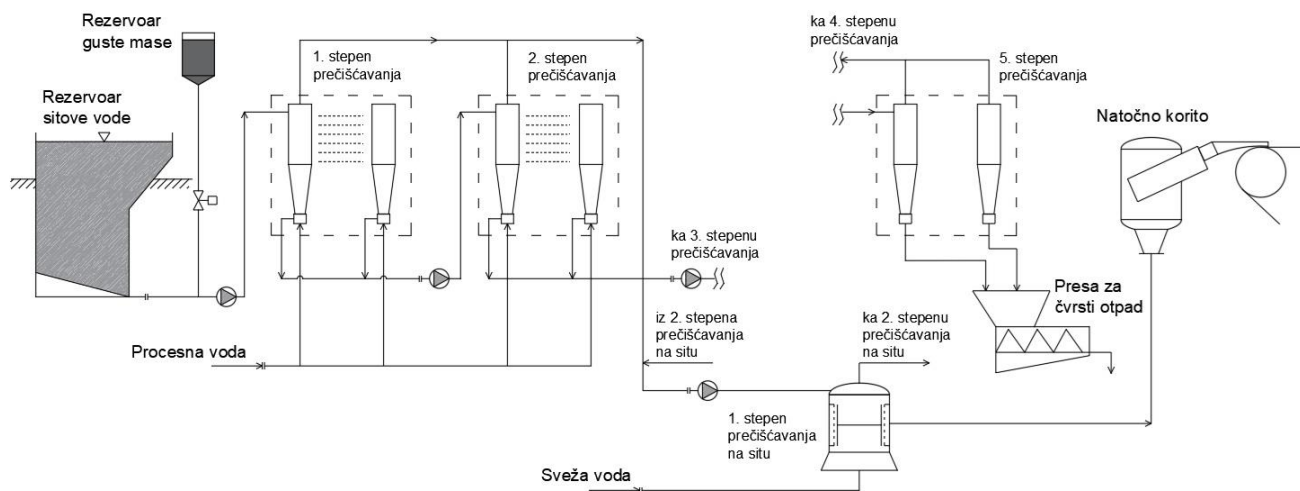


Slika 3: Baterija hidrociklona u papirnoj industriji [4]
 Figure 3: Hydrocyclone battery in the paper industry [4]

Tabla 1: Osnovne karakteristike različitih tipova hidrociklona [3]**Table 1: Basic characteristics of different types of hydrocyclones [3]**

Procesna karakteristika	Tip hidrociklona		
	Za suspenziju visoke gustine	Za suspenziju umerene gustine	Za fino prečišćavanje
Koncentracija suspenzije, %	2÷6	1÷3	0,5÷1,5
Prečnik aparata, mm	250÷1200	200÷650	75÷300
Visina aparata, m	2÷6	2÷6	0,6÷2,4
Materijal	Nerđajući čelik	Nerđajući čelik sa keramičkim konusom	Nerđajući čelik ili brizgana plastika
Lokacija u tehnološkoj liniji	Ispred prečišćaća sa sitom/rešetkom i refajnera	Ispred prečišćaća sa sitom/rešetkom i refajnera	Na različitim pozicijama u konstantnom delu papir mašine

Na slici 4 je prikazana pojednostavljena šema konstantnog dela papir mašine na primeru proizvodnje ambalažnog papira tipa fluting. Konstantni deo papir mašine čine prečišćaći donjeg sloja, koje čini 5 grupa hidrociklona (5 stepeni prečišćavanja) i fini rotacioni čistači donjeg dela, koje čine 4 prečišćaća sa rešetkom/sitom. Između njih se nalazi sa glavna pumpa donjeg sloja. Prečišćena papirna masa iz prvog stepena prečišćavanja se meša sa delom prečišćene mase iz drugog stepena prečišćaća. Dobijena mešavina se šalje u usisni kolektor glavne pumpe donjeg sloja i potiskuje u deo postrojenja za fino prečišćavanje sa filterima sa rešetkom/sitom. Sistem omogućava da se napojna voda iz rezervoara sitove vode pomeša sa prečišćenom papirnom masom iz prvog i drugog stepena prečišćavanja, pre nego što se ona pošalje u usisni kolektor glavne pumpe donjeg sloja. Ova pumpa ima posebnu konstrukciju rotora i pogonski motor upravljani frekventnim pretvaračem, koja omogućava dobro mešanje uz nisku pulzaciju toka i preciznu i stalnu kontrolu koncentracije papirne mase.

*Slika 4: Primena hidrociklona u konstantnom delu papir mašine**Figure 4: Application of hydrocyclone in the constant section of the paper machine*

Tok sa izdvojenim nečistoćama iz prvog stepena prečišćavanja se meša sa sitovom vodom iz rezervoara i prečišćenom papirnom masom iz trećeg stepena prečišćavanja, a zatim se potiskuje se prema napojnoj liniji drugog stepena prečišćavanja. Tok sa izdvojenim nečistoćama iz drugog stepena prečišćavanja na hidrociklonima se meša sa sitovom vodom i prečišćenom masom iz četvrtog stepena prečišćavanja, a zatim se potiskuje se prema napojnoj liniji trećeg stepena prečišćavanja. Na kraju linije, odbačeni tok iz petog stepena prečišćavanja se šalje se u presu za čvrsti otpad. Svi hidrocikloni, fini rotacioni prečišćaći i priključni cevovodi moraju biti opremljeni drenažnim ventilima i odvodnim cevovodima radi efikasnog pražnjenja dela ili celog sistema zbog obavljanja operacija redovnog i vanrednog održavanja sistema.

3. DIMENZIONISANJE HIDROCIKLONA

Usled složenog strujanja dvofazne mešavine unutar aparata dimenzionisanje hidrociklona se uglavnom bazira na eksperimentalnim podacima, empirijskim relacijama i iskustvu proizvođača opreme.

Ugao konusnog dela aparata se obično se kreće između 10° i 20° . Dužina konusnog dela aparata zavisi od prečnika cilindričnog dela, ugla konusnog dela i prečnika priključka za tok fluida sa izdvojenim nečistoćama. Da bi se povećao kapacitet hidrociklona, potrebno je povećati prečnik ulaznog cevovoda kao i prečnik cilindričnog dela aparata. Prečnik cilindričnog dela aparata veći je 2 do 3 puta od prečnika izlaznog priključka za prečišćenu suspenziju. Visina cilindričnog dela hidrociklona treba da je minimalno 3 puta veća od prečnika izlaznog priključka za prečišćenu suspenziju [5].

Unutrašnji cevovod ima ulogu da sprovede prečišćenu suspenziju do izlaznog priključka. Ako se dužina ovog cevovoda previše poveća može se poremetiti vrtložno kretanje unutar aparata i što kao posledicu ima smanjenje efikasnosti prečišćavanja. Iz ovog razloga dužina unutrašnje cevi se određuje najčešće eksperimentalnim putem ili primenom alata za numeričku mehaniku fluida (CFD).

Granična veličina čestice se definiše kao prečnik (d) čestice koja ima verovatnoću (n) da bude izdvojena/prečišćena u aparatu. Projektovana verovatnoća izdvajanja čestica najčešće iznosi 50%. Separacija čestica se zasniva na razlici gustine između tečnosti i čvrstog materijala koji se izdvaja. Veća razlika u gustini omogućava finiju separaciju. Granična veličina čestice se može procenti na osnovu sledeće relacije [5]:

$$d = \sqrt{\frac{n \cdot 0,01 \cdot 0,5 \cdot (D - D_0) \cdot 18 \cdot \eta}{(\rho_s - \rho_l) \cdot \lambda \cdot a}} \quad (1)$$

gde su: d , m, prečnik izdvojene čestice; n , %, verovatnoća izdvajanja; D , m, prečnik cilindričnog dela aparata; D_0 , m, prečnik izlaznog priključka za prečišćeni tok; η , Pa·s, dinamička viskoznost fluida; ρ_s , kg/m³, gustina čvrste materije; ρ_l , kg/m³, gustina fluida, kg/m³; λ , s, vreme zadržavanja čestice u aparatu; a , m/s², ubrzanje.

$$\lambda = L \cdot \frac{\pi \cdot \left(\frac{D^2 - D_0^2}{4} \right)}{Q} \quad (2)$$

$$a = \frac{v_i^2}{\frac{D}{2}} \quad (3)$$

$$v_i = \frac{Q}{A_c} \quad (4)$$

$$A_c = D_0^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (5)$$

gde su: L , m, ukupna dužina aparata od ulaznog priključka do izlaznog dela konusa; Q , m³/s, zapreminski protok suspenzije na ulazu u aparat; v_i , m/s, ulazna brzina; A_c , m², površina poprečnog preseka ulaznog priključka.

Efikasnost aparata u procentima se izražava kao odnos masenog udela čvrstih čestica u suspenziji u toku sa izdvojenim nečistoćama na izlaznom priključku konusnog dela aparata i masenog udela čvrstih čestica u suspenziji na ulazu u aparat:

$$E = \frac{w_u}{w_f} \cdot 100 \quad (6)$$

$$w_u = \frac{m_u}{m_{mix}} \quad (7)$$

$$w_f = \frac{m_f}{m_{mix}} \quad (8)$$

gde su: m_u , kg/s, maseni protok čvrstih čestica na izlazu iz aparata u toku sa izdvojenim česticama na izlaznom priključku konusnog dela aparata; m_f , kg/s, maseni protok čvrstih čestica na ulazu u aparat; m_{mix} , kg/s, ukupni maseni protok suspenzije na ulazu u aparat.

4. ZAKLJUČAK

U radu je analizirana primena hidrociklona u papirnoj industriji i prikazana je metodologija za približno dimenzionisanje ovih uređaja. Hidrocikloni imaju široku primenu u konstantnom delu papir mašine kao uređaji u kojima se odstranjuju nečistoće iz papirne mase pre finog prečišćavanja na uređajima sa rešetkom/sitom nakon čega se papirna masa transportuje do natočnog korita. Odlikuje ih jednostavna konstrukcija bez pokretnih delova, jednostavna montaža i održavanje i kompaktni gabariti. Sa druge strane nedostaci su manja fleksibilnost pri značajnoj promeni procesnih parametara, niža efikasnost prečišćavanja, mogućnost akumulacije nečistoća i zagušenje aparata i visoki troškovi za transport/pumpanje suspenzije.

Prilikom dimenzionisanja hidrociklona inženjeri se oslanjaju uglavnom na eksperimentalne podatke, empirijske relacije i iskustvo proizvođača opreme usled pojave složenog strujnog polja i dvofazne mešavine u aparatu. U novije vreme dostupne su i metode numerička mehanike fluida (CFD). Dodatni problem u papirnoj industriji predstavlja raznolikost nečistoća, kako po pitanju veličine i oblika čestica tako i po pitanju porekla i vrste materijala, koje se mogu naći u papirnoj masi naročito ako se radi o recikliranom starom papiru gde su prisutni pesak, metalne čestice, čvrsti ostaci boje i lepila, plastika i sl.

4. CONCLUSION

This paper analyzed the application of hydrocyclones in the paper industry and presented a methodology for the approximate sizing of these devices. Hydrocyclones are widely used in the constant section of the paper machine as equipment for removing impurities from the pulp before fine cleaning on screen or sieve devices, after which the pulp is transported to the stock chest. They are characterized by a simple construction without moving parts, easy installation and maintenance, and compact dimensions. On the other hand, their drawbacks include lower flexibility when significant process parameter changes occur, lower purification efficiency, the possibility of impurity accumulation and clogging of the device, and high costs for suspension transport or pumping.

When sizing hydrocyclones, engineers primarily rely on experimental data, empirical correlations, and equipment manufacturers' experience due to the complex flow field and two-phase mixture inside the device. More recently, computational fluid dynamics (CFD) methods have also become available. An additional challenge in the paper industry is the diversity of impurities — in terms of particle size and shape, as well as origin and type of material — found in the pulp, especially when dealing with recycled old paper where sand, metal particles, paint and adhesive residues, plastics, and similar contaminants are present.

Literatura

- [1] Laurijssen, J., De Gram, F., Worrell, E., et al., Optimizing the energy efficiency of conventional multi-cylinder dryers in the paper industry, *Energy*, 35, 2010, pp. 3738-3750
- [2] Krgović, M., Perviz, O., Grafički materijali, Univerzitet u Beogradu Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2005
- [3] MacKenzie, J., Pulp cleaning lecture, Mechanical Engineering Dept., University of British Columbia
- [4] ***www.voith.com
- [5] Aryal, B. et al., Design, fabrication and testing of hydrocyclone separator as sediment separation system, KEC Conference 2019, Kantipur Engineering College, Nepal, 2019

Corresponding author:

Nikola Tanasić, PhD, professor of vocational studies

The Academy of Applied Studies Polytechnic, Katarine Ambrozić 3, Belgrade, Serbia

e-mail: ntanasic@politehnika.edu.rs

BENEFITI INSTALIRANJA TURBOBLOWERA UMJESTO VAKUUM PUMPI SA VODENIM PRSTENOM NA PAPIR MAŠINI U NATRON HAYATU

BENEFITS OF INSTALLING A TURBOBLOWER INSTEAD OF A WATER RING VACUUM PUMP ON A PAPER MACHINE AT NATRON HAYAT

Edina Husić, Almir Muftić, Ejub Ajan, Mirko Stanić
Natron-Hayat d.o.o. Maglaj, Bosna i Hercegovina

Izvod

U proizvodnji papira vakuum sistem zauzima važnu ulogu u proizvodnom procesu. Najvažnija uloga vakuum sistema je u procesu dehidracije papirne mase. Kako bi se ubrzao proces sušenja i smanjila potrošnja energije vakuum se koristi za izvlačenje vode iz papirne mase i kondicioniranje filčeva. Modernizacija vakuum sistema na papir mašini u Natron Hayatau je donijela značajne uštede u potrošnji električne energije, uštedu u potrošnji industrijske vode, niže troškove održavanja, manje zastoje u proizvodnji i veću kontrolu nad procesom. Cilj ovog rada je predstaviti prednosti instaliranja turboblowera u odnosu na raniji vakuum sistem sa vakuumom sa vodenim prstenom i prikazati konkretne benefite ove značajne investicije.

Ključne riječi: Turboblower, vakuum sistem, uštede

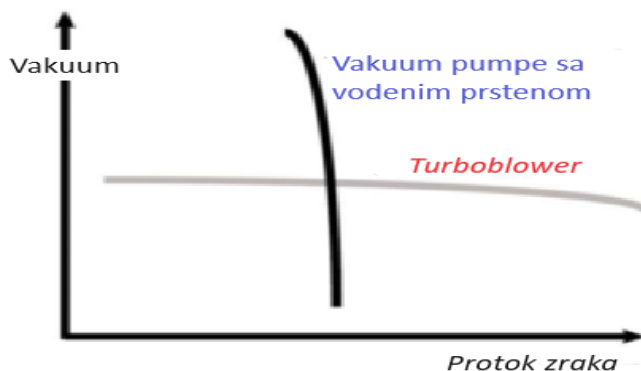
Abstract

In paper production, the vacuum system plays an important role in the production process. The most important role of the vacuum system is in the process of dehydration of the paper pulp. In order to speed up the drying process and reduce energy consumption, vacuum is used to extract water from the paper pulp. The modernization of the vacuum system on the paper machine at Natron Hayat has brought significant savings in electricity consumption, savings in industrial water consumption, lower maintenance costs, less downtime in production and greater control over the process. The aim of this paper is to present the advantages of installing a turboblower compared to the previous vacuum system with vacuum with water ring and to show the concrete benefits of this significant investment.

Keywords: Turboblower, vacuum system, savings

1. UVOD

U papirnoj industriji se koriste sljedeći vakuum sistemi: 1. vakuum pumpe sa leptir rotorima, 2. vakum pumpe sa vodenim prstenom, 3. višestepene vakuum turbine, 4. turboblower. Najčešće korišteni tip vakuum pumpi su vakuumske pumpe sa vodenim prstenom, koje rade sa konstantnim protokom zraka, dok turbo blower radi sa konstantnim vakuumom.



Slika 1: Kriva performansi vakuum pumpi sa vodenim prstenom i turbo blowera

Figure 1: Performance curve of water ring vacuum pumps and turbo blowers

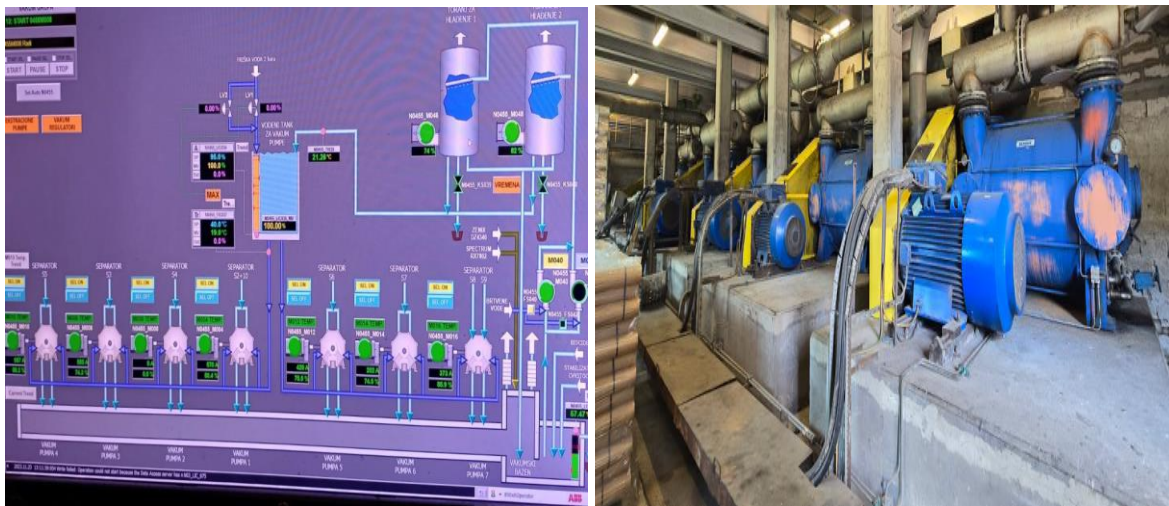
Promjene u otporu protoku na usisnoj tački imaju radikalan uticaj na razvijanje vakuuma u pumpama sa vodenim prstenom, dok protok zraka ostaje skoro isti. S druge strane, turbo blower radi s promjenjivim protokom zraka, koji zavisi od otpora protoku.

Vakuum pumpe sa vodenim prstenom imaju samo jedan pokretni dio – rotor, koji je pomaknut izvan centra i okreće se bez dodirivanja kućišta. Rotor je propeler, na koji su pričvršćene zakrivljene lopatice. Rotirajući propeler uzrokuje da voda unutar kućišta formira vodeni prsten zbog centrifugalnih sila. Voda se naziva brtvena voda ili radna voda. U prvoj fazi, zbog toga što je rotirajući propeler pomaknut izvan centra, radna voda se kreće prema vani, usisavajući zrak iz ulaznih otvora u rotorne komore. Ova faza uzrokuje vakuum u usisnoj cijevi. U drugoj fazi, radna voda počinje se približavati središtu, stišćući „uhvaćeni“ zrak. Stisnuti zrak izlazi na otvore za ispuštanje u posljednjoj fazi. Ove faze se ponavljaju svakom rotacijom. Nešto brtvene vode izlazi zajedno s zrakom, pa je potrebno dodati određenu količinu dopunske vode. Brtvena voda također služi kao rashladno sredstvo.

U slučaju turboblowera, ulazni zrak se dovodi do središta propelera. Kako se propeler okreće, zrak se stišće i kreće se radijalno prema vani. Zrak prolazi kroz sve faze, stvarajući vakuum dok se kreće prema sljedećoj fazi. Zrak se može dovoditi u različitim fazama. Zrak mora biti potpuno slobodan od vode i drugih čestica zbog visoke radne brzine. U usporedbi s vakuum pumpama sa vodenim prstenom, značajna prednost turbo blowera je to što ne postoji potreba za brtvenom vodom, što olakšava održavanje i smanjuje potrošnju vode. Također, turbo blower je dosta efikasniji jer se zrak može komprimirati na višim pritiscima, a radna brzina je visoka, što ga čini pogodnim za aplikacije koje zahtijevaju brze promjene pritiska ili velik protok zraka. Prednost turboblowera se također ogleda u mogućnosti iskorištavanja otpadnog zraka, gdje se velika količina zraka ugrijanog na temperaturu preko 100°C može rekuperirati i koristiti nazad u proizvodnom procesu.

2. PROJEKAT I BENEFITI

U kompaniji „Natron – Hayat d.o.o. Maglaj“ imali smo vakuum sistem sa 7 vakuum pumpi sa vodenim prstenom. Uz vakuum pumpe sa vodenim prstenom, u radu su bili i ventilator, vodene pumpe, dubinske pumpe i 2 rashladna tornja, te ostala pomoćna oprema neophodna za ispravno funkcionisanje sistema. Shematski prikaz korištene opreme dat je na narednoj slici.



Slika 2: Shematski prikaz i slika korištene opreme vakuum grupe
Figure 2: Schematic diagram and picture of the used equipment of the vacuum unit

Kao što je ranije rečeno, vakuum pumpe su se koristile za povećanje suhoće mokre papirne trake i uklanjanje vode iz papirne trake kako bi se ubrzao proces sušenja odnosno smanjila potrošnja toplotne energije. U narednoj tabeli su prikazane osnovne karakteristike vakuum pumpi. Pored ovoga vakuum sistem papirne mašine ima značajnu ulogu u kondicioniranju mokrih filčeva.

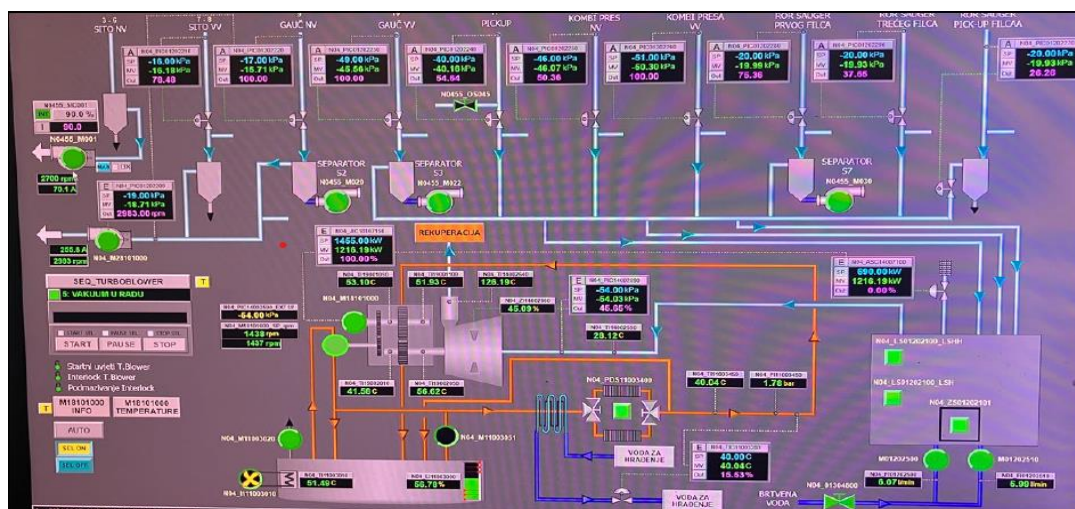
Tabela 1: Osnovne karakteristike vakuum pumpi**Table 1: Basic characteristics of vacuum pumps**

Tip vakuum pumpe	Broj obrtaja (min-1)	Snaga motora (kW)
P1 (2BE3670)	273	400
P2 (2BE3600)	344	450
P3 (2BE3600)	346	450
P4 (2BE3670)	306	500
P5 (2BE3500)	376	315
P6 (2BE3500)	255	160
P7 (2BE3506)	349	250
Ukupno		2.525,0

Kao što je prikazano u prethodnoj tabeli, ukupna instalirana snaga vakuum pumpi je iznosila 2.525 kW.

Snaga ostale instalirane oprema u vakuumskoj grupi (ventilator i ostale pumpe), iznosila je oko 100 kW. Međutim, iako navedena oprema snage 100 kW nije u upotrebi nakon instalacije turbo blowera, procjenjuje se da je pomoćna oprema približno iste snage, te ove uštede u energiji nisu analizirane, već su razmatrane uštede bazirane na uštedi energije zbog zamjene vakuum pumpi.

Tokom 2023. godine, izrađen je idejni projekat ugradnje turbo blowera, kojim su opisane detaljne tehničke specifikacije turbo blowera i osnovni podaci o integraciji ove tehnologije u industrijski proces kompanije „Natron – Hayat d.o.o. Maglaj“, a maju 2024. implemetirana je ova investicija.

*Slika 3: Shematski prikaz i slika instalirane opreme turboblowera**Figure 3: Schematic diagram and picture of the installed turboblower equipment***Tabela 2: Osnovne karakteristike turboblowera****Table 2: Basic characteristics of turboblowers**

Turboblower		
Broj obrtaja	10.830	(min-1)
Snaga motora	1.500	(kW)
Broj obrtaja	1.496	(min-1)
Prosječna snaga	1.000	(kW)

Uštede koje su postignute zamjenom vakuum pumpi turboblowerom podrazumijevaju:

- Uštedu u potrošnji električne energije,
- Uštedu u potrošnji vode i
- Uštedu rekuperacije otpadne toplote.

2.1 Uštede u potrošnji električne energije

Ugradnjom turboblowera, kao zamjene postojećim vakuum pumpama, smanjila se dodatna električna snaga opreme u vakuum grupi, što je, uz zadržavanje istog godišnjeg perioda rada, rezultiralo uštedama u potrošnji električne energije.

Koristeći se podatkom o ukupnoj snazi vakuum pumpi koja iznosi 2.525 kW, datoj u tabeli 1, kao i podatkom o planiranom godišnjem vremenu rada PM-4, u nastavku je dat proračun potrošnje električne energije vakuum pumpi u postojećem stanju:

$$E_{el1} = P * \tau = 2.525 * 24 \frac{h}{d} * 330 \frac{d}{god} = 19.998 \frac{MWh}{god} \quad [1]$$

Dakle, u dosadašnjem režimu rada sa vakuum pumpama se godišnje trošilo oko 19.998 MWh električne energije.

Ugradnjom turboblowera, snage motora 1.500 kW, znatno se smanjila potrošnja električne energije. Ako se uporede snaga vakuum pumpi i snaga turboblowera, jasno je da je satna ušteda električne energije oko 1.000 kWh. U praksi je to i potvrđeno analizom potrošnje električne energije za rad papir mašine prije i poslije instaliranja turboblowera.

Ugradnjom turboblowera, prosječne snage motora 1.000 kW, znatno će se smanjiti potrošnja električne energije, te će ista iznositi:

$$E_{el2} = P * \tau = 1.000 * 24 \frac{h}{d} * 330 \frac{d}{god} = 7.920 \frac{MWh}{god} \quad [2]$$

Oduzimajući potrošnju električne energije vakuum pumpi i potrošnju električne energije turboblowera dolazi se do ušteda u potrošnji energije:

$$\Delta E_{el} = E_{el1} - E_{el2} = 19.998 \frac{MWh}{god} - 7.920 \frac{MWh}{god} = 12.078 \frac{MWh}{god} \quad [3]$$

Iz prethodnih proračuna se zaključuje da se zamjenom vakuum pumpi turboblowerom postiže ušteda u potrošnji električne energije u iznosu od 12.078 MWh/god a s obzirom da će cijena električne energije neminovno rasti iz godine u godinu ova investicija predstavlja veliku uštedu za budućnost Natron Hayata.

2.2 Uštede u potrošnji vode

Voda se koristila u vakuum pumpama za stvaranje vodenog prstena unutar pumpe, što je ključno za njihovu funkciju. Vodeni prsten omogućavao je brtvljenje i stvaranje vakuumske prostora, što je omogućavalo učinkovito uklanjanje viška vode iz papirne mase tokom procesa proizvodnje. Osim toga, voda se koristila kao rashladno sredstvo za rashlađivanje pumpe, sprečavajući pregrijavanje i održavajući stabilne radne uslove.

Za rad vakuum pumpi je potrebno 30 m³/h vode. Koristeći se tim podatkom, te podatkom o godišnjem periodu rada vakuum pumpi, moguće je izračunati godišnju potrošnju vode za potrebe vakuum pumpi, kao i pripadajuće troškove. Godišnja potrošnja vode za rad vakuum pumpi je iznosila oko 237.600 m³.

2.3 Uštede rekuperacije otpadne toplote sa turboblowera

Izlazni zrak sa visokom temperaturom (130°C) sa turboblowera smo iskoristiti na izmjenjivačima u dijelu rekuperacije zrakova na haubi za sušenje papira. Za rekuperaciju je moguće iskoristiti 921 kW otpadne toplote, na osnovu čega se dolazi do ukupne rekuperirane toplotne energije:

$$Q_{rek} = P * \tau = 921 \text{ kW} * 24 \frac{h}{d} * 330 \frac{d}{god} = 7.294 \frac{MWh}{god} \quad [4]$$

Upotrebom izlaznog zraka visoke temperature sa turboblowera ostvarili smo ukupnu rekuperiranu toplotnu energiju u sušnom dijelu papir mašine u iznosu od 7.294 MWh/god.

2.4 Okolinski benefiti ugradnje turboblowera

Okolinski benefiti zamjene vakuum pumpi turboblowerom podrazumijevaju smanjenje emisija stakleničkih gasova, u prvom redu ugljen dioksida (CO₂) koje se postiže smanjenjem potrošnje energije, kako je to opisano u energijskim benefitima projekta.

Tabela 3: Okolinski benefiti zamjene vakuum pumpi turbo blowerom

Table 3: Environmental Benefits of Replacing Vacuum Pumps with a Turbo Blower

Parametar	Iznos
Uštede u potrošnji električne energije	12.078.000 kWh /god
Faktor emisije CO ₂ električne energije	0,7446 kg/kWh
Uštede usljed moguće rekuperacije otpadne toplote sa turbo blowera	7.294.320 kWh/god
Faktor emisije CO ₂ uglja (za proizvodnju pare)	0,338923 kg/kWh
Stepen efikasnosti sistema generisanja pare	67%
Smanjenje emisije CO ₂ zbog smanjenja potrošnje električne energije	8893 t/god
Smanjenje emisije CO ₂ zbog smanjenja potrošnje pare	3.690 t/god
Ukupno smanjenje emisije CO₂	12.683 t/god

Iz prethodne tabele je vidljivo da se zamjenom vakuum pumpi turboblowerom ostvaruje smanjenje emisije CO₂ u iznosu od 12.683 t/god.

Osim energetske, okolinske i finansijske benefita koji su ostvareni implemetnacijom ovog projekta važno je nabrojati i niz dodatnih benefita kao što su:

- Povećana pouzdanost i smanjenje rizika od kvarova,
- Smanjenje buke,
- Povećanje fleksibilnosti u radu, lakša kontrola procesa,
- Brže vrijeme reakcije.

3. ZAKLJUČAK

Kompanija „Natron – Hayat d.o.o. Maglaj“ je društveno i okolinski odgovorna kompanija, koja je prepoznala značaj investiranja u mjere poboljšanja energetske efikasnosti u industrijskim procesima. U tom kontekstu, kompanija ulaže značajna sredstva u realizaciju mjera sprečavanja i smanjenja emisija u zrak, vodene tokove, upravljanje otpadom, te širenje svijesti kod zaposlenika o uticaju industrijskog sektora na okoliš i potrošnju energije. Sa ciljem poboljšanja energetske efikasnosti proizvodnih procesa, smanjenja troškova za energente i smanjenja emisija u zrak, kompanija je investirala u zamjenu vakuum pumpi novim turboblowerom u 2024 godini.

Provedene analize su pokazale da se zamjenom vakuum pumpi turboblowerom postigle uštede u potrošnji električne energije u iznosu od 12.078 MWh, te uštede usljed rekuperacije otpadne toplote sa turboblowera u iznosu od cca 7.294 MWh uz smanjenje emisije CO₂ u iznosu od 12.683 t/god.

Uzimajući u obzir ukupnu investiciju nabavke i ugradnje turboblowera i postignute uštede, zaključuje se da je period povrata investicije kraći od 2 godine, odnosno 1,58 godina, što daje izuzetnu ekonomsku opravdanost ovom projektu.

3. CONCLUSION

The company “Natron – Hayat d.o.o. Maglaj” is a socially and environmentally responsible company that has recognized the importance of investing in measures to improve energy efficiency in industrial processes. In this context, the company invests significant resources in implementing measures to prevent and reduce emissions into the air, protect watercourses, manage waste, and raise employee awareness about the impact of the industrial sector on the environment and energy consumption.

With the goal of improving the energy efficiency of production processes, reducing energy costs, and lowering air emissions, the company invested in replacing vacuum pumps with a new turboblower in 2024.

The conducted analyses showed that by replacing vacuum pumps with a turboblower, electricity consumption savings of 12,078 MWh were achieved, as well as savings from waste heat recovery from the turboblower of approximately 7,294 MWh, along with a reduction in CO₂ emissions amounting to 12,683 tons per year.

Considering the total investment for the procurement and installation of the turboblower and the achieved savings, it is concluded that the payback period is less than 2 years, specifically 1.58 years, which provides excellent economic justification for this project.

References

- [1] Botonjić Š., „Proizvodnja celuloze i papira-teorija i praksa“, Fojnica, 2017.
- [2] Studija izvodljivosti sa tehnoeкономskom analizom isplativosti zamjene postojećih vakuum pumpi sa novim turbo blowerom na papir mašini 4 kompanije “Natron – Hayat d.o.o. Maglaj” , 2024.
- [3] Pöyry, Energy and Water Audit at the Natron-Hayat Maglaj Pulp and Paper Mill, 2011.

Corresponding author:

magistar Edina Husić, dipl. inženjer

Natron-Hayat d.o.o. Maglaj Bosna i Hercegovina

edina.husic@natron-hayat.ba

DEVELOPMENTS, TRENDS AND PROSPECTS IN THE IMPLEMENTATION OF CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY PRACTICES IN THE GREEK GRAPHIC ARTS AND PRINTING INDUSTRY

RAZVOJ, TRENDovi I PERSPEKTIVE U PRIMENI PRAKSI KORPORATIVNE DRUŠTVENE ODGOVORNOSTI U GRAFIČKOJ INDUSTRIJI GRČKE

Thomais Salogianni^{1,2,3} Anastasios Politis^{1,2,3}

¹ University of West Attica, Greece; ² GRAPHMEDLAB - The Hellenic Graphic-Media Research Lab, University of West Attica; ³ HELGRAMED - The Hellenic Union of Graphic Arts & Media Technology Engineers, Athens, Greece

Abstract

This paper builds upon a previous study that presented the initial findings regarding the implementation of Corporate Social Responsibility (CSR) practices in the Greek graphic arts and printing industry (Korra, Giotopoulos, & Tsakanikas, 2018). In the context of an evolving global emphasis on sustainable development and responsible entrepreneurship, the current research expands the analysis to examine recent developments and emerging trends shaping CSR engagement within the sector. Particular attention is given to the new strategies being adopted, the shifting expectations of stakeholders, and the multifaceted challenges companies encounter while pursuing sustainability goals (MDPI, 2025).

The analysis is based primarily on secondary data derived from publicly available CSR and sustainability reports. These reports provide a robust foundation for understanding how Greek companies in the sector integrate CSR into their operational models (CSR Hellas, 2025). Key driving forces behind the adoption of CSR practices include stakeholder pressure (e.g., customers, suppliers, regulatory bodies), the strategic aim of enhancing corporate reputation, and the long-term recognition of environmental and economic benefits. At the same time, the study identifies persistent barriers, such as high initial investment costs, limited access to specialized knowledge, and the disconnect between theoretical frameworks and the practical implementation of CSR evaluation tools (Ecopier Solutions, 2023).

The research highlights the most prevalent CSR practices implemented in the industry: use of environmentally friendly materials, waste reduction initiatives, energy efficiency programs, support for local communities, and promotion of fair labor conditions. Moreover, emerging practices in smaller enterprises are examined, where innovative actions such as staff training, social contribution initiatives, and the alignment of CSR with business models are becoming more common (Δημοσθένους, 2018). These practices are shown to significantly contribute to the sustainability and competitiveness of businesses, particularly when supported by strategic planning and effective performance monitoring.

The paper also considers the influence of institutional developments at the European level, such as Directive 2014/95/EU and the more recent Directive 2022/2464/EU on ESG disclosures (MDPI, 2025). These regulations enhance the need for compliance while offering opportunities for strategic differentiation. In addition, the integration of digital monitoring tools for CSR performance enables improved transparency and impact assessment—factors that are increasingly critical for maintaining stakeholder trust and securing long-term value creation.

In conclusion, this contribution to the 26th International symposium in the field of pulp, paper, packaging and graphics aims to present not only the latest empirical insights into CSR implementation in the Greek graphic arts and printing sector but also to propose actionable policy and managerial recommendations. The paper outlines strategic directions for the integration of CSR into corporate identity and governance structures. By embedding CSR within core business strategy and fostering ongoing dialogue with stakeholders, the industry can achieve sustainable growth and strengthen its international positioning.

Keywords: Corporate Social Responsibility, Graphic Arts, Printing Industry, Sustainability, ESG (Environmental, Social, Governance)

Izvod

Ovaj rad se nadovezuje na prethodnu studiju koja je predstavila početna otkrića u vezi sa primenom praksi korporativne društvene odgovornosti (CSR) u grčkoj industriji grafičkih umetnosti i štampe (Korra, Giotopoulos i

Tsakanikas, 2018). U kontekstu sve većeg globalnog fokusa na održivi razvoj i odgovorno preduzetništvo, aktuelno istraživanje proširuje analizu kako bi se ispitali najnoviji razvojni tokovi i novi trendovi koji oblikuju angažovanje u CSR-u u ovom sektoru. Posebna pažnja posvećena je novim strategijama koje se usvajaju, promenjenim očekivanjima zainteresovanih strana i složenim izazovima sa kojima se kompanije suočavaju u nastojanju da postignu ciljeve održivosti (MDPI, 2025).

Analiza se prvenstveno zasniva na sekundarnim podacima iz javno dostupnih CSR i izveštaja o održivosti. Ovi izveštaji predstavljaju čvrstu osnovu za razumevanje načina na koji grčke kompanije u ovom sektoru integrišu CSR u svoje operativne modele (CSR Hellas, 2025). Ključni pokretači usvajanja CSR praksi uključuju pritisak zainteresovanih strana (npr. kupaca, dobavljača, regulatornih tela), strateški cilj unapređenja korporativne reputacije i dugoročno prepoznavanje ekoloških i ekonomskih koristi. Istovremeno, studija identifikuje i postojeće prepreke, poput visokih početnih troškova investicija, ograničenog pristupa specijalizovanom znanju i jaza između teorijskih okvira i praktične primene alata za evaluaciju CSR-a (Ecopier Solutions, 2023).

Istraživanje ističe najčešće prisutne CSR prakse koje se sprovode u industriji: korišćenje ekološki prihvatljivih materijala, inicijative za smanjenje otpada, programi energetske efikasnosti, podrška lokalnim zajednicama i promocija fer radnih uslova. Takođe se analiziraju i prakse koje se pojavljuju u manjim preduzećima, gde postaju sve češće inovativne aktivnosti poput obuka zaposlenih, inicijativa za društveni doprinos i usklađivanja CSR-a sa poslovnim modelima (Dimosfenos, 2018). Pokazano je da ove prakse značajno doprinose održivosti i konkurentnosti preduzeća, naročito kada su podržane strateškim planiranjem i efikasnim praćenjem učinka.

Rad takođe razmatra uticaj institucionalnih promena na nivou EU, kao što su Direktiva 2014/95/EU i novija Direktiva 2022/2464/EU o ESG izveštavanju (MDPI, 2025). Ovi propisi pojačavaju potrebu za usklađenošću, ali i nude mogućnosti za strateško diferenciranje. Pored toga, integracija digitalnih alata za praćenje CSR učinka omogućava unapređenu transparentnost i procenu uticaja — faktore koji postaju sve važniji za očuvanje poverenja zainteresovanih strana i obezbeđenje dugoročne vrednosti.

Zaključno, ovaj doprinos 26. Međunarodnom simpozijumu iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike ima za cilj da predstavi ne samo najnovije empirijske uvide u primenu CSR praksi u grčkoj industriji grafičkih umetnosti i štampe, već i da predloži konkretne preporuke za politike i menadžment. Rad ukazuje na strateške pravce za integraciju CSR-a u korporativni identitet i strukture upravljanja. Uključivanjem CSR-a u osnovnu poslovnu strategiju i podsticanjem kontinuiranog dijaloga sa zainteresovanim stranama, industrija može da postigne održiv rast i ojača svoju poziciju na međunarodnom tržištu.

Ključne reči: korporativna društvena odgovornost, grafičke umetnosti, štamparska industrija, održivost, ESG (ekološki, društveni i upravljački aspekti)

1. INTRODUCTION

Corporate Social Responsibility (CSR) has emerged as a critical pillar in the pursuit of sustainable development and the enhancement of long-term business competitiveness. As global environmental challenges, social inequalities, and demands for corporate transparency intensify, CSR serves as a strategic framework through which companies are expected to align their operations with ethical, environmental, and societal imperatives (Carroll & Shabana, 2010). Across Europe, CSR has become institutionalized through regulatory frameworks and directives, with particular emphasis on transparency, responsible governance, and sustainability-oriented reporting.

In the Greek context, the Graphic Arts and Packaging sector—traditionally focused on productivity, design innovation, and price competition—has increasingly come under pressure to integrate CSR practices into its core strategies. This pressure is driven by two main forces: first, the regulatory obligations imposed by European legislation, notably Directive 2014/95/EU on non-financial reporting and the more recent Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD, Directive 2022/2464/EU), which extend the scope and depth of sustainability disclosures (European Commission, 2022); and second, the evolving expectations of a wide array of stakeholders, including consumers, investors, employees, and civil society, who now value organizations for their social and environmental impact in addition to financial performance (Spence, 2007).

As sustainability concerns such as climate change, resource depletion, and social inclusion become central to public discourse, companies in the printing and packaging industry are expected to address their environmental footprint, adopt circular economy principles, and engage in meaningful social responsibility initiatives (Jamali & Karam, 2018). The sector is particularly affected by the need to reduce material waste, invest in eco-friendly production processes, and demonstrate compliance with international ESG (Environmental, Social, and Governance) standards.

Building upon prior literature and field-based insights, this study explores how CSR is being implemented among Greek companies within the Graphic Arts and Packaging sector. Specifically, it investigates recent trends, best practices, and the key challenges these companies face in operationalizing CSR. The analysis is based on secondary data from 21 companies, including sustainability reports, CSR statements, and publicly available documentation on corporate websites. Emphasis is placed on environmental initiatives, social responsibility programs, transparency efforts, and regulatory compliance.

The findings of this study contribute to a broader understanding of the CSR landscape in a niche but economically significant industrial sector. By identifying areas of progress and gaps in CSR implementation, the research provides useful insights for business leaders, policymakers, and scholars, and sets the stage for the subsequent discussion of methodology, key findings, and strategic recommendations for advancing sustainability in the sector.

2. METHODOLOGY

The research is based on a qualitative analysis of secondary data, including published sustainability and CSR reports, as well as information from official websites of sector-related companies. Specifically, CSR practices of 21 Graphic Arts and Packaging companies in Greece were examined, as presented on their respective corporate websites. The analysis focused on CSR strategies, sustainability initiatives, social responsibility actions, and compliance with regulatory requirements.

3. FINDINGS

3.1 Environmental Practices

Most companies emphasize environmental practices such as:

- **Use of eco-friendly materials and sustainable sourcing:**
Pressious Arvanitidis publishes environmental and CSR reports, promoting transparency and accountability. Lyhnia, Matsoukis Graphic Arts company and Pressious Arvanitidis adopt eco-friendly materials and certified raw materials.
- **Development of sustainable products and production processes:**
Elpack Group is committed to building a better society and a cleaner environment through its CSR policy.
- **Recycling and waste reduction initiatives:**
Chromopack, Lyhnia and IBS implement recycling and waste management programs, contributing to environmental sustainability.
- **Energy efficiency programs:**
Tsimis S.A. publishes CSR reports that include actions focused on energy efficiency. Tsimis, Lyhnia and Symetal invest in technologies that reduce energy consumption and carbon footprint.
- **Quality and environmental management certifications:**
Paperpack holds ISO certifications and applies sustainable development strategies.

3.2 Social Responsibility

Companies promote social responsibility through:

- **Support for local communities and promotion of equal opportunities:**
Kotronis Packaging supports local community structures and advances social responsibility. Karydis Labels and The Printing House engage in local initiatives and philanthropic actions.
- **Employee education and skill development:**
Elpack and Paperpack invest in employee training and skill-building programs.
- **Promotion of workplace equality:**
Darabros, Lyhnia and Georgiadis Print implement diversity and inclusion policies within their organizational structures.

- **Support for vulnerable social groups:**

Hellagro S.A. supports the work of Humanity Greece, reinforcing its commitment to local community development.

3.3 Compliance with Regulatory Frameworks

Companies respond to European CSR-related directives such as:

- **Directive 2014/95/EU and Directive 2022/2464/EU (CSRD):**

Compliance with these directives enhances corporate transparency and credibility (MDPI, 2025).

- **Use of ESG monitoring tools:**

Hellagro and Kotronis Packaging utilize digital tools to monitor and assess their CSR performance.

3.4 Overview of CSR Practices in the Greek Graphic Arts and Packaging Sector

This section presents a categorized overview of CSR initiatives implemented by selected Greek companies in the sector. Drawing on publicly available sources such as company websites and sustainability reports, the table below highlights specific CSR practices organized into thematic categories, including environmental sustainability, social responsibility, regulatory compliance, and sustainable packaging strategies. This categorization aims to provide a clearer understanding of how different organizations approach CSR, as well as to identify common trends and notable differences within the industry.

Category	Company	CSR Practices
Environmental Practices	Matsoukis Graphic Arts company	Use of eco-friendly materials and sustainable sourcing.
	Pressious Arvanitidis	Use of eco-friendly materials and sustainable sourcing.
	Lyhnia	Use of eco-friendly materials and sustainable sourcing.
	Elpack Group	Development of sustainable products and production processes.
	Chromopack	Recycling and waste management initiatives.
	IBS	Recycling and waste management initiatives.
	Tsimis A.E.	Energy efficiency programs and reduction of energy consumption.
	Symetal	Energy efficiency programs and reduction of energy consumption.
	Paperpack	Quality and environmental management certifications (ISO).
Social Practices	Kotronis Packaging	Strengthening local communities and promoting equal opportunities.
	Karydis Labels	Strengthening local communities and promoting equal opportunities.
	The Printing House	Strengthening local communities and promoting equal opportunities.
	Elpack	Employee training and development programs.
	Paperpack	Employee training and development programs.
	Darabros	Promoting policies of equality and diversity.
	Georgiadis Print	Promoting policies of equality and diversity.
	Lyhnia	Promoting policies of equality and diversity.
	Hellagro S.A.	Supporting vulnerable groups and social actions

Category	Company	CSR Practices
		(e.g. Humanity Greece).
Compliance with Regulatory Frameworks and Transparency	Hellagro S.A.	Compliance with Directive 2014/95/EU, implementation of ESG monitoring tools.
	Kotronis Packaging	Compliance with Directive 2014/95/EU, implementation of ESG monitoring tools.
	Pressious Arvanitidis	Publication of CSR and sustainability reports.
	Tsimis A.E.	Publication of CSR and environmental management reports.
Distinctions and Awards	Archisearch	Distinctions for CSR at the Packaging Awards 2023.
Adoption of Sustainable Packaging Strategies	Koskinidis	Sustainable packaging practices, support for environmental management.
	Cartontec	Sustainable packaging practices, support for environmental management.
Performance Evaluation and Monitoring	Hellagro S.A.	Use of tools for monitoring and evaluating CSR performance (ESG).
	Kotronis Packaging	Use of tools for monitoring and evaluating CSR performance (ESG).

4. DISCUSSION

The analysis reveals that Greek companies in the Graphic Arts and Packaging sector increasingly recognize the importance of CSR and are incorporating relevant practices into their business strategies. Key drivers of CSR adoption include stakeholder pressure, enhanced corporate image, and awareness of long-term benefits. However, companies also face challenges such as high implementation costs, lack of expertise, and a gap between theory and the practical application of CSR evaluation tools.

The findings of this study highlight a growing awareness and engagement with Corporate Social Responsibility (CSR) among Greek companies operating in the Graphic Arts and Packaging sector. Firms are increasingly integrating CSR principles into their core strategies, moving beyond sporadic social contributions towards more structured and strategic sustainability efforts. This shift reflects a broader transformation within the sector, aligning with global and European Union trends that prioritize responsible business conduct and long-term environmental and social accountability (European Commission, 2021).

One of the primary drivers for the adoption of CSR practices is the pressure exerted by key stakeholders, including clients, investors, employees, and regulatory bodies. Companies recognize that aligning with stakeholder expectations not only helps build trust and transparency but also strengthens their market position and competitiveness. Particularly for export-oriented firms, CSR compliance serves as a prerequisite for accessing international markets and fulfilling supply chain sustainability requirements (Porter & Kramer, 2006). In parallel, many companies see CSR as a vehicle for improving corporate image and brand reputation, especially in a competitive industry where product differentiation is often limited.

Another critical motivator is the growing recognition of the long-term value that CSR can generate. Firms understand that sustainable resource management, employee development, and social engagement are not merely philanthropic gestures, but investments that enhance resilience, operational efficiency, and risk mitigation (Spence, 2007). This perspective is especially relevant in light of evolving regulatory frameworks such as the EU's Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), which mandates increased transparency and accountability in non-financial disclosures.

Despite this momentum, several barriers persist. A major challenge identified is the high cost of implementing CSR programs, particularly for small and medium-sized enterprises (SMEs), which dominate the sector. The financial burden associated with certifications, environmental technologies, and compliance systems can be prohibitive, limiting the scope and depth of CSR activities. Moreover, a lack of specialized knowledge and

expertise often hampers the ability of firms to design and execute effective CSR strategies. This gap is evident in cases where CSR is treated as a marketing function rather than an integrated part of business governance.

Another issue lies in the discrepancy between theoretical CSR frameworks and their practical application. Many companies struggle with the operationalization of sustainability metrics, the use of environmental, social, and governance (ESG) performance indicators, and the integration of CSR into existing management systems. In some cases, CSR reports are superficial, lacking measurable objectives, robust data, or third-party verification, which reduces their credibility and strategic value (Kolk, 2004).

These findings suggest a dual reality: on one hand, a positive trajectory towards embedding CSR into the operational DNA of the sector, and on the other, structural and institutional barriers that must be addressed to unlock the full potential of sustainable business transformation.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The integration of Corporate Social Responsibility (CSR) into the core strategies of companies in the Greek Graphic Arts and Packaging sector is increasingly recognized as a crucial lever for achieving long-term sustainability and enhanced competitiveness. This shift reflects broader global and European trends, where CSR is no longer perceived as an optional activity, but rather as an integral part of responsible business conduct (Carroll & Shabana, 2010; Porter & Kramer, 2006). In the Greek context, the growing regulatory framework, such as the EU Corporate Sustainability Reporting Directive (Directive 2022/2464/EU), exerts additional pressure on companies to align their practices with standardized ESG (Environmental, Social, Governance) reporting requirements (European Commission, 2021).

Despite these advances, many small and medium-sized enterprises (SMEs) in the sector still face barriers in implementing CSR, including financial limitations, lack of technical knowledge, and difficulties in measuring social and environmental impact (Revell et al., 2010; Jenkins, 2006). To overcome these challenges, targeted policy incentives are necessary, especially for SMEs, to support the transition towards sustainability and responsible entrepreneurship (Spence, 2007). At the same time, strengthening partnerships with institutional bodies can help firms better interpret and implement regulatory obligations, improving both compliance and performance transparency (Pedersen, 2009).

Fostering a culture of CSR within organizations requires internal educational initiatives aimed at raising awareness, cultivating responsible leadership, and building employee capacity (Elkington, 1999; Eccles et al., 2014). Furthermore, establishing an ongoing and meaningful dialogue with stakeholders—customers, employees, suppliers, and local communities—ensures that business practices remain aligned with evolving social and environmental expectations (Freeman, 1984).

Ultimately, embedding CSR within strategic planning and operational models, combined with systematic measurement of impacts through ESG tools, positions companies for long-term value creation, improved reputation, and access to international markets. This strategic integration not only reinforces the sector's competitiveness but also supports its contribution to the broader goals of sustainable development (Carroll & Shabana, 2010; Porter & Kramer, 2006).

5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Integracija društvene odgovornosti preduzeća (CSR) u osnovne strategije kompanija u grčkom sektoru grafičke industrije i ambalaže sve više se prepoznaje kao ključni faktor za postizanje dugoročne održivosti i unapređene konkurentnosti. Ova promena odražava šire globalne i evropske trendove, gde CSR više nije posmatran kao opcioni dodatak, već kao sastavni deo odgovornog poslovanja (Carroll & Shabana, 2010; Porter & Kramer, 2006). U grčkom kontekstu, rastući regulatorni okvir, kao što je EU Direktiva o izveštavanju o održivosti preduzeća (Direktiva 2022/2464/EU), dodatno vrši pritisak na kompanije da usklade svoje prakse sa standardizovanim zahtevima za ESG (Environmental, Social, Governance) izveštavanje (Evropska komisija, 2021).

Uprkos ovim pomacima, mnoge male i srednje firme (MSP) u sektoru i dalje se suočavaju sa preprekama u implementaciji CSR-a, uključujući finansijska ograničenja, nedostatak tehničkog znanja i poteškoće u

meranju društvenog i ekološkog uticaja (Revell et al., 2010; Jenkins, 2006). Da bi se ove prepreke prevazišle, potrebni su ciljane mere podrške i podsticaji, posebno za MSP, kako bi se olakšao prelaz ka održivosti i odgovornom preduzetništvu (Spence, 2007). Istovremeno, jačanje partnerstava sa institucijama može pomoći firmama da bolje razumeju i sprovedu regulatorne zahteve, čime se poboljšavaju usklađenost i transparentnost poslovanja (Pedersen, 2009).

Podsticanje kulture CSR-a unutar organizacija zahteva interne edukativne inicijative usmerene na podizanje svesti, razvoj odgovornog liderstva i jačanje kapaciteta zaposlenih (Elkington, 1999; Eccles et al., 2014). Pored toga, uspostavljanje kontinuiranog i značajnog dijaloga sa zainteresovanim stranama — kupcima, zaposlenima, dobavljačima i lokalnim zajednicama — osigurava da poslovne prakse ostanu usklađene sa promenljivim društvenim i ekološkim očekivanjima (Freeman, 1984).

Na kraju, integracija CSR-a u strateško planiranje i operativne modele, uz sistematsko merenje uticaja pomoću ESG alata, pozicionira kompanije za dugoročno stvaranje vrednosti, unapređenu reputaciju i pristup međunarodnim tržištima. Ova strateška integracija ne samo da jača konkurentnost sektora, već i podržava njegov doprinos širim ciljevima održivog razvoja (Carroll & Shabana, 2010; Porter & Kramer, 2006).

References:

- [1] Carroll, A. B., & Shabana, K. M. (2010). The business case for corporate social responsibility: A review of concepts, research and practice. *International Journal of Management Reviews*, 12 (1), 85–105. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2009.00275.x>
- [2] CSR Hellas. (2025). *Greek Network for Corporate Social Responsibility*. <https://csrhellas.org/en/>
- [3] Dimosthenous, E. (2018). *The Evolution in Graphic Arts: From Typography and Gutenberg to Augmented Reality and Industrial Printing*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/331822058_H_exelixe_stis_Graphikes_Technes_apo_ten_Typographia_kai_ton_Goutembergion_sten_epauxemene_pragmatikoteta_sto_entypo_kai_te_biomechanike_ektypose
- [4] Directive 2022/2464/EU of the European Parliament and of the Council. (2022). *Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu>
- [5] Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. *Management Science*, 60(11), 2835–2857. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1984>
- [6] Ecopier Solutions. (2023). *The role of sustainable printing practices in corporate social responsibility*. <https://www.ecopiersolutions.com/blog/the-role-of-sustainable-printing-practices-in-corporate-social-responsibility>
- [7] Elkington, J. (1999). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.
- [8] European Commission. (2021). *Corporate sustainability reporting*. https://ec.europa.eu/info/publications/210421-sustainable-finance-communication_en
- [9] European Commission. (2022). *Corporate sustainability reporting directive (CSRD)*. Retrieved from https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en
- [10] Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Pitman.
- [11] Jamali, D., & Karam, C. (2018). Corporate social responsibility in developing countries as an emerging field of study. *International Journal of Management Reviews*, 20(1), 32–61. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12112>
- [12] Jenkins, H. (2006). Small business champions for corporate social responsibility. *Journal of Business Ethics*, 67(3), 241–256. <https://doi.org/10.1007/s10551-006-9182-6>
- [13] Korra, E., Giotopoulos, I., & Tsakanikas, A. (2018). CSR Practices and SME Innovativeness in Greece. *Entrepreneurship and the Sustainable Development Goals*, 8, 119–132. <https://doi.org/10.1108/S2040-724620180000008012>
- [14] MDPI. (2025). Compliance with the Requirements of the Greek Legislation for Reporting on ESG Issues: The Case of the Paper Processing Sector. *Journal of Risk and Financial Management*, 17(1), 14 <https://www.mdpi.com/1911-8074/17/1/14>
- [15] Pedersen, E. R. (2009). Modelling CSR: How managers understand the responsibilities of business towards society. *Journal of Business Ethics*, 91(2), 155–166. <https://doi.org/10.1007/s10551-009-0078-0>
- [16] Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2006). Strategy and society: The link between competitive advantage and corporate social responsibility. *Harvard Business Review*, 84(12), 78–92. <https://hbr.org/2006/12/strategy-and-society-the-link-between-competitive-advantage-and-corporate-social-responsibility>

- [17] Revell, A., Stokes, D., & Chen, H. (2010). Small businesses and the environment: Turning over a new leaf? *Business Strategy and the Environment*, 19(5), 273–288. <https://doi.org/10.1002/bse.628>
- [18] Spence, L. J. (2007). CSR and small business in a European policy context: The five “C”s of CSR and small business research agenda 2007. *Business and Society Review*, 112(4), 533–552. https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagd%3A7%3A26807831/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aagd%3A27550592&crl=c&link_origin=scholar.google.com

Graphic Arts Companies that Adopt and Publicize CSR Practices

Graphic Arts

1. https://www.matgraph.gr/?page_id=873
2. <https://pressious.com/about-us/eke/>
3. https://www.mytilinaios.com/portfolio_page/our-news/
4. <https://www.karydislabels.gr/politiki-etairiki-koinonikis-eythynis/>
5. <https://theprintinghouse.gr/η-εταιρία-μας/εταιρική-κοινωνική-ευθύνη/>
6. <https://www.tsimis.gr/sites/default/files/2024-12/ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ%20ΕΚΕ%202023.pdf>
7. <https://lyhnia.com/environment-safety/>
8. <https://chromopack.gr/perivallontiki-politiki-etairiki-ypefthynotita/>
9. <https://ibs.com.gr/el/κοινωνία/>
<https://ibs.com.gr/el/περιβάλλον/>
<https://ibs.com.gr/el/εταιρική-διακυβέρνηση/>

Packaging and Carton Manufacturing

10. <https://www.tahipack.gr/etairiki-koinoniki-eythyni/>
11. <https://www.elpack.gr/el/etairiki-koinoniki-efthyni>
12. <https://www.paperpack.gr/about-us/etairiki-koinoniki-efthyni.html>
13. <https://www.archisearch.gr/press/silver-diakrisi-stin-kategoria-eke-gia-ton-omilo-druckfarben-hellas-sta-packaging-awards-2023/>
14. <https://www.koskinidis.gr/giati-koskinidis/csr/>
15. <https://www.hellagro.gr/csr/>
16. <https://www.kotronis.gr/corporate-social-responsibility/>
17. <https://www.darabros.gr/portal/el/i-etairia-mas/politiki-etairiki-koinonikis-efthynis>
18. <https://www.cartontec.gr/h-etairia/etairikh-koinwnikh-euthinh/>
19. <https://symetal.gr/arxeia/files/Sustainability-Report-2021-GR.pdf>
20. <https://www.extrapack.gr/αρχική/εταιρική-κοινωνική-ευθύνη.html>
21. <https://georgiadisprint.com/csr/>

Corresponding authors:

Thomais Salogianni
s_thomais@yahoo.gr

Anastasios Politis1
politismedia@gmail.com

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF BACTERIAL NANOCELLULOSE/POLYVINYLIDENE FLUORIDE DOUBLE-LAYER FILMS

ISPITIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA DVOSLOJNOG FILMA BAKTERIJSKA NANOCELULOZA/POLIVINILIDEN FLUORID

Aleksandra Krstić¹, Aleksandra Sknepnek^{2,a}, Danijela Kovačević³, Miloš Petrović^{4,b}, Ivan Petronijević^{5,c}, Aleksandra Jančićević³, Radmila Jančić-Heinemann^{1,d}, Vesna Radojević^{1,e}

¹ Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia; ² Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; ³ Academy of Applied Studies Polytechnic, Belgrade, Serbia; ⁴ Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia; ⁵ Faculty of Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

^a (<https://orcid.org/0000-0001-7730-3120>), ^b (<https://orcid.org/0000-0002-2460-7793>);

^c (<https://orcid.org/0000-0003-1719-5468>); ^d (<https://orcid.org/0000-0001-9229-3741>);

^e (<https://orcid.org/0000-0001-9301-3983>)

Abstract

Considering that biodegradable materials are still failing to meet a wide range of functional requirements previously fulfilled by synthetic polymers, one of the ways to overcome that problem is increased share of biodegradable layers in the multilayer packaging materials. Double-layer films, containing biodegradable bacterial nanocellulose (BNC) layer and polyvinylidene fluoride (PVDF) layer have been prepared as a step towards a reduced share of traditional packaging plastics. Mechanical properties of double-layer films depending on the thickness of the PVDF layer have been investigated and presented in this study.

Keywords: mechanical properties, polyvinylidene fluoride, bacterial nanocellulose, packaging material

Izvod

Savremeni biorazgradivi materijali još uvek po svojim karakteristikama i svojstvima ne mogu zameniti tradicionalne sintetičke polimerne materijale koji se koriste u ambalažnoj industriji. Jedan od načina da se smanji udeo plastične ambalaže i poveća udeo biodegradabilne jeste primena višeslojnih polimernih materijala sa što veći udelom biorazgradivih slojeva u sastavu finalnog materijala. Dvoslojni filmovi sa slojem bakterijske nanoceluloze (BNC) i poliviniliden fluorida (PVDF) su napravljeni kao potencijalna alternativa sintetičkoj polimernoj ambalaži. U ovom radu su ispitana mehanička svojstva dvoslojnih filmova u zavisnosti od debljine PVDF sloja.

Ključne reči: mehanička svojstva, poliviniliden fluorid, bakterijska nanoceluloza, ambalažni materijali

1. INTRODUCTION

The growing interest for application of smart multifunctional sustainable materials in all aspects of life, implies transition towards more environmentally-safe materials and reduction in use of petroleum-based polymers. Nevertheless, the main disadvantages and limitations of widespread application of bio-based materials are their impaired functional properties (in terms of poor mechanical characteristics, lack of chemical resistance, often with exhibit poor thermal and optical feature, etc). Although, there are currently no suitable biodegradable, eco-friendly, sustainable substitutes which will fully correspond to increasing demands regarding functionalities and material properties, the first step is certainly reducing the use of synthetic organic polymers and increasing share of bio-based biodegradable materials [1]. Multilayer materials containing both, biodegradable layers and synthetic polymer layers provide an opportunity to design material with expanded fraction of bio-based polymers, while synthetic polymer layers contribute to preserving the functional properties of the material.

Cellulose is the most abundant biopolymer on earth, bio-based and renewable material extensively used in the production of paper, textiles, pharmaceuticals, and more recently, in the development of advanced materials for biomedical, food, and packaging applications [1]. The growing demand for sustainable and eco-friendly materials has further stimulated interest in cellulose-based products, particularly in the form of nanocellulose (cellulosic nanofibrils – CNF, cellulose nanocrystals – CNC and bacterial nanocellulose - BNC) [2].

Bacterial nanocellulose (BNC) is a biopolymer synthesized by certain strains of acetic acid bacteria, and unlike plant-derived cellulose, BNC is characterized by its high purity, nanoscale fiber network, excellent mechanical properties, and remarkable water retention capacity. These attributes, coupled with its biodegradability and non-toxicity, make BNC an attractive candidate for various sustainable material applications. In recent years, there has been growing interest in the utilization of BNC within the packaging industry, particularly as an alternative to petroleum-based plastics. It's potential for use as a biodegradable film, coating material, or structural component in active and intelligent packaging systems positions BNC as a key material in the development of eco-friendly packaging solutions. Furthermore, modifications of BNC with antimicrobial agents, antioxidants, and other functional additives can enhance its performance, broadening its applicability in food packaging where safety, shelf-life extension, and environmental impact are critical considerations [3-6].

Polyvinylidene fluoride (PVDF) is a high-performance thermoplastic fluoropolymer known for its excellent chemical resistance, high thermal stability and its piezoelectric response. Its mechanical properties, such as tensile strength and Young's modulus, can be enhanced by incorporating fillers like cellulose nanofibers. Due to these characteristics, PVDF is widely used in industries such as electronics, automotive. Furthermore, PVDF biocompatibility and durability make it suitable for active and intelligent packaging applications, where it can be incorporated with various functional additives such as antimicrobial agents, sensors, and indicators.

Mechanical properties play a pivotal role in determining the performance and applicability of engineering materials. Characteristics such as tensile strength, hardness, ductility, toughness, and fatigue resistance critically influence a materials ability to withstand operational stresses and environmental conditions [7]. A thorough understanding of mechanical behavior allows for the prediction of material response under different loading conditions, which is vital for ensuring safety, durability, and cost-effectiveness in engineering applications [8]. The complementary profiles of PVDF and BNC suggest potential in composite systems, where the flexibility and piezoelectricity of PVDF could be synergistically combined with the strength and biocompatibility of BNC. Understanding the individual mechanical characteristics of these materials is essential for tailoring hybrid structures for advanced multifunctional applications.

While more complex, composite hybrid materials with PVDF and BNC layers, both containing fillers, have been synthesized and investigated by our research group [9, 10], to date, no data has been reported on a simpler bilayer material without the presence of the fillers. The available literature mainly describes PVDF membranes modified/functionalized/coated with cellulose in order to improve properties important in the field of purification of wastewater. The inherent hydrophobic PVDF membranes have been impregnated with cellulose to obtain superhydrophilic surface and improve anti-fouling performances. Cellulose hydrogel was used for modification of PVDF membrane for oil/water emulsion separation [11], while in another study, high hydrophilicity and anti-fouling were achieved by inducing surface roughness with cellulose molecular coating on PVDF membrane [12].

In the presented study, double-layer BNC/PVDF films have been produced by hot pressing PVDF powder on the top of the BNC film. The mechanical properties of the obtained double-layer BNC/PVDF films, depending on the thickness of the PVDF layer, have been investigated as a preliminary step in examining a material with packaging applications.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials

Bacterial nanocellulose (BNC) was synthesized using *Komagataeibacter rhaeticus*, an acetic acid bacteria that was isolated from kombucha culture [13]. The inoculum was prepared on an YPM medium (yeast extract-peptone-mannitol), according to a previously established procedure [14] and 5 ml was added to 50 volumes of sterile YPM broth. The production of BNC hydrogels took 8 days at 25°C in static conditions. The obtained hydrogels films were whitish-yellow, due to the remains of bacteria and the medium. Purification was carried out by treatment in 0.1 M NaOH (2h at 90°C), and subsequently the films were thoroughly washed with distilled water until a neutral pH value was reached.

The PVDF powder with an average molecular weight of $M_w \sim 534,000$ (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) was used for fabrication of PVDF layer in double-layer films.

The formation of a bacterial nanocellulose/polyvinylidene fluoride double-layer films was accomplished using hot pressing (Servitec Polystat Press 200T) in predefined temperature/time and pressure/time regime. In particular, 1.00 g and 3.00 g of PVDF, respectively, were evenly distributed across the BNC film, preheated at 180°C (5.00 and 4.00 minutes, respectively) and hot pressed under a two-stage pressure/time regime presented in a Table 1. The first stage pressure/time mode was 20 bar for 1 min, while the second stage followed by an increase in both pressure and time (100 bar during 2 minute).

Table 1: Two-stage pressure/time regime

Tabela 1: Dvostepeni režim pritisak/vreme

Sample	First stage pressure/time regime	Second stage pressure/time regime
BNC_1gPVDF	20 bar / 1 min	100 bar / 2 min
BNC_3gPVDF	20 bar / 1 min	100 bar / 2 min

A comprehensive illustration of the film synthesis process is provided in the Figure 1.

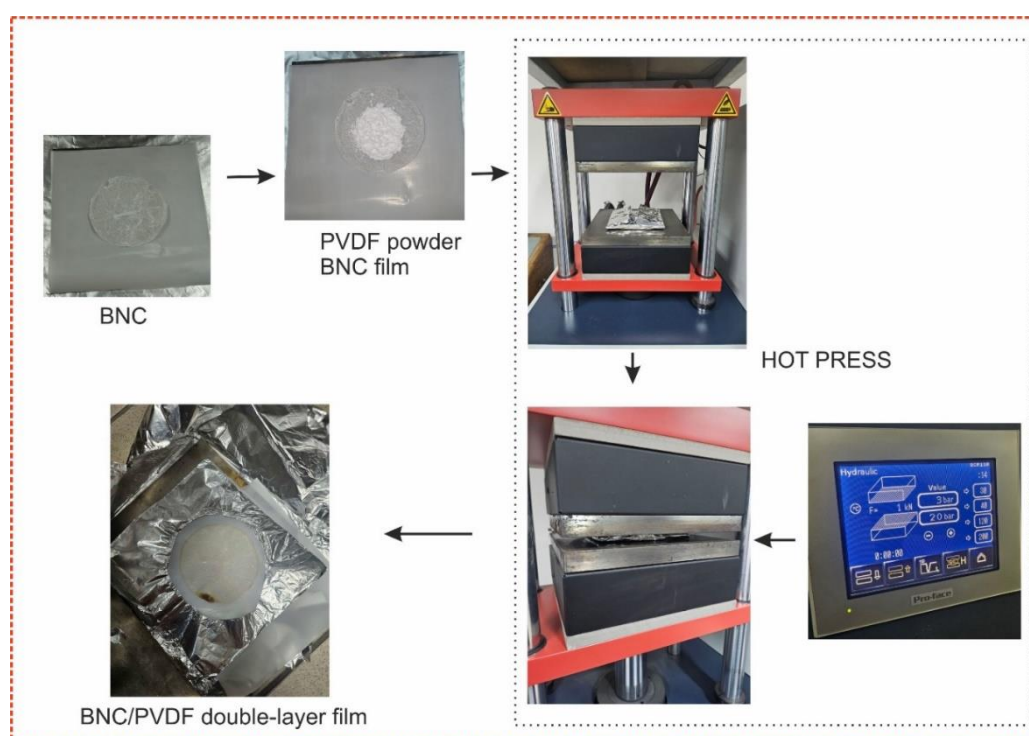


Figure 1: The formation of a BNC/PVDF double-layer films

Slika 1: Formiranje dvoslojnih BNC/PVDF filmova

2.2. Methods

The mechanical characterization was carried out on an EZ Test Table-Top device (Shimadzu, Japan; max 500 N), at room temperature and deformation rate of 2 mm/min. The samples were cut in size 15 mm x 50 mm and tested in accordance with the ISO 527-3:2018 standard [15]. The results were obtained based on three measurements, and ANOVA (Analysis of Variance) One-Way was used for statistical analysis of obtained results.

3. RESULTS AND DISCUSSION

An essential test in determining the suitability of materials use in packaging is tensile strength measurements. The test is performed by applying a uniaxial load, which determines the tensile strength and Young's modulus of elasticity. Figure 2 shows the apparatus used for the measurements, along with the samples prepared in the form of strips.



Figure 2: A sample, strip of double-layer BNC/PVDF film was placed in the jaws of the tensile testing machine
Slika 2: Uzorak, traka dvoslojnog BNC/PVDF filma, postavljena je u čeljusti kidačice

Figure 3 shows stress-strain curves of both samples. The elastic modulus (EY) was determined as the slope of the linear region of the corresponding graph. Each test was repeated three times. The stress-strain curve of pure bacterial nanocellulose (BNC) typically exhibits a linear elastic region followed by a relatively brittle fracture indicating limited elongation before failure. PVDF layer in a double-layer BNC/PVDF film contributes to significant plastic deformation region before fracture. Although the samples with a thicker PVDF layer exhibited inferior mechanical properties, it demonstrated a more ductile behavior, characterized by greater elongation prior to failure. The variations in the stress-strain responses of nominally identical samples highlight the necessity of optimizing the fabrication parameters to ensure a uniform PVDF coating on the BNC layer, particularly by enhancing the control over film thickness, polymer chain orientation and crystallization behavior.

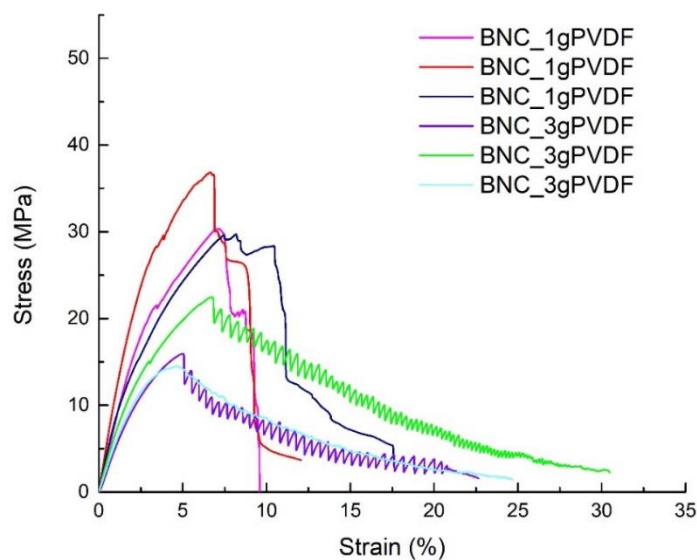


Figure 3. The stress-strain plots of the films BNC_1gPVDF and BNC_3gPVDF
Slika 3. Dijagrami napona i deformacije filmova BNC_1gPVDF i BNC_3gPVDF

The resulting of mechanical properties are shown in Table 2., whereas the exact dimensions of the samples are detailed in Table 3. with standard deviation (SD). The main goal of this research is to preliminarily compare two different film thicknesses on the surface of a BNC film and their impact on the mechanical properties of the final bilayer material. As demonstrated by the results presented in Table 2, the samples with a thinner PVDF layer exhibited better mechanical properties reflected in both higher tensile strength and increased values of Young's modulus. This trend underscores the necessity of employing the thinnest possible layer (or a minimal share) of organic polymer (PVDF) in the fabrication of the two-layer material, considering that the second layer (BNC) is

biodegradable. The observed variations in mechanical properties, particularly in Young's modulus, are attributed to differences in sample thickness and the structural arrangement of polymer chains during the crystallization process.

Upon comparing the mechanical characterization values, particularly TS, with those of commercially available PVDF films, it is apparent that satisfactory results are achieved in this study with a thinner PVDF layer. The tensile strength (TS) of PVDF films from commercial manufacturers [16, 17] ranges between 25 and 60 MPa, demonstrating that the TS of the BNC_1gPVDF sample lies within this range. The results also indicate that a higher share of BNC contributes to better mechanical properties of the resulting bilayer film.

Table 2: Tensile strength (TS) and Young's module (EY) strain 0.1%-1%

Tabela 2: Zatezna čvrstoća (TS) i Jungov modul (EY) pri deformaciji od 0,1% do 1%

Sample	TS (MPa)	EY (MPa) strain 0.1%-1%
BNC_1gPVDF	32.32 ± 3.96	954.72 ± 158.32
BNC_3gPVDF	17.64 ± 4.23	593.57 ± 64.16

Table 3: The mean values of thickness, width and gauge length

Tabela 3: Srednje vrednosti debljine, širine i merne dužine

Sample	Thickness (mm) ± SD	Width (mm) ± SD	Gauge Length (mm) ± SD
BNC_1gPVDF	0.18 ± 0.02	14.56 ± 0.26	20.0140 ± 0.0127
BNC_3gPVDF	0.40 ± 0.04	15.16 ± 0.45	20.0075 ± 0.0114

Nevertheless, although the films with a thinner PVDF layer demonstrated superior mechanical properties, it was observed during production that the bilayer structure was not fully compact in certain areas of these samples (Figure 4). This observation suggests slightly reduced adhesive properties at the BNC/PVDF interface, when a thinner layer of PVDF is applied. Samples featuring a thicker PVDF layer generate a dense, compact, homogeneous film on the surface of bacterial nanocellulose, exhibiting no evidence of layer separation. The subsequent phase in the characterization of these samples involves conducting SEM analysis to elucidate the cross-sectional morphology of the films in both samples, followed by structural characterization (FTIR and XRD) to gain insight into the crystalline structure of PVDF.

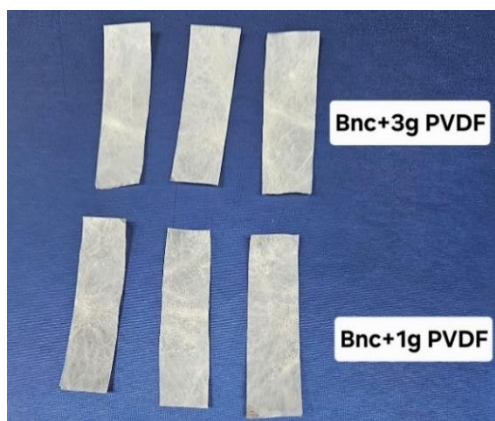


Figure 4: Strips of double-layer BNC/PVDF film prepared for the tensile testing machine

Slika 4: Trake dvoslojnog BNC/PVDF filma pripremljene za mašinu za ispitivanje zatezanja

By modifying the process parameters of the film production, it may be feasible to attain enhanced mechanical properties with improved adhesion at the BNC/PVDF interface. An alternative approach could involve modifying/functionalizing the BNC surface [16] in order to enhance adhesive properties while maintaining a thin PVDF layer. Further characterization, beyond the comprehensive testing of mechanical properties of films obtained via the optimized process, will also include the assessment of their piezoelectric and barrier properties.

4. CONCLUSIONS

Double-layer films, containing biodegradable bacterial nanocellulose (BNC) layer and polyvinylidene fluoride (PVDF) layer have been prepared with the aim of optimizing the film production process based on an assessment of mechanical properties. The mechanical properties of packaging materials are crucial, as they play an essential role in maintaining the integrity of the packaged product. The tensile strength and Young's modulus of BNC/PVDF films samples with two distinct thicknesses of PVDF layer have been evaluated. The film thickness of all samples was also measured. The results indicate that a thinner PVDF layer contributes to enhanced mechanical properties of the resulting double-layer material. Subsequent research will concentrate on enhancing the adhesive properties between the BNC/PVDF layers to achieve a material with the thinnest possible PVDF layer. The optimization of the film fabrication process will also be conducted. This study demonstrated that a thin polymer film layer applied to a biodegradable bacterial nanocellulose film yields superior mechanical properties compared to a thicker PVDF layer. The reduction in the quantity of synthetic polymers within multilayer packaging represents a significant step toward minimizing the utilization of synthetic organic polymers for packaging purposes.

4. ZAKLJUČCI

Pripremljeni su dvoslojni filmovi koji sadrže sloj biorazgradive bakterijske nanoceluloze (BNC) i sloj poliviniliden-fluorida (PVDF), sa ciljem optimizacije procesa izrade filmova na osnovu procene mehaničkih osobina. Mehaničke osobine ambalažnih materijala su od suštinskog značaja, jer igraju ključnu ulogu u očuvanju integriteta upakovanog proizvoda. Ispitivana je zatezna čvrstoća i Jungov modul uzoraka BNC/PVDF filmova sa dve različite debljine PVDF sloja. Takođe je izmerena debljina svih uzoraka filmova. Rezultati ukazuju na to da tanji PVDF sloj doprinosi poboljšanim mehaničkim osobinama dvoslojnog materijala. Dalja istraživanja biće usmerena na poboljšanje adhezivnih svojstava između slojeva BNC i PVDF, kako bi se postigao materijal sa što tanjim PVDF slojem. Takođe će se sprovesti optimizacija procesa izrade filmova. Ovo istraživanje je pokazalo da tanak sloj polimernog filma nanet na biorazgradivi film bakterijske nanoceluloze daje bolje mehaničke osobine u poređenju sa debljim PVDF slojem. Smanjenje količine sintetičkih polimera u višeslojnoj ambalaži predstavlja značajan korak ka smanjenju upotrebe sintetičkih organskih polimera u ambalažne svrhe.

Acknowledgements:

This research was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (contract no. 451-03-65/2025-03/200116)

References

- [1] Cerovic, D.D., Petronijevic, I.M., Marinkovic, F.S., Maletic, S.B., Popovic, D.M. (2025) Dielectric Properties of Isotactic Polypropylene with Lignocellulose-Based Biomass Filler. *Materials* 18, 1657.
- [2] Tuukkanen S, Rajala S. Nanocellulose as a Piezoelectric Material. *Piezoelectricity - Organic and Inorganic Materials and Applications*. InTech; 2018.
- [3] Klemm, D., Schumann, D., Udhardt, U., & Marsch, S. (2001). Bacterial synthesized cellulose — artificial blood vessels for microsurgery. *Progress in Polymer Science*, 26(9), 1561.
- [4] Shah, N., Ul-Islam, M., Khattak, W. A., & Park, J. K. (2013). Overview of bacterial cellulose composites: A multipurpose advanced material. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1585.
- [5] Torres, F. G., Commeaux, S., & Troncoso, O. P. (2012). Bacterial cellulose nanocomposites: An all-nano type of material. *Materials Science and Engineering: C*, 32(7), 1491.
- [6] Azeredo Henriette M. C. , Barud Hernane , Farinas Cristiane S. , Vasconcellos Vanessa M. , Claro Amanda M.. (2019). Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3.
- [7] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.— A fundamental textbook that explains mechanical properties and their role in engineering materials.
- [8] Courtney, T. H. (2000). *Mechanical Behavior of Materials* (2nd ed.). Waveland Press. — In-depth coverage of deformation, fracture, fatigue, and creep in materials.
- [9] Janićijević A, Filipović S, Sknepnek A, Vlahović B, Đorđević N, Kovacević D, Mirković M, Petronijević I, Zivković P, Rogan J, Pavlović V B (2023). Dielectric and Structural Properties of the Hybrid Material Polyvinylidene Fluoride-Bacterial Nanocellulose-Based Composite. *Polymers*. 15(20),4080.

- [10] Jančićević A, Filipović S, Sknepnek A, Salević-Jelić A, Jančić-Heinemann R, Petrović M, Petronijević I, Stamenović M, Živković P, Potkonjak N, Pavlović V B, (2024). Structural, Mechanical, and Barrier Properties of the Polyvinylidene Fluoride-Bacterial Nanocellulose-Based Hybrid Composite. *Polymers*. 16(8), 1033
- [11] Yu X, Ji J, Wu Q.-Y, Gu L (2024) Direct-coating of cellulose hydrogel on PVDF membranes with superhydrophilic and antifouling properties for high-efficiency oil/water emulsion separation. *International Journal of Biological Macromolecules*. 256, 128579.
- [12] Sknepnek, A., Filipović, S., Pavlović, V. B., Mirković, N., Miletić, D., Gržetić, J., & Mirković, M. (2024). Effects of synthesis parameters on structure and antimicrobial properties of bacterial cellulose/hydroxyapatite/TiO₂ polymer–ceramic composite material. *Polymers*, 16(4), 470.
- [13] Yong Wang Y, L. Qiangzi, Miao W., Peng Lu, Chun You, Zongbao Wang (2021). Hydrophilic PVDF membrane with versatile surface functions fabricated via cellulose molecular coating, *Journal of Membrane Science*. 640, 119817.
- [14] Jančićević A, Filipović S, Pavlović V B, Sknepnek A, Kovačević D, Đorđević N, Mirković M, Živković P (2021) Sintaza i struktura bakterijskeceluloze primenom bakterija sirćetnog vrenja. Savetovanje o biotehnologiji sa međunarodnim učešćem. 281-289, Čačak
- [15] ISO 527-3:2018; Plastics—Determination of Tensile Properties—Part 3: Test Conditions for Films and Sheets. ISO: Geneva
- [16] Mehran Ghasemlou, Fugen Daver, Elena P. Ivanova, Youssef Habibi, Benu Adhikari (2021) Surface modifications of nanocellulose: From synthesis to high-performance nanocomposites. *Progress in Polymer Science*. 119, 101418,

Corresponding author:

Aleksandra Krstić

Kanalska 14, 11271 Belgrade

Serbia

aleksandra.krstic1980@gmail.com

USKLAĐIVANJE TEHNOLOGIJE I MENTALITETA U PORODIČNIM FIRMAMA PRED GLOBALNIM IZAZOVOM: KOMPARATIVNA ANALIZA GRAFIČKE I PAPIRNE INDUSTRIJE U BOSNI I HERCEGOVINI I ITALIJI

HARMONIZING TECHNOLOGY AND MENTALITY IN FAMILY COMPANIES IN THE FACING OF GLOBAL CHALLENGES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GRAPHIC AND PAPER INDUSTRY IN BOSNIA AND HERZEGOVINA AND ITALY

Jovan Janković

„Grafotex“ d.o.o. Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Izvod

Ovaj rad analizira procese usklađivanja tehnologije i mentaliteta u porodičnim firmama koje posluju u grafičkoj i papirnoj industriji, sa posebnim fokusom na komparativnu analizu Bosne i Hercegovine i Italije. Kroz modelovane primjere firmi iz Banje Luke i Bolonje, prikazuju se različiti pristupi digitalnoj transformaciji, u zavisnosti od institucionalne podrške, društvenog okruženja i međugeneracijskih dinamika.

Rad ima za cilj da osvijetli mogućnosti širenja poslovanja na globalno tržište, kroz identifikaciju ključnih prednosti i prepreka koje utiču na internacionalizaciju porodičnih firmi. Uključene su i teme kao što su istorijski kontinuitet, regionalne paralele, institucionalna podrška, predrasude prema privatnom sektoru i uvidi sa međunarodnih industrijskih konferencija.

Rezultati pokazuju da italijanski model obezbjeđuje stabilno okruženje za usklađivanje i širenje poslovanja, dok u BiH dominira fragmentacija, institucionalna tišina i kulturni otpor. Zaključuje se da je za uspješnu digitalnu i tržišnu tranziciju potrebna ne samo tehnička i finansijska podrška, već i društvena validacija privatnog biznisa kao legitimnog i vrijednog aktera razvoja.

Rad se oslanja na dostupne izvore, teorijske modele, ilustrativne primjere i iskustva sa učesća na Intergraf konferenciji „Print Matters for the Future“ 2018, Milano, Italija i konferenciji „Print4All“ 2023, Stresa, Italija. koje pružaju savremeni uvid u transformaciju štamparske industrije i ulogu porodičnih firmi u digitalizaciji i globalizaciji. Slučajevi firmi iz Banje Luke i Bolonje predstavljaju analitičke konstrukte.

Ključne riječi: grafička industrija, razlike, porodične firme

Abstract

This paper explores the process of aligning technology and mentality in family-owned companies operating within the printing and paper industry, with a particular focus on a comparative analysis of Bosnia and Herzegovina and Italy. Using modeled examples of companies from Banja Luka and Bologna, the study highlights divergent approaches to digital transformation and their capacity for global business expansion, shaped by institutional support, cultural context, and intergenerational dynamics.

Grounded in the diffusion of innovation theory and supported by statistical data, conference insights and contextual analysis, the paper addresses broader themes such as historical continuity, regional similarities, institutional frameworks, and public perceptions of private enterprise.

Findings indicate that the Italian model offers a stable environment for both digital alignment and internationalization, while the situation in Bosnia and Herzegovina is marked by fragmentation, weak institutional support, and cultural resistance. The paper concludes that successful global positioning requires not only technical and financial resources, but also social recognition of private business as a legitimate and valuable driver of development.

The paper draws on available sources, theoretical models, illustrative examples and experiences from participation in the Intergraf conference "Print Matters for the Future" 2018, Milan, Italy and the conference "Print4All" 2023, Stresa, Italy. which provide contemporary insight into the transformation of the printing industry and the role of family businesses in digitalization and globalization. The cases of companies from Banja Luka and Bologna represent analytical constructs.

Keywords: graphic industry, differences, family businesses

UVOD

Porodične firme čine temelj grafičke i papirne industrije. Njihov razvoj u digitalno doba ne zavisi samo od opreme, već i od spremnosti na promjenu, podrške zajednice i društvenog priznanja.

Rad se oslanja na dostupne izvore, teorijske modele, ilustrativne primjere i iskustva sa učesća na Intergraf konferenciji „Print Matters for the Future“ 2018, Milano, Italija i konferenciji „Print4All“ 2023, Stresa, Italija., koje pružaju savremeni uvid u transformaciju štamparske industrije i ulogu porodičnih firmi. Rad istražuje kako se tehnologija i mentalitet međusobno usklađuju, kako u Bosni i Hercegovini, tako i u Italiji.

Cilj je analizirati u kojoj mjeri su inovacije integrisane u svakodnevno poslovanje, koje barijere usporavaju digitalnu transformaciju i kako se različiti istorijski i institucionalni faktori reflektuju u praksi.

Dva realistična opisa fiktivnih porodičnih firmi sa po 5 zaposlenih, koje posluju u Banjoj Luci i Bolonji od 1978. do danas. Navedeni primjeri firmi u Bolonji i Banjoj Luci predstavljaju ilustrativne slučajeve koji reflektuju tipične obrasce ponašanja, a ne konkretna pravna lica.

1. METODOLOGIJA

1.1 Komparativni pristup

Komparativna analiza se oslanja na dostupne izvore, teorijske modele, ilustrativne primere i iskustva sa stručnih konferencija Print Matters for Future - 2018 (Milano) i Print4All 2023 (Stresa), koje pružaju savremeni uvid u transformaciju štamparske industrije i ulogu porodičnih firmi.

1.2 Studije slučaja

1. Firma iz Bosne i Hercegovine: „Štamparija“ – Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Godina osnivanja: 1978.

Broj zaposlenih: 5 (porodica + 2 radnika)

Profil: štampa promotivnih materijala, nalepnica

2. Firma iz Italije: “Stampa” – Bolonja, Italija

Godina osnivanja: 1978.

Broj zaposlenih: 5 (porodica: majka, otac, sin, snaha+ 1 radnica)

Profil: etikete za vina, ambalaža za zanatske proizvode

Prikupljanje podataka je izvršeno na konferencijskim prezentacije, uz upotrebu sekundarnih izvora podataka.

2. ISTORIJSKA REFLEKSIJA (1978–2025)

U periodu 1978. do 1990. godine:

Ako se osvrnemo 50 godina unazad – u vrijeme 1980-ih – porodične grafičke firme u Italiji i tadašnjoj Jugoslaviji (pa tako i u BiH) dijelile su iznenađujuće slične karakteristike:

U Bosni i Hercegovini, grafička industrija se razvijala kroz socijalistički model. Italijanske firme, nasuprot tome, zadržale su kontinuitet kroz porodične modele poslovanja

Jugoslavija (BiH)

Tehnološki nivo Pretežno visoka, sito štampa, ofset štampa

Obrazovni sistem Tehničke škole, solidno obrazovanje u zanatima, Viša grafička škola Zagreb

Uloga porodice U okviru državnih firmi ili zanatska radnja

Pristup tržištu Lokalno i država bivše Jugoslavije

Italija

Tehnološki nivo Pretežno visoka, sito štampa, ofset štampa

Obrazovni sistem Stručne škole, majstorske radionice, Grafički fakulteti

Uloga porodice Porodične firme, nasledna struktura,

Pristup tržištu Lokalno i nacionalno

Rezultat:

U tom periodu, razlika između prosečne štamparije u Banjaluci i Bolonji nije bila dramatična.

Obje firme su imale svoje puteve razvoja, ali se u zanatskim i porodičnim okvirima održavala relativna ravnoteža.

U periodu 1991. do 2010. godine - treća industrijska revolucija:

Firma iz Bosna i Hercegovina je imala plan za nabavku kompjuterizovane linije za izradu repro filmova, ali je 1992. bila pogođena ratom, što je rezultiralo značajnim smanjenjem obima poslovanja.

Firmi iz Italije je ulaskom u Evropsku uniju olakšano poslovanje na evropskom i svjetskom tržištu.

BiH

Tehnološki nivo Pretežno ofset štampa, početak digitalizacije

Obrazovni sistem Tehničke škole bez jasnog cilja zbog tehnološke promjene.

Uloga porodice Porodični rad

Pristup tržištu Lokalno, znatno manji prostor Republika Srpska, Srbija, Crna Gora

Italija

Tehnološki nivo Pretežno ofset štampa, uvođenje digitalnih mašina.

Obrazovni sistem Stručne škole, majstorske radionice, dualno obrazovanje, grafički fakulteti

Uloga porodice Porodične firme, nasledna struktura, podrška države

Pristup tržištu Evropsko i svjetsko tržište

Rezultat:

U periodu 1991 – 2010 razlika između prosečne štamparije u Banjaluci i Bolonji je postala značajna.

U periodu 2011. do 2025. godine - četvrta industrijska revolucija:

Promjenama koje su donijele tehnologije Industrije 4.0 omogućile su priliku za smanjenje razlika u poslovanju između BiH i Italije

BiH

Tehnološki nivo Ofset štampa, digitalne mašine pretežno, web stranica, društvene mreže, digitalni marketing

Obrazovni sistem Pojavljuju se Grafički fakulteti, usmjereni ka grafičkom dizajnu ili inženjerstvu.

Tehničke škole bez organizovane saradnje sa privredom.

Uloga porodice Porodični rad

Pristup tržištu Lokalno, Bosna i Hercegovina, Cefta

Italija

Tehnološki nivo Uvođenje digitalnih mašina, hibridnih mašina (kombinacija analognih/digitalnih). Web stranica, društvene mreže, digitalni marketing, Web trgovina

Obrazovni sistem Stručne škole, majstorske radionice, dualno obrazovanje, Grafički fakulteti

Uloga porodice Porodične firme, nasljedna struktura, podrška države, podrška kroz udruženja

Pristup tržištu: Evropsko i svjetsko tržište

Rezultat:

Firma iz Bosne i Hercegovine pokušava da se posluje prateći nove tokove da se predstavi globalno. Jedina je mogućnost samoinicijativno.

Firma iz Italije može da koristi najnovije tehnologije i opremu. Dobija pravovremenu podršku i informacije od strane obrazovnog sistema. Globalno tržište joj je dostupno sa punim poštovanjem.

3. PORODIČNE FIRME KAO KIČMA PRIVREDE

U Italiji porodične firme čine kičmu privrede. Preko 85 posto svih preduzeća su porodične firme.¹

Porodična firma nije poseban pravni oblik firme, nego poseban režim saradnje unutar postojećih oblika firme.

Oblici organizovanja firme su slični kao u Bosni i Hercegovini: Preduzetnik / impreca individuale ili snc, Društvo sa ograničenom odgovornošću d.o.o. / S.r.l., pojednostavljeno d.o.o. S.r.l.o, Akcionarsko društvo AD /S.p.A., Ortačko društvo S.n.c., Komanditno društvo S.a.s. Kooperacije zadruge / Cooperativa.

Pravni okvir

Status porodične firme (Impresa familiare) može se steći pod određenim uslovima koji su definisani u Građanskom zakonu (Codice Civile) iz 1975. godine i 2016. godine konkretno u članovima 230 i drugim.²

Ovim statusom se stiče pravo na poreske, pravne i društvene olakšice kod nasljeđivanja, prava na doprinose, raspodjelu dobiti. Dodatne poreske pogodnosti su moguće kada se ulaže u investicije koje se odnose na modernizaciju, Industriju 4.0. istraživanje, razvoj, zapošljavanje.

U Bosni i Hercegovini, prema istraživanju Centra za razvoj porodičnih firmi oko 71% su osnovali trenutni vlasnici, dok je 16.1% naslijeđeno. Najveći broj firmi 46.2% posluje između 20 do 49 godina, dok 29% posluje između 10 do 19 godina.³

Pravni okvir

Zakon o privrednim društvima u Bosni i Hercegovini je sličan sa zakonima kojima se regulišu oblici organizovanja u Italiji. ali status porodične firme kao takav ne postoji u zakonodavstvu.

Rezultat:

Firma iz Bosne i Hercegovine: Ne postoji status porodične firme.

Firma iz Italije: Može da koristi pravo na poreske, pravne i društvene olakšice kod nasljeđivanja, prava na doprinose, raspodjelu dobiti. Dodatne poreske pogodnosti su moguće kada se ulaže u investicije koje se odnose na modernizaciju, Industriju 4.0. istraživanje, razvoj, zapošljavanje.

4. ULOGA INSTITUCIONALNE PODRŠKE

Jedan od ključnih razloga zbog kojih su porodične firme u Italiji uspešno ušle u digitalnu tranziciju jeste snažna i dugoročna institucionalna podrška, prvenstveno kroz delovanje Ministarstva ekonomije i finansija Republike Italije (MEF). Italija je još od 2000-ih prepoznala stratešku važnost porodičnih firmi u razvoju ekonomije i zato razvila specijalizovane programe podrške za ovaj sektor.⁴

Italijanski model podrške:

¹ <https://www.aidaf.it/>

² <https://www.codice-civile-online.it/codice-civile/articolo-230-bis-del-codice-civile> - Italijanski građanski zakonik

³ <https://porodicnefirme.com/istrazivanje-status-porodicnih-firmi-u-republici-srpskoj-2023-godina/> 3

⁴ <https://www.mef.gov.it/en/index.html>

Ministarstvo finansija u saradnji sa lokalnim i regionalnim strukturama nudi:

Poreske olakšice za reinvestiranje dobiti u inovacije;

“Transizione 4.0” program ⁵ – državne subvencije za digitalizaciju malih i srednjih preduzeća (uključujući porodične firme);

Podsticaje za zapošljavanje mladih naslednika u firmi;

Fondove za održivu i cirkularnu proizvodnju – posebno za štamparije koje uvode ekološke standarde;

Direktan dijalog sa privrednim udruženjima porodičnih firmi (npr. AIDAF ⁶ – Associazione Italiana delle Aziende Familiari).

“Print 4.0” poseban dio nacionalne strategije za grafičku i papirnu industriju.

ITA - Italijanska trgovinska agencija, koja pomaže u povezivanju i vidljivosti italijanskih firmi u svijetu. ⁷

Rezultat:

Firma iz Bosne i Hercegovine

Iako tehnički sposobna i fleksibilna bez strateške i institucionalne podrške teško može da nastupi na globalnom tržištu, za razliku od italijanskih porodičnih firmi koje imaju stabilne platforme za internacionalizaciju. U BiH firme su izolovane u svom naporu da se modernizuju.

Podrška često kasni, komplikovani fondovi, institucionalna tišina.

Firma iz Italije

Italijanske firme rastu zahvaljujući mreži podrške. Ovi mehanizmi omogućavaju firmama da aktivno planiraju inovacije, uz uverenje da ih država neće ostaviti same na tom putu.

5. FISKALNA OPTEREĆENJA I POSLOVNI AMBIJENT

5.1 Porezi i doprinosi - Komparacija osnovnih poreskih i drugih obaveza

U Bosni i Hercegovini (RS) – opterećenja za društvo sa ograničenom odgovornošću

Porez na dodatnu vrijednost PDV 17% mjesečno

Nakon prelaska praga 50.000 Eura (100.000 KM) firma ulazi u sistem PDV-a.

Porez na dobit - 10% godišnje

Porez na dividendu - 0%

Doprinosi na plate - oko 41%

U Italiji za društvo sa ograničenom odgovornošću S.r.l

Porez na dodatnu vrijednost PDV-IVA 22% mjesečno

Snižena stopa 10%, (za određene proizvode) - 5%, 4% (za osnovne proizvode)

Firma S.r.l. ulazi u sistem PDVa odmah bez odgađanja.

Porez na dobit IRES 24% godišnje

Regionalni porez u zavisnosti od regiona IRAP 3.9% (prosječna stopa)

Dodatni opštinski porezi 1-3%

Doprinosi za firmu INPS 24-28% (mogu biti smanjeni 50%)

Doprinosi za zaposlene INPS 30-33%

IRPEF porez na lični dohodak 23% (progresivan 35%,43%)

Porez na dividendu 26% (na primljene dividende)

⁵ <https://www.mimit.gov.it/index.php/it/transizione40>

⁶ <https://www.aidaf.it/>

⁷ <https://www.ice.it/en/>

5.2 Analiza troškova sa zajedničkim uslovima za firmu d.o.o. sa 5 zaposlenih radnika

Godišnji promet 200.000 e / Dobit 15 % (30.000e) / Prosječna bruto plata po radniku 1000 eura. Ukupno za plate 60.000 eura godišnje.

	Firma iz Banjaluke, BiH-RS	Firma iz Italije
Porez na dobit	3.000 e	8.700 e Ires+Irap
Doprinosi Firma+ radnici	20.300 e	24.000 e
Porez na plate IRPEF	4.500 e	9.000 e
Porez na dividendu	0	5.200 e
 Ukupno	 27.800 e	 46.900 e
Sa reinvestiranjem dobiti	24.000 e	oko 34.500 e

Rezultat:

Firma iz Bosne i Hercegovine

Ima znatno povoljnije opterećenje naročito zbog niže stope doprinosa, najniže stope poreza na dobit u Evropi.⁸

Firma iz Italije

Ima veće poresko opterećenje, sa reinvestiranjem može znatno smanjiti opterećenja, ali i mogućnost da ukupne troškove dodatno smanji kroz grantove ili podsticaje.⁹

6. PREDRASUDE O PRIVATNOM BIZNISU U JAVNOSTI – SKRIVENA BARIJERA RAZVOJA

Osim tehnoloških i institucionalnih faktora, porodične firme u Bosni i Hercegovini suočavaju se sa još jednom, često nevidljivom preprekom: društvenim predrasudama prema privatnom preduzetništvu, koje vuku korjene iz prošlosti, ali su i dalje prisutne.

Korjeni problema su istorijsko naslijeđe i tranzicioni šok.

U bivšoj Jugoslaviji, privatni sektor je postojao u ograničenom obliku, često vezan za zanatske radnje i manje obrte. Društveni status radnika u državnim preduzećima bio je viši, uz percepciju stabilnosti, sigurnosti i poštenog rada. Zaposlenje u državnim firmama smatrano je sigurnim, časnim i poželjnim.

Tokom tranzicije 1990-ih i 2000-ih, kada su se mnoge firme privatizovale, pojavile su se brojne negativnosti: o tajkunima, radnicima bez prava, neprijavljenim zaradama i nelegalnim poslovima.

Privatni sektor su počeli povezivati sa nepoverenjem, eksploatacijom, nelegalnim radom.

Danas, iako je privatni sektor dominantan po broju firmi, preostala je kulturološka distanca i nepoverenje. Iako se situacija menjala, ove kulturološke predrasude i danas žive, posebno u manjim sredinama, među starijim generacijama, u medijima i politici.

Efekti na porodične firme su:

Smanjen društveni status vlasnika malih firmi. Zaposleni radnici često ne doživljavaju privatnu firmu kao pravog poslodavaca, mnogi misle da nisu dovoljno ozbiljne ili da nisu zaposleni kako treba, često se koristi pogrdni opis – privatnik.¹⁰

Nedostatak institucionalnog poštovanja:

Firme rijetko učestvuju u kreiranju politika koje ih se direktno tiču. Pojedini preduzetnici odustaju od razvoja jer imaju otpor prema formalizaciji i profesionalizaciji, jer im sistem ionako ne veruje. Teža je saradnja sa obrazovnim institucijama, škole i univerziteti često više sarađuju sa javnim firmama.

⁸ https://www.rars-msp.org/wp-content/uploads/2020/09/Poreski_sistem_latinica.pdf

⁹ <https://italianbusinesslawyers.com/hr/porezne-obveze-i-uskladenost-za-tvrtke-u-italiji/>

¹⁰ <https://porodicnefirme.com/>

U Italiji je situacija značajno drugačija. Porodične firme su izvor nacionalnog ponosa, često višegeneracijske. Italijanska javnost ne posmatra privatni sektor kao sumnjiv, već kao vitalan i društveno odgovoran – posebno ako firma ima lokalni karakter, zapošljava porodicu i ulaže u zajednicu.

Porodične firme su cijenjeni i priznati nosioci lokalnog razvoja, stubovi lokalne privrede, nositelji kvaliteta, zanatske preciznosti i odgovornosti. Motori zapošljavanja i inovacija. Ova reputacija ohrabruje mlade da ostanu u firmama, da ih naslede i razvijaju dalje.

Negativnosti su nepotizam, izazovi sa nasljedstvom i modernizacijom, zavisno od regije. Privatni biznisi koji nisu porodični se smatraju inovativnijim, ali i manje pouzdanim za dugoročnu saradnju sa lokalnom zajednicom, u zavisnosti od razvijenosti regije.¹¹

Rezultat:

Firma iz Bosne i Hercegovine pored svih rezultata i doprinosa društvu je neopravdano podcijenjena.

Firma iz Italije je više poštovana, u većini slučajeva izvor lokalnog ili nacionalnog ponosa.

7. MENTALITETNE RAZLIKE U PREDUZETNIŠTVU – TEORETSKI OKVIR

Prema teoriji Everetta M. Rogersa (1962), usvajanje inovacija u društvu deli se na pet glavnih kategorija korisnika:

- Inovatori (2.5%)
- Rani usvajači (13.5%)
- Rana većina (34%)
- Kasna većina (34%)
- Zaostali (16%)

Prema teoriji difuzije inovacija:

I u Italiji i u BiH posluju firme iz svih pet kategorija.

Rezultat:

Firme u BiH većinom spadaju u kasnu većinu ili zaostale.

Inovacije se često doživljavaju kao rizik; dominira defanzivna poslovna kultura.

Firma u Banjaluci ima hijerarhijski model.

Firme u Italiji češće pripadaju kategoriji ranih usvajača.

Inovacije doživljavaju kao nužnost i prirodni nastavak porodične misije.

Firma u Italiji primjenjuje upravljanje sa učešćem članova porodice.

8. REZULTATI

8.1 U periodu 1978.-1990.

Obije firme su imale svoje puteve razvoja, ali se u zanatskim i porodičnim okvirima održavala relativna ravnoteža.

8.2 U periodu 1991. do 2010. treća industrijska revolucija

Firma iz Bosne i Hercegovina je bila pogođena ratom i privatizacijom, što je rezultiralo fragmentacijom i tehnološkom neujednačenošću.

¹¹ Cultural Atlas – Italian Business culture

Firmi iz Italije je ulaskom u Evropsku uniju olakšano poslovanje na evropskom i svjetskom tržištu.

8.3 U periodu 2011 do 2025 četvrta industrijska revolucija.

Firma iz Bosne i Hercegovine pokušava da se posluje prateći nove tokove da se predstavi globalno. Jedina je mogućnost samoinicijativno.

Firma iz Italije može da koristi najnovije tehnologije i opremu. Dobija pravovremenu podršku i informacije od strane obrazovnog sistema. Globalno tržište joj je dostupno sa punim poštovanjem.

8.4 Regionalne paralele

Firma iz Bosne i Hercegovine dijeli razvojnu sudbinu s mnogim zemljama regiona – što otvara prostor za razmjenu znanja, iskustava i regionalnu saradnju.

Firma iz Italije je slična sa firmama iz Austrije, Francuske, Španije i drugim mediteranskim zemljama.

Ima stratešku spremnost za globalno tržište.

8.5 Porodične firme kao kičma privrede

Firma iz Bosne i Hercegovine: Nepostojeća strategija za porodične firme,

lako određeni broj firmi dobija pogodnosti, to nije ni približno italijanskim firmama.

Firma iz Italije: 85% firmi u Italiji može da stiče pravo na poreske, pravne i društvene olakšice kod nasljeđivanja, prava na doprinose, raspodjelu dobiti. Dodatne poreske pogodnosti su moguće kada se ulaže u investicije koje se odnose na modernizaciju, Industriju 4.0. istraživanje, razvoj, zapošljavanje.

8.6 Uloga institucionalne podrške

Firma iz Bosne i Hercegovine: Izolovana u svom naporu da se modernizuju. Komplikovani fondovi, institucionalna tišina

Firma iz Italije: Raste zahvaljujući mreži podrške, uz uvjerenje da ih država neće ostaviti same na tom putu.

8.7 Fiskalna opterećenja i poslovni ambijent

Firma iz Bosne i Hercegovine

Ima znatno povoljnije opterećenje naročito zbog niže stope doprinosa

Firma iz Italije

Ima veće poresko opterećenje, ali i mogućnost da ukupne troškove smanji kroz grantove, poreske podsticaje, investicione podsticaje.

8.8 Predrasude o privatnom biznisu u javnosti – skrivena barijera razvoja

Firma iz Bosne i Hercegovine pored svih rezultata i doprinosa društvu je neopravdano podcjenjena.

Firma iz Italije je više poštovana, u većini slučajeva izvor lokalnog ili nacionalnog ponosa.

8.9 Mentalitetne razlike u preduzetništvu

Prema teoriji difuzije inovacija:

Firme u Italiji češće pripadaju kategoriji ranih usvajača.

Inovacije doživljavaju kao nužnost i prirodni nastavak porodične misije.

Firme u BiH većinom spadaju u kasnu većinu ili zaostale.

Inovacije se često doživljavaju kao rizik; dominira defanzivna poslovna kultura.

Sveukupno:

Firma iz Bosne i Hercegovine

Tehnička sposobnost prisutna, ali nedovoljno povezana sa tržišnim kanalima

Ograničena međunarodna vidljivost

Nepostojanje podrške za sertifikaciju i izvoz

Slaba prisutnost u digitalnim kanalima van regiona

Komplikovani fondovi, institucionalna tišina

Firma iz Italije

Jasna strategija rasta ka međunarodnim klijentima uz pomoć države

EU certifikati kao pasoš za globalno tržište

Učešće na sajmovima i umreženost

Pristup ekspertima za e-trgovinu i brendiranje

9. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Usklađivanje tehnologije i mentaliteta zahtjeva:

Prepoznavanje porodičnih firmi kao razvojnog resursa

U privredi Italije porodične firme učestvuju sa 85% svih firmi (sličan procenat je i u drugim visoko razvijenim zemljama).

U Bosni i Hercegovini ne postoje porodične firme- jedan od vitalnih stubova razvoja ekonomije i privrede nedostaje.

Stratešku podršku države

Država može da primjeni gore navedene modele po uzoru na Italiju,

koja je kroz MEF, AIDAF, ITA, poreske olakšice, strategija za MSP podržala svoju privredu.

Potrebno je **porodične firme uvesti u zakon**, naprimjer Građanski zakon po uzoru na Italiju,

a na osnovu toga usvojiti nacionalnu strategiju za podršku države prema sličnim modelima.

Potrebno je mijenjati sliku o preduzetništvu u kolektivnoj svesti.

Digitalna transformacija ne zavisi samo od internog kapaciteta firme, već i od toga kako okolina vrednuje njen rad.

Transformacija nije samo tehnička i institucionalna – već i kulturološka i simbolička.

Potrebno je mijenjati i sliku o preduzetništvu u kolektivnoj svijesti.

Uključivanje mladih u donošenje odluka

Uključivanjem mladih članova porodice u vlasnički udio, automatski se uključuju u donošenje odluka.

Bez promjene u načinu na koji društvo shvata biznis, a biznis bi trebao da bude uvijek privatni – teško je očekivati da će mladi rado ostajati u porodičnim firmama, investirati u njih ili ih nasljeđivati.

9. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Aligning technology and mentality requires:

Recognition of family businesses as a development resource

In Italy's economy, family businesses account for 85% of all companies (a similar percentage is seen in other highly developed countries).

In Bosnia and Herzegovina, family businesses do not exist as a defined category – one of the vital pillars of economic and industrial development is missing.

Strategic support from the state

The state can implement the above-mentioned models following the example of Italy, which has supported its economy through MEF, AIDAF, ITA, tax incentives, and SME strategies. It is necessary to legally recognize family businesses, for example through the Civil Code modeled after Italy, and based on that, adopt a national strategy for state support following similar models. It is necessary to change the public perception of entrepreneurship in the collective mindset. Digital transformation does not depend solely on the internal capacity of a company but also on how its work is valued by the environment. Transformation is not only technical and institutional – it is also cultural and symbolic. There is a need to change the perception of entrepreneurship in the collective consciousness.

Inclusion of youth in decision-making

By including young family members in ownership shares, they are automatically involved in decision-making. Without a shift in how society perceives business – and business should always be understood as private – it is hard to expect that young people will willingly stay in family businesses, invest in them, or inherit them.

LITERATURA I SEKUNDARNI IZVORI

1. Rogers, E. M. (2003). Diffusion of Innovations. Free Press
2. Unioncamere & Symbola. (2022). Industria Creativa Italiana
3. Print Matters for Future. (2018). – Milano.
4. Print4All. (2023). Insights and Panels – Stresa
5. Ministarstvo finansija
6. <https://www.mef.gov.it/en/index.html>
7. “Transizione 4.0” program – državne subvencije za digitalizaciju malih i srednjih preduzeća (uključujući porodične firme)
8. <https://www.mimit.gov.it/index.php/it/transizione40>
9. “Print 4.0” poseban program za grafičku i papirnu industriju
10. Print4All. (2018). Conference Proceedings – Milano.
11. AIDAF – Associazione Italiana delle Aziende Familiari
12. <https://www.aidaf.it/>
13. Ita italijanska trgovinska agencija.
14. <https://www.ice.it/en/>
15. <https://porodicnefirme.com/>
16. Cultural Atlas – Italian Bussiness culture
17. <https://italianbusinesslawyers.com/hr/porezne-obveze-i-uskladenost-za-tvrtke-u-italiji/>
18. https://www.rars-msp.org/wp-content/uploads/2020/09/Poreski_sistem_latinica.pdf
19. <https://www.codice-civile-online.it/codice-civile/articolo-230-bis-del-codice-civile>
20. Italijanski građanski zakonik
21. <https://porodicnefirme.com/istrazivanje-status-porodicnih-firmi-u-republici-srpskoj-2023-godina/>
(Posjećeno 19. maja 2025. godine)

Corresponding author:

Jovan Janković

„Grafotex“ d.o.o. Banja Luka, Bosna i Hercegovina

grafotex1@teol.net

COMPOSITE DESIGN FOR THE CIRCULAR ECONOMY: EMBRACING SUSTAINABLE FILLER-CELLULOSE INTERACTIVE BIOPRODUCT REGENERATION

KOMPOZITNI DIZAJN ZA CIRKULARNU EKONOMIJU: PRIHVATANJE ODRŽIVE REGENERACIJE BIOPROIZVODA ZASNOVANIH NA INTERAKCIJI PUNILA I CELULOZE

Patrick Gane^{1,2}

¹ Department of Bioproducts and Biosystems, School of Chemical Engineering, Aalto University, Helsinki, Finland; ² Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia

(<https://orcid.org/0000-0002-2421-8528>)

Extended Abstract

Circular economy in the field of standard composites has proven to be difficult if not almost impossible to implement. One example is the case of fossil oil-based polymers with a one-time use in packaging, which present a challenge in respect both to collection and recycling, with barriers arising from the need to select separate polymer chemistries. The result has been, according to the OECD, that just 9 % of the world's plastic is recycled, with the remaining being incinerated, going to landfill, or directly polluting the environment [1].

Cellulose is nature's most abundant sustainably sourceable polymer. Its incorporation into composites, however, has mainly been limited to that of a strengthen fibre in standard oil-based polymer formulations. Cellulose is naturally strongly hydrophilic, and so the incorporation with hydrophobic oleophils is wrought with problems of poor dispersibility and the need to surface modify the cellulose chemically, or in some cases adopting plasma treatment, to achieve sufficient dispersion, adding complexity and cost [2].

More recently, 100 % cellulose and, newly, functional cellulose-mineral filler composites have been constructed in a collaboration between Aalto University and the University of Belgrade. In this context two main novel approaches, both of which can use virgin cellulose, waste printing and writing papers or packaging, or reject/biproduct agricultural cellulose, for example, have been found to yield a range of advanced materials. The two processes will be illustrated in the presentation, and the resulting materials produced discussed:

- *Adsorption of ultrafine calcium carbonate filler particles on cellulose nanofibrils branching from micro nanofibrillated cellulose (MNFC), and, similarly, on cellulose nanocrystals (CNC), by using controlled gel strain-induced properties in aqueous suspension [3].*
- *Regeneration of cellulose using a cellulose solution in environmentally friendly ionic liquid followed by recrystallisation and polymerisation in a water bath to form spun fibres and extruded films [4, 5].*

The presence of functional filler can enhance product stiffness, impact strength and, due to their opacifying effect, protect light-sensitive goods. These bioproduct composites enter the circular economy directly within the same product cycle (nested) or indirectly forming a fractal-like extended process and application network (catenated), in which the after-use or bioproduct material can be regenerated in principle infinite times via process II and constitute the feedstock for other equally valorising applications.

Keywords: *circular economy, cellulose composites, cellulose regeneration, micro nanofibrillated cellulose, cellulose nanocrystals, functional filler loaded composites, novel cellulose materials*

Prošireni izvod

Cirkularna ekonomija u oblasti standardnih kompozita pokazala se kao teško izvodljiva, ako ne i gotovo nemoguća za implementaciju. Jedan od primera je slučaj polimera zasnovanih na fosilnim gorivima koji se koriste jednokratno u ambalaži, što predstavlja izazov kako u pogledu prikupljanja tako i reciklaže, pri čemu se prepreke javljaju zbog potrebe za razdvajanjem različitih hemijskih sastava polimera. Rezultat toga je, prema podacima OECD-a, da se reciklira svega 9% plastike u svetu, dok se ostatak spaljuje, odlaže na deponije ili direktno zagađuje životnu sredinu [1].

Celuloza je najzastupljeniji polimer u prirodi koji se može održivo dobiti. Međutim, njena primena u kompozitima uglavnom se svodi na funkciju ojačavajućeg vlakna u standardnim formulacijama zasnovanim na naftnim polimerima. Celuloza je prirodno izrazito hidrofilna, zbog čega njeno uklapanje sa hidrofobnim oleofilima izaziva probleme u disperziji i zahteva hemijsku modifikaciju površine celuloze ili, u nekim slučajevima, tretman plazmom kako bi se postigla odgovarajuća disperzija – što dodatno komplikuje proces i povećava troškove [2].

U novije vreme, razvijeni su kompoziti od 100% celuloze, kao i funkcionalni kompoziti na bazi celuloze i mineralnih punila, kroz saradnju između Univerziteta Aalto i Univerziteta u Beogradu. U tom kontekstu, identifikovana su dva nova pristupa koji mogu koristiti devičansku celulozu, otpadni papir za štampanje i pisanje, ambalažu, ili celulozu iz poljoprivrednih ostataka i nusproizvoda. Ova dva procesa biće predstavljena na konferenciji, zajedno sa analizom proizvedenih materijala:

- *Adsorpcija ultra-finih čestica kalcijum karbonata na nano-vlakna celuloze koja se granaju iz mikro-nano fibrilirane celuloze (MNFC), kao i na nano-kristale celuloze (CNC), koristeći kontrolisana svojstva gela izazvana naprezanjem u vodenoj suspenziji [3].*
- *Regeneracija celuloze pomoću rastvora celuloze u ekološki prihvatljivim jonskim tečnostima, uz naknadnu rekristalizaciju i polimerizaciju u vodenoj kupki, radi dobijanja vlakana putem predivanja i filмова putem ekstruzije [4, 5].*

Prisustvo funkcionalnog punila poboljšava čvrstoću proizvoda, udarnu otpornost, a zahvaljujući efektu zamračivanja, omogućava i zaštitu svetlosno osetljivih proizvoda. Ovi bio-kompoziti direktno ulaze u ciklus cirkularne ekonomije unutar istog proizvodnog ciklusa (ugneždeni) ili indirektno kroz mrežu procesa i primena nalik fraktalu (katenirani), u kojoj se materijal nakon upotrebe ili kao nusproizvod može regenerisati praktično neograničen broj puta putem drugog procesa i koristiti kao sirovina za druge jednako vredne primene.

Ključne reči: *cirkularna ekonomija, celulozni kompoziti, regeneracija celuloze, mikro-nano fibrilirana celuloza, nano-kristali celuloze, kompoziti sa funkcionalnim punilima, novi celulozni materijali*

References

- [1] Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short, says OECD Press release, 22 February 2022: <https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2022/02/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.html> (viewed 29.05.2025)
- [2] Khoshkava, V.; Kamal, M.R., (2013). Effect of Surface Energy on Dispersion and Mechanical Properties of Polymer/Nanocrystalline Cellulose Nanocomposites, *Biomacromolecules*, 14(9): 3155-3163: <https://doi.org/10.1021/bm400784j>
- [3] Liu, G.; Maloney, T.; Dimić-Mišić, K.; Gane, P.A.C., (2017). Acid dissociation of surface bound water on cellulose nanofibrils in aqueous micro nanofibrillated cellulose (MNFC) gel revealed by adsorption of calcium carbonate nanoparticles under the application of ultralow shear, *Cellulose* 24: 3155–3178, <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1371-1>
- [4] Kostić, M.; Imani, M.; Ivanovska, A.; Radojević, V.; Dimić-Mišić, K.; Barać, N.; Stojanović, D.; Janačković, Dj.; Uskoković, P.; Barceló, E.; Gane, P.A.C., (2022). Extending waste paper, cellulose and filler use beyond recycling by entering the circular economy creating cellulose-CaCO₃ composites reconstituted from ionic liquid, *Cellulose* 29, 5037–5059: <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04575-w>
- [5] Imani, M.; Dimić-Mišić, K.; Kostić, M.; Barać, N.; Janačković, Dj.; Uskoković, P.; Ivanovska, A.; Lahti, J.; Barceló, E.; Gane, P.A.C., (2022). Achieving a superhydrophobic, moisture, oil and gas barrier film using a regenerated cellulose–calcium carbonate composite derived from paper components or waste, *Sustainability*, 14(16), 10425: <https://doi.org/10.3390/su141610425>

Corresponding author:

Gane, Patrick

Professor Emeritus, Department of Bioproducts and Biosystems,
School of Chemical Engineering, Aalto University, Vuorimiehentie 1,
00076 Aalto, Espoo, Helsinki, Finland
e-mail: patrick.gane@aalto.fi

SUSTAINABILITY AND CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS: HOW DO THEY AFFECT THE BUSINESS MODELS OF THE PRINTING INDUSTRY?

ODRŽIVOST I KONCEPTI CIRKULARNE EKONOMIJE: KAKO UTIČU NA POSLOVNE MODELE U ŠTAMPARSKOJ INDUSTRIJI?

Anastasios E. Politis^{1,2,3}

¹ IC - International Circle of Educational Institutes of Graphic-Media Technology and Management; ² HELGRAMED - the Hellenic Union of Graphic Arts and Media Technology Engineer; ³ PackPrint Science - the Hellenic Center for Research and Education initiative

Abstract

Sustainability and Circular Economy are nowadays considered as key trends in the industrial domain. Under these terms, the environmental protection, energy efficiency and recycling concepts are summarized. One of the major issues is the implementation of these concepts in

the actual business and production environments of the industry. As a result, the implementation of Sustainability and Circular Economy needs to be thoroughly investigated regarding industrial and production domains. Printing and in particular packaging printing are among the sectors, where these concepts need to be investigated regarding their actual application.

The Printing Industry, including the packaging printing sector, is advancing rapidly and continuously. The principal evolution topics for printing include not only the technological advances but also advanced systems in management and production, quality control and workflows. Furthermore, the printing sector is challenged by additional developments such as the application of Industry 4.0 elements, continuous improvement based in Lean manufacturing principles and the digital transformation, thus creating a complex business and production environment. Sustainability and circular economy are regarded as additional concepts to be integrated by one or the other way, in this already complex environment.

The present study investigates the printing business and in particular the transformation of existing business models of the industry, under the scope of the implementation of the concepts previously mentioned. Business models are explored since they are considered as the central point where, every implementation of new concepts can be realized. Therefore, business models are investigated in an effort to reveal possible pathways for effective incorporation of sustainability and circular economy concepts in a printing industrial setting and the appropriateness of the business model structure for this purpose.

What is more, the study examines the parameters that need to be considered, regarding the application of sustainability and circular economy in the daily printing business as it regards the business model transformation. Hence, this cannot be examined as an isolated procedure, but it needs to be viewed in relationship with the other concepts mentioned previously, namely Industry 4.0, digitalization, and continuous improvement.

The study revealed that the specific characteristics of the printing sector, affects considerably the application of any concept to be applied in the industry and the effective transformation of the business model.

Keywords: Printing Industry, Business models, Sustainability, Circular Economy, Industry 4.0, Digital Transformation.

Izvod

Održivost i koncepti cirkularne ekonomije danas se smatraju ključnim trendovima u industrijskom domenu. Pod ovim pojmovima podrazumevaju se zaštita životne sredine, energetska efikasnost i koncepti reciklaže. Jedno od glavnih pitanja jeste implementacija ovih koncepata u stvarnom poslovnom i proizvodnom okruženju industrije. Zbog toga je neophodno detaljno istražiti primenu održivosti i cirkularne ekonomije u industrijskom i proizvodnom kontekstu. Štamparska industrija, a posebno sektor ambalažnog štampanja, spadaju među sektore u kojima je potrebno ispitati stvarnu primenu ovih koncepata.

Štamparska industrija, uključujući sektor štampanja ambalaže, brzo i kontinuirano napreduje. Glavne teme razvoja u ovoj oblasti obuhvataju ne samo tehnološke inovacije, već i napredne sisteme upravljanja i proizvodnje, kontrolu kvaliteta i tokove rada. Pored toga, štamparski sektor se suočava sa dodatnim izazovima kao što su primena elemenata Industrije 4.0, kontinuirano unapređenje zasnovano na principima Lean proizvodnje i

digitalna transformacija, čime se stvara složeno poslovno i proizvodno okruženje. Održivost i cirkularna ekonomija posmatraju se kao dodatni koncepti koje je potrebno integrisati u već kompleksno okruženje.

Ova studija istražuje štamparsko poslovanje, a posebno transformaciju postojećih poslovnih modela u industriji, iz ugla implementacije pomenutih koncepata. Poslovni modeli su u fokusu istraživanja jer se smatraju centralnom tačkom u kojoj se može realizovati implementacija novih koncepata. Stoga su poslovni modeli analizirani kako bi se otkrili mogući putevi za efikasno uključivanje održivosti i cirkularne ekonomije u štamparsko industrijsko okruženje, kao i adekvatnost same strukture poslovnog modela za tu svrhu.

Pored toga, u studiji se analiziraju parametri koje treba uzeti u obzir pri primeni održivosti i cirkularne ekonomije u svakodnevnom poslovanju štamparskih firmi, posebno u kontekstu transformacije poslovnih modela. To se, međutim, ne može posmatrati kao izolovan proces, već u korelaciji sa drugim konceptima kao što su Industrija 4.0, digitalizacija i kontinuirano unapređenje.

Istraživanje je pokazalo da specifične karakteristike štamparskog sektora značajno utiču na primenu bilo kog koncepta u industriji, kao i na uspešnu transformaciju poslovnog modela.

Ključne reči: Štamparska industrija, Poslovni modeli, Održivost, Cirkularna ekonomija, Industrija 4.0, Digitalna transformacija.

Presenter:

Anastasios E. Politis

politismedia@gmail.com

SMURFIT WESTROCK – „DEKARBONIZACIJA KAO INSPIRACIJA”

SMURFIT WESTROCK – „DECARBONIZATION AS INSPIRATION”

Nikola Marinković

Smurfit Westrock Avala Ada doo Beograd

Izvod

Štitimo ono što je najvažnije – našu životnu sredinu i planetu. U našoj kući, održivost je osnova svega što radimo. Duboko smo posvećeni očuvanju planete i verujemo da uvek treba da damo sve od sebe kako bismo je zaštitili. To ne činimo samo kroz naše proizvode i poslovne procese, već i kroz angažovanje u lokalnoj zajednici.

Naši pozitivni koraci su raznovrsni – od rešavanja problema otpada i podsticanja reciklaže do zaštite i očuvanja lokalnih ekosistema.

Ugljenični otisak kutije izračunava se sabiranjem svih emisija CO₂ koje nastaju tokom svih faza njenog proizvodnog ciklusa, korišćenja i odlaganja (tzv. životni ciklus).

Jedan od glavnih izazova su, a to je stvar izbora:

- Odakle počinje životni ciklus (seča drveća, sadnja i uzgoj drveća, prikupljanje korišćene ambalaže, proizvodnja papira itd.)
- Gde se završava životni ciklus...fabrika Smurfit Westrock, prodavnice, reciklaža itd...

CO₂ footprint kutije Smurfit Westrock je ugljenični otisak kutije se izračunava sabiranjem svih emisija CO₂ generisanih tokom svake faze njene proizvodnje, upotrebe i odlaganja (tzv. životnog ciklusa)

CO₂ emisije Smurfit Westrock kutije tj emisije ugljenika kompanije Smurfit Westrock odnose se na ispuštanje ugljen-dioksida (CO₂) u atmosferu, za šta je Smurfit Westrock odgovoran.

Naš pristup vezano za energiju i smanjenje CO₂ emisija je sledeći:

- Smanjenje
- Obnovljivost
- Efikasnost
- Novi izbori

Abstract

We protect what matters most – our environment and our planet.

In our company, sustainability is the foundation of everything we do. We are deeply committed to preserving the planet and believe that we must always do our best to protect it. We do this not only through our products and business processes but also through engagement with the local community.

Our positive actions are diverse – from addressing waste issues and promoting recycling to protecting and preserving local ecosystems.

The carbon footprint of a box is calculated by summing all CO₂ emissions generated during all stages of its production cycle, use, and disposal (the so-called life cycle). One of the main challenges is the matter of choice:

- Where does the life cycle begin? (tree harvesting, planting and growing trees, collecting used packaging, paper production, etc.)
- Where does the life cycle end? (Smurfit Westrock factory, stores, recycling, etc.)

The CO₂ footprint of the Smurfit Westrock box is calculated by summing all CO₂ emissions generated during each stage of its production, use, and disposal (the so-called life cycle).

CO₂ emissions of the Smurfit Westrock box, i.e., the company's carbon emissions, refer to the release of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere for which Smurfit Westrock is responsible.

Our approach to energy and reducing CO₂ emissions is as follows:

- *Reduction*
- *Renewability*
- *Efficiency*
- *New choices*

Presenter:

Nikola Marinković

Smurfit Westrock Avala Ada d.o.o.

Prilazni put za Adu Huju 9 Beograd

Srbija

nikola.marinkovic@smurfitwestrock.rs

MODERNIZACIJA ELEKTROMOTORNIH POGONA I UPRAVLJAČKOG SISTEMA POPREČNOG REZAČA VALMET 14,5 U FABRICI KARTONA UMKA

MODERNIZATION OF ELECTRICAL DRIVES AND CONTROL SYSTEM OF CROSSCUTTER VALMET 14,5 AT THE UMKA CARDBOARD MILL

Milan Bebić ^{1,a}, Neša Rašić ², Dragomir Stanić ³, Slobodan Đurić ³, Miloš Stanković ³, Saša Dobrić ³

¹ Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija; ² Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva; ³ Fabrika kartona Umka, Umka, Srbija

^a (<https://orcid.org/0000-0003-2694-6980>)

Izvod

Modernizacija elektromotornih pogona i upravljačkih sistema u industriji papira i kartona je dokazana strategija za produženje životnog veka mašina i poboljšanje njihovih performansi. Ovaj proces obično podrazumeva zamenu zastarelih električnih komponenti – koje se više ne proizvode – modernim, široko dostupnim alternativama najboljeg kvaliteta, što dovodi do smanjenja troškova održavanja i poboljšane pouzdanosti sistema. Ovaj rad predstavlja uspešnu modernizaciju poprečnog rezača Valmet 14.5 u fabrici kartona Umka, postignutu dobrom saradnjom između domaćih stručnjaka i zaposlenih u službi održavanja fabrike. Zadatak da se ugradi nova pogonska i upravljačka oprema bez povećanja linijske brzine, uz unapređenje kvaliteta proizvoda i povećanjem pouzdanosti rada postrojenja je uspešno realizovan početkom 2025. godine.

Ključne reči: modernizacija, elektromotorni pogon, upravljački sistem, poprečni rezač, fabrika kartona

Abstract:

The modernization of electric drives and control systems in the paper and cardboard industry is a proven strategy for extending the service life of machines and improving their performance. This process typically involves replacing outdated electrical components—which are no longer manufactured—with modern, high-quality, widely available alternatives. As a result, maintenance costs are reduced, and system reliability is improved. This paper presents the successful modernization of the Valmet 14.5 crosscutter at the Umka Cardboard Mill, achieved through effective collaboration between domestic experts and the factory's maintenance personnel. The task of installing new drives and control equipment—without increasing the line speed—while improving product quality and enhancing the plant's operational reliability, was successfully completed at the beginning of 2025.

Key words: modernization, electrical drive, control system, crosscutter, cardboard mill

1. UVOD

Najbolji način da se proširi kapacitet proizvodnje je nabavka i izgradnja novog postrojenja ili tehnološke linije. Prednosti tog pristupa ogledaju se u mogućnosti ugovaranja potrebnih performansi, u mogućnosti delimičnog izbora najsavremenije opreme, i naravno dobija se novo postrojenje. Nedostatak je naravno visoka cena, dugačak rok isporuke, i u nekim slučajevima nedovoljno visok kvalitet izrade mehaničkih elemenata (štednja na kvalitetnim materijalima i obradi).

Kupovina polovnih (već korišćenih) postrojenja od fabrika koje menjaju tehnologiju ili se zatvaraju iz različitih razloga, uključujući i finansijske, prepoznata je od strane uspešnih fabrika, naročito u papirnoj industriji. Nakon prenosa postrojenja i njegove instalacije, ukoliko je postrojenje potrebno unaprediti u tehnološkim smislu, modernizacija elektro opreme može obezbediti unapređenje performansi, smanjiti troškove održavanja, zameniti opremu koja se ne može više nabaviti, sve to uz relativno male troškove.

Postrojenje čija će modernizacija biti prikazana u ovom radu upravo je primer uspešne modernizacije postrojenja koje je već korišćeno, doneto je i instalirano u Fabriku kartona Umka početkom 2024. godine. Modernizacija je sprovedena u saradnji službe održavanja fabrike kartona Umka i domaćim stručnjacima sa bogatim iskustvom u oblasti elektromotornih pogona i automatizacije.

2. PREGLED MOGUĆIH REŠENJA POGONA POPREČNOG REZAČA

Pogoni mehanizma noža u postrojenju poprečnog rezača su realizovani na različite načine u skladu sa raspoloživom tehnikom iz vremena kada su razvijani. Ranija rešenja su imala mehanizam za promenu brzine noža u okviru jednog kruga izlaznog vratila, uz održavanje približno konstantne ulazne brzine u mehanizam. Ovaj sklop se na našem govornom području naziva mehanizam sa ekscentrom ili krivajni mehanizam [1].

Sa razvojem digitalne tehnike upravljanja, kao i energetske elektronike, postalo je moguće menjati brzinu motora koji pokreće valjke noževa, bez krivajnog mehanizma. Realizacije sa jednim ili sa dva motora su moguće.

U nastavku će kratko biti predstavljena ova dva dominantna rešenja.

2.1 Pogon noža poprečnog rezača sa mehanizmom sa ekscentrom

Mehanizam sa ekscentrom (krivajni mehanizam) obezbeđuje promenljivu brzinu obrtanja izlaznog vratila koje pokreće valjke sa noževima pri približno konstantnoj ulaznoj brzini u mehanizam.

Položaj krivajnog mehanizma određuje odstupanje izlazne brzine od konstantne vrednosti koja se ima ako je mehanizam u osnovnom položaju, analiza rada je prikazana u [1], [2] i [3]. Sa stanovišta elektromotornog pogona noža potrebno je obezbediti sinhronizaciju brzine (u odgovarajućem odnosu koji zavisi od formata) ulaznog vratila krivajnog mehanizma sa linijskom brzinom kartona, odnosno ugaonom brzinom pogona prese. Ukoliko je mehanizam postavljen na odgovarajuću vrednost, obezbeđen je dobar kvalitet reza, a tačnost dužine odsečenih formata zavisi od preciznosti sinhronizacije brzina.

Važno je reći da su mehanizmi sa ekscentrom koji se i dalje koriste u fabrici kartona Umka veoma kvalitetne izrade, da su u upotrebi već dugi niz godina na postrojenjima As16, As21 i As28. Elektromotorni pogoni i upravljački sistemi tih postrojenja su rekonstruisani ranijih godina, a postignuti rezultati su već prezentovani na simpozijumu [2], [3].

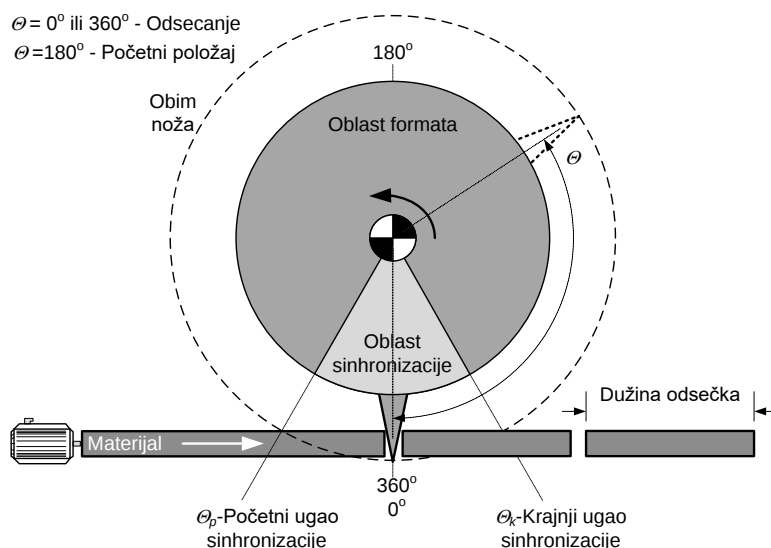
2.2 Pogon noža poprečnog rezača sa motorom promenljive brzine

Savremeni elektromotorni pogoni visokih performansi obezbeđuju veoma dobre dinamičke performanse, koje obuhvataju: kontrolu momenta sa praktično trenutnim odzivom (reda par milisekundi), kontrolu brzine sa PID regulatorom i dodatnim opcijama kao što su kompenzacija ubrzanja pogona, dinamičko ograničenje momenta, nezavisno podešavanje ubrzanja i usporenja. Regulator pozicije (ugla motora ili izlaznog mehanizma, ili linearne pozicije preračunate na osnovu merenja) kao nadređen regulatoru brzine obezbeđuje izbor pozicioniranja na stacionarnu ili pokretnu metu [4].

Aplikacija poprečnog sečenja sa motorom promenljive brzine je posebno zahtevna u pogledu zahtevanih dinamičkih performansi pošto se od pogona pokretanja noža zahteva da ciklično prati zadatu poziciju (mesto sečenja trake), da bude sinhronizovan sa pozicijom pokretne mete u trenutku sečenja (susreta noževa), ali i da linijska brzina noža neposredno pre i posle sečenja (susreta noževa) bude ista kao brzina materijala koji se seče (brzina trake).

Kao i kod pogona sa krivajnim mehanizmom, obim putanje noževa predstavlja osnovni ili kritični format (L_k) kada nije potrebno menjati brzinu noževa u toku ciklusa sečenja, samo je potrebno sinhronizovati brzinu noževa sa brzinom trake. Prikaz geometrije noža sa oznakama osnovnih veličina dat je na slici 1. Geometrija samog noža je praktično ista, ali je ogromna razlika u tome što varijaciju izlazne brzine noža sada obezbeđuje motor i regulacija brzine i pozicije preko frekventnog pretvarača, a ne krivajni mehanizam.

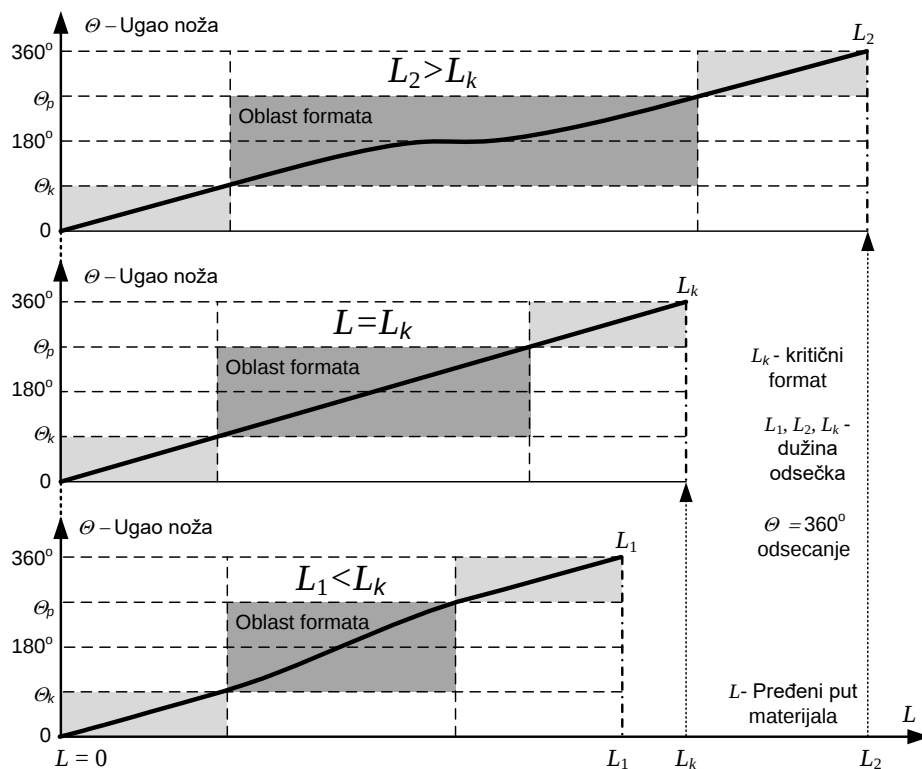
Kod formata koji su kraći od obima kružne putanje koju opisuje sečivo noža, ($L_1 < L_k$) pogon mora da ubrza u odnosu na brzinu trake u periodu kada nema sinhronizacije brzine (gornji deo kružne putanje, oblast formata), kako bi prešao isti put za kraće vreme. Kod formata sečenja koji su duži od obima kružne putanje noža ($L_2 > L_k$), pogon mora da uspori u oblasti formata, čak i da se zaustavi u gornjem položaju ($\theta=180^\circ$), kako bi sačekao da deo tog budućeg dužeg odsečenog formata prođe, ali onda mora naglo da ubrza da bi postigao sinhronizaciju brzine sa brzinom trake u trenutku sečenja, i da postigne sečenje na tačno određenoj poziciji trake. Neposredno pre i posle sečenja, u oblasti sinhronizacije, linijska brzina noževa i trake su iste, a oblast se može podešavati početnim i krajnjim uglovima sinhronizacije θ_p i θ_k .



Slika 1. Geometrija noža sa promenljivom brzinom motora
Figure 1. Geometry of the knife with variable motor speed

Promena ugla noža (Θ) u toku ciklusa sečenja za različite formate (L_1 , L_2 i L_k) prikazana je na slici 2. Za format veće dužine ($L_2 > L_k$) može se uočiti da se ugao ne menja na sredini formata (nož stoji), u okolini 180° . Za format dužine $L = L_k$, prikazan na srednjem delu slike 2, promena ugla je konstantna, što znači da je brzina noža konstantna. Na donjem delu slike 2, za format manje dužine od kritičnog ($L_1 < L_k$), promena ugla je veća u oblasti formata, odnosno nož ubrzava u odnosu na traku. U oblasti sinhronizacije, promena ugla je konstantna za sva tri prikazana slučaja, odnosno brzina noževa je sinhronizovana sa konstantnom brzinom trake.

Elektronska varijacija brzine pogona omogućava veći dijapazon sečenih formata većih od kritičnog formata, u odnosu na poprečne rezače sa krivajnim mehanizmom. Pored toga, ali ne manje važno, zahvaljujući mogućnosti podešavanja uglova za oblast sinhronizacije, mogu se seći značajno veće širine trake u odnosu na poprečne rezače sa krivajnim mehanizmom.



Slika 2 Princip rada pogona noža sa promenljivom brzinom motora, za tri dužine odsečka $L_1 < L_k$, $L = L_k$ i $L_2 > L_k$
Fig. 2 Operating principle of the knife drive with variable motor speed, for three segment lengths $L_1 < L_k$, $L = L_k$ and $L_2 > L_k$

U opsegu željenih formata sečenja manjim od kritičnog, promenu brzine treba postići za kraće vreme ciklusa, što dovodi do velikih vrednosti momenata potrebnih za takvu promenu brzine. Da bi se zadržale vrednosti momenta ispod nominalne vrednosti motora pribegava se produženju ciklusa sečenja, odnosno, na formatima manjim od kritičnog, ograničava se brzina kretanja materijala (trake) u funkciji zadatog formata sečenja.

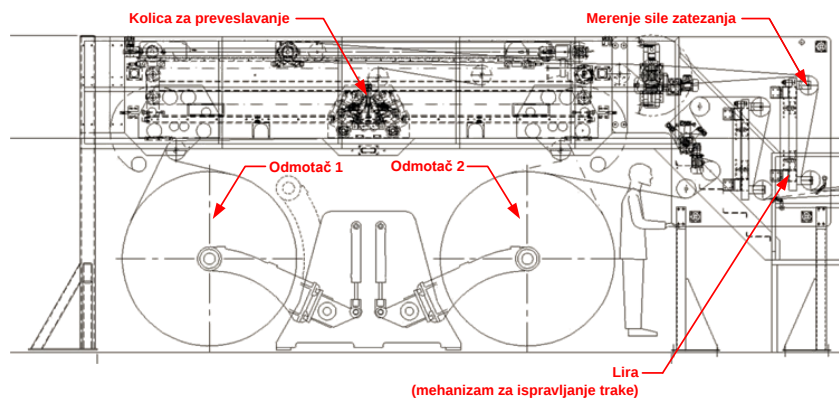
3. PRIKAZ POSTROJENJA SA OPISOM MODERNIZACIJE

Poprečni rezač Valmet 14,5 je projektovan sa elektronskom varijacijom brzine i servo motorom na pogonu noža snage 110 kW. Motor je direktno (bez reduktora) spregnut sa valjcima noževa, uz mogućnost kompenzacije zazora u prenosu na gornji i donji valjak. Presa (vučni valjak) i prihvatna traka su mehanički spregnuti, pokreću se jednim motorom snage 25 kW. U glavne pogone spada još i pogon transportne trake snage 2,1kW. Glavni pogoni su bili napajani i upravljani iz UNICO pretvarača serije 2000. Upravljanje ovim pogonima bilo je realizovano kombinacijom žičanih analogno digitalnih signala i PROFIBUS DP komunikacijom. Postojali su veliki problemi u održavanju UNICO pretvarača, pre svega zbog zastarelosti opreme, kao i zbog teške nabavke rezervnih delova, njihove visoke cene i dugačkih rokova isporuke i .

Pogonski, kavezni asinhroni motori prese i noža su zadržani, kao i njihovi inkrementalni enkoderi, ali se za njihovo napajanje nakon modernizacije koriste frekventni pretvarači SIEMENS serije S120 sa integrisanim algoritmom upravljanja servo pogona. Kompletно upravljanje ovim pogonima, nakon rekonstrukcije, realizovano je PROFinet komunikacijom izuzimajući bezbednosne funkcije (safety), koje su realizovane hardverski. Pogonski motor transportne trake je takođe zadržan ali se za njegovo napajanje koristi odgovarajući frekventni pretvarač serije Danfoss FC300.

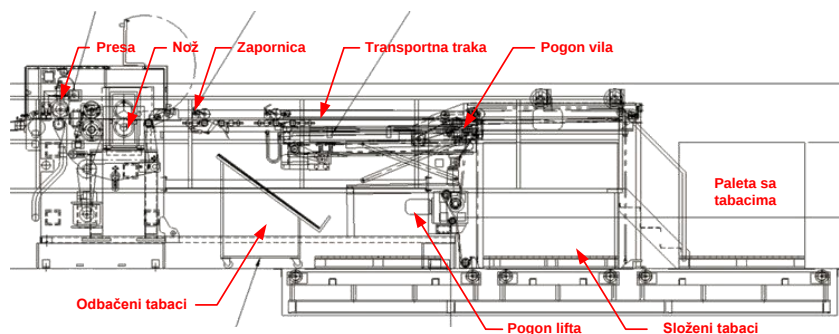
Za napajanje i upravljanje ostalim regulisanim pogonima (kolica za promenu aktivnog odmotača – „preveslavanje“, lira, lift, vile i kolica za promenu paleta), pre početka rekonstrukcije korišćeni su frekventni pretvarači različitih proizvođača (Lenze, Danfoss) i različitih serija. Pretvarači za napajanje ovih regulisanih pogona zadržani su, ili su zamenjeni novim, frekventnim pretvaračima serije Danfoss FC300. Za upravljanje ovim pogonima koristi se PROFIBUS DP komunikacija.

Osnovni tehnološki delovi poprečnog rezača Valmet 14,5 prikazani su na slikama 3 i 4.



Slika 3. Tehnološki delovi poprečnog rezača Valmet 14,5 - deo odmotača i ispravljanje trake

Figure 3. Technological parts of the Valmet 14.5 cross cutter – part of the unwind unit and belt straightening



Slika 4. Tehnološki delovi poprečnog rezača Valmet 14,5 - deo sečenja trake i slaganja tabaka

Figure 4. Technological components of the Valmet 14.5 cross cutter – strip cutting and sheet stacking section

U toku rekonstrukcije i modernizacije poprečnog rezača stari upravljački sistem zamenjen je novim. Ugrađen je upravljački sistem rezača sa najsavremenijim PLC-om serije S7-1500 Technology proizvođača SIEMENS, sa integrisanim PROFINet i PROFIBUS DP komunikacijskim protokolom [5].

Iz razloga optimizacije troškova i skraćanja rokova za realizaciju rekonstrukcije zadržana je sva lokalna oprema (senzori, graničnici i sl.) i sva komandna mesta (tasteri, prekidači i sl.). Za povezivanje ulaznih i izlaznih digitalnih i analognih signala, koriste se moduli serije ET200SP. Novim elektro projektom predviđeno je da se moduli grupišu u šest grupa, koje sa centralnim PLC-om komuniciraju PROFINet protokolom.

Za vizuelizaciju i nadzor rada rezača koriste se tri grafička panela. Centralni panel dijagonale ekrana 22 inča (56 cm) postavljen je u blizini glavnog upravljačkog pulta, jedan panel 7 inča (18 cm) postavljen je u blizini lokalnih komandi odmotiča. Treći panel 7 inča postavljen je na delu rezača sa koga se ostvaruje najbolji vizuelni nadzor slaganja tabaka i promene palete. U upravljački sistem rezača integrisan je i SCADA PC računar, čije je namena snimanje i čuvanje radnih parametara i veličina u dužem vremenskom periodu za eventualnu kasniju analizu.

Merenje i pozicioniranje kolica za promenu aktivnog odmotiča („preveslavanje“) ostvarena je primenom apsolutnog enkodera. Sličan apsolutni enkoder sa žičanim mehanizmom postavljen je za merenje visine palete sa složenim tabacima, čime je omogućena realizacija upravljanja rada rezača po kriterijumu željene visine palete. Za merenje prečnika rolne odmotiča postavljeni su beskontaktni ultrazvučni senzori sa standardnim analognim izlaznim naponskim signalom (0-10V), što je zajedno sa merenjem sile zatezanja kartonske trake omogućilo realizaciju regulacije sile zatezanja trake u zatvorenoj sprezi, upravljanjem pneumatskim kočnicama. Postojeće merne ćelije za silu zatezanja kartonske trake su zadržane, ugrađen je novi pretvarač signala, čime je omogućena integracija informacije o merenoj sili u novi upravljački sistem rezača. Merenje pozicije lire (mehanizma za ispravljanje trake) potencijometrom je zadržano i iskorišćeno za realizaciju upravljanja njenom pozicijom u funkciji prečnika rolne odmotiča.

Za razvoj aplikativnog softvera PLC-a, korisničkog interfejsa za operatorske panele i podešavanje parametara novih pogona prese i noža korišćen je SIEMENS TIA Portal. U okviru njega pripremljeni su i tzv. „trace“ dijagrami koji su korišćeni u fazi puštanja rezača u rad, a koji će svakako biti od koristi službi održavanja Fabrike kartona Umka u budućoj fazi održavanja rada rezača.

4. OSTVARENI REZULTATI

Modernizacija pogonskog i upravljačkog sistema poprečnog rezača Valmet 14,5 započeta je u drugoj polovini prošle godine (2024). Nabavku opreme prema usaglašenoj specifikaciji izvršila je komercijalna služba Fabrike kartona Umka. Služba elektro održavanja je prema izrađenom elektro-projektu rekonstrukcije i modernizacije izvršila montažu i povezivanje nove upravljačke opreme, kao i opreme za elektromotorne pogone. Iskorišćeni su postojeći elektro ormani, kao i veliki deo upravljačkih pulteva na mašini.

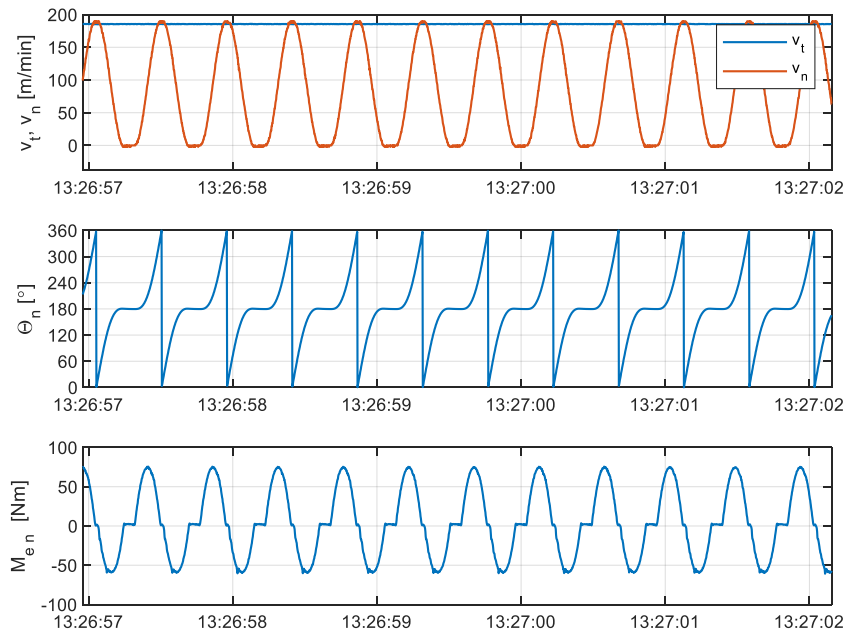
Tokom podešavanja parametara, ispitivanja i puštanja u rad novih frekventnih pretvarača, sinhronizacija brzine i pozicije pogona noža i prese implementirana je u „Technology“ kontroler, sa brzim izvršavanjem i razmenom informacija sa pretvaračima. Ostvaren je period rada algoritma od 1ms, što zadovoljava potrebe postrojenja za zahtevanu tačnost sečenja pri 300 tabaka u minuti, odnosno najkraći ciklus sečenja od samo 200 ms.

Slika 5 prikazuje rad pogona noža poprečnog rezača pri zadatom formatu $L = 1400$ mm. Dve krive na gornjem vremenskom dijagramu su linijske brzine trake i noža. Poklapanje linijskih brzina u trenutku sečenja, kao i zaustavljanje pogona noža u gornjem položaju su vidljivi na slici.

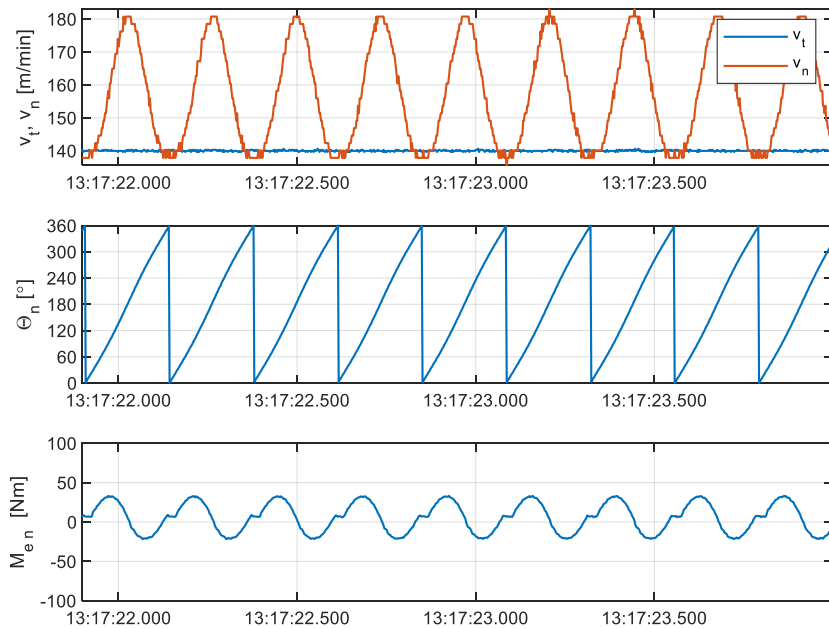
Vremenski dijagram u sredini prikazuje promenu ugla pogona noža za zadati format. Uočljiv je visok stepen sličnosti talasnog oblika sa prikazanom krivom na gornjem delu slike 2. Donji vremenski dijagram prikazuje moment motora noža, sa izraženom dinamičkom komponentom u oblasti formata, ali i dva karakteristična perioda nepromenljivog momenta, kada motor noža stoji u gornjem položaju, i kada motor ide konstantnom brzinom u oblasti sinhronizacije.

Vremenski dijagram istih veličina iz pogona prese i noža snimljen na poprečnom rezaču pri radu sa zadatim formatom $L = 550$ mm prikazan je na slici 6. Promena ugla u vremenu pokazuje visoku sličnost sa krivom prikazanom na donjem delu slike 2. Na ovom formatu nema zaustavljanja pogona noža, štaviše, pogon noža u gornjem položaju ima najveću brzinu, ali se može uočiti period rada sa konstantnom brzinom u oblasti

sinhronizacije, pre i posle trenutka sečenja (kada ugao noža naglo padne sa 360° na 0°). Ova nagla promena je uočljiva samo na vremenskom dijagramu ugla, u fizičkom svetu to je samo nastavak kružnog kretanja.



Slika 5. Snimljeni vremenski dijagrami pogona noža pri zadatom formatu $L = 1400$ mm
Figure 5. Recorded time diagrams of the knife drive at the specified format $L = 1400$ mm



Slika 6. Snimljeni vremenski dijagrami pogona noža pri zadatom formatu $L = 550$ mm
Figure 6. Recorded time diagrams of the knife drive at the specified format $L = 550$ mm

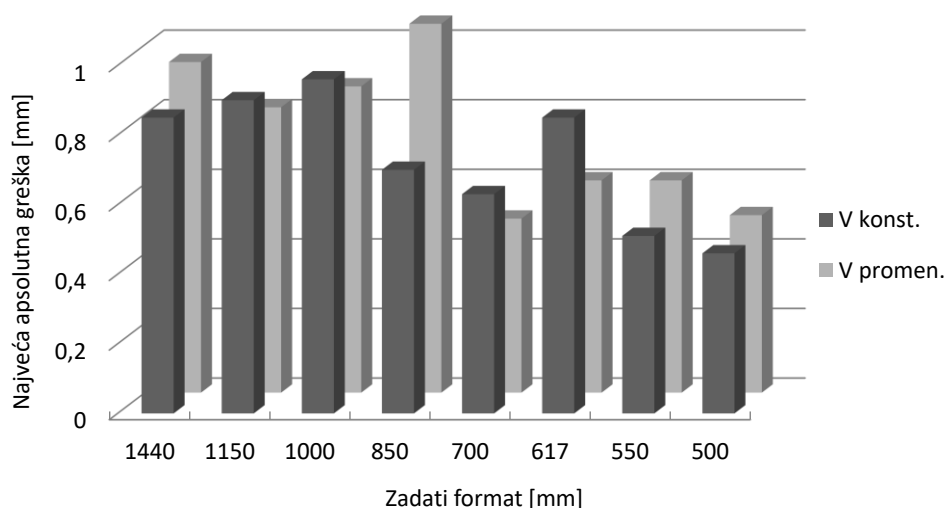
Nakon puštanja poprečnog rezača u rad i obuke rukovaoca, izvršna je verifikacija tačnosti sečenja na različitim brzinama i različitim zadatim dužinama formata. Ostvarena je tačnost sečenih formata sa najvećim odstupanjem manjim od 1 mm, na svim formatima sečenja, i pri konstantnoj brzini trake, i u toku promene brzine.

Iskorišćena je hardverska mogućnost upravljačkog sistema da nezavisno od sistema sinhronizovanog upravljanja pogonima prese i noža, meri dužine odsečenih formata [5]. Rezultati snimljeni u radu rezača pri različitim formatima (od 1440 do 550mm) i pri različitim brzinama trake (30, 60 i 90% maksimalne brzine za

odgovarajući format), prikazani su na slici 7. Prikazane su najveće vrednosti apsolutne greške odsečenih formata pri radu u ustaljenom stanju i pri promenama brzine.

5. STEČENA ISKUSTVA I ZAKLJUČCI

Rukovodstvo Fabrike kartona Umka je odobrilo modernizaciju postrojenja poprečnog rezača Valmet 14,5, sa ciljem da se izvrši modernizacija sistema elektromotornih pogona i upravljačkog sistema postrojenja.



Slika 7. Ostvareni rezultati – najveća apsolutna greška odsečenih formata pri radu sa konstantnom i promenljivom brzinom trake

Figure 7. Achieved results – maximum absolute error of cut formats during operation with constant and variable web speed

U toku modernizacije, stari energetske pretvarači čiji se rezervni delovi teško nabavljaju, i koji nisu (i nisu bili) široko zastupljeni na našem tržištu, zamenjeni su savremenim frekventnim pretvaračima renomiranog proizvođača. Izbor celokupne pogonske i upravljačke opreme je pažljivo usaglašen sa službom održavanja, kako bi se postigao što veći stepen unifikacije opreme u fabrici i time smanjila potrebna obavezna rezerva opreme. Drugi zadatak, modernizacija upravljačkog sistema omogućila je objedinjavanje svih funkcija u jedan savremeni kontroler visokih performansi. Svi korišćeni hardverski i softverski proizvodi su aktuelni i mogu biti isporučeni od velikog broja dobavljača, što garantuje značajno smanjenje budućih troškova održavanja u toku eksploatacije rezača.

Pojedine tehnološke funkcije poprečnog rezača su unapređene, sa skromnim ulaganjem u dodatnu opremu, kao što su funkcija regulacije sile zatezanja kartona na odmotaku, automatsko upravljanje funkcijom ispravljanja kartona (lirom) i precizno praćenje visine palete (lifta) sa automatskim zaustavljanjem i promenom palete na zadatoj visini.

Modernizacija poprečnog rezača Valmet 14,5 u fabrici kartona Umka, postignuta je dobrom saradnjom domaćih stručnjaka i zaposlenih u službi održavanja fabrike. Zadatak da se ugradi nova pogonska i upravljačka oprema bez povećanja linijske brzine, uz unapređenje kvaliteta proizvoda i povećanjem pouzdanosti rada postrojenja je uspešno realizovan početkom 2025. godine.

5. EXPERIENCES GAINED AND CONCLUSIONS

The management of the Umka Cardboard Factory approved the modernization of the Valmet 14.5 cross-cutter plant, with the goal of upgrading the electric drive system and the plant's control system.

During the modernization, the old power converters—whose spare parts are difficult to procure and which were not (and still are not) widely available on our market—were replaced with modern frequency converters from a reputable manufacturer. The selection of all drive and control equipment was carefully coordinated with

the maintenance department to achieve the highest possible degree of equipment unification within the factory, thereby reducing the required mandatory equipment reserves.

The second objective, the modernization of the control system, enabled the integration of all functions into a single, modern high-performance controller. All hardware and software products used are current and available from a wide range of suppliers, which ensures a significant reduction in future maintenance costs during the operation of the cutter.

Certain technological functions of the cross-cutter were improved with modest investment in additional equipment, such as the tension force control function on the unwinder, automatic control of the sheet straightening function (lire), and precise tracking of pallet (lift) height with automatic stopping and pallet change at the set height.

The modernization of the Valmet 14.5 cross-cutter at the Umka Cardboard Factory was successfully achieved through effective collaboration between domestic experts and the factory's maintenance staff. The task of installing new drive and control equipment without increasing the line speed—while improving product quality and increasing operational reliability—was successfully completed at the beginning of 2025.

Literatura

- [1] B. Jeftenić, M. Bebić, S. Štatkić, *Višemotorni električni pogoni*, Beograd: Akademska Misao, 2011.
- [2] B. Jeftenić, M. Bebić, D. Jevtić i M. Milojević, „Rekonstrukcija elektromotornog pogona poprečnog rezača na bazi primene frekventnih pretvarača,” in *VI jugoslovenski simpozijum iz oblasti CPA&G*, Zlatibor, 2000
- [3] M. Bebić et. al., „Elektromotorni pogoni i upravljački sistem poprečnog rezača AS-28 u fabrici kartona Umka”, *XVIII Međunarodni simpozijum iz oblasti CPA&G*, Zlatibor, 2012.
- [4] Siemens Industry Online Support: “SIMATIC S7-1500 -All about Motion Control”, V1.1, 03/2022, Entry ID: 109803969, <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109803969>
- [5] Siemens Industry Online Support: “SIMATIC S7-1500T Rotary Knife”, V1.4, 06/2023, Entry-ID: 109757260, <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109757260>
- [6] M. Bebić, et al., "Testing of synchronization accuracy for the cross cutter drive without web" presented at the *XLV ETRAN*, Aranđelovac, 2001.

Corresponding authors:

Dr Milan Bebić

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu,

Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

bebic@etf.bg.ac.rs

Neša Rašić

Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd

Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva

Vojvode Stepe 283

rasic@etf.bg.ac.rs

INNOVATIVE SOLUTIONS FOR ENERGY EFFICIENCY & BALANCED GROWTH FOR BOARD, PAPER AND TISSUE MACHINES

INOVATIVNA REŠENJA ZA ENERGETSKU EFIKASNOST I URAVNOTEŽEN RAST ZA KARTON, PAPIR I TISJU MAŠINE

Tomasz Radziszewski

Valmet

Abstract

Innovative compact machines for energy efficiency and balanced growth for Board, Paper and Tissue Machines

As the paper industry faces increasing pressure to meet global sustainability goals, the demand for innovative, energy-efficient and compact technological solutions has never been greater. The presentation introduces the latest innovative solutions from Valmet Technologies & Services, known for its expertise in engineering, production and implementation of the newest solutions in technologies for the pulp and paper industry.

As we approach the end of this decade, the paper industry is confronted with global challenges that demand a strategic shift toward process optimization, competitiveness and the integration of next-generation technologies. Valmet's compact solutions are not only a response to these challenges, but also a proactive step toward a more balanced and resilient future for the industry.

Focusing on a global environmental protection and products lightweighting aspect, Valmet's compact machine solutions are engineered to support the industry's transition toward lower carbon emissions and reduced plastic dependency. These innovations are particularly relevant in the context of current megatrends, including climate change mitigation, resource-efficient systems, and the growing demand for sustainable packaging alternatives.

The presentation highlights several recent reference projects that exemplify, how Valmet's technologies are enabling paper, board, and tissue producers to achieve balanced growth. These projects demonstrate benefits such as reduced energy consumption, minimized environmental footprint and enhanced operational efficiency - without compromising product quality or production capacity.

Izvod

Inovativne kompaktne mašine za energetska efikasnost i uravnotežen rast u mašinama za karton, papir i higijenske proizvode

Kako papirna industrija sve više oseća pritisak da ispuni globalne ciljeve održivosti, potražnja za inovativnim, energetski efikasnim i kompaktnim tehnološkim rešenjima nikada nije bila veća. Ova prezentacija predstavlja najnovija inovativna rešenja kompanije Valmet Technologies & Services, poznate po svojoj stručnoj ekspertizi u inženjeringu, proizvodnji i implementaciji najsavremenijih tehnologija za industriju celuloze i papira.

Kako se bližimo kraju ove decenije, papirna industrija suočava se sa globalnim izazovima koji zahtevaju strateški zaokret ka optimizaciji procesa, unapređenju konkurentnosti i integraciji tehnologija naredne generacije. Kompaktna rešenja kompanije Valmet nisu samo odgovor na ove izazove, već i proaktivan korak ka uravnoteženijoj i otpornijoj budućnosti industrije.

Sa fokusom na globalnu zaštitu životne sredine i smanjenje težine proizvoda, kompaktna rešenja Valmeta dizajnirana su da podrže prelaz industrije ka nižim emisijama ugljenika i smanjenoj zavisnosti od plastike. Ove inovacije posebno su značajne u kontekstu aktuelnih megatrendova, uključujući ublažavanje klimatskih promena, sisteme efikasnog korišćenja resursa i rastuću potražnju za održivim alternativama pakovanja.

Prezentacija ističe nekoliko nedavnih referentnih projekata koji pokazuju kako tehnologije Valmeta omogućavaju proizvođačima papira, kartona i higijenskih proizvoda da ostvare uravnotežen rast. Ovi projekti demonstriraju koristi kao što su smanjena potrošnja energije, minimizovan uticaj na životnu sredinu i povećana operativna efikasnost—bez kompromisa u kvalitetu proizvoda ili proizvodnom kapacitetu.

Corresponding author:

Tomasz Radziszewski

tomasz.radziszewski@valmet.com

SKF INFINIUM – RESISTANCE EQUALS RELIABILITY – DESIGNED FOR CIRCULAR PERFORMANCE

SKF INFINIUM – OTPORNOST JE POUZDANOST – DIZAJNIRANO ZA CIRKULARNE PERFORMANSE

Marica Ersson

AB SKF, Gothenburg, Sweden

Abstract

SKF Infinium bearings are designed for circular performance and to withstand aggressive environments. The value the bearings brings to Pulp and Paper industry will be presented together with test data.

Keywords: *Designed for circularity, corrosion resistance, sustainability, performance*

Izvod

Ležajevi SKF Infinium dizajnirani su za cirkularne performanse i za rad u agresivnim uslovima. Vrednost koju ovi ležajevi donose industriji celuloze i papira biće predstavljena zajedno sa podacima iz testiranja.

Ključne reči: *Dizajnirano za cirkularnost, otpornost na koroziju, održivost, performanse*

INTRODUCTION

In Pulp & Paper manufacturing, bearings are constantly exposed to corrosive elements, abrasive contamination, and relentless high-pressure washdowns. These harsh conditions can lead to unplanned downtime, costly replacements, and lost productivity, creating significant challenges for industrial operators striving to maintain efficiency and reliability.

SKF Infinium bearings are engineered to withstand these aggressive environments, offering exceptional corrosion resistance that keeps machines running longer. These bearings help reduce total cost of ownership by minimizing wear and unplanned downtime. Beyond performance, SKF Infinium also supports sustainability goals, providing the option for remanufacturing and extending bearing life in ways that were never possible before by utilizing advanced Directed Energy Deposition (DED) technology.

Our first bearings designed for circular performance

SKF Infinium bearings represent a breakthrough in circularity and additive manufacturing. For the first time, damaged areas can be completely removed and fresh material deposited, preserving the core of the ring, with no limit to the number of remanufacturing cycles.

This innovative multi-material design delivers performance and durability, customized for demanding applications like pulp and paper. By enabling multiple remanufacturing cycles, SKF Infinium bearings maximize output for every ton of bearing steel produced, reducing waste, extending bearing life, and lowering total cost of ownership – setting a new standard for sustainable and efficient operations.

Cost savings without compromise

With SKF Infinium, you can extend component service life and reduce maintenance requirements, minimizing unplanned downtime and operational disruptions. And by taking advantage of SKF remanufacturing services, you further increase cost efficiency and contribute to a reduced environmental footprint. This cost-effective solution helps you to gain long-term value for your operations while meeting your performance and sustainability goals.

Resistance and strength

The strength of the deposited corrosion resistant material has been evaluated in advanced accelerated bearing tests. It is seen that crack initiation occurs during the same test duration as other standard bainitic steel and heat treatment solutions. The same test also proves the resistance to crack propagation thereby preventing ring fractures even during very tough conditions.

Corresponding author:

Marica Ersson

AB SKF

Von Utfallsgatan 2

415 05 Gothenburg, Sweden

marica.ersson@skf.com

BIG DATA: AUTONOMOUS PROCESSES WITH ONLINE ANALYZERS

VELIKI PODACI: AUTONOMNI PROCESI SA ONLINE ANALIZATORIMA

Mr. Markus Claaßen

BTG Instruments GmbH / Germany

Abstract

The possibility with online Analyzers and process data from DCS system and QCS system via Data Management (Data Parc) tool to build Models for Paper properties and create advisory tools or even close the control loop to have an autonomous process. We will deeper explain the online fiber morphology.

Izvod

Mogućnost korišćenja online analizatora i procesnih podataka iz DCS i QCS sistema putem alata za upravljanje podacima (Data Parc) omogućava izgradnju modela za svojstva papira i kreiranje savetodavnih alata, pa čak i zatvaranje upravljačke petlje za ostvarenje autonomnog procesa. Posebno ćemo detaljnije objasniti online morfologiju vlakana.

Presenter:

Markus Claaßen

Corporate Account and Solution Manager Tissue DACH and Eastern Europe

BTG Instruments GmbH

Germany

UŠTEDA ELEKTRIČNE ENERGIJE U PAPIRNOJ INDUSTRIJI

ENERGY SAVINGS IN THE PAPER INDUSTRY

Miroslav Ribarić

Innomotics d.o.o., Beograd

Izvod

Dva pogona su modernizovana, na pogonu mlina celuloze je izvena kompleta rekonstrukcija koja je uključila zamenu postojećih motora i ugradnju novog srednjenaponskog regulatora sa povećanjem snage. Ovim rekonstrukcijom se postigla veća proizvodnja, povećala sigurnost pogona, te je izvršena kompezacija, a samim tim smanjen je udar na električnu energiju.

Uradnjom novog motora, povećana je efikasnost, odnosno smanjena je potrošnja električne energije. Na drugom novom pogonu ventilatora, ugrađen je takođe srednjenaponski ventilator i motor koji imaju mogućnost menjanja brzine bez uticaja na mrežu, a samim tim i smanjenja potrošnje električne energije.

Ključne reči: Smanjenje električne energije, energetska efikasnost, frekventa regulacija

Abstract

Two drives were modernized, a complete reconstruction was performed on the pulp mill drive, which included the replacement of existing motor and the installation of a new medium voltage drive with increased power. With this reconstruction, higher production was achieved, the safety of the drive was increased, and compensation was carried out, thus reducing the impact on electricity.

By installing a new motor, efficiency has been increased, that is, electricity consumption has been reduced. On the second new fan drive, a medium-voltage drive and motor were also installed, which have the ability to change the speed without affecting the network, and thus reducing electricity consumption.

Keywords: Power saving, energy efficiency, frequency regulation

Presenter:

Miroslav Ribarić

Innomotics d.o.o., Beograd

miroslav.ribaric@innomotics.com

