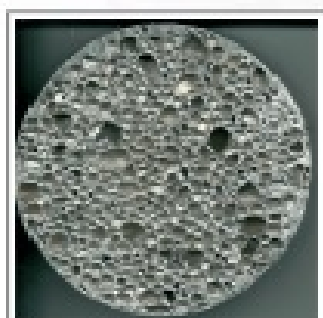
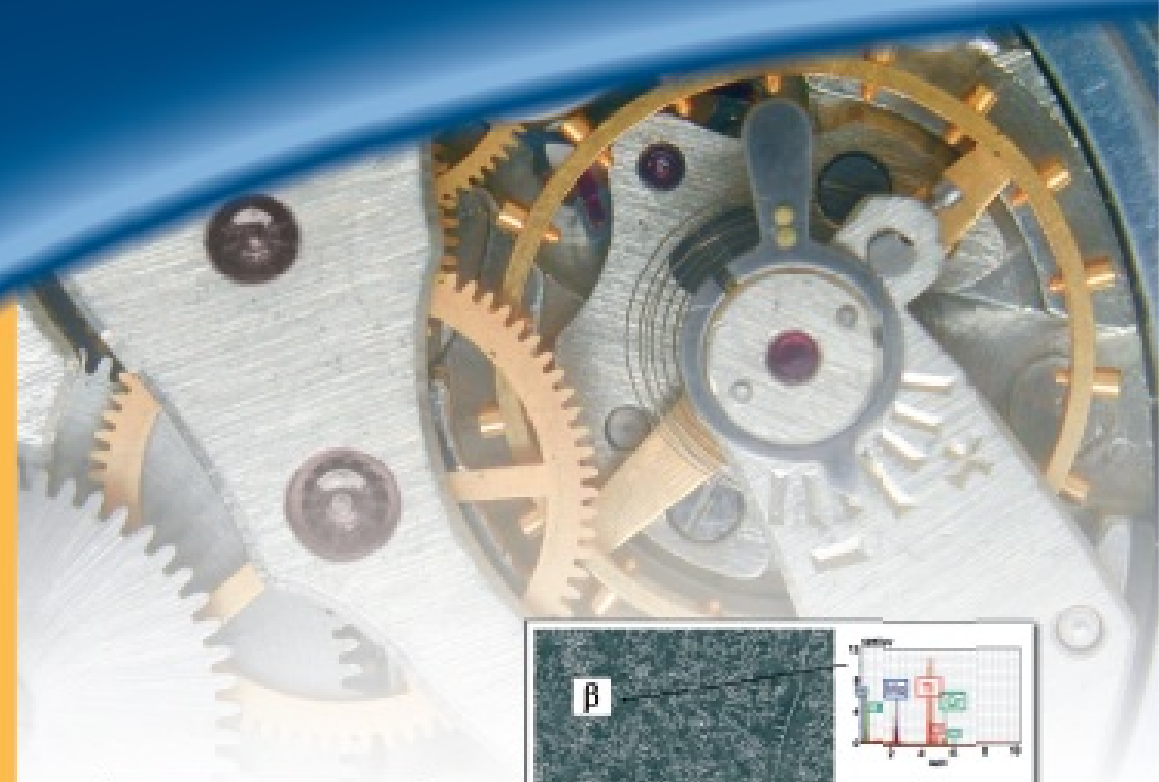
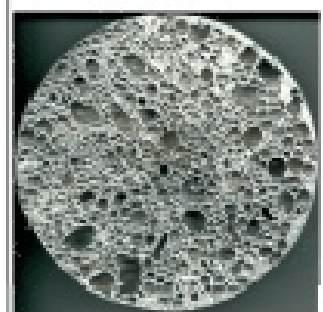


# Tehnički Glasnik

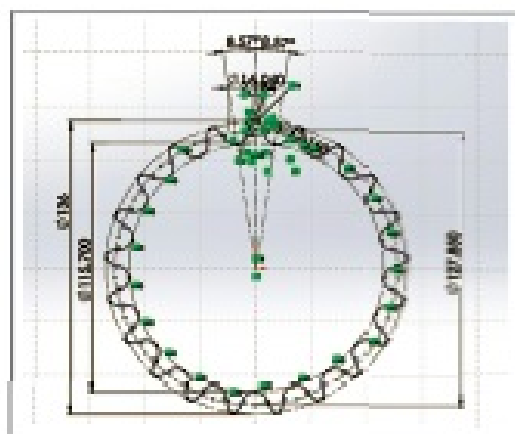
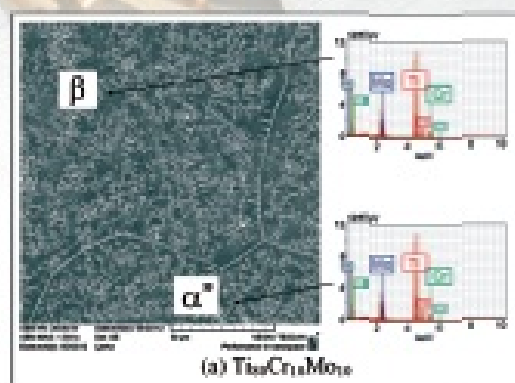
## Technical Journal



a)  $\rho = 0,875 \text{ g/cm}^3$



b)  $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$



ISSN 1846-6168

Godište (Volume) 6

Broj (Number) 2

Stranica (Pages) 115-239

Varaždin, prosinac (December) 2012.

# TEHNIČKI GLASNIK TECHNICAL JOURNAL

Znanstveno-stručni časopis Veleučilišta u Varaždinu  
Scientific professional journal of Polytechnic of Varaždin

Godište (Volume) 6  
Varaždin, prosinac (December) 2012.

Broj (Number) 2  
Stranica (Pages) 115-239

**Adresa uredništva (Address of Editorial Office):**

Veleučilište u Varaždinu – Tehnički glasnik  
J. Križanića 33, HR-42000 Varaždin, Hrvatska;  
Tel. ++385/ 42/ 493 328, Fax. ++385/ 42/ 493 333  
e-mail: [casopis@velv.hr](mailto:casopis@velv.hr)  
[http://www.velv.hr/main/o\\_nama/knjiznica/tehnicki\\_glasnik](http://www.velv.hr/main/o_nama/knjiznica/tehnicki_glasnik)

**Osnivač i izdavač (Founder and Publisher):**

Veleučilište u Varaždinu

**Savjet časopisa (Council of Journal):**

Predsjednik Marin MILKOVIĆ (VELV Varaždin), član Milan KLJAJIN (SF Slavonski Brod), član Ante ČIKIĆ (VTŠ Bjelovar), član Krešimir BUNTAK (MS Koprivnica), član Živko KONDIĆ (VELV Varaždin)

**Urednički odbor (Editorial Board):**

Marin MILKOVIĆ, Živko KONDIĆ, Damir VUSIĆ, Ivan ŠUMIGA, Marko STOJIC, Goran KOZINA (VELV Varaždin); Krešimir BUNTAK (MS Koprivnica); Duško PAVLETIĆ i Branimir PAVKOVIĆ (TF Rijeka); Božo SOLDÓ (GTF Varaždin); Nikola MIRVAC i Igor ZJAKIĆ (GF Zagreb); Biserka RUNJE i Krešimir GRILEC (SF Zagreb); Ivan SAMARDŽIĆ, Dražan KOZAK, Leon MAGLIĆ (SF Slavonski Brod); Ante ČIKIĆ (VTŠ Bjelovar); Ante STOJIC (VELSB Slavonski Brod); Srđan MEDIĆ (VELK Karlovac); Goran BELAMARIĆ (TV Zagreb); Mijo VRHOVSKI (VERN Zagreb)

**Međunarodni urednički savjet (International Editorial Council):**

Boris TOVORNIK (UM FER Maribor); Nenad INJAC (KPH Wien/Krems); Džafer KUDUMOVIC (MF Tuzla); Marin PETROVIĆ (MF Sarajevo); Salim IBRAHIMEFENDIĆ (KF Kiseljak); Zoran LOVREKOVIĆ (VTŠ Novi Sad)

**Glavni urednici (Editors-in-Chief):**

Živko KONDIĆ, Marin MILKOVIĆ

**Tehnički urednici (Technical Editor):**

Milan KLJAJIN, Džafer KUDUMOVIC

**Grafički urednik (Graphics Editor):**

Dean VALDEC

**Tajništvo (Secretary Office):**

Maja GOTAL

**Lektori i prevoditelji (Linguistic Advisers and Translators):**

Ivana GRABAR (za engleski jezik)  
Ljiljana ŠARAC (za hrvatski jezik)

**Informatička podrška (IT support):**

Davor LEVANIĆ

Svi objavljeni članci u časopisu su recenzirani (All papers published in journal have been reviewed)

Časopis je besplatan i izlazi u dva broja godišnje (The journal is free and published two issues per year)

Naklada (Circulation): 150 primjeraka (issues)

Časopis je referiran u (Journal is referred in):

EBSCOhost

Hrčak - Portal znanstvenih časopisa RH

Rukopisi se ne vraćaju (Manuscripts are not returned)

**Registracija časopisa (Registration of journal):**

Časopis "Tehnički glasnik" upisan je u Upisnik HGK o izdavanju i distribuciji tiska 18. listopada 2007. godine pod rednim brojem 825.

**Uređenje zaključeno (Preparation ended):**

Studeni (November) 2012.

## SADRŽAJ

## CONTENT

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Matković D.</i><br><b>SPEKTRALNE KARAKTERISTIKE VIDEOKAMERA I NJIHOVO USKLADIVANJE S PRIMARIMA ZASLONA</b><br>VIDEO CAMERAS SPECTRAL RESPONSIVITY FUNCTIONS AND THEIR MATCHING WITH ANALYSIS FUNCTIONS OF THE DISPLAY PRIMARIES                                                           | 115 |
| <i>Vlah N., Maroević F., Mađerić D.</i><br><b>HORIZONTALNA PREŠA-BALIRKA POTISKA 30 TONA</b><br>HORIZONTAL PRESS-BALER WITH THRUST FORCE OF 30 TONS                                                                                                                                          | 123 |
| <i>Štrkalj A., Glavaš Z., Sladojević M.</i><br><b>ODREĐIVANJE ČISTOĆE POVRŠINE METALNIH I KERAMIČKIH UZORAKA</b><br>DETERMINING THE SURFACE CLEANLINESS OF METAL AND CERAMIC SAMPLES                                                                                                         | 131 |
| <i>Novosel - Radović V., Radović N., Balen M.</i><br><b>KARAKTERIZACIJA KOROZIONIH PRODUKATA CJEVOVODA TERMoeLEKTRANE</b><br>THE CHARACTERIZATION OF POWER PLANT PIPE LINES CORROSION PRODUCTS                                                                                               | 134 |
| <i>Horvat M., Kondić V.</i><br><b>PRIMJERI MODIFICIRANIH POSTUPAKA MIG/MAG ZAVARIVANJA</b><br>THE EXAMPLES OF MODIFIED PROCEDURES OF MIG/MAG WELDING                                                                                                                                         | 137 |
| <i>Hršak B., Golubić S., Pogledić I.</i><br><b>REKONSTRUKCIJA EKSCENTAR PREŠE</b><br>RECONSTRUCTION OF AN ECCENTRIC PRESS                                                                                                                                                                    | 141 |
| <i>Glavaš Z., Štrkalj A., Kozina F.</i><br><b>PROCJENA BROJA NODULA I NODULARNOSTI U ODLJEVCIMA OD NODULARNOG LIJEVA KORIŠTENJEM TOPLINSKE ANALIZE</b><br>THE ASSESSMENT OF THE NODULE COUNT AND NODULARITY IN DUCTILE IRON CASTINGS BY USING THERMAL ANALYSIS                               | 145 |
| <i>Kukec Đ., Dušak Ž.</i><br><b>STVARANJE OSNOVNIH GRAFIČKIH DIJELOVA ELEKTROPROJEKTA</b><br>CREATION OF BASIC GRAPHICAL ELEMENTS FOR ELECTRICAL ENGINEERING PROJECT DOCUMENTATION                                                                                                           | 151 |
| <i>Šumiga I., Vrhovski Z., Šalamunec T.</i><br><b>POHRANA I RAZMJENA PODATAKA U SUSTAVU POKRETNE PLATFORME UPRAVLJANE MIKROKONTROLEROM</b><br>SAVING AND EXCHANGING DATA IN THE SYSTEM OF MOBILE PLATFORM MANAGED BY A MICROCONTROLLER                                                       | 156 |
| <i>Havaš, L., Lesar M.</i><br><b>PRIMJENA SQL-a U PROGRAMIMA OTVORENOG KODA</b><br>USING SQL IN THE OPEN SOURCE PROGRAMMES                                                                                                                                                                   | 164 |
| <i>Živković D., Gabrić I., Šitić S.</i><br><b>UTJECAJ NISKO I VISOKOG POPUŠTANJA NA TVRDOĆU ČELIKA EN 42CRMO4</b><br>THE INFLUENCE OF LOW AND HIGH ANNEALING ON THE HARDNESS OF STEEL EN 42CRMO4                                                                                             | 171 |
| <i>Slokar Lj., Matković T., Matković P.</i><br><b>USPOREDBA MIKROSTRUKTURNIH KARAKTERISTIKA BIOME DICINSKIH Ti (70,80 AT.%) -Cr-Mo I Ti(70,80 AT.%) -Nb-Zr LEGURA</b><br>COMPARISON OF MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS FOR BIOMEDICAL Ti(70,80 at.%) -Cr-Mo AND Ti(70,80 at.%) -Nb-Zr ALLOYS | 178 |
| <i>Grilec K., Bojanić V.</i><br><b>PONOVLJIVOST ISPITIVANJA SVOJSTAVA APSORPCIJE ENERGIJE ALUMINIJSKE PJENE</b><br>REPRODUCIBILITY OF ENERGY ABSORPTION PROPERTIES OF ALUMINIUM FOAMS                                                                                                        | 183 |
| <i>Hršak B., Čikić A., Katić D.</i><br><b>PROJEKTIRANJE, IZRADA I TESTIRANJE CNC GLODALICE</b><br>DEVELOPING, CONSTRUCTING AND TESTING A CNC MILLING MACHINE                                                                                                                                 | 187 |
| <i>Kovačić G., Kondić Ž.</i><br><b>STATISTIČKA ANALIZA SPOSOBNOSTI PROCESA PROIZVODNJE STRETCH FOLIJE</b><br>STATISTICAL ANALYSIS OF STRETCH FILM PRODUCTION PROCESS CAPABILITIES                                                                                                            | 191 |
| <i>Kopčić A.</i><br><b>VAŽNOST I NEOPHODNOST BIOINŽENJERSKIH METODA U RJEŠAVANJU PROBLEMA EROZIJA I KLIZIŠTA TLA</b><br>THE IMPORTANCE AND NECESSITY OF BIO-ENGINEERING METHODS OF SOLVING THE PROBLEMS OF SOIL EROSION AND LANDSLIDES                                                       | 199 |
| <i>Mirković V., Užar J.</i><br><b>PRIMJENA METODE KONAČNIH ELEMENATA U GRAĐEVINARSTVU</b><br>APPLICATION OF FINITE ELEMENTS METHOD IN CIVIL ENGINEERING                                                                                                                                      | 202 |
| <i>Ladišić M.</i><br><b>GRADITELJSKI SPOMENICI PROHUJALIH EPOHA I STILOVA</b><br>MONUMENTS OF PAST ERAS AND STYLES                                                                                                                                                                           | 207 |
| <i>Užar J.</i><br><b>UBICI VODE U VODOOPSKRBNOM SUSTAVU</b><br>WATER LOSSES IN WATER SUPPLY SYSTEM                                                                                                                                                                                           | 213 |

---

*Petrić D., Vusić D., Geček R.*

**KARTONI: OD PROIZVODNJE DO KONAČNE PRIMJENE**

**219**

PAPERBOARD: FROM THE PRODUCTION TO THE FINAL USE

*Buntak K., Grgurević D., Droždek I.*

**MEĐUSOBNI ODNOS LOGISTIČKIH I TRANSPORTNIH SUSTAVA**

**228**

MUTUAL RELATION BETWEEN LOGISTICS AND TRANSPORTATION SYSTEMS

*Zdelar A., Milković M., Valdec D.*

**USPOREDBA FLEKSOGRAFSKOG I DIGITALNOG TISKA ETIKETA IZ ROLE**

**233**

COMPARISON OF FLEXOGRAPHY AND DIGITAL ROLL LABELS PRINTING

**Zanimljivosti** (Curiosities)

**III**

**Naputak autorima** (Instructions for authors)

**IV**

## SPEKTRALNE KARAKTERISTIKE VIDEOKAMERA I NJIHOVO USKLAĐIVANJE S PRIMARIMA ZASLONA

### VIDEO CAMERAS SPECTRAL RESPONSIVITY FUNCTIONS AND THEIR MATCHING WITH ANALYSIS FUNCTIONS OF THE DISPLAY PRIMARIES

*Dragan Matković*

Pregledni rad

**Sažetak:** Dobivanje i obrada videosignala u digitalnim videokamerama temelji se na principima trikromatske kolorimetrije. Kolorimetrijski ispravna reprodukcija boja postignuta je ukoliko se boje svjetlosti s elemenata iz snimane scene i elemenata dobivenih reprodukcijom boja na zaslonima (CRT-Cathode Ray Tube, LCD-Liquid Crystal Display, PDP-Plasma Display Panel) podudaraju u kolorimetrijskom smislu. Kolorimetrijski uvjeti izvode se iz poznavanja načina kako spektralnu gustoću snage izvora svjetlosti (primarnih i sekundarnih) elemenata snimane scene preoblikovati u tri komponente sa spektralnim karakteristikama gustoće snage za crvenu, zelenu i plavu svjetlost. Zatim, kako iz dobivenih komponenata prijeći nazad na onakav spektralni sastav svjetlosti, dobiven zračenjem sa zaslona, koji je s kolorimetrijskog stajališta u granicama dopuštenih odstupanja u reprodukciji boja. Tehničko rješenje vjernog prijenosa boja digitalnim videosustavima još od samih početaka razvoja televizije u boji temeljilo se na poznavanju osobina ljudskog vida i razumijevanju fizikalnog procesa snimanja i reprodukcije boja. Jedno od rješenja koje koristi linearnu matricu u obradi signala iz slikovnih senzora prikazano je u ovom članku.

**Ključne riječi:** osobine ljudskog vida, krivulje za miješanje boja, spektralne karakteristike primara zaslona, korekcijska linearna matrica

Review article

**Abstract:** Colour image data captured and processed by digital video cameras are based upon trichromatic properties of human colour vision. Colorimetrically correct analysis to be presented makes the assumption that perfect or ideal analysis will result in a reproduction on a monitor (CRT-Cathode Ray Tube, LCD-Liquid Crystal Display, PDP-Plasma Display Panel) such that the chromaticity coordinates of the displayed colour and the original are the same. The science of colorimetry concerns the relationship between spectral power distribution and three components called tristimulus values that specify a colour. Accurate colour reproduction depends on knowing exactly how the physical spectra of the original scene are transformed into these components, and exactly how the components are transformed to physical spectra at the display. The colour fidelity of a digital video signal source was well known in the early days of colour television and was based on the trichromatic nature of human vision and very subtle and important point about colour capture and reproduction. One of the solutions with substantially improved colour fidelity achieved by a linear matrix included in the signal chain is described in this paper.

**Key words:** fundamentals of vision, colour-matching functions, spectral power distributions (SPD) for display primaries,  $3 \times 3$  linear matrix

## 1. UVOD

Optička slika snimane scene projicira se na slikovne senzore videokamere. Videokamere građene su najčešće s jednim ili tri slikovna senzora. Kod videokamera s jednim slikovnim senzorom koristi se uzorak od četiri filtra ( $2 \times 2$ ) u R-G-G-B kombinaciji koji se periodički ponavlja preko cijele površine slikovnog senzora. Uzorak je poznat pod nazivom Bayerov prema istraživaču Bruce Bayeru (iz tvrtke Kodak) koji ga je izumio 1976. godine. Videokamere s tri slikovna senzora koriste dikroidna zrcala kao filtre koji dolazno svjetlo iz objektiva spektralno rastavljaju na crvenu (R), zelenu (G) i plavu

svjetlost (B). Ove tri obojene svjetlosti su optičke slike snimane scene i projiciraju se svaka na posebni slikovni senzor (CCD-Charge-Coupled Device ili CMOS-Complementary Metal-Oxide-Semiconductor tipa) [1]. Prijenosna spektralna karakteristika u optičkom dijelu kamere zavisi od kvalitete leća, filterarskih karakteristika dikroidnih zrcala (za crvenu, zelenu i plavu svjetlost), filterarskih karakteristika ND (Neutral Density) filtera, filterarskih karakteristika optičkih R,G,B filtera ispred samih slikovnih senzora, spektralne osjetljivosti samih slikovnih senzora i linearne matrice (elektronički sklop) koja se nalazi neposredno iza slikovnog senzora nakon linearne optičko-električne transformacije. Najveći

utjecaj na spektralnu osjetljivost videokamere imaju optički R,G,B filtri i linearna matrica. Ukupna osjetljivost ovih videokamera oko dva puta je veća od onih s jednim slikovnim senzorom.

## 2. SPEKTRALNE KARAKTERISTIKE IZVORA SVJETLOSTI, TRIKROMATSKA OSOBINA VIDA I KRIVULJE ZA MIJEŠANJE BOJA

Boja određene svjetlosti određena je razdiobom gustoće snage zračenja svjetlosnog izvora u ovisnosti od valne duljine svjetlosti. Najčešće se u spektralnim karakteristikama svjetlosti prikazuje ovisnost fizikalne (radiometrijske) veličine gustoće snage zračenja ( $\frac{W}{sr \cdot m^2}$ ) od valne dužine zračenja (svjetlosti). Gustoća snage zračenja (Spectral Power Distribution) naziva se radijancija (slika 1). Radijancija ( $L$ ) odgovara fotometrijskoj (psihofizičkoj) veličini gustoći jakosti svjetlosti ( $L_v$ ).

$$L_v = K_m \cdot \int_{380}^{780} L \cdot V(\lambda) d\lambda$$

$K_m$ - konstanta koja zavisi od jedinica za radijanciju i gustoće jakosti svjetlosti (luminanciju).

$V(\lambda)$ - funkcija relativne osjetljivosti ljudskog oka (krivulja luminoznosti). Predložena od CIE 1924.godine za privremeno korištenje ali je kasnije trajno usvojena.

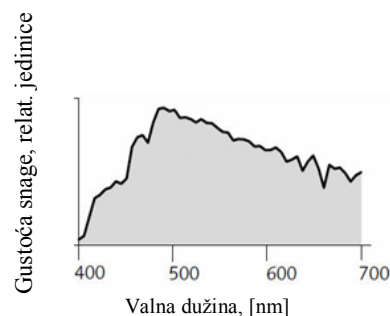
Gustoća jakosti svjetlosti naziva se sjaj ili luminancija, a izražava se u mjernim jedinicama kandelama po kvadratnom metru ( $\frac{cd}{m^2} = nit[nt]$ ).

Jedan od načina da se reproducira boja je reprodukcija njene gustoće snage zračenja (spektralna karakteristika) te se naziva spektralna reprodukcija. Ovaj način vodio bi podjeli valnog područja vidljive svjetlosti od 400nm do 700nm na 31 segment, svaki širine 10nm. Korištenje 31-og podatka za svaki element slike (piksel) bio bi vrlo ne ekonomičan način kodiranja slike. Zahvaljujući trikromatskoj osobini vida te korištenjem odgovarajućih težinskih funkcija (krivulja za miješanje boja), boje snimane scene moguće je izjednačiti s bojama na prikazanoj slici (zaslonu) miješanjem svjetlosnih boja tri svjetlosna izvora (primara), koji su pažljivo odabrani u spektru vidljive svjetlosti u skladu sa značajkama ljudskog vida. Ovaj način reprodukcije boje, uz korištenje 3 podatka za svaki element slike, naziva se tropodražajna reprodukcija.

Kako je za većinu sustava za reprodukciju slike u boji, s tehničkog stajališta, dovoljno koristiti vrijednosti krivulja za miješanje boja standardnog promatrača za svaki 10nm korak od 400nm do 700nm, to znači da je cijela spektralna karakteristika podijeljena na 31 segment. CIE krivulje za miješanje boja dane su tablično posebno za 1nm i za 5nm korak od 380nm do 780nm [2]. Obzirom da je osjetljivost ljudskog oka ispod 400nm i

iznad 700nm svega jedan postotak svoje maksimalne osjetljivosti, uzima se u obzir samo područje od 400nm do 700nm. Znači, za specifikaciju boja nije potrebno specificirati spektralnu karakteristiku (slika 1), već su dovoljnije tri vrijednosti (količine kolorimetrijskih primara) nazvane tropodražajne vrijednosti. Tropodražajne vrijednosti određene su kromatskim koordinatama u kromatskom dijagramu i vrijednošću luminancije. Reprodukciom boja tropodražajnim vrijednostima ostvaruje se izjednačenje boja snimane scene i boja prikazane slike na zaslonu.

Boje na zaslonu su metameri boja u snimanoj sceni. Stupnjem metamerizma određena je veličina razlike između spektralnih karakteristika dvaju boja koje su definirane istim tropodražajnim vrijednostima. Zahvaljujući metamerizmu dovoljna su tri primara za dobivanje boje aditivnim miješanjem u oku promatrača. Međutim, dobivanje boja miješanjem komponenata čiji je broj manji od 31 (odgovara svim komponentama u području spektra) nužno zahtijeva definiranje referentne svjetlosti (slika 1).

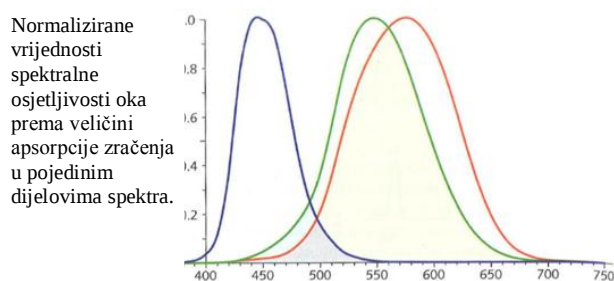


**Slika 1.** Gustoća snage zračenja CIE D<sub>65</sub> izvora svjetlosti [3]

Referentna svjetlost je definirana svojom spektralnom karakteristikom i temperaturom boje. Referentnom svjetlošću se osvjetljavaju elementi scene čije boje se žele izjednačiti s bojama određenih količina primara na zaslonu. Nije moguća potpuno točna reprodukcija boje s tri aditivna primara koja bi podrazumjevala točni opis spektralne karakteristike boje elementa iz scene nastale umnoškom spektralne karakteristike rasvjete i spektralne karakteristike koeficijenta refleksije elementa scene. Boje nastale reflektiranjem svjetla s elemenata iz snimane scene ne ovise samo od pigmenta, već i od spektralne karakteristike rasvjete. Za postizanje izjednačenja boje dva elementa u sceni snimanih s rasvjetama različitih spektralnih karakteristika potrebno je postići izjednačenje spektara takva dva elementa scene.

Znači videokamera je onoliko točna u analiziranju vrste boje snimane scene ukoliko i samo ukoliko stvori na svojim izlazima različite tropodražajne vrijednosti (R,G,B vrijednost) od boja različitih spektralnih karakteristika, a koje se i ljudskim vidom doživljavaju kao različite boje u snimanoj sceni. Da bi se videokamera ponašala kao ljudsko oko filterske karakteristike (spektralna osjetljivost) videokamere moraju biti vrlo slične spektralnoj osjetljivosti oka (slika 2).

Spektralna osjetljivost oka vezana je za tri krivulje spektralne osjetljivosti čunjića za *plavi*, *zeleni* i *crveni* dio spektra. Prema CIE (Comission Internationale d'Éclairage- međunarodni odbor za rasvjetu) normama usvojenim 1931. godine definirane su krivulje za miješanje boja (krivulje za izjednačenje boja, težinske funkcije, distribucijski koeficijenti) standardnog promatrača kojima je na temelju brojnih eksperimenata karakteriziran odnos između spektralne karakteristike svjetlosti i opažene boje (slika 3). Dakle, normama CIE nije se pokušalo odrediti spektralne osjetljivosti čunjića već uspoređivanjem mješavine svjetlosnih izvora (određene zadane boje) s mješavinom tri izvora različite spektralne karakteristike svjetlosti, odrediti udio pojedinih svjetlosnih tokova u mješavini potrebnih za vizualno izjednačenje sa zadanim bojama. Preciznije rečeno karakteristike spektralne osjetljivosti videokamere moraju što točnije odgovarati CIE težinskim funkcijama ili biti njihova linearna kombinacija u cilju točne analize boje snimane scene.



**Slika 2.** Spektralna osjetljivost tri vrste čunjića u mrežnici oka [3], [4]

**S** - krivulja koja odgovara spektralnoj osjetljivosti oka u plavom dijelu spektra vidljive svjetlosti (*S* vrsta čunjića). Vršna osjetljivost je na 440nm.

**M** - krivulja koja odgovara spektralnoj osjetljivosti oka u zelenom dijelu spektra vidljive svjetlosti (*M* vrsta čunjića). Vršna osjetljivost je na 540nm.

**L** - krivulja koja odgovara spektralnoj osjetljivosti oka u crvenom dijelu spektra vidljive svjetlosti (*L* vrsta čunjića). Vršna osjetljivost je na 570 nm.

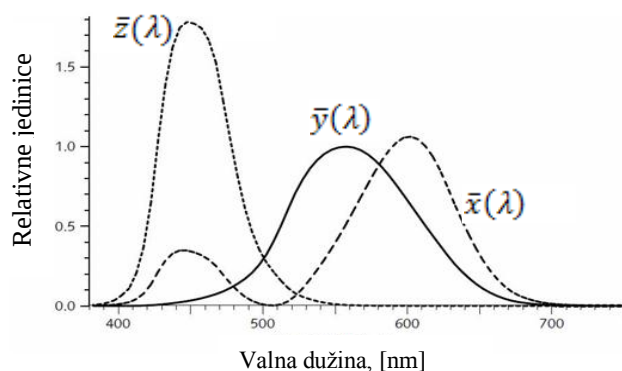
Krivuljama za miješanje boja (težinske funkcije) prema Hunt-Pointer-Estévezu (slika 2) opisane su spektralne osjetljivosti tri vrste čunjića u mrežnici oka [5], [6]. Kod primjene ovih krivulja u videokameri poželjno je radi smanjenja veličine šuma u izlaznim signalima slikovnih senzora krivulju L pomaknuti prema iznosima većih valnih dužina. Međutim, u tom slučaju se pogoršava točnost analiziranih boja.

Oblik krivulja za miješanje boja (težinske funkcije) koje moraju biti primijenjene (ili njihove linearne kombinacije) kod videokamere kao karakteristike spektralne osjetljivosti slikovnih senzora kada se žele analizom obuhvatiti sve boje čovjekove okoline prikazane su na slici 3.

Težinska funkcija  $\bar{y}(\lambda)$  razmjerno je prilagođena (normalizirana) na vrijednost 1 na valnoj dužini 560nm i jednaka je krivulji luminoznosti  $\bar{V}(\lambda) = V(\lambda)$ .

$\bar{x}(\lambda)$  i  $\bar{z}(\lambda)$  težinske funkcije normalizirane su na način da su im vrijednosti integrala jednakake s vrijednošću integrala  $\bar{y}(\lambda)$  funkcije.

Težinske funkcije (kao analizatorske funkcije slikovnih senzora) ne smiju se miješati sa karakteristikama spektralne gustoće snage izvora zračenja. Izračunavanje CIE XYZ tropodražajnih vrijednosti iz težinskih funkcija ( $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ ) izvodi se integriranjem produkta spektralne karakteristike referentne svjetlosti i težinskih funkcija. Ukoliko se umjesto XYZ tropodražajnih vrijednosti primarnih izvora svjetlosti izračunavaju XYZ tropodražajne vrijednosti s površina elemenata u sceni tada se kod izračunavanja uzima u obzir produkt spektralne karakteristike referentne svjetlosti sa spektralnom karakteristikom koeficijenta refleksije ( $\rho$ ) s promatranog elementa u sceni.



**Slika 3.** CIE, 1931., 2° krivulje za miješanje boja (težinske funkcije) [3]

Na slici 4 prikazano je izračunavanje CIE XYZ vrijednosti u diskretnom obliku, za primarne izvore, množenjem transponirane matrice vrijednosti težinskih funkcija ( $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ ) i matrice s vrijednostima spektralne karakteristike izvora svjetlosti  $D_{65}$ . Vrijednosti se odnose na intervale od 10 nm a područje valnih duljina je od 400 nm do 700 nm. Prema tome XYZ vrijednosti opisuju tri svjetlosna izvora čijim bi se miješanjem mogle dobiti sve boje iz čovjekove okoline. Međutim, dogovorom je usvojeno da Y vrijednost nosi podatak o sjajnosti (luminanciji) a da X i Z vrijednosti nose podatke o vrsti boje i zasićenju. Zbog toga je na slici 4 u matrici težinskih funkcija, funkcija  $\bar{y}(\lambda)$  razmjerno prilagođena do vrijednosti 1 na valnoj dužini 560nm (karakteristika osjetljivosti oka,  $\bar{y}(\lambda) = V(\lambda)$ ). Uz pomoć sve tri vrijednosti se može dobiti podatak o svjetlosti (luminanciji i boji).

Na ovaj način definirani CIE XYZ primari nisu fizički izvedivi, ali su jednako korisni kod izračunavanja kromatskih koordinata odnosno specifikacije svih boja u prirodi isto kao i realni (fizički ostvarivi) primari.

Zahvaljujući linearnim odnosima između primara u mješavini svjetlosti prema njihovom udjelu u pojedinim

obojenim svjetlostima koje sudjeluju u mješavini moguće je realizirati bilo koji triplet (R,G,B) kao tropodražajne vrijednosti koji su netrivialna linearna kombinacija X,Y,Z vrijednosti. RGB vrijednosti se dobivaju iz XYZ vrijednosti matričnom ( $3 \times 3$ ) transformacijom.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0143 & 0,0004 & 0,0679 \\ 0,0435 & 0,0012 & 0,2074 \\ 0,1344 & 0,0040 & 0,6456 \\ 0,2839 & 0,0116 & 1,3856 \\ 0,3483 & 0,0230 & 1,7471 \\ 0,3362 & 0,0380 & 1,7721 \\ 0,2908 & 0,0600 & 1,6692 \\ 0,1954 & 0,0910 & 1,2876 \\ 0,0956 & 0,1390 & 0,8130 \\ 0,0320 & 0,2080 & 0,4652 \\ 0,0049 & 0,3230 & 0,2720 \\ 0,0093 & 0,5030 & 0,1582 \\ 0,0633 & 0,7100 & 0,0782 \\ 0,1655 & 0,8620 & 0,0422 \\ 0,2904 & 0,9540 & 0,0203 \\ 0,4334 & 0,9950 & 0,0087 \\ 0,5945 & 0,9950 & 0,0039 \\ 0,7621 & 0,9520 & 0,0021 \\ 0,9163 & 0,8700 & 0,0017 \\ 1,0263 & 0,7570 & 0,0011 \\ 1,0622 & 0,6310 & 0,0008 \\ 1,0026 & 0,5030 & 0,0003 \\ 0,8544 & 0,3810 & 0,0002 \\ 0,6424 & 0,2650 & 0,0000 \\ 0,4479 & 0,1750 & 0,0000 \\ 0,2835 & 0,1070 & 0,0000 \\ 0,1649 & 0,0610 & 0,0000 \\ 0,0874 & 0,0320 & 0,0000 \\ 0,0468 & 0,0170 & 0,0000 \\ 0,0227 & 0,0082 & 0,0000 \\ 0,0114 & 0,0041 & 0,0000 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 82,75 \\ 91,49 \\ 93,43 \\ 86,68 \\ 104,86 \\ 117,01 \\ 117,81 \\ 114,86 \\ 115,92 \\ 108,81 \\ 109,35 \\ 107,80 \\ 104,79 \\ 107,69 \\ 104,41 \\ 104,05 \\ 100,00 \\ 96,33 \\ 95,79 \\ 88,69 \\ 90,01 \\ 89,60 \\ 87,70 \\ 83,29 \\ 83,70 \\ 80,03 \\ 80,21 \\ 82,28 \\ 78,28 \\ 69,72 \\ 71,61 \end{bmatrix}$$

**Slika 4.** Izračunavanje tropodražajnih vrijednosti (XYZ primara) za izvor svjetlosti CIE D<sub>65</sub> [3]

Izračunavanje tropodražajnih vrijednosti množenjem matrica  $[\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)]$  težinskih funkcija s diskretnim vrijednostima nad intervalima od 10 nm s diskretnim vrijednostima karakteristike gustoće snage zračenja CIE D<sub>65</sub> izvora svjetlosti. Ekspozicija T označava operaciju transponiranja matrice. Rezultat množenja matrica su XYZ tropodražajne vrijednosti (primari).

### 3. ODNOS SPEKTRALNE OSJETLJIVOSTI VIDEOKAMERA I SPEKTRALNE GUSTOĆE SNAGE ZRAČENJA PRIMARA ZASLONA

Prema ITU-R Recommendation BT.709 (International Telecommunications Union – Radiocommunications Sector- Broadcast Technology- međunarodna agencija za norme u području telekomunikacija) normama za studijski digitalni video i kodiranje boja za televiziju visoke kvalitete HD (High Definition), [7], definirani su primarni svjetlosni izvori (primari) zaslona prema sljedećoj matrici:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,412453 & 0,357580 & 0,180423 \\ 0,212671 & 0,715160 & 0,072169 \\ 0,019334 & 0,119193 & 0,950227 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{709} \\ G_{709} \\ B_{709} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Referentni izvor svjetlosti za gornje primare je D<sub>65</sub>. U srednjem redu se nalaze koeficijenti vezani uz luminanciju pojedinih primara kod miješanja bijele boje D<sub>65</sub>. Zbog toga što je bijela normalizirana, suma koeficijenata srednjeg reda matrice jednaka je jedinici.

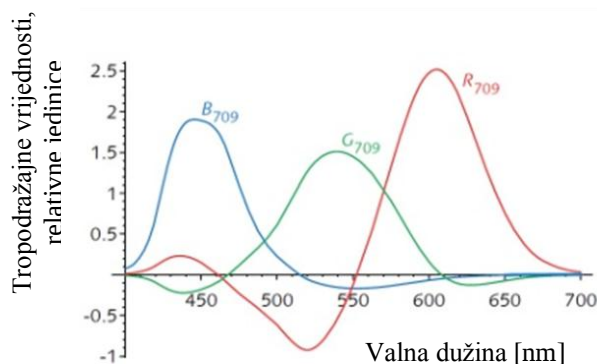
Invertiranjem  $3 \times 3$  matrice dobivaju se BT.709 primari:

$$\begin{bmatrix} R_{709} \\ G_{709} \\ B_{709} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,240479 & -1,537150 & -0,498535 \\ -0,969256 & 1,875992 & 0,041556 \\ 0,055648 & -0,204043 & 1,057311 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Prema negativnim vrijednostima nekih članova matrice može se zaključiti da su XYZ vrijednosti, koje se nalaze izvan područja gamuta BT.709, R,G,B primara, transformirane u negativne ili veće od jedinice R,G,B vrijednosti. Isto tako to znači da se dobivanje svih boja miješanjem tropodražajnih vrijednosti BT.709, R,G,B primara ne može ostvariti s fizičkim R,G,B svjetlosnim izvorima. Međutim, negativne vrijednosti koeficijenata bitne su za kolorimetrijski točnu reprodukciju boja unutar područja zadanog kromatskim koordinatama primara. Ukoliko se u gornju matricu (2) unesu vrijednosti težinskih funkcija  $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  dobivaju se težinske funkcije primara  $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$  prikazane na slici 5.

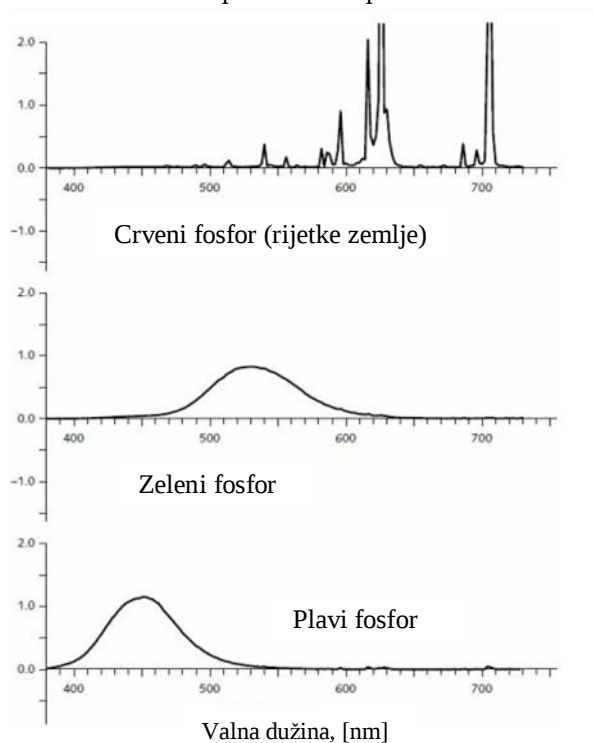
S teoretske strane gledano oblik ovih težinskih funkcija korektan je za kromatske koordinate fizički ostvarivih BT.709 R,G,B svjetlosnih primara (slika 6), međutim s praktične strane oblik ovih krivulja ne može se realizirati u videokamerama kao njihova karakteristika spektralne osjetljivosti.

Karakteristike spektralne osjetljivosti videokamere ne mogu biti realizirane s oblikom koji u sebi sadrži dijelove s negativnim vrijednostima osjetljivosti. Teoretski korektan oblik težinskih funkcija za primare BT.709 s kojima se analiziranjem boja snimane scene dobivaju R,G,B signali prikazan je na slici 5. Pobuđivanjem zaslona koji koriste primare BT.709, ovim R,G,B signalima, dobiva se ispravna reprodukcija boja. Kako zbog negativnih vrijednosti kod ovih karakteristika one nisu ostvarive kao spektralne osjetljivosti videokamere, korištenjem CIE XYZ



**Slika 5.** Krivulje za miješanje boja za BT.709 primare [13]

težinskih funkcija i obradom signala  $3 \times 3$  linearnom matricom one se mogu realizirati kao spektralna osjetljivost videokamere (slika 5). Isto tako, ukoliko se pođe od pretpostavke fizički ostvarivih težinskih funkcija  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ , koje su u cijelom svom području definicije pozitivne (slika 3), kao spektralne osjetljivosti videokamere, dolazi se do problema fizički ne ostvarivih spektralnih karakteristika gustoće jakosti svjetlosti svjetlosnih primara (X,Y,Z) na zaslonu. Razlog je vidljiv u činjenici da se na primjer za dobivanje vrijednosti  $[0,1,0]$  za XYZ primare ne može iz težinskih funkcija  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  odabrati vrijednost amplitude težinske funkcije koja doprinosi Y primaru, a da pri tome istovremeno ne doprinosi X i Z primarima.



**Slika 6.** Spektralne gustoće snage zračenja (Sony Trinitron) BT.709 primara zaslona [3]

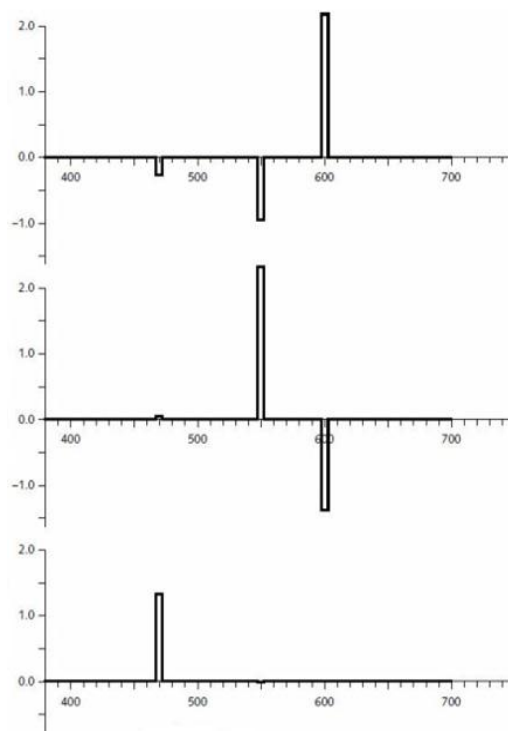
Prikazane spektralne gustoće zračenja (na ordinatama su relativne jedinice) odgovaraju kromatskim koordinatama prema SMPTE RP 145 preporukama[8] koje su slične BT.709 koordinatama. Mnogi oblici karakteristika spektralnih gustoća zračenja fosfora mogu imati ISTE kromatske koordinate.

Nastali problem bi se mogao riješiti tako da se za takve valne dužine, u spektru, vrijednostima spektralnih karakteristika radijance X i Z primara pridruži negativna vrijednost (slika 7). Međutim, negativna vrijednost radijance značila bi za svjetlosni primar negativnu gustoću jakosti svjetlosti, odnosno izvor svjetlosti koji fizički nije ostvariv.

Dakle, zaslone s (X,Y,Z) primarima koji bi bili pobuđeni signalima dobivenim iz videokamere sa spektralnim karakteristikama oblika  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  težinskih funkcija nisu fizički izvedivi.

Zaključak provedenih razmatranja je da se istovremeno ne mogu koristiti fizički ostvarive

karakteristike spektralne osjetljivosti videokamere i karakteristike spektralne gustoće jakosti svjetlosti primara zaslona.



**Slika 7.** Hipotetska spektralna gustoća snage zračenja CIE XYZ primara [3]

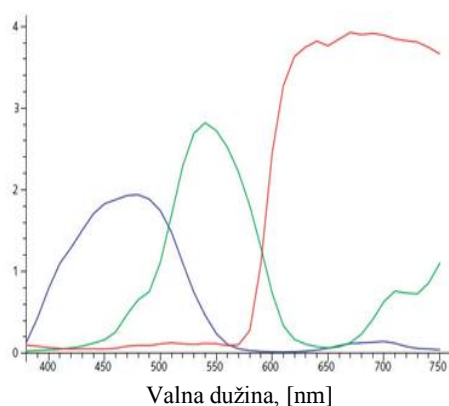
Za izravnu reprodukciju snimane scene s CIE  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  težinskim funkcijama potrebne su spektralne gustoće snage zračenja primara koje nisu fizički ostvarive (na ordinatama su relativne jedinice). Ne mogu se realizirati negativne vrijednosti gustoće snage zračenja. Različite kombinacije spektralnih gustoća snaga za X, Y, i Z primar su moguće. Na slici je prikazan hipotetski primjer s monokromatskim izvorima zračenja na 470, 550 i 600nm.

#### 4. LINEARNA MATRICA

Jedno od rješenja gore spomenute zagonetke, nametnute osobinama ljudskog vida, nalazi se u uvođenju  $3 \times 3$  linearne matrice u obradu signala dobivenih iz slikovnih senzora. Naziv *linearan* prvenstveno se odnosi na obradu signala nakon linearne optičko-električne transformacije fizikalnih veličina (gustoće jakosti svjetla u električni signal na slikovnim sensorima) te znači da se linearni odnosi miješanja svjetlosnih tokova prenose (transformiraju) u linearne odnose između električnih veličina. Nakon matrične korekcije signala slijedi gama korekcija. Uzimajući signale iz tri slikovna senzora konkretne videokamere, čije su karakteristike spektralne osjetljivosti prikazane na slici 8, za direktno pobuđivanje BT.709 R,G,B primara zaslona imat će za posljedicu dobivanje boja vrlo sličnih onima u snimanoj sceni. Na slici 9 su prikazane kromatske koordinate 24 uzorka GretagMacbeth [9] kolor ispitne tablice izmjerene kolorimetrom. Kada se

ista ispitna tablica snimi s konkretnom digitalnom videokamerom (karakteristike prikazane na slici 8), i s R,G,B signalima dobivenim direktno sa slikovnih senzora pobudi zaslon, dobiju se kromatske koordinate za svaku boju ispitne tablice prikazane na slici 10.

Ovdje je važno napomenuti da su kromatske koordinate dobivene reprodukcijom R,G,B signala na zaslonu s BT.709, R,G,B primarima. Nedostatak, odnosno izobličenje u reprodukciji boja vidljivo je kao znatno smanjeno zasićenje boja ispitne tablice. Gubitak zasićenja reproduciranih boja uglavnom je uzrokovan nedostatkom negativnih vrijednosti u karakteristikama spektralne osjetljivosti slikovnih senzora. Očito je da su tri signala na izlazu videokamere interpretirana na zaslonu kao tri primara sa svojim kromatskim koordinatama ( $R_{TSC230}$ ,  $G_{TSC230}$ ,  $B_{TSC230}$ ). (3).

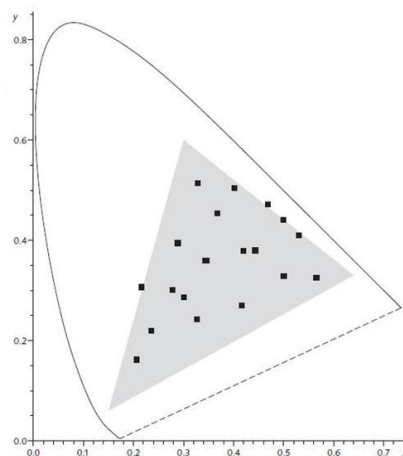


**Slika 8.** Oblik karakteristika spektralne osjetljivosti prosječne digitalne videokamere [13]

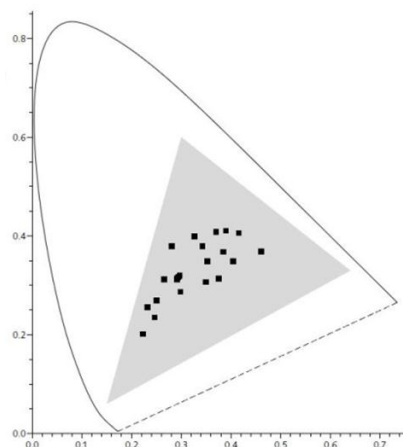
Karakteristika spektralne osjetljivosti konkretne digitalne videokamere razlikuje se od CIE  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  težinskih funkcija te se signali dobiveni sa slikovnih senzora ne mogu interpretirati kao oni koji su potrebni za pobudu XYZ primara. Isto tako oblik ovih karakteristika (na ordinati su relativne jedinice) se razlikuje od onih za BT.709 primare te se signali ne mogu interpretirati kao oni koji su potrebni za pobudu BT.709 primara zaslona. Međutim uz primjenu optimizirane linearne 3x3 matrice mogu se dobiti signali s kolorimetrijski korektnim vrijednostima za pobudu realnih BT.709 primara zaslona.

Pitanje koje se nameće je ima li videokamera na izlazu sa svojih slikovnih senzora definirane primare. Odgovor se nalazi u linearnoj matrici čija uloga je da zadana spektralnu osjetljivost videokamere (digitalnog fotoaparata, digitalne filmske kamere) prilagodi točno definiranim R,G,B primarima zaslona. Drugim riječima, da se linearnim kombinacijama R,G,B spektralnih karakteristika videokamere (slika 11) dobiju takve nove spektralne karakteristike (slika 12) koje se u najvećoj mjeri podudaraju s težinskim funkcijama zadanih primara zaslona (npr. BT.709), (slika 5). Korištenjem samo pozitivnih vrijednosti spektralne osjetljivosti videokamere, bez obrade signala linearnom matricom,

osim smanjenja zasićenja reproduciranih boja dovelo bi do određenih promjena u vrsti reproducirane boje [10].

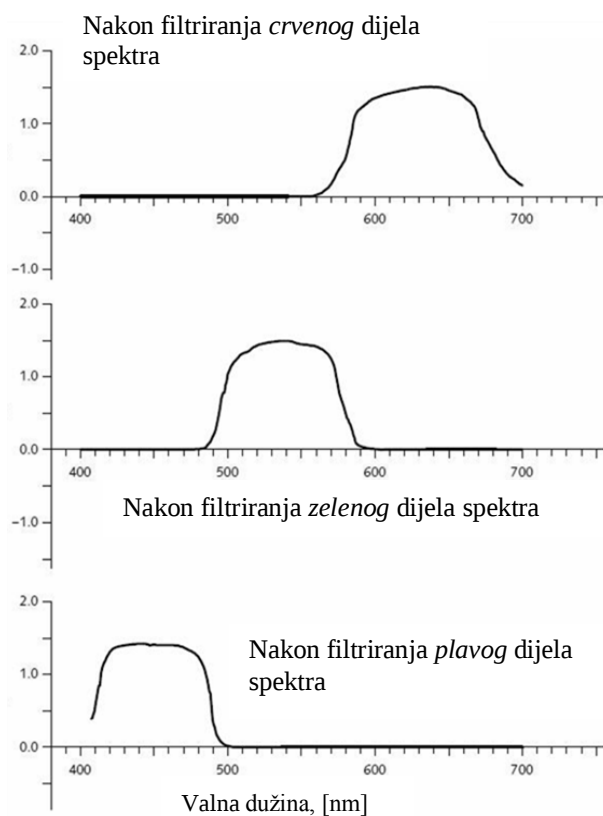


**Slika 9.** Kromatske koordinate boja ispitne tablice u CIE dijagramu boja izmjerene kolorimetrom. Trokutom su obuhvaćene boje koje se mogu reproducirati s BT.709 primarima zaslona [13]

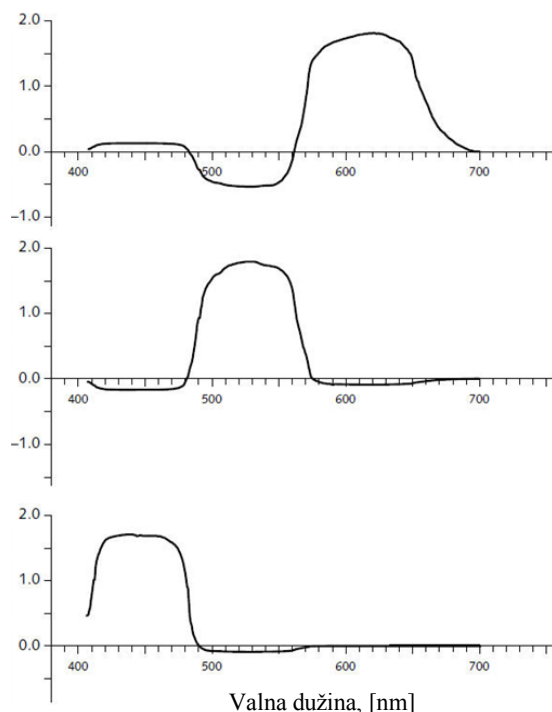


**Slika 10.** Kromatske koordinate boja ispitne tablice dobivene snimanjem konkretnom digitalnom videokamerom i reprodukcijom na zaslonu s BT.709 primarima. Izobličenje u reprodukciji boja uzoraka u vidu smanjenog zasićenja posljedica je izravne primjene R,G,B signala sa slikovnih senzora za pobuđivanje zaslona [13]

Optimizacija linearne matrice podrazumijeva da se za svaku videokameru i definirane primare zaslona odaberu one boje koje se žele kolorimetrijski najtočnije reproducirati. Ostale boje će tada biti reproducirane s manjom točnošću odnosno većim odstupanjem od boja u sceni (izraženo npr.  $\Delta E_{ab}$  metrikom percepcijsko-uniformnog dijagrama boja [11], [12]). Odabrane boje mogu biti boja ljudske kože, skala sivoga, određene monokromatske boje iz područja spektralnih boja i boje elemenata scene (sa svojim spektralnim karakteristikama koeficijentata refleksije) najčešće susretane pod standardnim (referentnim) izvorima rasvjetle.



**Slika 11.** Karakteristike spektralne osjetljivosti videokamere (primjenom dikroidnih zrcala) dobivene na izlazima R,G,B slikovnih senzora [3]



**Slika 12.** Karakteristike spektralne osjetljivosti videokamere nakon obrade matricom optimiziranom za BT.709 primare zaslona [3]

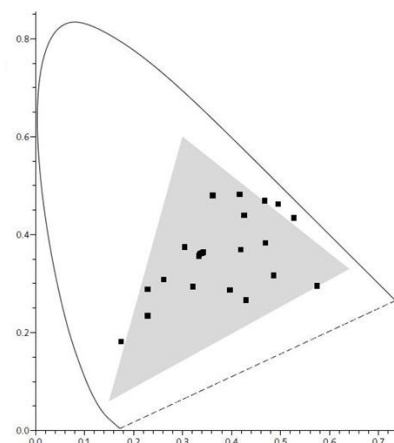
*Karakteristike spektralne osjetljivosti videokamere (na ordinatama su relativne jedinice) dobivene nakon obrade*

*R,G,B signala (dobivenih iz slikovnih senzora prema karakteristikama prikazanim na slici 11) odgovarajućom 3x3 linearnom matricom. Točnost analize boja snimane scene s ovim karakteristikama je onolika koliko se oblik novonastalih karakteristika podudara s idealnim težinskim funkcijama BT.709 primara zaslona prikazanih na slici 5.*

Za karakteristiku spektralne osjetljivosti konkretne videokamere prikazane na slici 8, nakon obrade videosignala linearnom matricom (3), dobivaju se kromatske koordinate reproduciranih boja prikazanih na slici 13, [13].

$$\begin{pmatrix} \hat{R} \\ \hat{G} \\ \hat{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,7659 & 0,7052 & -0,4990 \\ -0,3140 & 1,3283 & -0,1367 \\ 0,0609 & -0,4739 & 1,0326 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{TSC230} \\ G_{TSC230} \\ B_{TSC230} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Obrada videosignala podrazumijevala je optimizaciju linearne matrice za BT.709, R,G,B primare zaslona i za što manje odstupanje kromatskih koordinata boja ispitne tablice od onih dobivenih mjerenjem kolorimetrom. Prosječno odstupanje iznosilo je  $5\Delta E_{ab}$  (ovdje treba imati na umu da vrijednosti luminancija nema u dijagramu boja na slici 13).



**Slika 13.** Korigirane vrijednosti kromatskih koordinata konkretne digitalne videokamere matičnom obradom R,G,B signala [13]

*Kromatske koordinate boja ispitne tablice dobivene snimanjem konkretnom digitalnom videokamerom, matičnom obradom signala i reprodukcijom na zaslonu s BT.709 primarima. Na dijagramu boja su kromatske koordinate uzoraka boja sada vrlo blizu onima dobivenim mjerenjem kolorimetrom prikazanim na slici 9.*

## 5. ZAKLJUČAK

U matičnoj jednadžbi (1) polazište su bile CIE težinske funkcije s XYZ primarima. Ovim primarima obuhvaćene su kromatske koordinate svih boja u čovjekovoj okolini. Korektnost prijenosa podataka o boji u digitalnim videosustavima odnosi se na one boje koje

leže unutar trokuta u kromatskom dijagramu čiji vrhovi imaju koordinate određenih svjetlosnih primara zaslona (gamut boja). Boje s kromatskim koordinatama izvan trokuta ne mogu biti korektno reproducirane. Ukoliko bi videokamera bila konstruirana za prijenos svih boja (s  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  težinskim funkcijama), njena složenost bila bi puno veća, a karakteristike znatno lošije od videokamera s manjim gamutom odnosno s težinskim funkcijama fizički ostvarivih primara (npr. BT.709). Na sreću, najčešće susretane boje u čovjekovoj okolini samo su mali dio ukupnog broja boja. Veliki broj boja nalazi se u središnjem dijelu dijagrama boja, a koji je obuhvaćen trokutom primara zaslona. BT.709 primarima nije obuhvaćen dio boja koji se nalazi u području boja cijana i određenih boja susretanih u tisku. Za reprodukciju na zaslonima i ovih boja razvijaju se videosustavi sa širokim gamutom reprodukcije boja (xvYCC i ostali).

S konstruktivne strane izvedba linearne matrice prema matričnoj jednadžbi (2) u sklopovima obrade signala u videokameri dovodila bi do generiranja neželjenog šuma u R kanalu (koeficijent 3,42 u matrici) i G kanalu. Pojava koeficijenata većih od jedinice u  $3 \times 3$  matrici posljedica je velikog preklapanja  $\bar{x}(\lambda)$  i  $\bar{y}(\lambda)$  težinskih funkcija. Dakle, sa stajališta veličine šuma u R,G,B signalima optimalna matrica bi morala biti jedinična matrica. Iz spomenutih razloga polazište kod projektiranja matrice za određene primare (npr. BT.709) jesu  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  težinske funkcije ali tako da se optimizacijom matrice traže najbolji odnosi između zadovoljavajućih veličina odnosa signala/šuma u R,G,B kanalima, osjetljivosti, prihvatljivog stupnja metamerizma i zadovoljavajuće točnosti u reprodukciji boja. Stupanj metamerizma kod videokamere bit će prisutan u onoj mjeri koliko je odstupanje spektralnih karakteristika, dobivenih nakon obrade signala linearnom matricom, od CIE težinskih funkcija. Metamerizam nije povezan s gamutom određenih primara. Točnost reprodukcije boja osim što je ovisna od spektralne karakteristike videokamere u velikoj mjeri ovisi od spektralnog sastava rasvjete i spektralne karakteristike koeficijenta refleksije elemenata u snimanoj sceni. Optimizacija matrice vrlo tijesno je povezana s izborom filterskih karakteristika R,G,B optičkih filtara, a dimenzioniranje linearne matrice i odabir karakteristika optičkih filtara neposredno su vezani uz fizikalne karakteristike korištenih izvora rasvjete i najčešće susretanih elemenata u snimanim scenama. Dobiveni R,G,B podaci uvijek su jednoznačno povezani s prijenosnom karakteristikom optičko-električne transformacije i kromatskim koordinatama primara koji odgovaraju istima na zaslonima koji su namijenjeni za korektnu reprodukciju boje tih podataka. R,G,B podaci za koje se ne zna na koje primare zaslona se odnose, mogu odabirom krivih zaslona proizvesti znatna kolorimetrijska odstupanja od boja snimane scene.

## 6. LITERATURA

- [1] Schöberl, M.; Brückner, A.; Foessel, S.; Kaup, A.: Photometric Limits for Digital Camera Systems, SPIE Journal of Electronic Imaging, Vol. 21, Num. 2, Jun. 2012
- [2] CIE 15, Colorimetry, 3rd Edition, Vienna, Austria, 2004
- [3] Poynton, C.: Digital video and HDTV algorithms and interfaces, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2003
- [4] Winkler, S.: Digital video quality: vision models and metrics, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 2005
- [5] Hunt, Robert W. G.: The reproduction of Colour, Sixth Edition, Wiley, Chichester, U.K., 2004
- [6] Hunt, Robert W. G., Pointer, Michael R.: Measuring Colour, Fourth Edition, Wiley, Chichester, U.K., 2011
- [7] ITU-R BT.709-5-2002 - Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange, ITU, Geneva, Switzerland, April, 2002
- [8] RP 145:2004 (Archived 2010) SMPTE C Color Monitor Colorimetry
- [9] <http://www.edmundoptics.com/testing-targets/test-targets/color-grey-level-test-targets/gretag-macbeth-colorchecker/1815> (Dostupno: 13.11.2012.)
- [10] Spronson, W.N., Colour Science in Television and Display Systems, Adam Hilger Ltd., Bristol, 1983
- [11] EBU- TECH 3320, User requirements for Video Monitors in Television Production, Geneva, 2010
- [12] EBU- TECH 3335, Methods of measuring the imaging performance of television cameras for the purposes of characterisation and setting, Geneva, January, 2012
- [13] Poynton, Charles: Wide-gamut image capture, in Proc. IS&T CGIV, Fourth European Conf. on Colour in Graphics and Imaging: 471-482, 2010

### Kontakt autora:

**mr. sc. Dragan Matković, dipl.ing.**  
 Veleučilište u Varaždinu  
 J. Križanića 33/6  
 Tel.: 385 42 493325,  
 e-mail: dragan.matkovic@velv.hr

# HORIZONTALNA PREŠA-BALIRKA POTISKA 30 TONA

## HORIZONTAL PRESS-BALER WITH THRUST FORCE OF 30 TONS

**Nikola Vlah, Franjo Maroević, Damir Maderić**

Stručni članak

**Sažetak:** Glavni zadatak ovog članka je opisati problem zbrinjavanja otpada, opisati rad i upravljanje te proračun hidrauličkog sustava preše-balirke. Objašnjena je važnost preše-balirke kod zbrinjavanja, rukovanja i reciklaže otpada. Stroj je izrađen tako da se njime može prešati i balirati sve vrste komunalnog otpada, a u većini slučajeva to je papir, karton te plastična i aluminijska ambalaža. Upravljanje strojem omogućuje elektrohidraulički sustav upravljanja. Strojem se može upravljati ručno i automatski. Ručni rad se koristi samo prilikom servisiranja i održavanja balirke, dok se automatski način rada koristi kod prešanja i baliranja otpada. Izračunate su sve fizikalne veličine potrebne za izradu elektrohidrauličkog sustava preše-balirke, te su na temelju tih vrijednosti odabrani ključni elementi sustava iz kataloga proizvođača hidrauličkih elemenata. Proračunom je ispitana sigurnost na izvijanje klipnjača prilikom opterećenja, što nam osigurava da stroj radi pouzdano i sigurno.

**Ključne riječi:** zbrinjavanje otpada, preša-balirka

Professional paper

**Abstract:** The main task of this article is to describe the problem of waste disposal, description of work, management, and calculation of the hydraulic system of press-baler. The importance of press-baler for disposal, recycling and waste handling is explained. The machine is designed so that it can press all types of communal waste. In the majority of cases it is paper, cardboard, and plastic and aluminium packing. Electro-hydraulic control system manages the machine. The machine can be operated in two modes, manual and automatic. Manual operation is used only during servicing and maintenance of press-baler, while the automatic mode is used for pressing and baling waste. All physical values needed to create electro-hydraulic baling system were calculated, and on the base of calculated values key elements were selected from the catalogue of hydraulic components. The safety at twisting of connecting rod during workload was evaluated with calculation, which ensures us that the machine works reliably and safely.

**Key words:** waste management, press-baler

Popis oznaka:

$A$  [ $m^2$ ] - površina

$a$  - faktor sigurnosti

$d$  [m] - promjer

$E$  [ $N/m^2$ ] - modul elastičnosti

$F$  [N] - sila

$I$  [ $m^4$ ] - plošni moment

$l$  [m] - duljina

$p$  [Pa] - tlak

$Re$  - Reynoldsov broj

$Q$  [ $m^3/s$ ] - protok

$s$  [m] - hod

$t$  [s] - vrijeme

$V$  [ $m^3$ ] - volumen

$w$  [m/s] - brzina

$\delta$  - korekcijski faktor

$\lambda$  - koeficijent trenja

$\eta_{hm}$  – hidrauličko-mehanički koeficijent korisnog djelovanja

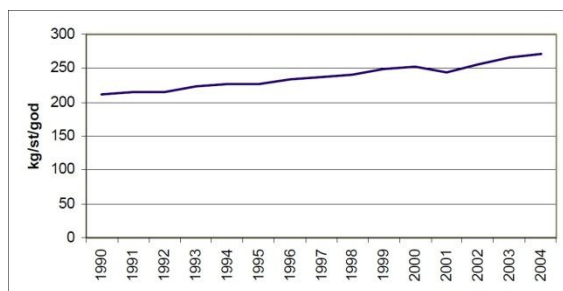
$\nu$  [ $m^2/s$ ] - kinematička viskoznost

$\rho$  [ $kg/m^3$ ] - gustoća

$\xi$  - koeficijent otpora  $\xi_{tt}$

### 1. PROBLEM ZBRINJAVANJA OTPADA

U posljednjih 30-40 godina zabilježen je priličan porast količine otpada. U svijetu danas više od 50 % stanovništva živi i radi u urbanim sredinama gdje je zabilježen najveći porast otpada. Procjenjuje se da se u Republici Hrvatskoj na godinu proizvede i do 10 milijuna tona otpada, od čega se na komunalni otpad odnosi oko 1,5 milijuna tona (ili 270 kilograma po stanovniku). Organiziranim skupljanjem i dovozom otpada na odlagališta obuhvaćeno je otprilike 86% stanovništva Republike Hrvatske.



**Slika 1.** Skupljeni i odloženi komunalni otpad po stanovniku, 1990. – 2004.

Problematici upravljanja otpadom trebalo bi prići tako da se:

- izbjegne i smanji otpad i opasna svojstva otpada čiji se nastanak ne može spriječiti
- odvojeno skuplja otpad i iskoriste se njegova vrijedna svojstva u materijalne svrhe (reciklaža)
- obradi otpad koji se ne može ponovo upotrijebiti
- kontrolirano odlaže ili deponira što manje otpada

Tradicionalno se otpad smatra smećem, no takvo razmišljanje treba mijenjati jer suvremene tehnologije gotovo potpuno omogućavaju iskorištavanje svih vrsta i količina otpada. Postoji više vrsta strojeva koji se koriste i uvelike pomažu u zbrinjavanju, rukovanju, sortiranju i reciklaži otpada.

Ti strojevi su razvrstani u dvije skupine:

- oprema za komunalnu tehnologiju
- strojevi za reciklažu otpada

Opremi za komunalnu tehnologiju pripadaju pužni i hidraulički preskonejneri, rolokontejneri te kamioni smećari, dok strojeve za reciklažu otpada čine preše za baliranje i reciklažna dvorišta.

## 2. OPIS STROJA

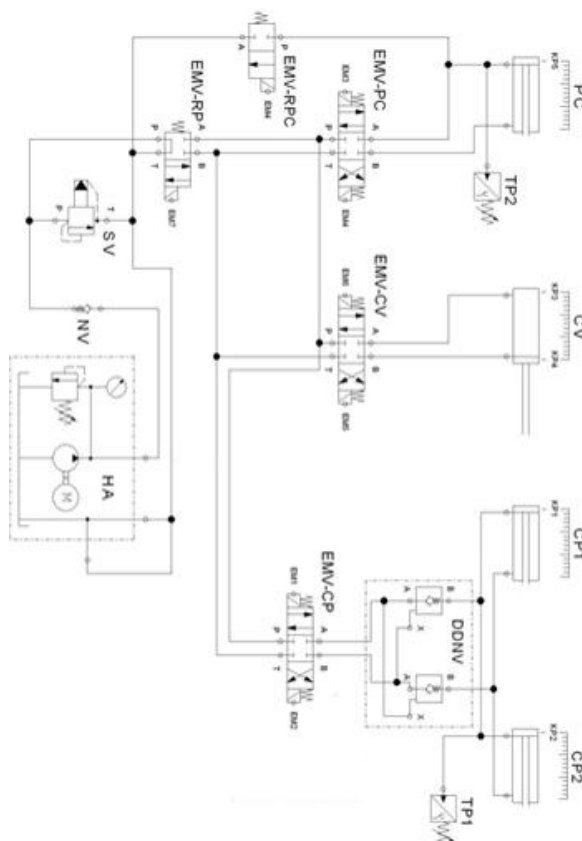
Preša balirka pomoću potisnog cilindra preša i smanjuje radni volumen otpada. Stražnji cilindar služi za spuštanje i podizanje vrata, koja služe kao brana prilikom prešanja. Preostala dva cilindra otvaraju poklopce usipne komore i imaju zadatak da prije prešanja zatvore poklopce da otpad ne bi izlazio prilikom prešanja. Kao sigurnosni element služi zaštitna mreža, te štiti radnika od ozljeda. Ona mora biti u zatvorenom položaju da bi mogli upaliti hidroagregat preše te da možemo početi prešanje. Vezanje (baliranje) otpada je ručna akcija, a obavlja se pomoću mehanizma za vezanje žice koja sprečava rasipanje otpada nakon prešanja. Elektroupravljački ormarić, na kojem se nalaze tipkala za upravljanja, je mozak ovog stroja i pomoću njega se izvode sve operacije osim vezanja otpada u bale.



**Slika 2.** HPB – 30

## 3. HIDRAULIČNA I ELEKTRO SHEMA

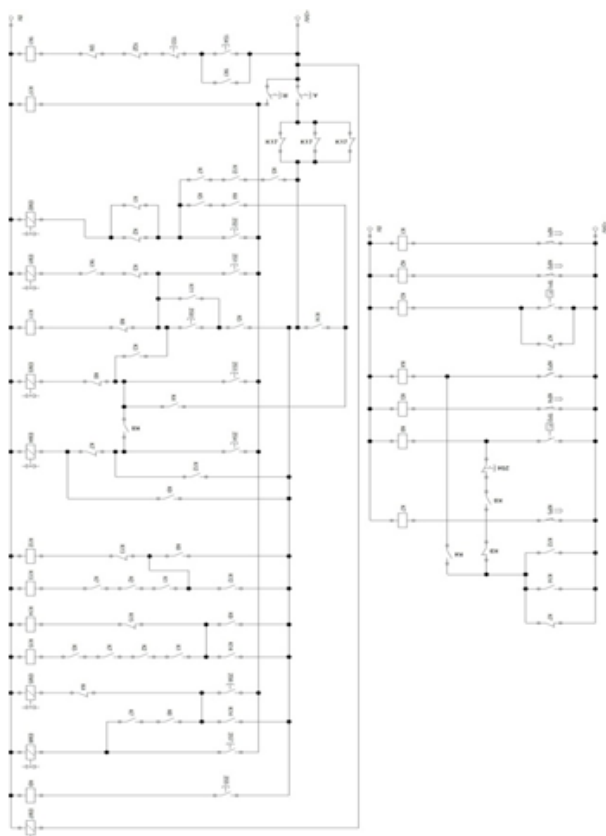
### 3.1. Hidraulička shema



**Slika 3.** Hidraulička shema

Hidraulička shema sastavni je dio svakog hidrauličkog sustava. Ona predočava raspored svih hidrauličkih elemenata da bi se lakše shvatila njena funkcionalnost. Hidroagregat preše-balirke opskrbljuje cijeli hidraulički sustav radnim fluidom. Njegov rad se temelji na konstantnom protoku (dobavi) radnog fluida u sustavu. Sigurnosni ventil omogućuje da tlak u sustavu ne prijeđe maksimalnu dopuštenu vrijednost, kako ne bi došlo do npr. pucanja cjevovoda ili propuštanja brtvi na elementima sustava. Razvodnici usmjeravaju i zatvaraju protok radnog fluida, a najviše se koriste za upravljanje izvršnim elementima (u ovom slučaju cilindrima). Cilindri pretvaraju hidrauličku energiju u mehaničku i na taj način svladavaju zadane sile i opterećenja.

### 3.2. Elektroshema

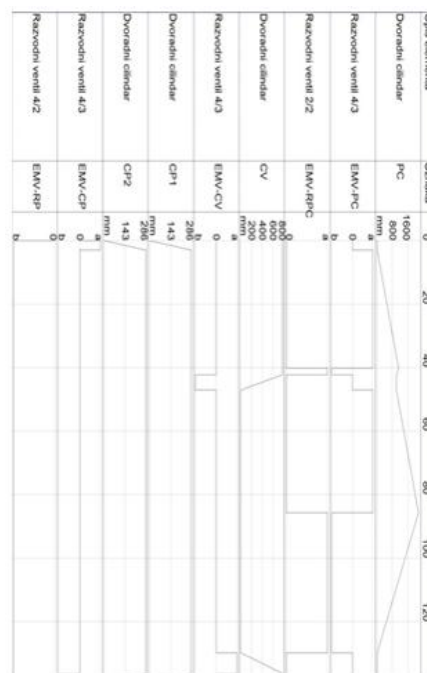


Slika 4. Elektroshema

Elektro-shema se često koristi u hidrauličkim sustavima, ali nije nužna jer se hidrauličkim elementima može upravljati i ručno. Njezin glavni zadatak je upravljanje svim elementima u sustavu koji se mogu upravljati pomoću električne struje. Njezini sastavni dijelovi su preklopnici (sklopnici) i releji, te se njihovom kombinacijom dolazi do određenih funkcija upravljanja strojem.

### 4. DIJAGRAM PUT – KORAK

Ovaj dijagram je sastavni dio hidrauličke sheme, a prikazuje odvijanje radnog procesa ovisno o vremenu. U njemu su uključeni svi upravljački i izvršni elementi. On prikazuje način rada i odvijanje procesa svakog pojedinog elementa, te se iz njega vide korisni tehnički podaci i podaci o načinu rada hidrauličke sheme.



Slika 5. Dijagram put-korak

## 5. PRORAČUN

### ZADANO:

- Sila potisnog cilindra  
 $F_{PC} = 30 \text{ t} = 300000 \text{ N}$
- Sila cilindra vrata  
 $F_{CV} = 3,5 \text{ t} = 35000 \text{ N}$
- Sila cilindra poklopaca  
 $F_{CP} = 2 \text{ t} = 20000 \text{ N}$
- Volumen dobave pumpe  
 $Q_P = 36 \text{ l/min} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{s}$
- Hod klipa potisnog cilindra  
 $s_{PC} = 2155 \text{ mm} = 2,155 \text{ m}$
- Hod klipa cilindra vrata  
 $s_{CV} = 771 \text{ mm} = 0,771 \text{ m}$
- Hod klipa cilindra poklopaca  
 $s_{CP} = 286 \text{ mm} = 0,286 \text{ m}$
- Tlak potisnog cilindra  
 $p_{PC} = 200 \text{ bar} = 20000000 \text{ N/m}^2$
- Tlak cilindra vrata  
 $p_{CV} = 80 \text{ bar} = 8000000 \text{ N/m}^2$
- Tlak cilindra poklopaca  
 $p_{CP} = 75 \text{ bar} = 7500000 \text{ N/m}^2$
- Promjer klipnjače potisnog cilindra  
 $d_{2-PC} = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$
- Promjer klipnjače cilindra vrata  
 $d_{2-CV} = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$
- Promjer klipnjače cilindra poklopaca  
 $d_{2-CP} = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$
- Gustoća radnog fluida  
 $\rho = 878 \text{ kg/m}^3$
- Kinematička viskoznost  
 $\nu = 48 \text{ mm}^2/\text{s} = 0,000048 \text{ m}^2/\text{s}$
- Hidrauličko-mehanički koeficijent korisnog djelovanja

- $\eta_{hm} = 0,9$   
Modul elastičnosti (za CK45)  
 $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$

## 5.1. Dimenzioniranje potisnog cilindra

Površina klipa potisnog cilindra:

$$A_{1-PC} = \frac{F_{PC}}{p_{PC} \cdot \eta_{hm}} = 0,01667 \text{ m}^2$$

Promjer klipa potisnog cilindra:

$$d_{1-PC} = \sqrt{\frac{A_{1-PC} \cdot 4}{\pi}} = 0,146 \text{ m}$$

Promjer klipa potisnog cilindra uspoređuje se sa standardnim promjerima, te se prema izračunatoj vrijednosti iz kataloga proizvođača hidrauličkih cilindara Mapro odabire prvi veći promjer koji iznosi 160 mm, a proračun se ponovi.

Površina klipa potisnog cilindra:

$$A_{1-PC} = \frac{d_{1-PC}^2 \cdot \pi}{4} = 0,020116 \text{ m}^2$$

Tlak potisnog cilindra:

$$p_{PC} = \frac{F_{PC}}{A_{1-PC} \cdot \eta_{hm}} = 16570392,69 \text{ Pa}$$

Izračunata vrijednost zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

Površina klipnjače potisnog cilindra:

$$A_{2-PC} = \frac{d_{2-PC}^2 \cdot \pi}{4} = 0,012272 \text{ m}^2$$

Brzina izvlačenja klipnjače potisnog cilindra:

$$w_{i-PC} = \frac{Q_P}{A_{1-PC}} = 0,0298 \text{ m/s}$$

Brzina uvlačenja klipnjače potisnog cilindra:

$$w_{u-PC} = \frac{Q_P}{A_{1-PC} - A_{2-PC}} = 0,0765 \text{ m/s}$$

Vrijeme izvlačenja klipnjače potisnog cilindra:

$$t_{i-PC} = \frac{s_{PC}}{w_{i-PC}} = 72,25 \text{ s}$$

Vrijeme uvlačenja klipnjače potisnog cilindra:

$$t_{u-PC} = \frac{s_{PC}}{w_{u-PC}} = 28,17 \text{ s}$$

### 5.1.1. Sigurnost od izvijanja potisnog cilindra

Dopuštena sila izvijanja:

$$F_{K \text{ doz}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{PC}}{l_{K-PC}^2 \cdot a} = 382037,862 \text{ N}$$

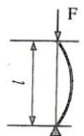
Izabrano opterećenje na potisnom cilindru je manje od izračunate dopuštene sile na izvijanje, pa proračun zadovoljava.

Plošni moment potisnog cilindra:

$$I_{PC} = \frac{d_{2-PC}^4 \cdot \pi}{64} = 1,1984 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Slobodna dužina savijanja potisnog cilindra:

$$l_{K-PC} = 2 \cdot l = 2 \cdot s_{PC} = 4,31 \text{ m}$$

| Tipovi opterećenja prema Euleru                                                    |                                                                                      |                                                                                      |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| tip 1<br>jedan kraj<br>slobodan,<br>drugi upet                                     | tip 2<br>(osnovni tip)<br>dva kraja<br>vođena osloncem                               | tip 3<br>jedan kraj<br>vođen osloncem<br>drugi upet                                  | tip 4<br>dva kraja<br>tvrdo upeta                                                    |
|  |  |  |  |
| $l_K = 2l$                                                                         | $l_K = l$                                                                            | $l_K = l \cdot \sqrt{\frac{1}{2}}$<br>(0,707)                                        | $l_K = \frac{l}{2}$                                                                  |

Slika 6. Tipovi opterećenja prema Euleru

## 5.2. Dimenzioniranje cilindra vrata

Površina klipa cilindra vrata:

$$A_{1-CV} = \frac{F_{CV}}{p_{CV} \cdot \eta_{hm}} = \frac{35000}{8000000 \cdot 0,9}$$

$$A_{1-CV} = 0,0048611 \text{ m}^2$$

Promjer klipa cilindra vrata:

$$d_{1-CV} = \sqrt{\frac{A_{1-CV} \cdot 4}{\pi}} = 0,0787 \text{ m}$$

Promjer klipa cilindra vrata uspoređuje se sa standardnim promjerima, te se prema izračunatoj vrijednosti iz kataloga proizvođača hidrauličkih cilindara Mapro odabire prvi veći promjer koji iznosi 80 mm, a proračun se ponovi.

Površina klipa cilindra vrata:

$$A_{1-CV} = \frac{d_{1-CV}^2 \cdot \pi}{4} = 0,00502655 \text{ m}^2$$

Sila cilindra vrata:

$$F_{CV} = p_{CV} \cdot A_{1-CV} \cdot \eta_{hm} = 36191,16 \text{ N}$$

Površina klipnjače cilindra vrata:

$$A_{2-CV} = \frac{d_{2-CV}^2 \cdot \pi}{4} = 0,00159 \text{ m}^2$$

Brzina izvlačenja klipnjače cilindra vrata:

$$w_{i-CV} = \frac{Q_P}{A_{1-CV}} = 0,1194 \text{ m/s}$$

Brzina uvlačenja klipnjače cilindra vrata:

$$w_{u-CV} = \frac{Q_P}{A_{1-CV} - A_{2-CV}} = 0,1746 \text{ m/s}$$

Vrijeme izvlačenja klipnjače cilindra vrata:

$$t_{i-CV} = \frac{S_{PC}}{w_{i-CV}} = 6,46 \text{ s}$$

Vrijeme uvlačenja klipnjače cilindra vrata:

$$t_{u-CV} = \frac{S_{CV}}{w_{u-CV}} = 4,42 \text{ s}$$

### 5.2.1. Sigurnost od izvijanja cilindra vrata

Dopuštena sila izvijanja:

$$F_{K \text{ doz}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{CV}}{l_{K-CV}^2 \cdot a} = 50130,52 \text{ N}$$

Izabrano opterećenje na cilindru vrata je manje od izračunate dopštene sile na izvijanje, pa proračun zadovoljava.

Plošni moment potisnog cilindra:

$$I_{CV} = \frac{d_{2-CV}^4 \cdot \pi}{64} = 2,013 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Slobodna dužina savijanja potisnog cilindra:

$$l_{K-CV} = 2 \cdot l = 2 \cdot s_{CV} = 1,542 \text{ m}$$

## 5.3. Dimenzioniranje cilindra poklopca

Površina klipa cilindra poklopca:

$$A_{1-CP} = \frac{F_{CP}}{p_{CP} \cdot \eta_{hm}} = 0,002963 \text{ m}^2$$

Promjer klipa cilindra poklopca:

$$d_{1-CP} = \sqrt{\frac{A_{1-CP} \cdot 4}{\pi}} = 0,0614 \text{ m}$$

Promjer klipova cilindra poklopca uspoređuje se sa standardnim promjerima, te se prema izračunatoj vrijednosti iz kataloga proizvođača hidrauličkih cilindra Mapro odabire prvi veći promjer koji iznosi 63 mm, a proračun se ponovi.

Površina klipa cilindra poklopca:

$$A_{1-CP} = \frac{d_{1-CP}^2 \cdot \pi}{4} = 0,003117 \text{ m}^2$$

Sila cilindra poklopca:

$$F_{CP} = A_{1-CP} \cdot p_{CP} \cdot \eta_{hm} = 21039,75 \text{ N}$$

Površina klipnjače cilindra poklopca:

$$A_{2-CP} = \frac{d_{2-CP}^2 \cdot \pi}{4} = 0,0012566 \text{ m}^2$$

Brzina izvlačenja klipnjača cilindra poklopca:

$$w_{i-CP} = \frac{Q_P}{A_{1-CP}} \cdot \frac{1}{2} = 0,096 \text{ m/s}$$

Brzina uvlačenja klipnjača cilindra poklopca:

$$w_{u-CP} = \frac{Q_P}{A_{1-CP} - A_{2-CP}} \cdot \frac{1}{2} = 0,161 \text{ m/s}$$

Vrijeme izvlačenja klipnjača cilindra poklopca:

$$t_{i-CP} = \frac{S_{CP}}{w_{i-CP}} = 2,97 \text{ s}$$

Vrijeme uvlačenja klipnjača cilindra poklopca:

$$t_{u-CP} = \frac{S_{CP}}{w_{u-CP}} = 1,77 \text{ s}$$

### 5.3.1. Sigurnost od izvijanja cilindra poklopca

Dopuštena sila izvijanja:

$$F_{K \text{ doz}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{CP}}{l_{K-CP}^2 \cdot a} = 227441,024 \text{ N}$$

Izabrano opterećenje na cilindrima poklopca je manje od izračunate dopštene sile na izvijanje, pa proračun zadovoljava.

Plošni moment potisnog cilindra:

$$I_{CP} = \frac{d_{2-CP}^4 \cdot \pi}{64} = 1,25664 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Slobodna dužina savijanja potisnog cilindra:

$$l_{K-CP} = 2 \cdot l = 2 \cdot s_{CP} = 0,572 \text{ m}$$

## 5.4. Dimenzioniranje presjeka cjevovoda

Promjer usisne cijevi:

$$d_u \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot w_{\max-u}}} = 0,03192 \text{ m}$$

Promjer tlačnih cijevi:

$$d_t \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot w_{\max-t}}} = 0,01236 \text{ m}$$

Promjer povratnih cijevi:

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot w_{\max-p}}} = 0,01596 \text{ m}$$

Presjeke cjevovoda odabire se prema izračunatim vrijednostima iz kataloga proizvođača hidrauličkih cjevovoda Hansa Flex,

te se odabire:

- za usisnu cijev: PR 35–1.5 V2, odnosno unutarnji promjer 32 mm
- za tlačne cijevi: PR 16–1.5 V2, odnosno unutarnji promjer 13 mm
- za povratne cijevi: PR 20–2 V2, odnosno unutarnji promjer 16 mm

## 5.5. Dimenzioniranje veličine spremnika

Volumen spremnika:

$$V_{sp} = 3 \cdot V_{cil} = 0,147 \text{ m}^3 = 147 \text{ l}$$

Volumen cilindra:

$$V_{cil} = V_{PC} + V_{CV} + V_{CP} = 0,049 \text{ m}^3$$

Volumen potisnog cilindra:

$$V_{PC} = A_{1-PC} \cdot s_{PC} = 0,04335 \text{ m}^3$$

Volumen cilindra vrata:

$$V_{CV} = A_{1-CV} \cdot s_{CV} = 0,003875 \text{ m}^3$$

Volumen cilindra poklopaca:

$$V_{CP} = A_{1-CP} \cdot s_{CP} \cdot 2 = 0,001783 \text{ m}^3$$

## 5.6. Pad tlaka u cijevima i cjevnim elementima

$$\Delta p = \sum \Delta p_c + \sum \Delta p_m = 796914,9172 \text{ Pa}$$

Izračunata vrijednost zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

### 5.6.1. Pad tlaka kroz različite promjere cjevovoda

$$\sum \Delta p_c = \Delta p_{uc} + \Delta p_{tc} + \Delta p_{pc} = 529996,7788 \text{ Pa}$$

#### 5.6.1.1. Pad tlaka u usisnoj dijelu cjevovoda

$$\Delta p_{uc} = \lambda_u \cdot \rho \cdot \frac{l_{uc}}{d_u} \cdot \frac{w_{uc}^2}{2} = 98,248 \text{ Pa}$$

Brzina strujanja radnog fluida kroz usisnu cijev:

$$w_{uc} = \frac{4 \cdot Q}{d_u^2 \cdot \pi} = 0,746 \text{ m/s}$$

Izračunata vrijednost je u granicama dopuštenih vrijednosti i zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

Reynoldsov broj za određivanje vrste strujanja u usisnoj cijevi:

$$Re_u = \frac{w_{uc} \cdot d_u}{\nu} = 497,33$$

Koeficijent trenja za laminarno strujanje u usisnoj cijevi:

$$\lambda_u = \frac{64}{Re_u} = 0,128686$$

#### 5.6.1.2. Pad tlaka u tlačnoj dijelu cjevovoda

$$\Delta p_{tc} = \lambda_t \cdot \rho \cdot \frac{l_{tc}}{d_t} \cdot \frac{w_{tc}^2}{2} = 387780,2724 \text{ Pa}$$

Brzina strujanja radnog fluida u tlačnim cijevima:

$$w_{tc} = \frac{4 \cdot Q}{d_t^2 \cdot \pi} = 4,5204 \text{ m/s}$$

Izračunata vrijednost je u granicama dopuštenih vrijednosti i zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

Reynoldsov broj za određivanje vrste strujanja u tlačnim cijevima:

$$Re_t = \frac{w_{tc} \cdot d_t}{\nu} = 1224,275$$

Koeficijent trenja za laminarno strujanje u tlačnim cijevima:

$$\lambda_t = \frac{64}{Re_t} = 0,052276$$

#### 5.6.1.3. Pad tlaka u povratnoj dijelu cjevovoda

$$\Delta p_{pc} = \lambda_p \cdot \rho \cdot \frac{l_{pc}}{d_p} \cdot \frac{w_{pc}^2}{2} = 142118,2584 \text{ Pa}$$

Brzina strujanja radnog fluida u povratnim cijevima:

$$w_{pc} = \frac{4 \cdot Q}{d_p^2 \cdot \pi} = 2,9842 \text{ m/s}$$

Izračunata vrijednost je u granicama dopuštenih vrijednosti i zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

Reynoldsov broj za određivanje vrste strujanja u povratnim cijevima:

$$Re_p = \frac{w_{pc} \cdot d_p}{\nu} = 994,733$$

Koeficijent trenja za laminarno strujanje u povratnim cijevima:

$$\lambda_p = \frac{64}{Re_p} = 0,06434$$

### 5.6.2. Pad tlaka koji uzrokuju cijevni elementi

$$\sum \Delta p_m = \sum_{n=1}^{n=14} \Delta p_e + \sum_{n=1}^{n=8} \Delta p_{tt} + \sum_{n=1}^{n=6} \Delta p_{tp}$$

$$\sum \Delta p_m = 266918,1384 \text{ Pa}$$

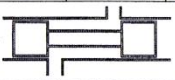
#### 5.6.2.1. Pad tlaka uzrokovan elementima

Pad tlaka u svim elementima:

$$\sum_{n=1}^{n=14} \Delta p_e = \Delta p_e \cdot 14 = 203196,1708 \text{ Pa}$$

Pad tlaka u jednom elementu:

$$\Delta p_e = \delta_e \cdot \xi_e \cdot \rho \cdot \frac{w_e^2}{2} = 14514,0122 \text{ Pa}$$

| Vrijednosti koeficijenta otpora $\xi$ za vrste spojeva i cijevne elemente |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Skica                                                                     |  |  |  |  |  |
| $\xi$                                                                     | 0,05                                                                                | 0,2 - 0,75                                                                          | 0,2 - 1,2                                                                           | 0,3                                                                                 | 0,5                                                                                 |
| Skica                                                                     |  |  |  |  |  |
| $\xi$                                                                     | 0,5                                                                                 | 0,5                                                                                 | 0,5 - 0,6                                                                           | 0,75 - 1,0                                                                          | 1,0                                                                                 |
| Skica                                                                     |  |  |  |  |  |
| $\xi$                                                                     | 1,0                                                                                 | 1,2                                                                                 | 1,3                                                                                 | 2,0                                                                                 | 2 - 2,5                                                                             |
| Skica                                                                     |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| $\xi$                                                                     | 5 - 15                                                                              |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |

**Slika 7.** Vrijednost koeficijenta otpora  $\xi$  za vrste spojeva i cijevne elemente

Brzina strujanja radnog fluida u cijevnom elementu:

$$w_e = \frac{4 \cdot Q}{d_e^2 \cdot \pi} = 7,63944 \text{ m/s}$$

Izračunata vrijednost je u granicama dopuštenih vrijednosti i zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

Reynoldsov broj za određivanje vrste strujanja u cijevnom elementu:

$$Re_e = \frac{w_e \cdot d_e}{\nu} = 1591,55$$

Korekcijski faktor za  $Re_e$ :

$$\delta_e = 1,133$$

| Korekcijski faktor $\delta$ |    |    |     |     |     |      |      |      |
|-----------------------------|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Re                          | 25 | 50 | 100 | 250 | 500 | 1000 | 1500 | 2300 |
| $\delta$                    | 30 | 15 | 7,5 | 3,0 | 1,5 | 1,25 | 1,15 | 1,0  |

**Slika 8.** Vrijednosti korekcijskog faktora  $\delta$

#### 5.6.2.2. Pad tlaka uzrokovan T-spojevima u tlačnom dijelu cjevovoda

Pad tlaka u svim T-spojevima u tlačnom dijelu cjevovoda:

$$\sum_{n=1}^{n=8} \Delta p_{tt} = \Delta p_{tt} \cdot 8 = 47561,768 \text{ Pa}$$

Pad tlaka u jednom T-spoju u tlačnom dijelu cjevovoda:

$$\Delta p_{tt} = \delta_{tt} \cdot \xi_{tt} \cdot \rho \cdot \frac{w_{tt}^2}{2} = 5945,221 \text{ Pa}$$

Brzina strujanja radnog fluida u T-spoju u tlačnom dijelu cjevovoda:

$$w_{tt} = \frac{4 \cdot Q}{d_{tt}^2 \cdot \pi} = 4,5204 \text{ m/s}$$

Izračunata vrijednost je u granicama dopuštenih vrijednosti i zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

Reynoldsov broj za određivanje vrste strujanja u

T-spoju u tlačnom dijelu cjevovoda:

$$Re_{tt} = \frac{w_{tt} \cdot d_{tt}}{\nu} = 1224,275$$

Korekcijski faktor za  $Re_{tt}$ :

$$\delta_{tt} = 1,205$$

### 5.6.2.3. Pad tlaka uzrokovan T-spojevima u povratnom dijelu cjevovoda

Pad tlaka u svim T-spojevima u povratnom dijelu cjevovoda:

$$\sum_{n=1}^{n=6} \Delta p_{tp} = \Delta p_{tp} \cdot 6 = 16160,1996 \text{ Pa}$$

Pad tlaka u jednom T-spoju u tlačnom dijelu cjevovoda:

$$\Delta p_{tp} = \delta_{tp} \cdot \xi_{tp} \cdot \rho \cdot \frac{w_{tp}^2}{2} = 2693,3666 \text{ Pa}$$

Brzina strujanja radnog fluida u T-spoju u povratnom dijelu cjevovoda:

$$w_{tp} = \frac{4 \cdot Q}{d_{tp}^2 \cdot \pi} = 2,9842 \text{ m/s}$$

Izračunata vrijednost je u granicama dopuštenih vrijednosti i zadovoljava uvjete postavljene radnim zadatkom.

Reynoldsov broj za određivanje vrste strujanja u

T-spoju u povratnom dijelu cjevovoda:

$$Re_{tp} = \frac{w_{tp} \cdot d_{tp}}{\nu} = 994,733$$

Korekcijski faktor za  $Re_{tp}$ :

$$\delta_{tp} = 1,2526$$

## 6. UPUTE ZA ODRŽAVANJE

Tablica 1. Redovne akcije održavanja

| INTERVAL                                 | POSTUPAK                                          | OPIS POSTUPKA                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dnevno                                   | Čišćenje uređaja i okoline                        | Svaki dan nakon završetka rada po čistiti ostatke smeća koji su se mogli nakupiti na radnom djelokrugu i unutar uređaja                                                               |
|                                          | Provjera količine hidrauličkog ulja               | Ukoliko se zamijeti značajan gubitak hidrauličkog ulja u intervalu od 1 dana, došlo je do puštanja ulja. U tom slučaju ne započinjati rad – potrebno je kontaktirati ovlaštenu servis |
| Tjedno                                   | Podmazivanje zglobova i pomičnih dijelova uređaja | Ručnom mazalicom podmazati sve zglobove i pomične dijelove uređaja <sup>1</sup>                                                                                                       |
|                                          | Provjera količine ulja u hidrauličkom sustavu     | Ukoliko se zamijeti manjak ulja, dopuniti spremnik ulja <sup>2</sup>                                                                                                                  |
| Nakon prvih 1500 radnih sati (6 mjeseci) | Izmjena ulja i filtra ulja                        | Volumen spremnika ulja 100 litara. Minimalna količina ulja u spremniku je 70 litara <sup>2</sup>                                                                                      |
| Godišnje (3000 radnih sati)              | Izmjena ulja i filtra ulja                        | Volumen spremnika ulja 100 litara. Minimalna količina ulja u spremniku je 70 litara <sup>2</sup>                                                                                      |

## 7. ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati su u granicama dopuštenih vrijednosti. Rezultati kontrolnih proračuna klipnjača na izvijanje garantiraju da se nijedan cilindar neće izvinuti za zadano opterećenje, te na taj način osigurava pouzdan rad preše-balirke. Ukupan pad tlaka u sustavu iznosi približno 8 bara, što je jako malo u odnosu na radni tlak od 166 bara. Tako mali pad tlaka neće poremetiti sigurnost i pouzdanost rada balirke. Postoji puno prostora za napredak i poboljšanje nekih dijelova, a to se može postići dodatnim ulaganjem u proizvod (kao npr. upravljanje pomoću PLC-a i sl.)

## 8. POPIS LITERATURE

- [1] Jahić, M. Urbani sistemi upravljanja čvrstim otpadom. I. izdanje. Bihać, 2005.
- [2] <http://www.scribd.com/doc/50026912/20/ZBRINJA-VANJE-OTPADA-U-REPUBLICI-HRVATSKOJ>, listopad 2011.
- [3] [www.azo.hr/lgs.axd?t=16&id=1635](http://www.azo.hr/lgs.axd?t=16&id=1635), listopad 2011.
- [4] Programi: Festo Fluid Sim 3.5 Hidraulica Full Version; Mechanical 2006.
- [5] Nikolić, G. ; Novaković, I.J. Pneumatika i hidraulika : II. dio : HIDRAULIKA. IV. izdanje. Zagreb : Školske novine, 2003.,
- [6] Tehnička dokumentacija poduzeća Tehnix d.o.o Donji Kraljevec
- [7] Katalozi proizvođača (Kladivar, Hansa Flex, Mapro)
- [8] <http://www.scribd.com/doc/41697473/PiH-skripta>, listopad 2011.
- [9] [http://vtsbj.hr/images/uploads/PNEUMATIKA\\_I\\_HI-DRAULIKA\\_PRAVANJE\\_10-11-12.pdf](http://vtsbj.hr/images/uploads/PNEUMATIKA_I_HI-DRAULIKA_PRAVANJE_10-11-12.pdf), listopad 2011.

Kontakt autora:

**Vlah Nikola**

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33

42000 Varaždin

099/6948-508

040/643-035

[nikola.vlah@gmail.com](mailto:nikola.vlah@gmail.com)

**Maroević Franjo, dipl.ing., vanjski suradnik**

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33

42000 Varaždin

098/914-4286

[franjo.maroevic@vz.htnet.hr](mailto:franjo.maroevic@vz.htnet.hr)

# ODREĐIVANJE ČISTOĆE POVRŠINE METALNIH I KERAMIČKIH UZORAKA

## DETERMINING THE SURFACE CLEANLINESS OF METAL AND CERAMIC SAMPLES

Anita Štrkalj, Zoran Glavaš, Milan Sladojević

Stručni članak

**Sažetak:** U ovom radu određivana je čistoća površine metalnih i keramičkih uzoraka. Uzorci su pripremljeni mehaničkim i kemijskim čišćenjem. Čistoća površine određena je statičkom ekstrakcijskom metodom. Statička ekstrakcijska metoda pokazala se kao izuzetno dobra metoda za mjerenje čistoće površine.

Dobiveni rezultati ukazuju da su oba korištena načina pripreme uzoraka u skladu s normom MIL-P-28809. Nešto bolji rezultati dobiveni su prilikom kemijskog čišćenja uzoraka.

**Ključne riječi:** statička ekstrakcijska metoda, metal, keramika, mehaničko čišćenje, kemijsko čišćenje

Professional paper

**Abstract:** In this paper, the cleanliness of the surface of metal and ceramic samples was determined. The samples were prepared by mechanical and chemical cleaning. Cleanliness of the surface was determined by the static extraction method. The static extraction method proved to be a very good method for the measurement of surface cleanliness.

The obtained results indicate that both methods of the sample preparation are in accordance with the standard MIL-P-28809. Slightly better results were obtained by chemical cleaning of samples.

**Key words:** static extraction method, metal, ceramic, mechanical cleaning, chemical cleaning

### 1. UVOD

Jedan od bitnih uvjeta za postizanje dobrih rezultata pri zaštiti je odgovarajuća priprema površine na koju se nanosi zaštitna prevlaka. Nanošenje prevlake na nepripremljenu ili loše pripremljenu površinu rezultira nekvalitetnom prevlakom. Priprema površine podrazumijeva uklanjanje nečistoća, starih premaza i dobivanja površine određene kvalitete. Priprema površine za zaštitu sastoji se od nekoliko postupaka koji se mogu svrstati u dvije osnovne grupe. Jedna podrazumijeva postupke odmašćivanja, a druga postupke kojim se istodobno mogu otkloniti produkti korozije i unaprijediti kvaliteta površine, tzv. kondicioniranje. Dobra priprema podrazumijeva i čišćenje i kondicioniranje. Čišćenjem se s podloge uklanjaju onečišćenja kao što su masnoće, korozijski produkti, oštećene prevlake, prašina, čađa, pepeo itd. Kondicioniranjem se postiže tražena hrapavost, tj. glatkoća površine što omogućava dobro prijanjanje prevlake [1].

### 2. EKSPERIMENTALNO

#### 2.1. Opis problema

Posebnu važnost treba dati pripremi površine za zaštitu, jer nepravilno pripremljena površina može biti

uzrok korozije, nejednolike naboranosti same površine, nedovoljnog prijanjanja premaza ili prevlaka itd. Stoga je od bitnog značaja ustanoviti je li nakon čišćenja površine postignuta odgovarajuća čistoća [2]. Kontrola se najčešće provodi određivanjem čistoće površine primjenom ekstrakcije ili prema normi HRN ISO 8501-1 [3].

#### 2.2. Metodologija

U ovom radu je za određivanje čistoće površine korišteno pet metalnih i dva keramička uzorka. Čistoća površine određena je primjenom statičke ekstrakcije metode. Metalni uzorci su izrezani na pravokutne oblike i pripremljeni su kao što je prikazano u tabeli 1.

**Tabela 1.** Način pripreme uzoraka

| Red. br. uzorka | Vrsta čišćenja          | Opis postupaka čišćenja                                                            |
|-----------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1               | Nije provedeno čišćenje | Uzorak je u izvornom obliku                                                        |
| 2               | Mehaničko               | Ručno brušenje brusnim papirima                                                    |
| 3               | Kemijsko                | Uranjanje u 20 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 5 min                            |
| 4               | Kemijsko                | Uranjanje u 20 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 10 min                           |
| 5               | Mehaničko + Kemijsko    | Brušenje brusnim papirima. Uranjanje u 20 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 5 min |

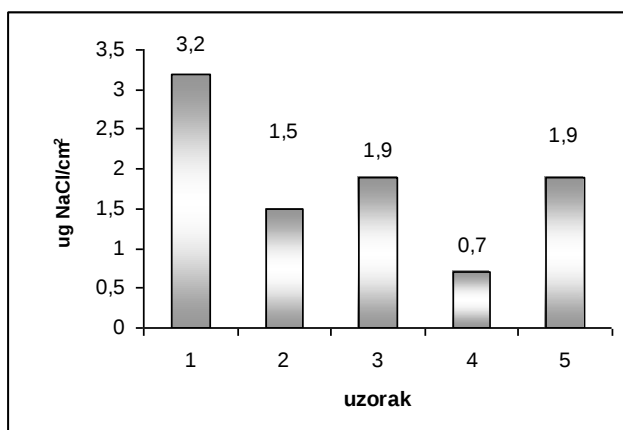
Svi uzorci su nakon mehaničke i kemijske obrade isprani vodom i osušeni.

Keramički uzorci proizvedeni su i uzeti u tvrtki Applied Ceramics d.o.o. Sisak i predstavljaju potrošne komponente ili dijelove koji se zbog svojih prednosti od drugih materijala koriste pri različitim fizikalnim i/ili kemijskim procesima, kao što su nanošenje prevlaka parom ili kemijskom reakcijom (tzv. PVD i CVD postupci), proizvodnja mikročipova, zaštita materijala od visokih temperatura, zaštita materijala od djelovanja kiselog ili lužnatog medija itd. Prvi keramički uzorak nije očišćen prije mjerenja, dok je drugi keramički uzorak odmašćen u 96 % etilnom alkoholu i tretiran je u otopinama HCl, HNO<sub>3</sub> i HF. Vrijeme zadržavanja, kao i koncentracija kiseline, su podaci karakteristični za tvrtku Applied Ceramics d.o.o. Sisak i predstavljaju tajne podatke. Priprema (čišćenje) svih uzoraka provedena je pri 20 °C.

Mjerenje je provedeno u tvrtki Applied Ceramics d.o.o. Sisak na mikroprocesorskom mjernom uređaju Omega Meter Model 600 SMD statičkom ekstrakcijskom metodom. Nakon unošenja potrebnih podataka za izračun onečišćenja, prethodno obrađeni uzorak se stavi u čistu ispitnu otopinu 74 % alkohola izopropanola i deionizirane vode, koja se nalazi u ispitnoj posudi. Otopina se zagrijava i pod tlakom ispire uzorak, pri čemu se kontinuirano mjeri otpor otopine. Na ovaj način se provodi ekstrakcija kod koje nečistoće prisutne na uzorku prelaze u ispitnu otopinu. Prema poznatim vrijednostima za površinu uzorka (cm<sup>2</sup>), volumenu otopine (ml) i otporu otopine (MΩ-cm), automatski se izračunava onečišćenje otopljeno u otopini izraženo kao ekvivalent natrij-klorida (standardna otopina za baždarenje uređaja) po jedinici površine uzorka, µg NaCl/cm<sup>2</sup>. Mjerenje je završeno kada se vrijednost otpora ne promijeni u 5 minuta. Nakon završenog ispitivanja, zagađeno otapalo se regenerira prolaskom kroz ionske izmjenjivače pri čemu se uklanjaju nečistoće i otapalo je spremno za ponovno ispitivanje [4].

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati čistoće površine metalnih uzoraka izraženi kao µg NaCl/cm<sup>2</sup> prikazani su na slici 1.



Slika 1. Rezultati čistoće površine metalnih uzoraka

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da su svi načini pripreme uzoraka zadovoljavajući prema normi MIL-P-28809. Spomenuta norma propisuje dopušteno onečišćenje od 2,2 µg NaCl/cm<sup>2</sup> za korišteni tip uređaja.

Uzorak 1. nije tretiran ni jednim od spomenutih načina pripreme (korišten je samo za usporedbu), pa je to ujedno i razlog povišene nečistoće površine.

Prema spomenutom standardu, kao najbolja metoda pripreme uzoraka pokazala se metoda kemijskog čišćenja pri čemu je uzorak bio u kontaktu s kiselinom 10 min. Poznato je da otopine kiselina otapaju korozijski sloj i ne nagrizaju ili minimalno nagrizaju metalnu površinu, što je i razlog dobivanja dobrih rezultata [5]. Kombinacijom mehaničkog i kemijskog čišćenja dobivena je ista vrijednost kao i za gore spomenute obrade. Međutim, preferira se jednostavniji i ekonomičniji način pripreme uzoraka. Rezultati čistoće površine keramičkih uzoraka prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati čistoće površine keramičkih uzoraka

| Uzorak | Čistoća površine, µg NaCl/cm <sup>2</sup> |
|--------|-------------------------------------------|
| A      | 4,6                                       |
| B      | 1,1                                       |

Dobiveni rezultati pripreme keramičkog uzorka B ukazuju da je postupak odmašćivanja i kemijske pripreme uzoraka iznimno dobar za ovu vrstu uzoraka. Kombinacijom kiselina (HCl, HNO<sub>3</sub> i HF) postiže se čistoća površine manja od 2,2 µg NaCl/cm<sup>2</sup> što je u skladu s normom MIL-P-28809. Uzorak A nije bio prethodno pripremljen pa pokazuje vrijednost od 4,6 µg NaCl/cm<sup>2</sup>, što je više od norme.

### 4. ZAKLJUČAK

Kao najbolja metoda pripreme metalnih uzoraka pokazala se metoda kemijskog čišćenja pri čemu je uzorak bio u kontaktu s 20 % sulfatnom kiselinom 10 min.

Kombinacijom kiselina (HCl, HNO<sub>3</sub> i HF) postiže se čistoća površine keramičkih uzoraka manja od 2,2 µg NaCl/cm<sup>2</sup> što je u skladu s normom MIL-P-28809. Određivanje čistoće površine statičkom ekstrakcijskom metodom može se uspješno koristiti za određivanje čistoće ispitanih uzoraka.

### 5. LITERATURA

- [1] Esih, I., Dugi, Z., (1990.), Tehnologija zaštite od korozije I, Školska knjiga, Zagreb
- [2] Huges, I. C. H., (1988.), Ductile Iron, in Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 15, Casting, ASM International, Metals Park Ohio

- [3] Koleske, J. V., (1995.), Paint and Coating Testing Manual: Fourteenth Edition of the Gardner-Sward Handbook
- [4] ICP-TM-650 Test Methods Manual.
- [5] Mladenović, S., Petrović, M., Rikovski, G., (1985.), Hemijsko-tehnološki priručnik, knjiga 6 : korozija i zaštita materijala, Rad, Beograd

**Kontakt autora:****dr.sc. Anita Štrkalj, docent**

Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Aleja narodnih heroja 3  
44103 Sisak  
044/533-379 /208/  
[strkalj@simet.hr](mailto:strkalj@simet.hr)

**dr.sc. Zoran Glavaš, docent**

Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak  
044/533-379 /222/  
[glavaszo@simet.hr](mailto:glavaszo@simet.hr)

**Milan Sladojević**

Applied Ceramics d.o.o.  
Braće Kavurića 10b  
44000 Sisak  
099/2104-758  
[milan@appliedceramics.net](mailto:milan@appliedceramics.net)

# KARAKTERIZACIJA KOROZIONIH PRODUKATA CJEVOVODA TERMoeLEKTRANE

## THE CHARACTERIZATION OF POWER PLANT PIPE LINES CORROSION PRODUCTS

**Vjera Novosel - Radović, Nikol Radović, Milka Balen**

Pregledni rad

**Sažetak:** Tijekom vremena zabilježena je pojava korozivnih produkata u eksploataciji cjevovoda termoelektrane. Za određivanje uzroka upotrijebljena je metoda rendgenske difrakcije i pretražne elektronske mikroskopije. Za istraživanje su korišteni uzorci u obliku praha ili pločica. Pripremljeni uzorci su mjereni tehnikom filma (Debye Scherrer kamera) ili brojenja na uređaju za difraktometriju tipa Philips (uz upotrebu CoK $\alpha$  zračenja), te pretražnom elektronskom mikroskopijom i mikroanalizom tipa Joel. Upotrebom metode vanjskog standarda određena je debljina filma. Dobiveni rezultati analize matematički su obrađeni.

**Ključne riječi:** karakterizacija, produkt korozije, rendgenska difrakcija, pretražna elektronska mikroskopija

Review article

**Abstract:** Over time, frequent occurrence of corrosion products in the exploitation phase pipe lines power plant were observed. To determine the cause the methods of x – ray diffraction and scanning electron microscopy were used. The samples were separated as powder or plates. The prepared samples were measured with film (Debye Scherrer camera) or counting technique on Philips diffractometer (with use of CoK $\alpha$  radiation) and scanning electron microscope, the Joel type. Using the external method the thickness of film was determined. The obtained results were analysed mathematically.

**Key words:** characterization, corrosion product, x – ray diffraction, electron probe analysis

### 1. UVOD

U početnoj fazi eksploatacije cijevi cijevnog sistema čiste se od nečistoća nastalih tijekom izrade konstrukcijskih materijala, transporta i/ili skladištenja. Za njihovo čišćenje Kontić [4] preporuča pranje vodom i/ili odmašćivanje. Unutrašnja površina tako očišćene stijenke cijevi jednoliko je prevučena zaštitnim magnetitnim filmom određene debljine i strukture [2]. Tijekom eksploatacije cijevi mijenja se njihova struktura i debljina filma [3]. Maseni udio Fe (III) > 90 %; Fe (II) i Fe (metalno i/ ili amorfnu) < 10% postepeno se mijenja na 21.9%. Zapaža se pojava nekih novih faza karakterističnih za koroziju:  $\alpha$ FeOOH u masenom udjelu 73.6 % i  $\gamma$ FeOOH 2.9 % [4].

Nastali produkti korozije izravno utječu na promjenu debljine filma uz pojavu kavitacije. Prema Milobaru [8], debljina filma se mijenja od 0.15 do 0.70 mm te izravno utječe na korozionu tehničku stabilnost osnovnog materijala [3]. Za smanjenje njihova utjecaja stalno se kontrolira pojava i rashladna voda mjerenjem električne vodljivosti, alkaliteta i masenog udjela mulja [2], a u novije vrijeme (pri zamjeni i/ili ugradnji novih cijevi te kontroli cijevnog sistema) mjeri se debljina zaštitnog magnetitnog filma te se promatra promjena njegove morfologije i strukture.

### 2. EKSPERIMENTALNO

#### 2.1. Opis problema

Tijekom godina ova dodatna mjerenja su iskorištena kod istraživanja velikog broja uzoraka cijevi uzetih unutar cijevnih sistema kod curenja/loma, ugradnje novih cijevi i/ili kod remonta. Tako se pri obavljenom remontu nakon 50 000 sati rada termoelektrane ukazala potreba kvantifikacije zaštitnog magnetitnog filma mjerenjem debljine i određivanjem nastalih promjena u morfologiji i strukturi. Neki od dobivenih rezultata dani su u ovom radu.

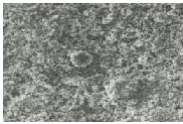
#### 2.2. Metodologija

Za određivanje nastalih promjena unutar zaštitnog magnetitnog filma cjevovoda termoelektrane uzorci su uzimani kao dijelovi cijevi. Svaki uzorak isječen je u trake. Jedna traka isječena je u pločice. S unutrašnje strane druge trake mehanički je skidan nastali talog pod lupom, tipa Zrak. Uzeti uzorci taloga su usitnjeni i homogenizirani ručno u talioniku. Pripremljeni uzorci snimani su tehnikom filma (Debye Scherrer kamera) na uređaju za difraktometriju tipa Philips, uz CoK $\alpha$  zračenje. Dobivene difrakcijske slike su analizirane HRF metodom [5]. Uzorci uzeti u obliku pločica su izravno mjereni

tehnikom brojenja i analizirani metodom vanjskog standarda [9]. Neki od uzoraka istraženi su elektronskim mikroskopom i mikroanalizatorom tipa Joel. Dobiveni rezultati obrađeni su matematički.

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

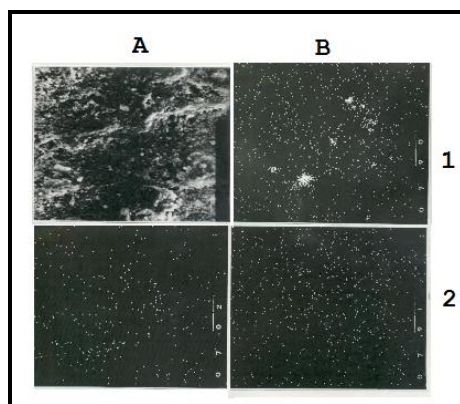
Dobiveni rezultati istraživanja upućuju na promjenu debljine, strukture i homogenosti zaštitnog magnetitnog filma. Tako se na slici 1. Istodobno zapaža promjena u morfologiji i strukturi filma.

|   | A                                                                                   | B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 |    | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{FeO}$ , $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\alpha\text{FeOOH}$ , $\beta\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{Zn}$ , $\text{CaCO}_3$ ,                                                                                                                                  |
| 2 |    | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Cu}$ , $\text{C}$ , $\text{CaCO}_3$ , $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3 |   | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{Cu}$ , $\beta\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{Zn}$ , $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{C}$ , $\alpha\text{FeOOH}$ , $\beta\text{FeOOH}$ , $\delta\text{FeOOH}$ , $\text{CaCO}_3$ , $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                |
| 4 |  | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{FeO}$ , $\beta\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{Cu}$ , $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{Zn}$ , $\text{C}$ , $\alpha\text{FeOOH}$ , $\beta\text{FeOOH}$ , $\delta\text{FeOOH}$ , $\text{CaCO}_3$ , $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ |
| 5 |  | $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{FeO}$ , $\delta\text{FeOOH}$                                                                                                                                                                                                                                                            |

**Slika 1.** Elektronska snimka (COMPO – 300 X) zaštitnog magnetitnog filma termoelektrane – A i B – njemu identificirane faze na mjestu: 1 – donji radijacijski dio, 2 – srednji radijacijski dio, 3 – gornji radijacijski dio, 4 – konvektivni pregrijač pare i 5 – međupregrijač pare

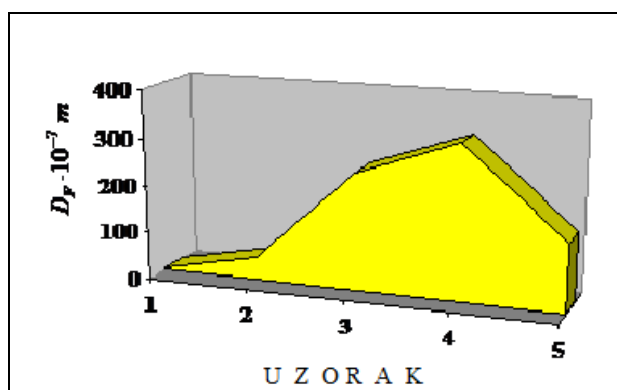
Nastale promjene se bilježe u obliku naljepaka i/ili nakupina različitih boja i oblika (slika 1.A). Njihova prisutnost naročito je izražena na mjestu uzimanja uzorka 3, gornji radijacijski dio i 4, konvektivni pregrijač pare (slika 1.3A i 4A). Prema rezultatima fazne analize (slika 1B) identificirane su faze:  $\beta\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\alpha\text{FeOOH}$ ,  $\beta\text{FeOOH}$  i  $\delta\text{FeOOH}$  karakteristične za prisutnost korozije. Prema Andrienu i suradnicima [1] one su sastavni dio akumuliranog korozionog materijala unutar stijenke cijevi i izravno utječu na kvalitetu i raspodjelu zaštitnog magnetitnog filma. Prema Maedu i suradnicima [7], naročito je važan maseni udio  $\beta\text{FeOOH}$ , koji izravno utječe na veličinu korozije. Identificirane faze  $\text{CaCO}_3$  i  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  prema Hallanderu i

suradnicima [6] posljedica su korištene vode koja izravno utječe na pojavu korozije i na kvalitetu stijenke cijevi. Unutar istraživanih produkata korozije identificirane su i faze  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Ca}$  i  $\text{C}$  (slika 2.) kao posljedica korozije neželjenih elemenata unutar promatranog sistema i ostataka ulja upotrijebljenog pri podmazivanju.



**Slika 2.** Elektronska snimka produkta korozije zaštitnog magnetitnog filma 1A (SEI – 1000 X) karakterističnog rendgenskog zračenja 2A –  $\text{CuK}_\alpha$ , 1B –  $\text{ZnK}_\alpha$  i 2B –  $\text{CK}_\alpha$

Istodobno izmjerena debljina zaštitnog magnetitnog filma uzduž cijevnog sistema mijenjala se od  $5.27 \cdot 10^{-7}$  do  $324 \cdot 10^{-7}$  m. Najmanja vrijednost je izmjerena na uzorku uzetom u donjem radijacijskom dijelu – ulaz, a najveća na konvektivnom pregrijaču pare  $324 \cdot 10^{-7}$  m.



**Slika 3.** Promjena debljine zaštitnog magnetitnog filma  $D_F$  uzduž cijevnog sistema termoelektrane: 1 – donji radijacijski dio, 2 – srednji radijacijski dio, 3 – gornji radijacijski dio, 4 – konvektivni pregrijač pare i 5 – međupregrijač pare

Nastale promjene, prema Milobaru [8], upućuju na potrebu čišćenja cijevi cjevnog sistema termoelektrane jednim od uobičajenih postupaka [4].

### 4. ZAKLJUČAK

Upotrebom rendgenske difrakcije i pretražne elektronske mikroskopije izvršena je karakterizacija produkata korozije izlučenih unutar cjevovoda termoelektrane. Uz osnovnu fazu zaštitnog magnetitnog filma  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , identificirane su i faze željeznih

oksidhidroksida formula:  $\alpha$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O,  $\beta$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O,  $\gamma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>O,  $\alpha$ FeOOH,  $\beta$ FeOOH i  $\delta$ FeOOH. Njihovom prisutnošću magnetitni film poprima crno-smeđu boju i mijenja debljinu od 5.27 do  $324 \cdot 10^{-7}$  m, gubi svojstvo homogenog prekrivanja unutrašnje površine cijevi uz pojavu pucanja i kavitacije. Unutar filma otkrivene su faze Cu, ZnO, kao posljedica korozije prisutnih neželjenih dijelova u sistemu, te CaCO<sub>3</sub> i CaO · SiO<sub>2</sub> (upotrijebljene pojne vode).

## 5. LITERATURA

- [1] Andrin R., Ellaway M., Lin J.; (2001.), *Study of corrosion material accumulated on the inner wall steel water pipe*. Corrosion Sci. 43. 11, 2065 – 2081
- [2] Becon H. E.; (1978.), *Corrosion Problems in Steam Generating Enginners*, Mac Grow Hill, New York
- [3] Belinec P.; (1998.), *Oštećenje i analiza oštećenja isparivačke cijevi visokotlačnog generatora pare*, EGE, 1. 97 – 98
- [4] Kontić J.; (1996.), *Mjere zaštite od korozije generatora pare nakon ugradnje novih cijevi bez primjene kiselog ispiranja*. Zbornih radova Energetika i Procesna postrojenja, Dubrovnik '96, Zagreb, Energetika i marketing, 448 – 457
- [5] Klug H. P., Alexander L. E.; (1979.), *X – Ray Diffraction Procedures*, Wiley – Interscience, New York
- [6] Hallander O., Krager R., Stephenson E.; (1999.) *Oxygen control in boiler circuits*. Ultrapure Water, 16. 3. 49 – 50; 52 – 54
- [7] Maeda A., Uchida M., Yamashita T., Kawimura T., Miyuki J.; (2001.), *Crystalline rust compositions and weathering properties of steel exposed in natin – wide atmospheres for 17 years*. Jap. Inst. Mat. 65. 11. 967 – 971
- [8] Milobara Ž.; (1986.), *Sigurnost pogona plameno dimnocijevnih blok kotlova obzirom na talog na strani vode*. 28, 2, 117 – 121
- [9] Radović N., Novosel – Radović V. Iharoš A.; (1999), *Debljina zaštitnog magnetitnog filma cijevnog sustava termoelektrane*. MATRIB'99, Trogir, HDMT, Zagreb, 319 – 327

## Kontakt autora:

### prof.dr.sc. Vjera Novosel-Radović

Željezara Sisak  
Ulica Božidara Adžije 2  
44000 Sisak

### Milka Balen

Željezara Sisak  
Ulica Božidara Adžije 2  
44000 Sisak

### mr.sc. Nikol Radović, viši predavač

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Kačićeva 26  
10000 Zagreb  
01/4639-365  
[nradovic@geof.hr](mailto:nradovic@geof.hr)

## PRIMJERI MODIFICIRANIH POSTUPAKA MIG/MAG ZAVARIVANJA

### THE EXAMPLES OF MODIFIED PROCEDURES OF MIG/MAG WELDING

**Marko Horvat, Veljko Kondić**

Stručni članak

**Sažetak:** U članku su prikazane osnove elektrolučnog zavarivanja u zaštiti inertnog/aktivnog plina, a spomenuta je i povijest razvoja ovog postupka. Kratko su opisana tri modificirana postupka ovog načina zavarivanja, uz naglasak na njihovu primjenu.

**Ključne riječi:** MIG/MAG postupak zavarivanja, STT, FastROOT, RMT

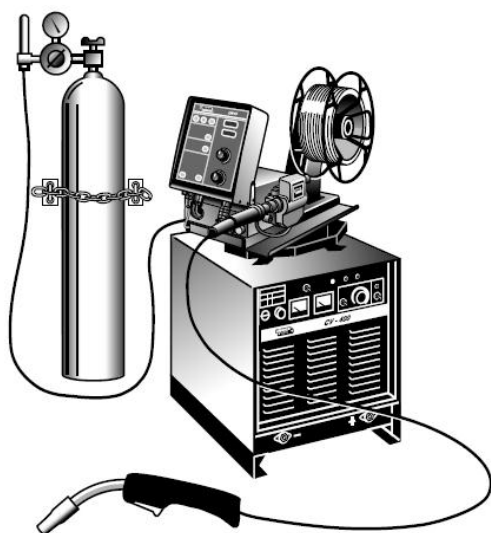
Professional paper

**Abstract:** This paper presents the basics of arc welding used for the protection of inert/active gas with a short description of the procedure's history and the course of its development. Three modified procedures of this type of welding are briefly described emphasizing their preparation procedure.

**Key words:** MIG/MAG welding procedure, STT, FastROOT, RMT

#### 1. UVOD

MIG/MAG postupak zavarivanja je postupak elektrolučnog zavarivanja u zaštitnoj atmosferi inertnog (MIG – Metal Inert Gas) ili aktivnog (MAG – Metal Active Gas) plina. Električni luk ostvaruje se između radnog komada i taljive, kontinuirane elektrode koja je u ovom postupku zavarivanja ujedno i dodatni materijal.

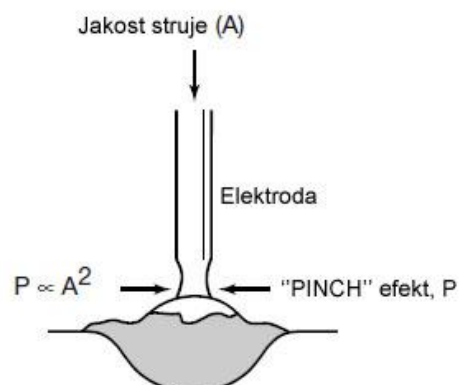


**Slika 1.** Prikaz opreme i uređaja za MIG/MAG zavarivanje: izvor struje, dodavač žice, kontrolna ploča, zaštitni plin i regulacija [3]

Iako se osnovni principi i razvoj kontinuiranog električnog luka za zavarivanje spominju već početkom 19. stoljeća, elektrolučno zavarivanje u zaštiti

inertnih/aktivnih plinova (MIG/MAG ili GMAW – Gas Metal Arc Welding) primjenu u industriji nalazi tek sredinom 20. stoljeća. Ovaj je postupak prvotno namijenjen zavarivanju aluminijskih legura na bazi aluminijskih te ostalih obojenih materijala, a veću primjenu u zavarivanju čelika pronalazi razvojem aktivnih plinova i mješavina plinova koje su znatno smanjile cijenu zavarivanja. Razvoj ovog postupka prije svega je potaknut zbog veće brzine zavarivanja, veće količine rastaljenog materijala u jedinici vremena, jednostavnog rukovanja ili automatizacije, zbog čega je i danas jedan od najčešće korištenih postupaka u zavarivačkoj industriji.

Razvoj ovog postupka zavarivanja najviše ovisi o razvoju izvora struje za zavarivanje. S mogućnošću podešavanja većeg broja parametara, uz uvjet pravilnog odabira, zasigurno jamči kvalitetniji zavareni spoj uz optimalne troškove. Kvaliteti zavarenih spojeva pridonosi i razvoj plinskih mješavina koje direktno utječu na prijenos metala i na konačan oblik zavarenog spoja.

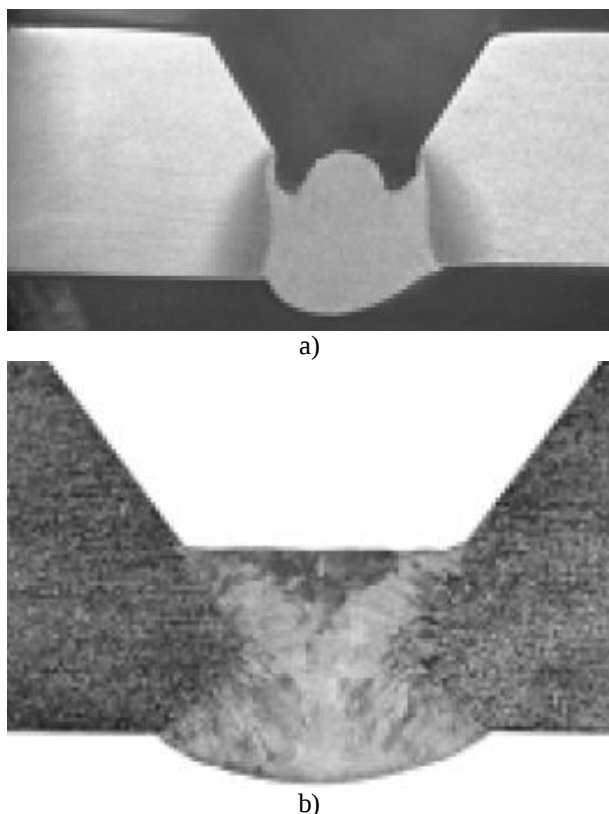


**Slika 2.** Prikaz prijelaza metala kratkim spojem [3]

Upravo način prijenosa metala (prijenos rastaljene kapljice u talinu radnog komada) koji dijelimo na prijenos metala kratkim spojevima, prijenos štrcajućim lukom, prijenos mješovitim lukom i prijenos impulsnim lukom te razvoj izvora struje za zavarivanje omogućava modifikaciju konvencionalnog postupka zavarivanja u svrhu bolje kvalitete zavarenih spojeva, veće produktivnosti i optimizacije troškova [1,2,3].

## 2. STT POSTUPAK ZAVARIVANJA (Lincoln Electric)

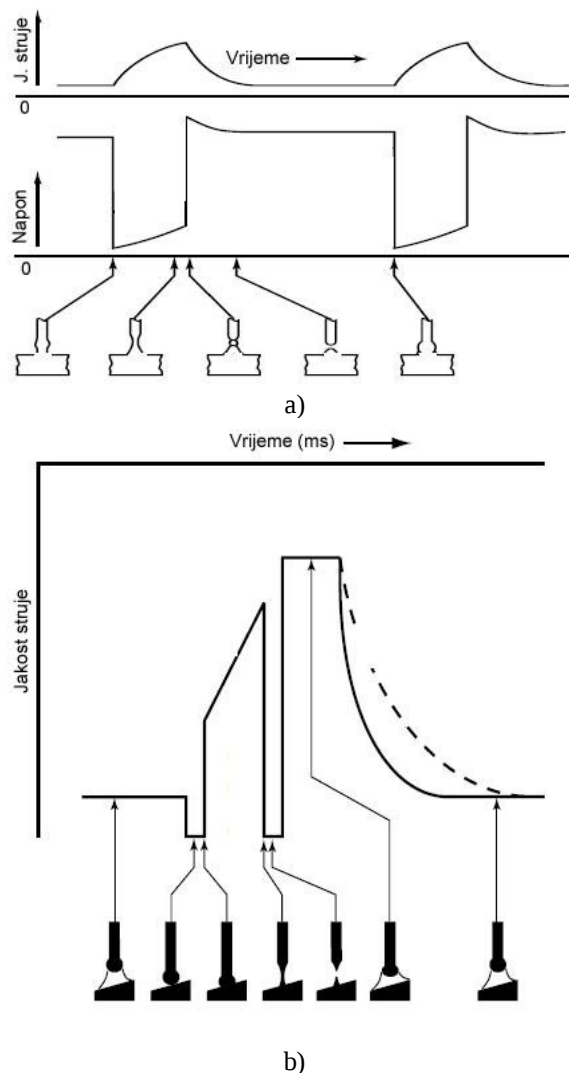
STT (Surface Tension Transfer) postupak zavarivanja razvijen je u tvrtki Lincoln Electric. Predstavlja suvremeni i učinkoviti postupak zavarivanja koji se najčešće koristi za zavarivanje korijena zvara u otvorenom žlijebu (u jednom prolazu), i to najčešće cijevnih elemenata u prehrambenoj, procesnoj i automobilske industriji. Pogodan je za zavarivanje čelika, visokočvrstih čelika te osobito kod zavarivanja nehrđajućih čelika gdje se zbog samog procesa zavarivanja CPT (Critical Pitting Temperature) mnogo uspješnije izbjegava nego kao kod klasičnog MIG zavarivanja. STT postupak zavarivanja predviđen je za zahtjevnija poluautomatska ili automatska (robotska) zavarivanja.



**Slika 3.** Izbrusak korijenskog prolaza: a) celulozna elektroda – REL; b) STT postupak – MIG/MAG [4]

STT postupak zavarivanja temelji se na prijenosu materijala kratkim spojevima, a samo odvajanje kapljice obavlja mehanizam površinske napetosti (Surface Tension Transfer). Izvor struje, uz vrlo čestu i preciznu

kontrolu struje zavarivanja, daje maksimum jakosti u trenutku kada je za prijenos metala dovoljan samo mehanizam površinske napetosti. Na taj se način izbjegava rasprskavanje kapljice metala u prijenosu i daljnji nepotreban unos topline, što bi bila posljedica povećanja jakosti struje u kratkom spoju kao što je to kod klasičnog MIG/MAG zavarivanja. Nakon odvajanja kapljice, počinje ponovo naglo povećavanje jakosti struje koje zagrijava vrh elektrode i na taj način priprema za novo odvajanje kapljice.



**Slika 4.** Prikaz dinamičke karakteristike izvora struje zavarivanja  $U, I = f(t)$  za: a) konvencionalni i b) STT postupak MIG/MAG zavarivanja [3]

STT izvor struje za zavarivanje nema ni padajuću ni ravnu statičku karakteristiku već se proces odvija ciklički, a promjene vrijednosti struje su brze (nekoliko milisekunda) te ovise o naponu u električnom luku [3, 4, 5].

Osim mogućnosti upravljanja većim brojem parametara u odnosu na klasičan MIG/MAG postupak, osnovne prednosti STT-a postupka zavarivanja su:

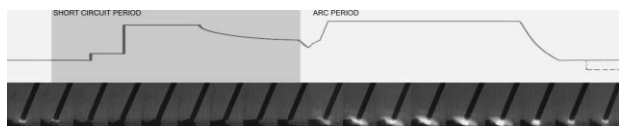
- odvajanje kapljice bez prskanja
- manji unos topline
- nizak udio difundiranog vodika
- lako rukovanje

- mogućnost zavarivanja u svim položajima
- veća brzina zavarivanja u odnosu na konvencionalni MIG/MAG postupak
- mogućnost korištenja 100% CO<sub>2</sub> kod zavarivanja ugljičnih čelika
- odlično za izvođenje korijenskih zavora u otvorenom žlijebu (zamjena za izvođenje korijenskih zavora REL postupkom celuloznim elektrodama ili izvođenje korijenskih prolaza TIG postupkom)
- laka automatizacija postupka zavarivanja

### 3. FastROOT POSTUPAK ZAVARIVANJA (Kemppi)

FastROOT postupak zavarivanja razvijen je u tvrtki Kemppi, a temelji se na digitalnom upravljanju osnovnih parametara zavarivanja – struji i naponu. Modifikacijom kratkih spojeva dobivenih digitalnim upravljanjem parametara dobiva se postupak zavarivanja pogodan za zavarivanje tankih limova (najčešće konstrukcijskih i nehrđajući čelika) kao i zavarivanje korijenskih prolaza uz veću brzinu i produktivnost s obzirom na TIG zavarivanje.

Postupak se temelji na dva različita oblika struje. U prvom dijelu procesa dolazi do prijenosa metala kratkim spojem (u rastaljeno kupku) "pinch" efektom, a nakon toga slijedi stanje (drugi interval) naglog povećavanja energije koje služi za oblikovanje spoja (zagrijavanje osnovnog materijala) i zagrijavanje vrha dodatnog materijala. Time je sve pripremljeno za stvaranje nove kapljice i za njeno odvajanje u sljedećem ciklusu. Nakon ova dva povećanja unosa energije, tj. struje zavarivanja, ista pada na minimalnu vrijednost koja omogućuje stabilnost procesa.



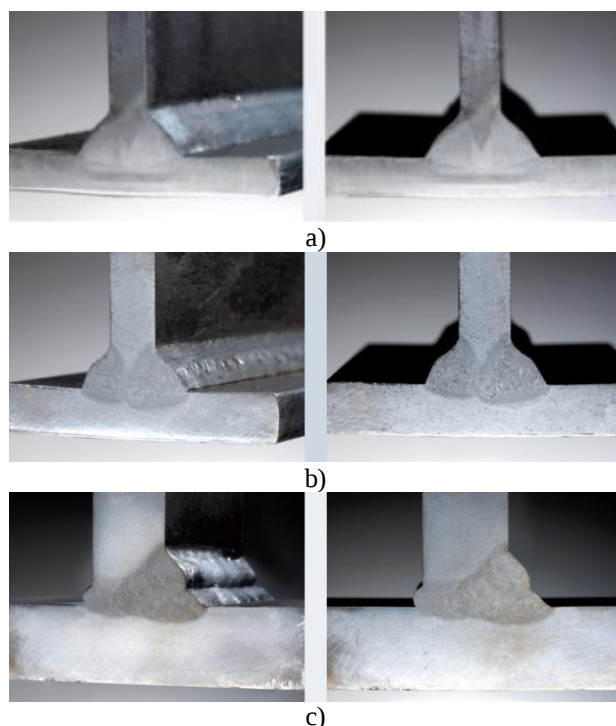
**Slika 5.** Oblik krivulje jakosti struje FastROOT postupka za jedan ciklus [6]

Brzim i preciznim upravljanjem parametrima zavarivanja, a time i električnim lukom, osiguran je prijenos metala bez štrcanja uz istodobni minimalni unos topline [6, 7]. Uz pravilno namještanje osnovne struje zavarivanja i struje zavarivanja nakon odvajanja kapljice koja oblikuje zavareni spoj i brzine žice zavarivanja, ovakav postupak zavarivanja daje am sljedeće prednosti:

- niski unos energije – zavarivanje tankih limova
- mogućnost zavarivanja korijenskih prolaza
- veća produktivnost (veća brzina zavarivanja)
- olakšan rad zavarivača

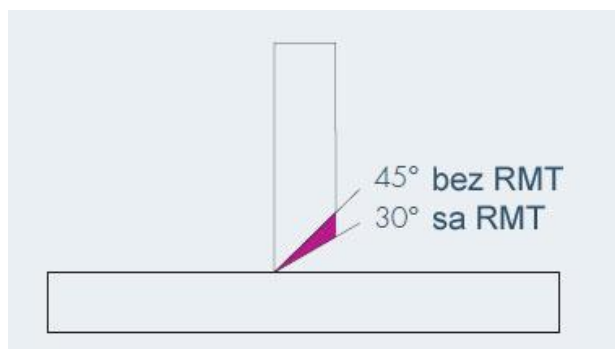
### 4. RMT POSTUPAK ZAVARIVANJA (ESS Schweisstechnik)

RMT (Rapid MIG/MAG Technology), razvijen u tvrtki ESS Schweisstechnik, je postupak koji se temelji na štrcajućem luku (štrcajućem prijenosu metala). Za razliku od klasičnog štrcajućeg luka, koji ovisi o karakteristikama dodatnog materijala i o zaštitnom plinu, kod RMT tehnologije teži se skraćivanju električnog luka, pri čemu dolazi do pada napona i povećanja koncentracije unesene energije. Na taj način električni luk se sužava, a energija električnog luka djeluje na manjoj površini, čime se dobiva veća penetracija. Zbog spomenutih karakteristika ovaj je postupak iznimno pogodan za zavarivanje debljih pozicija, a kutni zavareni spojevi debljine do 8 mm mogu se zavarivati bez posebne pripreme spoja.



**Slika 6.** Prikaz kutnog spoja izvedenog RMT postupkom (materijal – ST 37):  
a) d=6mm; b) d=8mm; c) d=20mm [9]

Kod većih debljina materijala kut pripreme se smanjuje sa 45° na 30° čime smanjujemo broj prolaza.



**Slika 7.** Priprema kutnog spoja kod RMT postupka zavarivanja [9]

Iako je filozofija smanjenja unosa energije za razliku od STT i FastROOT postupka drukčija, i ovdje se zbog veće penetracije, a time i manjeg broja prolaza, unosi znatno manja količina energije nego što je slučaj kod konvencionalnih MIG/MAG postupaka. To rezultira boljim spojem, manjim deformacijama (manji broj prolaza), većom brzinom zavarivanja (velika gustoća električnog luka) i znatno manjim vremenom pripreme spoja [8, 9, 10].

## 5. ZAKLJUČAK

Potaknuti sve boljom konkurencijom, ali i zahtjevima industrije (optimizacija troškova, povećanje produktivnosti, razvoj novih materijala, specifični tehnički zahtjevi itd.), proizvođači opreme i uređaja za zavarivanje primorani su ulagati u razvoj svojih proizvoda. Dokaz tome je i niz modifikacija gotovo svih postupaka zavarivanja koje su trenutačno dostupne na tržištu. Vidljivo je da se razvoj bazira najčešće na suvremenim izvorima struje za zavarivanje koji u specifičnim uvjetima daju optimalne rezultate: zadovoljavajuću kvalitetu zavarenog spoja, minimalni unos topline i nastale deformacije itd. Kako je riječ i o specifičnim uređajima i postupcima zavarivanja, prije odabira treba analizirati sve tehničke zahtjeve i isplativost ulaganja u iste jer se radi o skupim i sofisticiranim uređajima koji možda pri nekim drugim tehničkim zahtjevima neće dati bolja svojstva zavarenih spojeva, bolju produktivnost ili optimizaciju troškova s obzirom na konvencionalne uređaje, opremu i postupke.

## 6. LITERATURA

- [1] Kralj, S., Andrić, J., (1992.), *Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka*, FSB, Zagreb
- [2] Anzulović, B., (1990.), *Zavarivanje i srodni postupci*, FESB Split
- [3] *GMAW Welding Guide*, (2006.), Lincoln Electric
- [4] [www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX220.pdf](http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX220.pdf), preuzeto 03.09.2012.
- [5] [www.lincolnelectric.com/assets/en\\_US/Products/K1525-1/e452.pdf](http://www.lincolnelectric.com/assets/en_US/Products/K1525-1/e452.pdf), preuzeto 03.09.2012.
- [6] [www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/documents/0EAF654BDF3496D1C225720C0041FDF0/\\$file/ProNews\\_2\\_06\\_EN.pdf](http://www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/documents/0EAF654BDF3496D1C225720C0041FDF0/$file/ProNews_2_06_EN.pdf), preuzeto 05.09.2012.
- [7] [www.femker.ee/data/files/tootekatalogid/kemppi\\_product\\_catalogue\\_en\\_2009c.pdf](http://www.femker.ee/data/files/tootekatalogid/kemppi_product_catalogue_en_2009c.pdf), preuzeto 05.09.2012.
- [8] [www.ess-schweisstechnik.de/en/ess/news.php?cid=25](http://www.ess-schweisstechnik.de/en/ess/news.php?cid=25), preuzeto 06.09.2012.
- [9] [www.ess-schweisstechnik.de/assets/files/ess\\_rmt\\_flyer.pdf](http://www.ess-schweisstechnik.de/assets/files/ess_rmt_flyer.pdf), preuzeto 06.09.2012.
- [10] [www.ess-schweisstechnik.de/en/technologies/ess\\_rmt,388,67,111.php](http://www.ess-schweisstechnik.de/en/technologies/ess_rmt,388,67,111.php), preuzeto 07.09.2012.

### Kontakt autora:

#### Marko Horvat, dipl.ing., vanjski suradnik, asistent

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33  
42000 Varaždin  
098/793-832  
[marko.horvat@kr.t-com.hr](mailto:marko.horvat@kr.t-com.hr)

#### Veljko Kondić

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33  
42000 Varaždin  
098/844-277  
[veljko.kondic@velv.hr](mailto:veljko.kondic@velv.hr)

# REKONSTRUKCIJA EKSCENTAR PREŠE

## RECONSTRUCTION OF AN ECCENTRIC PRESS

*Božidar Hršak, Stjepan Golubić, Ivica Pogledić*

Stručni članak

**Sažetak:** Prikazana je rekonstrukcija i izrada 3D modela ekscentar preše koja je u upotrebi već duže vrijeme i to u proizvodnji opruga na temelju djelomično postojeće dokumentacije i snimke stanja primjenom reverznog inženjeringa. Analizirano je statičko opterećenje (FEA) osovine ekscentra preše metodom konačnih elemenata. Na temelju kreiranog 3D modela i 2D tehničke dokumentacije omogućena je izrada rezervnih dijelova za održavanje postojeće ekscentar preše, kao i izrada kompletnog rekonstruiranog sklopa.

**Ključne riječi:** ekscentar preša, reverzni inženjering, 3D modeliranje, CAD, radionički crtež, dio, sklop

Professional paper

**Abstract:** The reconstruction and development of 3D models of eccentric presses, which has been used for a longer period of time in the manufacture of springs, is shown partly based on existing documents and snapshots using reverse engineering. The analysis of static load (FEA) of eccentric shaft presses was conducted by the finite element method. Based on the created 3D model and 2D technical documentation the production of spare parts has been enabled to maintain the existing eccentric presses and complete production of the reconstructed complex.

**Key words:** eccentric presses, reverse engineering, 3D modelling, CAD, manufacturing sheet, part, assembly

### 1. UVOD

Danas najvažniju ulogu u industrijskoj proizvodnji ima tržišna konkurencija. Da bi neki proizvođač bio uspješan, mora udovoljiti mnogim rastućim zahtjevima globalnog tržišta. Jedan od uvjeta je brzi razvoj proizvoda, odnosno još brža implementacija promjene proizvoda koji zatraži kupac (npr: proizvodnja opruga), primjenom novih kompjutorskih tehnologija kao npr.: računalom podržano modeliranje (CAD-Computer Aided Design), računalom numeričko upravljanje (CNC-Computer Numerical Control) kao i sofisticiranim linijama za montažu gotovih proizvoda.

Na temelju spomenutog prikazana je rekonstrukcija i izrada 3D modela ekscentar preše na temelju postojeće dokumentacije o montaži i održavanju sklopa preše (dao ju proizvođač), djelomično postojeće 2D dokumentacije i snimanja postojećeg stanja.



Slika 1. Ekscentar preša starije proizvodnje [1]

### 2. EKSCENTAR PREŠA

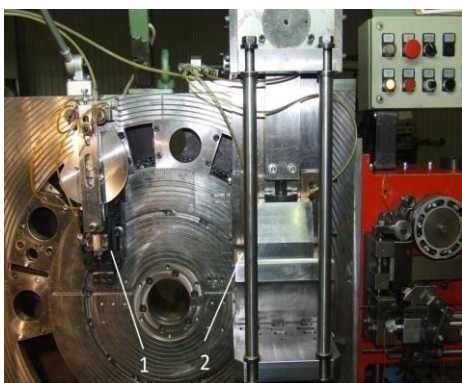
Koljenasta ili ekscentar preša je stroj za obradu metala bez odvajanja čestica kod kojeg se radni hod bata preše ostvaruje preko ekscentra koji pretvara kružno gibanje pogonskog vratila u pravocrtno gibanje alata. Ona može biti konstrukcijski izvedena kao zaseban stroj ili integrirana kao dio složenijeg stroja, odnosno linije za preradu metala. Ova vrsta preše je robusne konstrukcije, najčešće pogonjena elektromotorom (slika 1.).

Okretni moment prenosi se s elektromotora na zamašnjak (1) koji služi za ublažavanje udarnih opterećenja. Zamašnjak se nalazi na ekscentričnom (koljenastom) vratilu (2) koje rotira zajedno s njim. Na ekscentar vratila pričvršćen je zglob koji pogoni bat preše (3) i pretvara kružno gibanje pogonskog motora u pravocrtno gibanje alata. Na ovom principu temelji se rad svih ekscentar preša s tom razlikom da su današnje nešto modernije konstrukcije (slika 2.).



**Slika 2.** Ekscentar preša moderne izvedbe [2]

Na strojevima za oblikovanje žice i trakastih materijala koristi se kompaktnija izvedba preše. Ona je izvedena kao dodatni sklop koji se po potrebi može montirati i demontirati. Koristi se za zahtjevnije operacije probijanja, opsjecanja i plastične deformacije materijala kada je potrebna sila veća od one koju može ostvariti klasičan klizač. Maksimalno opterećenje preše iznosi 100000 N, dok klizač može podnijeti opterećenja do 20000 N (slika 3.).



**Slika 3.** Usporedni prikaz klizača i preše

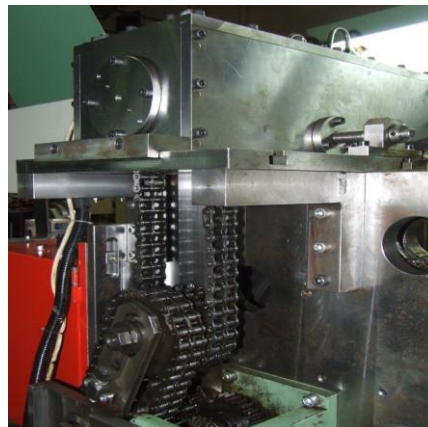
Klizač (1) je slabije konstrukcije i može ga se postaviti u razne položaje i orijentirati u više smjerova. Pretvorba kružnog gibanja u pravocrtno omogućena je rotacijom radne rolke po krivulji. Hod klizača određen je razlikom između minimalnog i maksimalnog promjera krivulje.

Strojna preša (2) mnogo je čvršća i masivnija, ali zbog toga ograničena na više načina. Položaj je moguće mijenjati samo u horizontalnom smjeru i to unutar 200 mm dopuštenog hoda koji je određen konstrukcijom preše. Gibanje se odvija u vertikalnom smjeru odozgo prema dolje, a ostvaruje se rotacijom ekscentra vratila u zglobovima. Visina radnog stola je fiksna i određena je konstrukcijom preše, dok radni hod ovisi o ekscentričnosti vratila i iznosi 8 mm. Ekscentričnost se može povećati do 14 mm uz smanjenje najvećeg dopuštenog opterećenja.

Pogon je izveden pomoću dvorednog valjkastog lanca koji omogućuje prijenos većih okretnih momenata. Veoma je važno da preša bude u "fazi" s ostalim alatima na stroju, što znači da za vrijeme jednog ciklusa preše

alati moraju obaviti točno jedan ciklus. Nedostatak ovog pogona je u tome što lanac ne može biti potpuno zategnut, već mora imati određeni progib koji u radu uzrokuje trzanje ekscentar vratila preše, a time se povećavaju dinamička opterećenja sklopa.

Na slici 4. prikazan je pogonski dio sklopa stroj - preša.



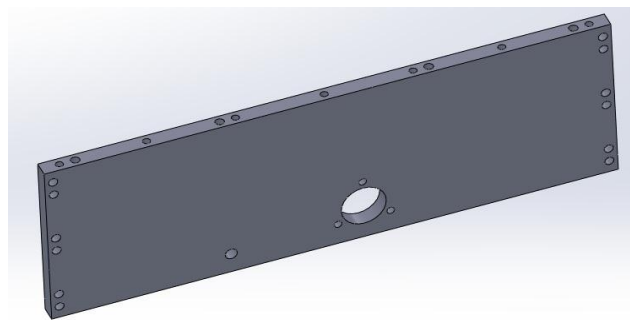
**Slika 4.** Pogon preše

### 3. IZRADA 3D MODELA EKSCENTAR PREŠE

Prilikom izrade 3D modela preše najprije su izrađeni 3D modeli svakog pojedinog dijela preše, zatim su svi dijelovi spojeni u zajedničku cjelinu (sklop), a nakon toga generirana 2D tehnička dokumentacija dijelova i sklopa preše.

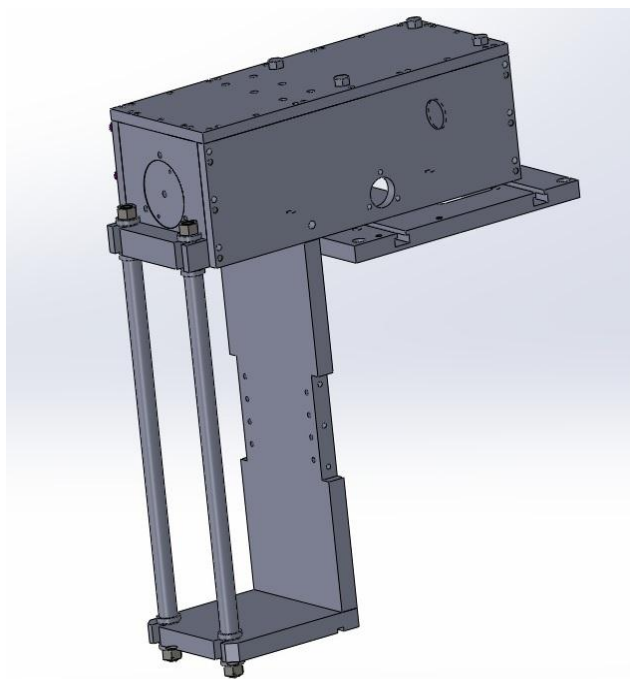
#### 3.1. Kućište preše

Kućiste je bazni dio preše i sastoji se od nekoliko dijelova. Svi dijelovi su pločastog oblika, ali prilikom modeliranja je veoma važno "poklopiti" provrte za centriranje i provrte za vijčano spajanje ostalih dijelova. Postupak modeliranja počinje izradom bočnih stranica (slika 5.).



**Slika 5.** 3D model bočne stranice

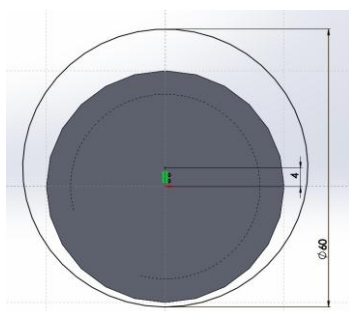
Na isti način izrađeni su i ostali dijelovi koji čine kućište preše: vertikalna ploča, gornji poklopac, prednja stranica, zadnja stranica, temeljna ploča preše i osnovna ploča koji su potom spojeni u zajedničku cjelinu - sklop kućišta preše (slika 6.).



Slika 6. Sklop kućišta preše

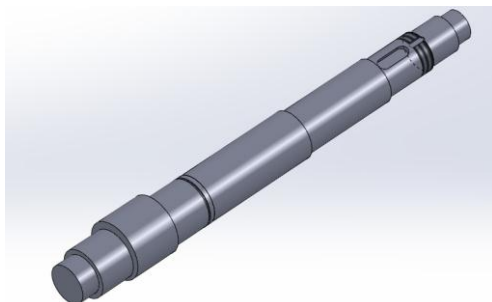
### 3.2. Ekscentar osovine

Ekscentar osovine je najvažniji dio preše koji izvodi glavno gibanje i diktira radni hod bata. Kod koncentričnih dijelova osovine, svaki novi promjer zadržava isti centar, dok je kod ekscentričnog dijela centar bazne kružnice pomaknut prema gore za 4 mm što daje ukupan hod bata preše od 8 mm (slika 7.)



Slika 7. Definiranje ekscentra osovine

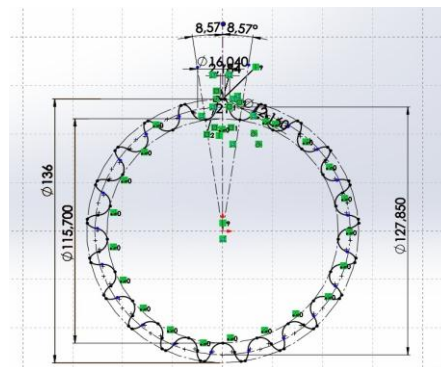
Nakon definiranja referentne ravnine za izradu dva utora za klin, modeliran je konačan oblik ekscentar osovine (slika 8.).



Slika 8. Ekscentar osovine

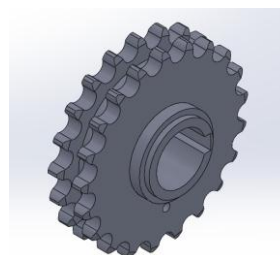
### 3.3. Dvoredni lančanik

Dvoredni lančanik pogoni osovinu ekscentar preše koja izvodi glavno radno gibanje. Prilikom izrade skice zuba lančanika, važno je precizno definirati geometriju zbog simetričnosti oblika skice u cilju definiranja jedinstvene zatvorene konture (slika 9.).



Slika 9. Bazna ploha dvorednog lančanika

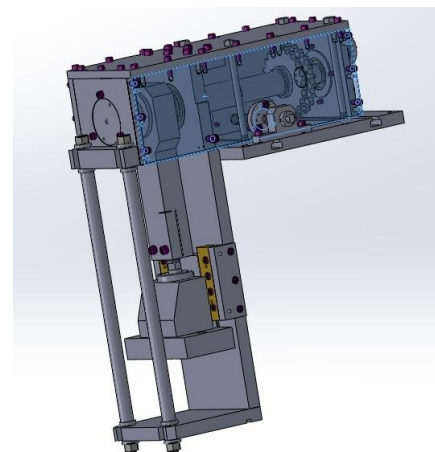
Pomoću raspoloživih alata za modeliranje izrađen je 3D model dvorednog lančanika (slika 10.).



Slika 10. 3D model dvorednog lančanika

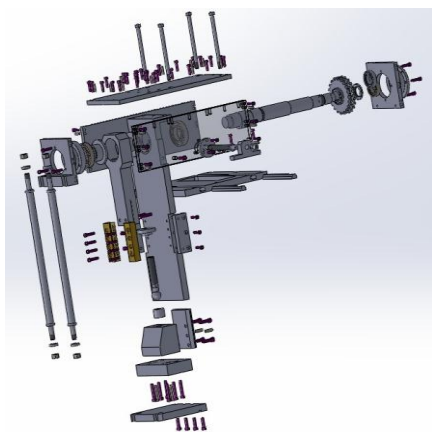
### 3.4. Sastavljanje dijelova u glavni sklop

Nakon modeliranja svih potrebnih dijelova ekscentar preše, pristupa se njihovom spajanju u glavni sklop (slika 11.).



Slika 11. Gotov 3D model glavnog sklopa ekscentar preše

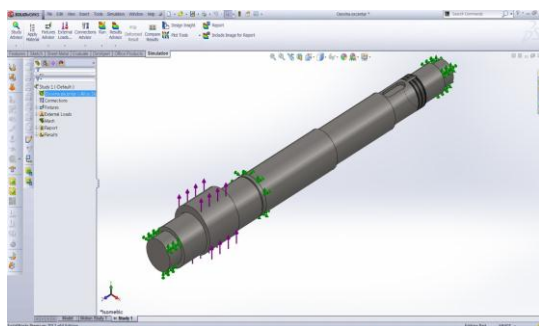
Na temelju gotovog 3D modela glavnog sklopa moguće je prikazati rastavljeni sklop koji vrlo korisno može poslužiti kod montaže ili servisiranja preše (slika 12.).



Slika 12. Rastavljeni prikaz glavnog sklopa ekscentar preše

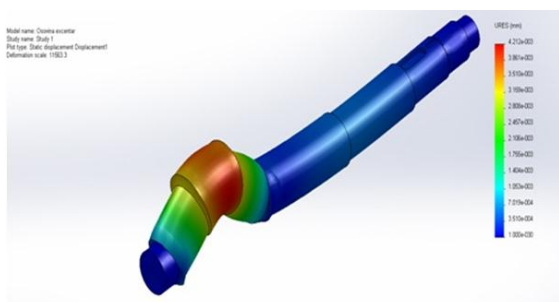
#### 4. ANALIZA OPTEREĆENJA (Finite element analysis – FEA)

U sklopu programskog alata *SolidWorks* integriran je alat za analizu deformacija i naprezanja *SolidWorks Simulation* u kome je analizirano statičko opterećenje osovine ekscentra preše metodom konačnih elemenata. Kao fiksni oslonci osovine definirani su položaji ležajeva, a sila opterećenja je smještena u okretište koje spaja ekscentar i polugu bata. Osovina je opterećena silom od 100000 N (slika 13.), a materijal osovine je legirani čelik čije su karakteristike definirane u bazi programskog alata *SolidWorks*.

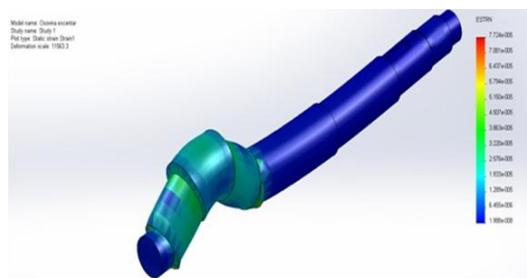


Slika 13. Početni uvjeti analize opterećenja

Nakon provedene analize i "karikiranog" prikaza deformacija (slika 14.) i naprezanja osovine (slika 15.), može se zaključiti da pri vršnom opterećenju ne dolazi do značajnijih deformacija osovine ekscentra preše.



Slika 14. Deformacije osovine



Slika 15. Naprezanja osovine

#### 5. ZAKLJUČAK

U proizvodnji opruga proizvod uglavnom definira kupa, a razvoj je usmjeren na konstrukciju alata koji će osigurati stabilan proces proizvodnje.

Ponekad je zbog promijenjenih zahtjeva tržišta potrebno rekonstruirati postojeća rješenja. Jedan od takvih primjera je i rekonstrukcija ekscentar preše koja se već dulje vrijeme koristi u proizvodnji opruga. Kupljena je od proizvođača strojeva i opreme za preradu žice i trakastih materijala kao dio linije. U tijeku eksploatacije razvila se potreba za izradom rezervnih dijelova preše, a tvrtka koja ju je izradila više ne postoji na tržištu. Redizajniranjem (reverznim inženjeringom) i rekonstrukcijom postojećeg sklopa ekscentar preše u programskom alatu *SolidWorks*, kreiran je 3D model i 2D tehnička dokumentacija prilagođena tehnološkim mogućnostima tvrtke. Time je omogućena izrada rezervnih dijelova za održavanje postojeće preše, kao i izrada kompletnog rekonstruiranog glavnog sklopa ako se za to ukaže potreba.

#### 6. LITERATURA

- [1] [http://www.metal-kovis.hr/strojevi/ekscentar\\_presa\\_gbu35\\_web](http://www.metal-kovis.hr/strojevi/ekscentar_presa_gbu35_web)
- [2] <http://www.arovana.si/?viewPage=176>
- [3] Margić / Rebec. Štance, 1. dio. Zagreb : FSB, 1990.
- [4] Ticko. SolidWorks 2008 za mašinske inženjere. Mikro knjiga, 2009.
- [5] Inženjerski priručnik IP1, Temelji inženjerskih znanja. Zagreb : Školska knjiga, 1996.
- [6] Praktičar 2, strojarstvo. Zagreb : Školska knjiga, 1972.
- [7] Decker, K.H. Elementi strojeva. Zagreb : Golden marketing ; Tehnička knjiga, 2008.

#### Kontakt autora:

Visoka tehnička škola u Bjelovaru  
Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

**Božidar Hršak, dipl.ing.stroj.**

042/241-185, [bhrsak@vtsbj.hr](mailto:bhrsak@vtsbj.hr)

**mr.sc. Stjepan Golubić, dipl.ing.**

098/171-6041, [sgolubic@vtsbj.hr](mailto:sgolubic@vtsbj.hr)

**Ivica Pogledić (bivši student)**

098/833-373, [ivica.pogledic@bj.t-com.hr](mailto:ivica.pogledic@bj.t-com.hr)

## PROCJENA BROJA NODULA I NODULARNOSTI U ODLJEVCIMA OD NODULARNOG LIJEVA KORIŠTENJEM TOPLINSKE ANALIZE

### THE ASSESSMENT OF THE NODULE COUNT AND NODULARITY IN DUCTILE IRON CASTINGS BY USING THERMAL ANALYSIS

*Zoran Glavaš, Anita Štrkalj, Franjo Kozina*

Izvorni znanstveni rad

**Sažetak:** U ovom radu je analiziran utjecaj parametara koji su registrirani i mjereni toplinskom analizom na broj nodula/mm<sup>2</sup> i nodularnost u odljevcima od nodularnog lijeva. Dobiveni rezultati pokazuju da broj nodula/mm<sup>2</sup> i nodularnost rastu s povećanjem temperature eutektičnog pothlađenja ( $T_{EP}$ ) i grafitnog faktora 1 (GRF 1), te smanjenjem rekalescencije ( $T_R$ ), grafitnog faktora 2 (GRF 2) i vrijednost prve derivacije krivulje hlađenja na solidus temperaturi ( $d/dt T_S$ ).

Obrada dobivenih rezultata je provedena višestrukom regresijskom analizom. Na osnovi mjerenih toplinskih parametara, formirani su modeli za procjenu broja nodula/mm<sup>2</sup> i nodularnosti. Visoke vrijednosti koeficijenata korelacije između mjerenih i procijenjenih vrijednosti broja nodula/mm<sup>2</sup> (nodularnosti) potvrđuju da postoji čvrsta korelacija između toplinskih parametara taline nodularnog lijeva i mikrostrukturnih značajki odljevaka od nodularnog lijeva.

**Ključne riječi:** nodularni lijev, broj nodula/mm<sup>2</sup>, nodularnost, toplinska analiza

Original scientific paper

**Abstract:** The effect of parameters which are identified and measured by thermal analysis on the nodule count and nodularity in ductile iron castings was analyzed in this paper. The obtained results show that the nodule count and nodularity increases with increasing the temperature of eutectic undercooling ( $T_{EP}$ ) and graphite factor 1 (GRF 1) and decreasing recalescence ( $T_R$ ), graphite factor 2 (GRF2) and value of the first derivative of the cooling curve at  $T_S$  ( $d/dt T_S$ ).

The processing of obtained results was performed by multiple regression analysis. Based on the measured thermal parameters, models for estimation of the nodule count and nodularity were established. The high correlation coefficients between the measured and the estimated values of the nodule count (nodularity) confirm that there is a tight correlation between the thermal parameters of ductile iron melt and microstructural features of ductile iron castings.

**Key words:** ductile iron, nodule count, nodularity, thermal analysis

## 1. INTRODUCTION

Ductile iron is cast iron in which the graphite is present as tiny spheres (nodules) [1, 2]. In ductile iron, eutectic graphite separates from the molten iron during solidification in a manner similar to that in which eutectic graphite separates in gray cast iron. However, because of additives (magnesium) introduced in the molten iron before casting, the graphite grows as spheres, rather than as flakes of any of the forms characteristic of gray iron. Cast iron containing spheroidal graphite has higher tensile properties and toughness than gray iron or malleable iron. Due to favorable combination of mechanical properties (relatively high tensile strength and toughness), ductile iron is used in many structural applications, such as pipes, various automotive parts etc. With an existing world market in excess of 20,0 million product tons per annum, ductile iron has become in the

space of sixty years a widely accepted engineering material [3].

The most important and distinguishing microstructural feature of ductile iron is the presence of graphite nodules which act as "crack-arresters" and give ductile iron ductility and toughness superior to all other cast irons, and equal to many cast and forged steels [1, 2]. The amount and shape of the graphite in ductile iron are determined during solidification and cannot be altered by subsequent heat treatment [4]. It is common to attempt to produce greater than 90,0 % of graphite in nodular form (> 90,0 % nodularity). Shapes those are intermediate between a true nodular form and a flake form yield mechanical properties that are inferior to those of ductile iron with true nodular graphite [5]. The size and uniformity of distribution of graphite nodules also influence properties, but to a lesser degree than graphite shape. An optimum nodule density exists [6].

Small, numerous nodules are usually accompanied by high tensile properties and tend to reduce the likelihood of the formation of chilled iron in thin sections or at edges. Excessive nodules may weaken a casting to such a degree that it may not withstand the rigors of its intended application.

Chemical composition is one of the most significant factors in determining the metal matrix structure [4, 7 - 9]. However, nodule count also affects the matrix structure. As nodule count increases, the diffusional paths of carbon in the eutectoid transformation range decrease, which results in higher ferrite volume fraction in the microstructure for the same chemical composition and cooling conditions [4, 6, 10]. A graphite spheroid in a matrix of ferrite provides an iron with good ductility and impact resistance and with a tensile and yield strength equivalent to low carbon steel. Graphite spheroids in a matrix of pearlite result in an iron with high strength, good wear resistance, and moderate ductility and impact resistance. Inoculation has an important influence on graphite nodularity and nodule count. Proper inoculation will improve the nucleation state of the melt, which results in higher nodule count and graphite nodularity [6, 11].

It is obvious that the shape, distribution and amount of graphite and nodule count significantly influence the properties of ductile iron. The precipitation of graphite in nodular form is not only controlled by magnesium content. The nucleation of graphite occurs through a heterogeneous process and preexisting nuclei compatible with crystallographic structure of graphite are needed [5, 11]. The more suitable nuclei per unit volume (higher nucleation potential), the greater the number of graphite particles that start to grow. Nucleation potential and chemical composition determine the graphitization potential of the melt. A high graphitization potential will result in melts with graphite as the rich carbon phase.

Foundries often experience a situation where they get faultless castings on one occasion and unexpectedly high scrap rates on another, even though the chemical analysis, pouring temperatures and pouring times were identical in both cases. Such situations are often caused by the fact that the solidification process varied due to differences in the nucleation potential and metallurgical quality of the melts. Analysis of chemical composition of the cast iron melt does not give information about these essential properties.

Metallurgical quality of the melt is rather vague parameter, which is related to the composition of the melt and its processing, and becomes somewhat more meaningful if it is equated to graphite forming tendency as opposed to solidification with carbide. This does not mean that all ductile irons which are carbide-free as-cast are equal in metallurgical quality. Considerable quality differences exist. Probably the most sensitive quality indicator is nodule count.

The melt control method which gives the better insight into the nucleation potential and metallurgical quality of the melt is thermal analysis (TA). Thermal analysis is a simple, quick and reliable method for the assessment of melt quality and observation of solidification process of cast irons. In the foundries, thermal analysis is performed by recording of cooling

curves. The parameters which are identified and measured by thermal analysis could be applied in the assessment of influence of process parameters on solidification, i.e. for the assessment of metallurgical quality and nucleation potential of the melt. The cooling curve incorporates the solidification history of the particular sample for which the curve was recorded. Many attempts have been made to correlate the data from the cooling curve with the shape of graphite, microstructural features and mechanical properties in order to obtain a reliable system for melt control [12 - 14].

In this paper the data from the cooling curves are correlated with the nodule count and nodularity in ductile iron castings. Mathematical models for the estimation of the nodule count and nodularity in ductile iron castings on the base of measured thermal parameters were established.

## 2. EXPERIMENTAL

The base irons for the production of ductile irons were produced in an acid-lined cupola furnace and a medium frequency coreless induction furnace. The charge materials for cupola furnace consisted of special low-manganese pig iron, ductile iron returns and steel scrap. The charge materials for induction furnace consisted of special low-manganese pig iron, steel scrap, ductile iron returns, ferrosilicon and recarburizer. Preconditioning of the base irons produced in induction furnace was performed by addition of silicon carbide in amount of 1,0 wt. % of the metallic charge.

Thermal analysis of base irons was performed by the advanced thermal analysis system. A sample of the melt was poured into a standardized mould with a thermocouple. For each base iron one cooling curve was recorded and an advanced thermal analysis system was calculated thermal parameters.

The nodularization treatment of the base irons produced in cupola furnace was performed by Flotret method via standard FeSiMg5 alloy. The nodularization treatment of the base irons produced in induction furnace was performed by Cored Wire method, and inoculation was performed with 0.3 wt. % of Ca/Al/Ba containing ferrosilicon. For Cored Wire method, treatment alloy containing 15.40 wt. %Mg, 45.70 wt. %Si and 2.40 wt. %Ce<sub>MM</sub>. After the nodularization treatment a Y-blocks were cast. The dimensions and the form of the Y-block are specified according to the EN 1563:1997. Altogether, 10 ductile iron melts was made.

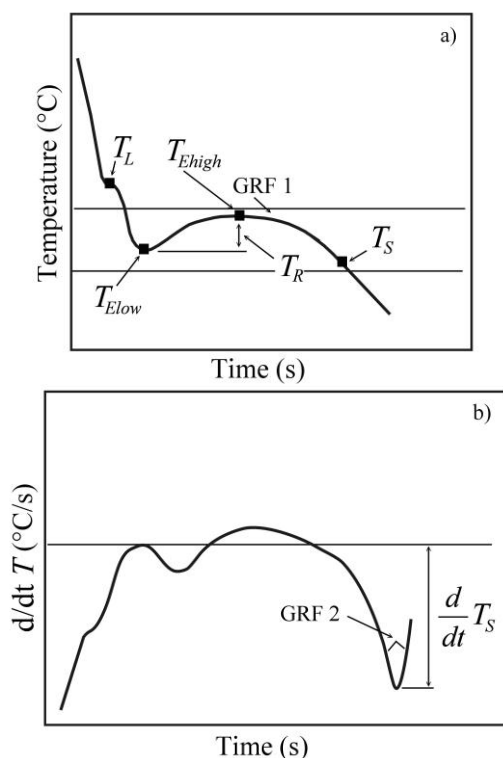
Test pieces for the metallographic examinations were machined from Y-blocks and prepared by the standard metallographic technique. Metallographic examinations (the measurement of the nodule count and graphite nodularity) were performed by a light metallographic microscope with a digital camera and the image analysis system. On each test piece, three measurements were performed for each analyzed microstructural feature. Average values of the nodule count and nodularity in each ductile iron casting were calculated on the basis of individual measurements.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of thermal analysis are given in table 1. Only those thermal parameters that are most relevant for assessment of the nucleation potential and metallurgical quality of the base irons are given. The thermal analysis data indicate that the nucleation potential and metallurgical quality of the base iron vary from heat to heat (table 1). Figures 1a and 1b schematically show the thermal parameters on the cooling curve and on the first derivative of the cooling curve in the eutectic range.

**Table 1.** Thermal parameters of the base iron melts

| Base iron heat | Thermal parameters |            |       |       |                   |
|----------------|--------------------|------------|-------|-------|-------------------|
|                | $T_{Elow}$ , °C    | $T_R$ , °C | GRF 1 | GRF 2 | $\frac{d}{dt}T_S$ |
| 1              | 1141,0             | 6,1        | 75    | 50    | -3,08             |
| 2              | 1137,2             | 7,4        | 65    | 57    | -2,95             |
| 3              | 1136,3             | 6,2        | 76    | 61    | -2,83             |
| 4              | 1139,5             | 7,5        | 70    | 61    | -2,91             |
| 5              | 1140,5             | 7,5        | 72    | 55    | -2,93             |
| 6              | 1139,7             | 5,7        | 81    | 45    | -3,23             |
| 7              | 1142,5             | 3,5        | 79    | 45    | -3,27             |
| 8              | 1143,9             | 2,6        | 87    | 39    | -3,50             |
| 9              | 1145,3             | 2,5        | 90    | 34    | -3,60             |
| 10             | 1148,8             | 2,0        | 91    | 29    | -3,62             |



**Figure 1.** a) Schematic show of the cooling curve of the ductile iron in the eutectic range with displayed thermal parameters, b) Schematic show of the first derivative of the cooling curve in the eutectic range with displayed thermal parameters

The chemical compositions of examined ductile iron heats are given in table 2. It can be observed from table 2 that between the individual melts there are no significant

differences in the content of carbon and silicon. With a carbon content in the ductile irons in the range from 3,62 wt. % to 3,75 wt. % and a silicon content in the range from 2,79 wt. % to 2,98 wt. % carbon equivalents in the range from 4,57 to 4,74 were achieved. This corresponds to hypereutectic compositions. The precipitation of hard and brittle phosphide eutectic was avoided due to the low phosphorus content (0,033 wt. % to 0,044 wt. %). Carbides are avoided due to the low content of elements that promotes the formation of carbides (chromium, manganese). The content of pearlite promoters (manganese, copper, tin) is low, except in the ductile iron heat No. 1 to 2. Magnesium contents are not inside the optimal range (0,035 wt. % and 0,045 wt. %), which has a negative effect on the graphite shape.

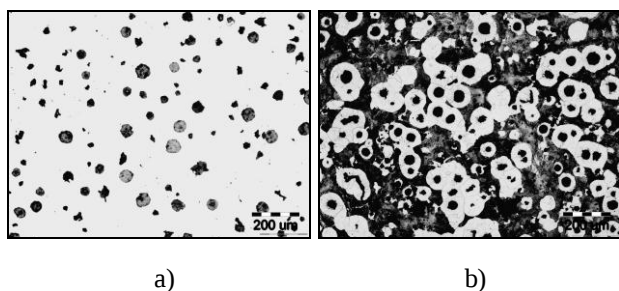
**Table 2.** Chemical compositions of examined ductile iron heats (wt. %)

| Ductile iron heat | Chemical composition, wt. % |      |      |       |       |       |      |      |       |
|-------------------|-----------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|
|                   | C                           | Si   | Mn   | S     | P     | Mg    | Cr   | Cu   | Sn    |
| 1                 | 3,71                        | 2,79 | 0,16 | 0,005 | 0,044 | 0,026 | 0,06 | 0,57 | 0,014 |
| 2                 | 3,67                        | 2,85 | 0,16 | 0,008 | 0,036 | 0,030 | 0,06 | 0,28 | 0,012 |
| 3                 | 3,62                        | 2,92 | 0,29 | 0,002 | 0,039 | 0,032 | 0,05 | 0,12 | 0,002 |
| 4                 | 3,65                        | 2,82 | 0,27 | 0,003 | 0,038 | 0,026 | 0,06 | 0,13 | 0,002 |
| 5                 | 3,67                        | 2,79 | 0,25 | 0,007 | 0,036 | 0,026 | 0,05 | 0,07 | 0,019 |
| 6                 | 3,64                        | 2,79 | 0,18 | 0,001 | 0,033 | 0,024 | 0,06 | 0,08 | 0,007 |
| 7                 | 3,69                        | 2,93 | 0,19 | 0,003 | 0,043 | 0,036 | 0,06 | 0,08 | 0,017 |
| 8                 | 3,64                        | 2,82 | 0,18 | 0,008 | 0,039 | 0,028 | 0,07 | 0,08 | 0,014 |
| 9                 | 3,66                        | 2,84 | 0,16 | 0,006 | 0,041 | 0,030 | 0,07 | 0,09 | 0,011 |
| 10                | 3,75                        | 2,98 | 0,19 | 0,006 | 0,042 | 0,033 | 0,05 | 0,08 | 0,014 |

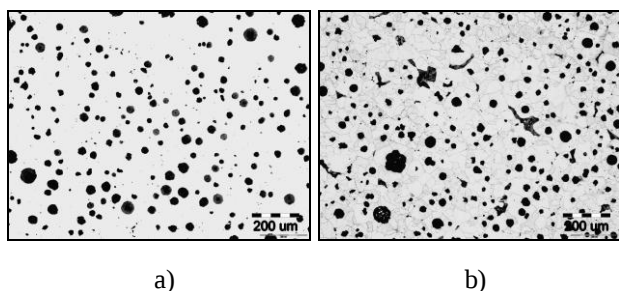
The results of metallographic examinations of nodule count and nodularity are given in table 3. The data in table 3, as well as the figures 3 and 4 indicate that there are significant differences in the microstructural features between the ductile iron melts. It is obvious that the nodularity and nodule count are not only controlled by chemical composition. Solidification process varied due to differences in the nucleation potential and metallurgical quality of the melts. Analysis of chemical composition of the ductile iron melt does not give information about these essential properties, which strongly affect the resulting microstructural features.

**Table 3.** Microstructure features of examined ductile iron heats

| Ductile iron heat | Nodularity, % | Nodule count |
|-------------------|---------------|--------------|
| 1                 | 69,0          | 95           |
| 2                 | 70,0          | 82           |
| 3                 | 74,0          | 86           |
| 4                 | 71,0          | 87           |
| 5                 | 70,0          | 93           |
| 6                 | 76,0          | 108          |
| 7                 | 77,0          | 119          |
| 8                 | 77,0          | 146          |
| 9                 | 82,0          | 168          |
| 10                | 80,0          | 192          |



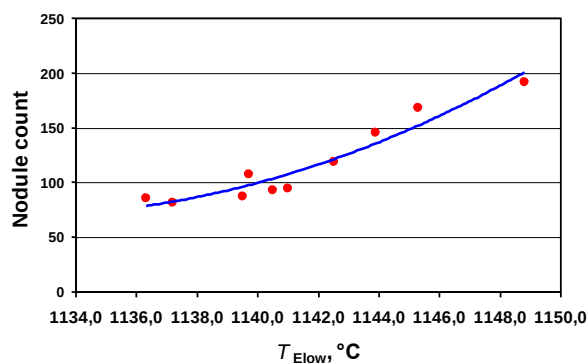
**Figure 3.** Optical micrographs of the microstructure of ductile iron heat No. 1: a) no etched; b) etched, natal



**Figure 4.** Optical micrographs of the microstructure of ductile iron heat No. 10: a) no etched; b) etched, natal

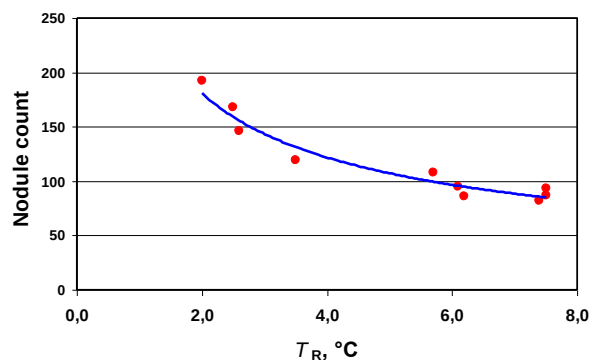
Data analysis shows that there is a correlation between the thermal parameters of base iron melts and analyzed microstructural features of ductile irons (tables 1 and 3).

Figure 5 shows that the increase of the lowest eutectic temperature ( $T_{\text{Elow}}$ ) results in increase of nodule count. Low  $T_{\text{Elow}}$  indicates poor nucleation potential of the ductile iron melt i.e. a low number of active sites for nucleation of graphite. A low number of active sites for the nucleation of graphite results in a low nodule count.



**Figure 5.** The influence of lowest eutectic temperature ( $T_{\text{Elow}}$ ) on nodule count

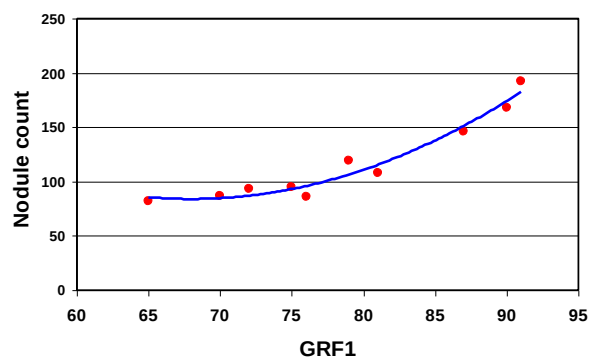
As recalescence increases, the nodule count decreases (Figure 6). Recalescence  $T_R$  (figure 1a) represents the difference between the highest eutectic temperature  $T_{\text{Ehigh}}$  and the lowest eutectic temperature  $T_{\text{Elow}}$ .



**Figure 6.** The influence of recalescence ( $T_R$ ) on nodule count

Recalescence is the indicator of eutectic growth, i.e. the amount of austenite and graphite that are precipitated during the early stage of eutectic solidification. High recalescence indicates poor nucleation properties of the melt. Moreover, high value of recalescence is related to the non-continuous precipitation of graphite during the solidification. A too high amount of graphite precipitated in the early stage of eutectic solidification results in a small amount of available graphite during the later solidification. Due to that, secondary nucleation sites are not activated, which result in a lower nodule count.

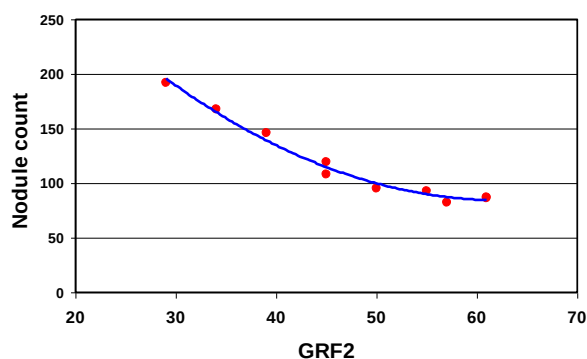
A figure 7 shows the influence of graphite factor 1 (GRF 1) on nodule count.



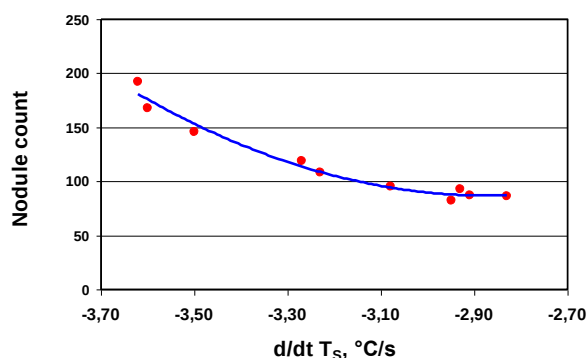
**Figure 7.** The influence of graphite factor 1 (GRF 1) on nodule count

GRF1 (figure 1a) is a parameter that reflects how much eutectic, i.e. eutectic graphite is precipitated during the second part of the eutectic solidification (from  $T_{\text{Ehigh}}$  to  $T_S$ ). This parameter is defined as the relative time for the temperature to drop 15 °C from the highest eutectic temperature ( $T_{\text{Ehigh}}$ ). A high GRF1 indicates a continuous precipitation of eutectic graphite, which is related to the activation of secondary nucleation sites. This results in the moving of the eutectic reaction toward longer times. This mode of eutectic solidification, when the nucleation and the growth of eutectic occur in longer times, results in a higher distribution of sizes of the precipitated graphite, i.e. a higher density of graphite particles in the metal matrix. A higher number of graphite particles during the eutectoid transformation enable the formation of higher ferrite content in the microstructure of ductile iron.

Figure 8 shows that the nodule count increases with decrease of graphite factor 2 (GRF 2). GRF 2 (figure 1b) is a parameter that reflects the change of the cooling rate at the end of the solidification, measuring indirectly thermal conductivity. This parameter is calculated from the cooling rate before and after the solidus. The angle of the first derivative at the solidus temperature ( $T_S$ ) and the negative peak at the latest segment of the first derivative are used to calculate GRF 2. Low value of GRF 2 indicates high thermal conductivity, which is an indicator of a high amount of graphite (i.e. high nodule count) at the end of the solidification. Low value of the first derivative of the cooling curve at the solidus (higher depth of the negative peak)  $\frac{d}{dt}T_S$  (figure 1b) is related to a high thermal conductivity, i.e. high amount of eutectic graphite at the end of the solidification in the ductile iron (high nodule count, figure 9). Therefore, GRF 2 combined with  $\frac{d}{dt}T_S$  is a strong indicator of thermal conductivity, i.e. the graphite shape and nodule count in ductile iron.



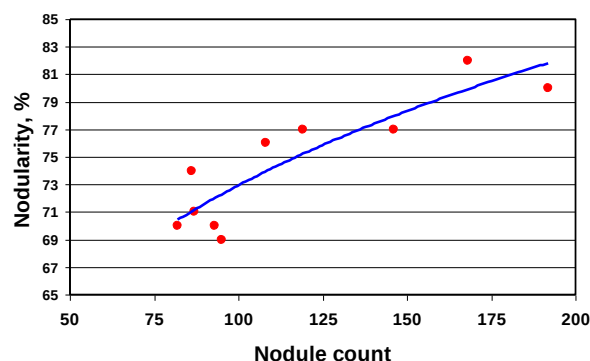
**Figure 8.** The influence of graphite factor 2 (GRF 2) on nodule count



**Figure 9.** The influence of the value of the first derivative of the cooling curve at the solidus temperature ( $\frac{d}{dt}T_S$ ) on nodule count

Nodule count has a significant influence on graphite nodularity. The increase in nodule count results in a

decrease of their size and increases their sphericity. Therefore, the nodularity increases (Figure 10).



**Figure 10.** Dependence of nodularity on nodule count

The processing of obtained results was performed by multiple regression analysis. Based on the measured thermal parameters (table 1) models for estimation of the nodule count and nodularity were established. With the goal of achieving a higher accuracy, separate models were established for each microstructural feature:

$$\text{Nodule count} = -5161,43 + 4,49 \cdot T_{\text{Elow}} - 1,65 \cdot T_R + 1,16 \cdot \text{GRF 1} - 0,13 \cdot \text{GRF 2} - 23,94 \cdot (d/dt T_S)$$

$$\text{Correlation coefficient: } R = 0,9806$$

$$\text{Nodularity} = 443,6346 - 0,3729 \cdot T_{\text{Elow}} - 0,7638 \cdot T_R + 0,3095 \cdot \text{GRF 1} + 0,1469 \cdot \text{GRF 2} - 9,1363 \cdot (d/dt T_S), \%$$

$$\text{Correlation coefficient: } R = 0,9334$$

The high correlation coefficients between the measured and the estimated values of microstructural features confirm that there is a tight correlation between the thermal parameters of ductile iron melt and microstructural features of ductile iron castings.

Tables 4 and 5 show a comparison of the measured microstructural features and estimated microstructural features by models.

**Table 4.** Comparison of measured and predicted nodule count

| Ductile iron heat | Nodule count (measured) | Nodule count (predicted by model) | Difference |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------|
| 1                 | 95                      | 109                               | 14         |
| 2                 | 82                      | 72                                | -10        |
| 3                 | 86                      | 79                                | -7         |
| 4                 | 87                      | 86                                | -1         |
| 5                 | 93                      | 94                                | 1          |
| 6                 | 108                     | 112                               | 4          |
| 7                 | 119                     | 127                               | 6          |
| 8                 | 146                     | 150                               | 4          |
| 9                 | 168                     | 164                               | -4         |
| 10                | 192                     | 183                               | -12        |

**Table 5.** Comparison of measured and predicted nodularity

| Ductile iron heat | Nodularity (measured) | Nodularity (predicted by model) | Difference |
|-------------------|-----------------------|---------------------------------|------------|
| 1                 | 69                    | 72                              | 3          |
| 2                 | 70                    | 69                              | -1         |
| 3                 | 74                    | 74                              | 0          |
| 4                 | 71                    | 70                              | -1         |
| 5                 | 70                    | 70                              | 0          |
| 6                 | 76                    | 76                              | 0          |
| 7                 | 77                    | 76                              | -1         |
| 8                 | 77                    | 80                              | 3          |
| 9                 | 82                    | 80                              | -2         |
| 10                | 80                    | 79                              | -1         |

Tables 4 and 5 show very good agreement between measured and predicted values of microstructural features, which is confirmed by high values of coefficient correlations between the models outputs and the corresponding values obtained by measuring.

## 4. CONCLUSIONS

The obtained results confirmed that the thermal analysis is melt control method which gives the best insight into the nucleation potential and metallurgical quality of the melt. The parameters which are identified and measured by thermal analysis could be applied in the assessment of influence of process parameters on solidification, i.e. for the assessment of metallurgical quality and nucleation potential of the melt. The high correlation coefficients between the measured values of microstructural features and the estimated values of microstructural features obtained by model confirm that there is a tight correlation between the thermal parameters of ductile iron melt and microstructural features of ductile iron castings.

## 5. REFERENCES

- [1] Gagné M., (2004.), *The Sorelmetal Book of Ductile Iron*, Rio Tinto Iron & Titanium, Montreal
- [2] Gagné M., (1998.), *Ductile Iron Data for Design Engineers*, Rio Tinto Iron & Titanium, Montreal
- [3]..., A Modern Casting Staff Report, (2010.), 45<sup>th</sup> Census of World Casting Production – 2010., *Modern Casting*, Vol. 101, No. 12, 16 – 19
- [4] Skaland T., Grong Ø., (1991.), Nodule Distribution in Ductile Cast Iron, *Proceedings of the Ninety-Fifth Casting Annual Meeting*. Ed. Agin J., Des Plaines, American Foundrymen's Society, Illinois, 153 – 157
- [5] Davis R. J., (1999.), *Cast Irons*, ASM International, Ohio
- [6] Unkić F., Glavaš Z., Terzić K., (2008.), Utjecaj broja nodula na žilavost feritnog nodularnog lijeva, *Strojarstvo*, Vol. 50, No. 4, 231 - 238
- [7] Venugopalan D., (1990.), A Kinetic Model of the  $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Gr}$  Eutectoid Transformation in Spheroidal Graphite Cast Irons, *Metallurgical Transactions*, Vol. 21A, No. 4, 913 - 918
- [8] Venugopalan D., (1990.), Prediction of Matrix Microstructure in Ductile Iron, *Proceedings of the Ninety-Fourth Annual Meeting*. Ed. Agin J., Des Plaines, American Foundrymen's Society, Illinois, 465 - 469
- [9] Venugopalan D., Alagarsamy A., (1989.), Influence of Microstructure and Chemical Composition on the Mechanical Properties of Ductile Iron, *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Physical Metallurgy of Cast Iron*, *Physical Metallurgy of Cast Iron IV*, Ed. Ohira G., Kusakawa T., Niyama E., Tokyo, Materials Research Society, Japan, 321 - 328
- [10] Guo X., Stefanescu D. M., (1997.), Solid Phase Transformation in Ductile Iron – A Benchmark for Computational Simulation of Microstructure, *Proceedings of the One Hundred First Annual Meeting*. Ed. Dienst H.W., Des Plaines, American Foundrymen's Society, Illinois, 533 - 543
- [11] Skaland T., Grong Ø., Grong T., (1993.), A Model for the Graphite Formation in Ductile Cast Iron: Part I, Inoculation Mechanisms, *Metallurgical Transactions*, Vol. 24A, No. 2, 2321 - 2345
- [12] Stefanescu D. M., (1984.), Solidification of Flake, Compacted/Vermicular and Spheroidal Graphite Cast Irons as Revealed by Thermal Analysis and Directional Solidification Experiments, *Proceedings of the Third International Symposium on the Physical Metallurgy of Cast Iron*, *The Physical Metallurgy of Cast Iron*, Ed. Fredriksson, H., Hillert, M., Stockholm, Elsevier Science Publishing Company, Sweden, 151 - 162
- [13] Loper Jr. C. R., Heine R. W., Chaudhari M. D., (1974.), Thermal Analysis for Structure Control, *Proceedings of the Second International Symposium on the Metallurgy of Cast Iron*, *The Metallurgy of Cast Iron*, Ed. Lux B., Minkoff I., Mollard F., Geneva, Georgi Publishing Company, Switzerland, 639 – 657
- [14] Glavaš Z., Lisjak D., Unkić F., (2007.), The Application of Artificial Neural Network in the Prediction of the As-cast Impact Toughness of Spheroidal Graphite Cast Iron, *Kovové Materiály*, Vol. 45, No. 1, 41 – 49

### Kontakt autora:

Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

**dr.sc. Zoran Glavaš, docent**  
[glavaszo@simet.hr](mailto:glavaszo@simet.hr)

**dr.sc. Anita Štrkalj, docent**  
[strkalj@simet.hr](mailto:strkalj@simet.hr)

**Franjo Kozina (bivši student)**  
091/164-9939  
[fkozina@net.hr](mailto:fkozina@net.hr)

# STVARANJE OSNOVNIH GRAFIČKIH DIJELOVA ELEKTROPROJEKTA

## CREATION OF BASIC GRAPHICAL ELEMENTS FOR ELECTRICAL ENGINEERING PROJECT DOCUMENTATION

*Đuro Kukec, Željko Dušak*

Stručni članak

**Sažetak:** Strujne sheme su važan grafički dio svakog elektroprojekta. Na kvalitetu i brzinu stvaranja strujnih shema znatno utječe pripremljenost simbola. Ovdje prikazan programski alat ima veliku knjižnicu simbola koje je vrlo jednostavno koristiti. Unatoč tome, s vremena na vrijeme korisnik zbog nedostatka nekog specifičnog simbola mora samostalno proširiti knjižnicu simbola novim simbolima. Ovaj rad prikazuje stvaranje nove mape simbola u okviru postojeće knjižnice simbola, stvaranje simbola te njegovo korištenje pri stvaranju strujne sheme.

**Ključne riječi:** elektroprojekt, mapa simbola, knjižnica simbola, strujna shema, simboli

Professional paper

**Abstract:** Circuit diagrams are an important graphic part of electrical engineering project documentation. Both quality and time needed to create electrical engineering documentation are affected by grade of preparedness of symbols. Software tool that is presented here has a detailed library of symbols which is very easy to use. However, from time to time, symbol library needs to be updated by user created symbols. This paper demonstrates creation of new folder in symbol library, creation of new symbol and its usage in circuit diagram.

**Key words:** Electrical engineering project documentation, symbol library, circuit diagram, symbols

### 1. UVOD

Postupak stvaranja strujnih shema u ovom je radu podijeljen u dva dijela: na stvaranje simbola i stvaranje strujne sheme.

#### 1.1. Stvaranje simbola

Simbol se ne može izravno dodati u knjižnicu. Treba pripremiti novu mapu u koju će se simbol spremiti. SEE Electrical ima knjižnicu za tu namjenu pod nazivom „Moji simboli“, a nakon instalacije ta je knjižnica prazna. U knjižnicu se mogu dodavati mape, a u mape simboli. Ovako spremljeni simboli su trajno sačuvani pa kod primjene funkcioniraju isto kao i simboli iz originalnih mapa.

Potrebno je napomenuti da se u elektroprojektiranju moraju koristiti standardni simboli. Samo u posebnim slučajevima se može dodati novi simbol. Osim simbola, u ovu knjižnicu se na isti način mogu spremiti dijelovi shema koji nam često trebaju pri projektiranju, pa i čitave sheme. Zato je u ovome dodatna vrijednost ove knjižnice.

Novi i stari simboli moraju biti prikazani u legendi na kraju svakog elektroprojekta s jasno upisanim njihovim značenjem.

#### 1.2. Stvaranje strujne sheme

SEE Electrical ima posebne predloške za crtanje shema. Predlošci se mogu mijenjati. Za crtanje se moraju koristiti priloženi predlošci za strujne sheme jer samo na njima SEE Electrical stvara bazu podataka iz koje automatski stvara dio dokumenata za elektroprojekt. Automatski stvara priključni plan, popise komponenata, stezaljki, vodove, kabele, desetak dokumenata.

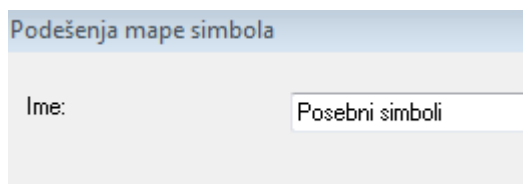
Iz alatne trake se koriste alati za postavljanje potencijala, vodova i opisivanje. Potencijali i simboli u shemi se spajaju isključivo vodovima-žicama, ako se koristi crta za spajanje shema će kao crtež na predlošku izgledati u redu. Kod automatskog stvaranja ostale dokumentacije dokumenti neće biti potpuni. Pri postavljanju simbola na shemu, simbol je označen oznakom iz zadnje primjene. Oznaka može i dalje ostati ista ili se prema potrebi zamjeniti novom. Crtanje potencijala i vodova može biti ručno ili dobrim dijelom automatski.

### 2. STVARANJE SIMBOLA

#### 2.1. Stvaranje mape simbola

Da bi se stvorila mapa simbola trebaju sljedeći postupci:

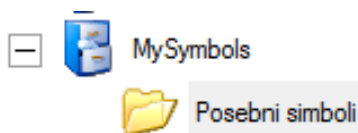
- Za stvaranje simbola otvori *Stablo simbola*
- Odaberi praznu mapu *Moji simboli*
- Pritisni desni gumb na mapu *Moji simboli*
- Nakon otvaranja prozora pritisni na *Nova mapa*
- Upiši ime mape, npr. *Posebni simboli* (slika 1.)



Slika 1. Postavljanje imena mape simbola

Nakon što je upisano ime nove mape simbola, treba potvrditi unos pritiskom na tipku *U redu*.

Ovim radnjama je u knjižnici *Moji simboli* stvorena mapa *Posebni simboli* (slika 2.).



Slika 2. Prikaz novostvorene mape

## 2.2. Stvaranje simbola

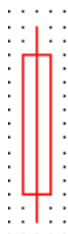
Prethodni dio teksta opisuje stvaranje nove mape simbola u sklopu postojeće. Idući korak je stvaranje simbola koje će biti pokazano na primjeru stvaranja simbola jednopolnog osigurača.

Prvi korak stvaranja simbola je stvaranje njegove grafičke reprezentacije, kako je prikazano na slici 3.



Slika 3. Grafička reprezentacija simbola jednopolnog osigurača

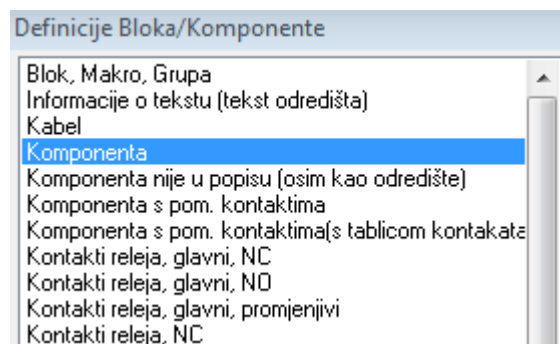
Grafičku reprezentaciju simbola potrebno je izraditi osnovnim alatima za crtanje. U slučaju simbola jednopolnog osigurača koriste se osnovni 2D elementi, odnosno crte. Nakon izrade grafičke reprezentacije simbola, izrađeni vektorski crtež simbola treba označiti (slika 4.).



Slika 4. Označeni vektorski crtež simbola jednopolnog osigurača

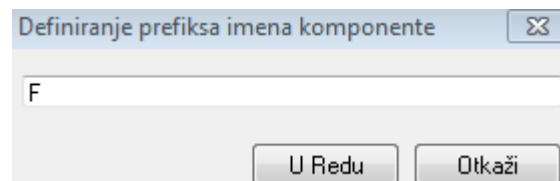
Postupak za umetanje novog simbola u knjižnicu počinje tako da se na alatnoj traci sljedećim redom odabiru opcije:

- *Uredi*
- *Odabrano*
- *Blok*
- *Komponenta* (slika 5.)



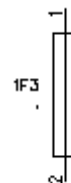
Slika 5. Odabir kategorije simbola

Otvara se prozor (slika 6.), gdje treba upisati oznaku elementa kojeg predstavlja crtež. Upisanu oznaku potvrditi pritiskom na tipku *U redu*.



Slika 6. Definiranje naziva novog simbola

Nakon završetka ovog koraka simbol je stvoren, a programski alat SEE Electrical je dodao imenu "F" još i oznake 1 i 3 te je puno ime simbola sada "1F3", pri čemu prvi dodani podatak ("1") označava stranicu u elektroprojektu, a "F" označava ime simbola upisano pomoću dijaloškog prozora (slika 6.). Samu oznaku moguće je proizvoljno odabrati. Ako se simbol izrađuje unutar standardno definiranih kategorija tada je uputno slijediti standardizirane oznake. U ovom slučaju je to oznaka "F" za osigurače. Posljednji podatak u imenu "1F3" označava treći stupac referentne mreže u koji je simbol postavljen na strujnoj shemi. Na mjestu priključaka simbola programski alat SEE Electrical dodaje priključne tekstove "1" i "2" (slika 7.).

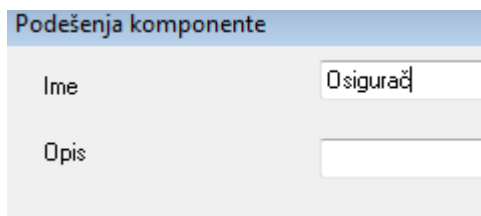


Slika 7. Potpuno izrađeni simbol

Ovim podacima je potpuno definiran simbol spreman za pohranu u mapu te za automatsku obradu. Pripremljenost simbola za automatsku obradu proizlazi iz podataka koji se dodaju grafičkoj reprezentaciji simbola, dakle simbol nije samo vektorska slika već i skup podataka vezan uz nju. Tako za automatsku obradu simbol ima oznake-ime, u ovom primjeru (F), stranicu u projektu (1), stupac na stranici prema referentnoj mreži (3), mjesta za priključak vodova označena priključnim tekstovima (1) i (2).

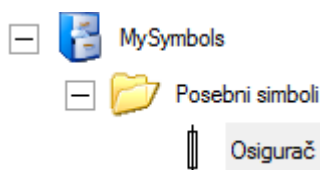
Ovako pripremljen simbol može se koristiti na trenutačnoj strujnoj shemi u sklopu koje je izrađen. Da bi ga se moglo koristiti u novim strujnim shemama i projektima, treba ga pohraniti u knjižnicu simbola. Postupak koji pri tome treba slijediti je ovaj:

- Novostvoreni simbol osigurača (slika 7.) pokazivačem označiti na priključnom tekstu "1" i povlačenjem (ne otpustiti pritisnutu tipku miša) pozicionirati iznad naziva novostvorene mape, pa tek tada otpustiti tipku miša.
- U prozor koji se otvora (slika 8.) upisati ime koje će predstavljati simbol u mapi simbola.



Slika 8. Definiranje imena simbola u mapi simbola

Simbol je pohranjen u mapi simbola (slika 9.).



Slika 9. Prikaz pohranjenog simbola u mapi simbola

### 3. STVARANJE STRUJNE SHEME

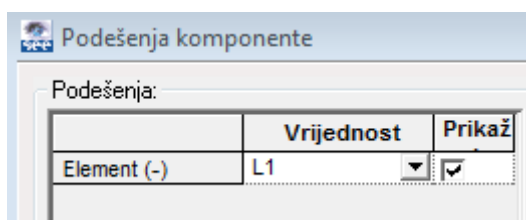
#### 3.1. Postavljanje i podešavanje potencijala

Strujne sheme se crtaju simbolima iz knjižnice i alatima iz alatne trake. Alatna traka za crtanje potencijala i vodova prikazana je na slici 9.



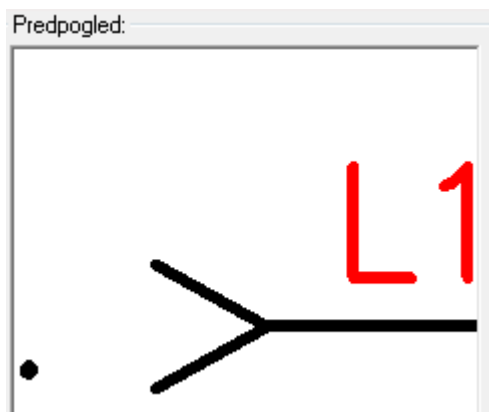
Slika 10. Alatna traka za crtanje potencijala i vodova

Stvaranje strujne sheme počinje ucrtavanjem potencijala. Programski alat SEE Electrical putem alata iz alatne trake (slika 10.) ima mogućnost brzog ucrtavanja potencijala na vrhu i dnu strujne sheme. Moguće je i ucrtavanje potencijala na proizvoljnoj poziciji. Ucrtavanje potencijala počinje pritiskom na treću ikonu prikazanu na slici 10. (ucrtavanje potencijala na vrhu), nakon čega programski alat otvara prozor za upis podataka u potencijalu (slika 11.). U prozor *Podešenja komponente* (slika 11.) treba upisati oznaku komponente, u ovom primjeru je to "L1".



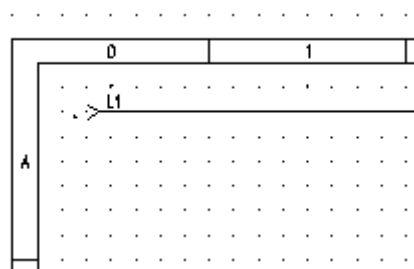
Slika 11. Upisivanje naziva potencijala

U istom prozoru (slika 12.) prikazuje se pregled potencijala i oznake kako će biti umetnute na strujnu shemu.



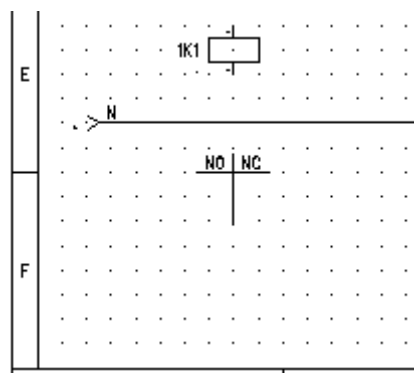
Slika 12. Pregled potencijala koji će biti dodan na strujnu shemu

Ako su svi podaci upisani korektno, treba potvrditi podatke pritiskom na tipku *U redu*. Potencijal i njemu pripadajuća oznaka, nakon potvrde upisanih podataka postavljaju se na strujnu shemu kako je prikazano na slici 13.



Slika 13. Potencijal postavljen na strujnu shemu

Alatom *Potencijal na dnu* (četvrta ikona na slici 9.) ucrtava se na strujnu shemu potencijal dolje, na jednak način kako je ucrtan potencijal gore.



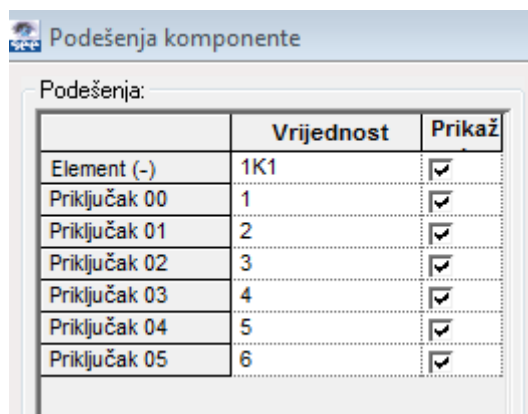
Slika 14. Ucrtani potencijal na dnu

Ispod ucrtanog potencijala pri dnu (slika 14.) strujne sheme, programski alat ostavlja dovoljno mjesta za tablice kontakata releja koji pripadaju određenom svitku.

#### 3.2. Postavljanje i podešavanje simbola

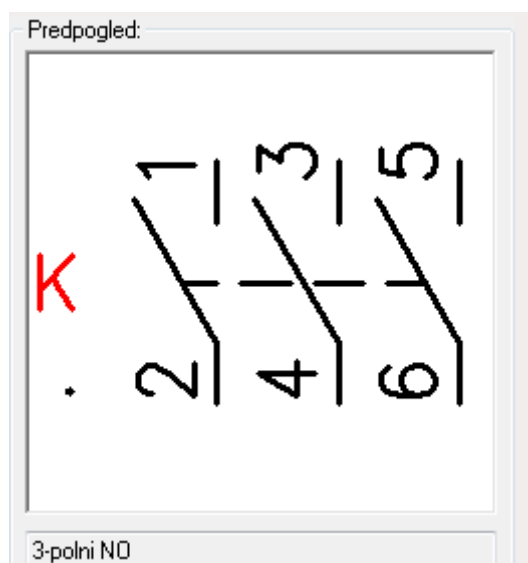
Programski alat SEE Electrical ima nekoliko knjižnica simbola koji se na računalo postavljaju tijekom

instalacije samog programskog alata. U ovom radu opisano je korištenje knjižnice pod nazivom EN 61346-2CRO. Korištenje same knjižnice je jednostavno. Da bi se određeni simbol postavio na strujnu shemu, procedura je relativno jednostavna. Potrebno je otvoriti knjižnicu, otvoriti mapu u kojoj se simbol nalazi, te pritiskom na željeni simbol postaviti ga na strujnu shemu. Postavljanjem simbola na predložak otvara se i prozor *Podešenja komponente* (slika 15.) kao i kod potencijala. Ako su ponuđeni podaci za simbol dobri, pritisnuti *U redu*, ako nisu treba upisati nove podatke.



Slika 15. Prozor za upis podataka komponente

Prethodno postavljanju komponente na strujnu shemu u istom prozoru, (slika 16.), daje se pregled simbola s oznakama.



Slika 16. Prozor pregleda upisanih podataka

### 3.3. Spajanje potencijala i simbola u shemu

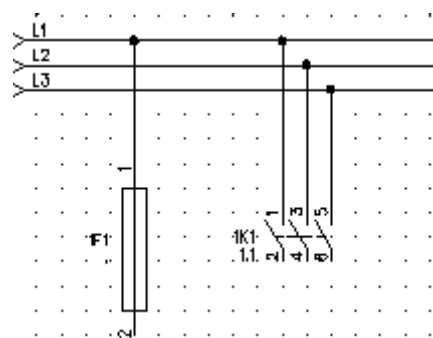
Spajanje potencijala i simbola vodovima.



Slika 17. Alatna traka spajanja potencijala i simbola vodovima

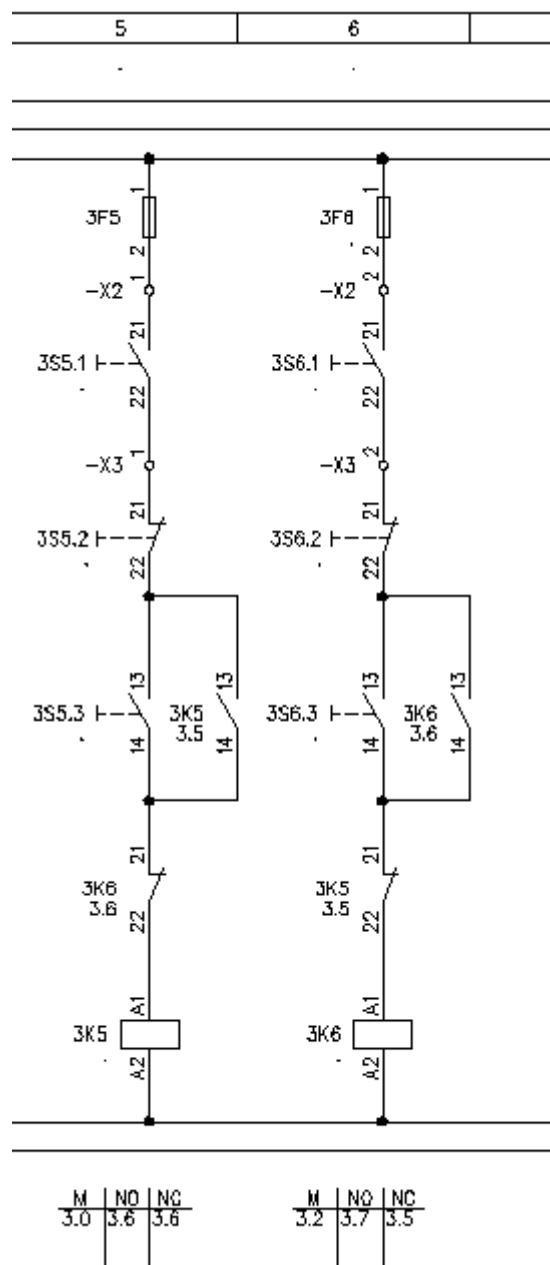
Prva dva alata su za automatsko spajanje, a druga dva za jednopolno i trolno spajanje ručno (slika 17.).

- Jednopolno i trolno spajanje (slika 18.)

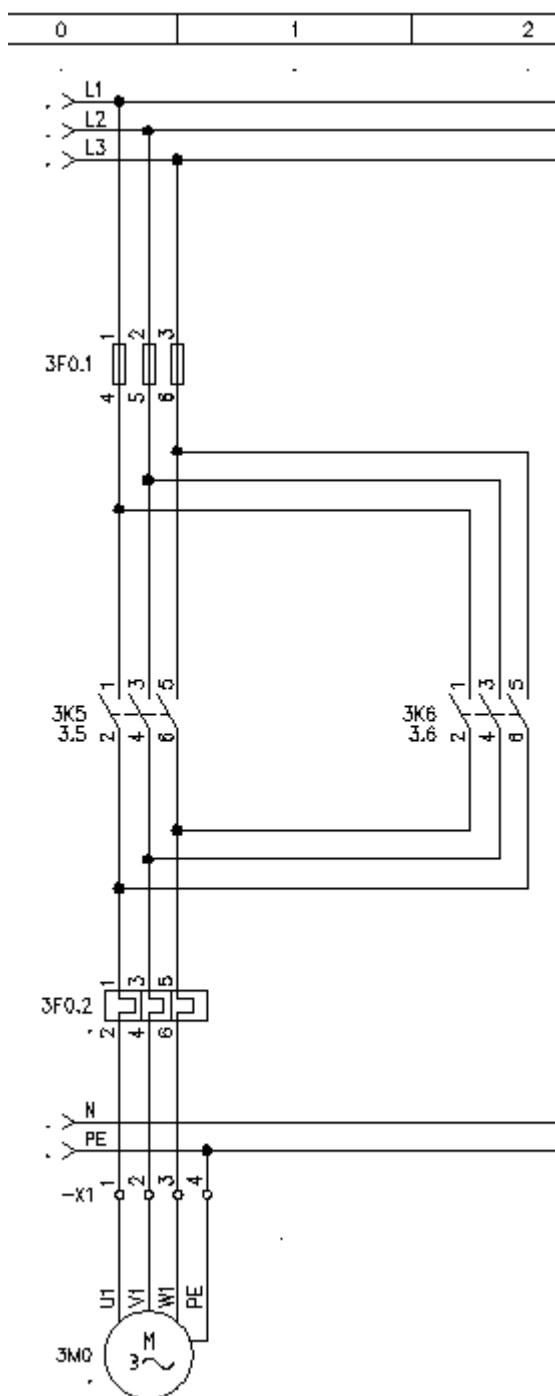


Slika 18. Jednopolno i trolno spajanje

Dio sheme (slika 18.) prikazuje osigurač 1F1 iz poglavlja 2.2. spojen na potencijal L1. Vodljivi spoj je prikazan crnom točkom na L1. Vod 1F1.1 – L1 obilazi potencijale L2 i L3 pa nema crne točke. Na slici 18. je prikazan i trolno spojen glavni kontakt releja 1K1.



Slika 19. Pomoćni strujni krug



Slika 20. Glavni strujni krug

Strujna shema (slika 19.) prikazuje pomoćni strujni krug, a strujna shema (slika 20.) glavni strujni krug prekrnog sklopnika. Sheme su nacrtane prema opisanom postupku. Širina crte u strujnoj shemi nije normirana, pa širinu crte treba dimenzionirati tako da se stvori dobra preglednost.

#### 4. ZAKLJUČAK

Stvaranje simbola je zahtjevan posao koji iziskuje uz stručno znanje puno vremena i strpljenja, pa su simboli iz knjižnice simbola od velike pomoći. Izrada strujnih shema programskim alatom SEE Electrical je dosta

jednostavna, ali za punu efikasnost zahtijeva točnost pri crtanju i označavanju.

Naročito je važno:

- Odabrati odgovarajući predložak na kojem se stvara strujna shema.
- Prije pripremiti vektorske crteže simbola koji se izrađuje.
- Električne spojeve izvoditi vodovima koji su za to predviđeni, a ne običnom crtom za crtanje 2D elemenata.
- Točno spojiti sva spojna mjesta vodove - potencijale - simbole.
- Pravilno označiti potencijale i simbole priključnim tekstom.

Ovim postupkom stvaranja shema će biti točna, a iz točne sheme može se automatski stvoriti desetak dokumenata za elektroprojekt, što znatno ubrzava rad na elektroprojektiranju.

Predložena tehnologija može se primijeniti u stvaranju shema, od izrade seminarskih i završnih radova u kojima su takvi zadaci, do razrade novih ideja od kojih treba stvarati nove projekte potrebne proizvodnji. Tu je i odgovor na pitanje zašto stvarati nove simbole kada već postoje gotovi simboli u knjižnicama. Za projekte koji su proizašli iz novih ideja trebaju nova grafička rješenja, a to ne moraju biti samo simboli koji se najčešće spremaju u knjižnicu.

#### 5. LITERATURA

- [1] Priručnik za programski alat SEE Electrical
- [2] Padovan L., (1999), Inženjerska grafika i dokumentiranje, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Graphis Zagreb
- [3] Kukec Đ., (2011.), Tehnička dokumentacija, Udžbenik, Visoka tehnička škola Bjelovar, Čvor d.o.o. Bjelovar

Kontakt autora:

**Đuro Kukec, prof.**

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33, 42000 Varaždin

098/981-5542

[djuro.kukec@vels.hr](mailto:djuro.kukec@vels.hr)

**Željko Dušak (bivši student)**

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33, 42000 Varaždin

098/943 4160, 042/205 660

[zeljko.dusak@gmail.com](mailto:zeljko.dusak@gmail.com)

## POHRANA I RAZMJENA PODATAKA U SUSTAVU POKRETNE PLATFORME UPRAVLJANE MIKROKONTROLEROM

### SAVING AND EXCHANGING DATA IN THE SYSTEM OF MOBILE PLATFORM MANAGED BY A MICROCONTROLLER

*Ivan Šumiga., Zoran Vrhovski, Tomislav Šalamunec*

Stručni članak

**Sažetak:** U radu je predstavljen projekt mobilne platforme s radnim mehanizmom kose. Opisana je osnovna ideja za izradu mobilne platforme. Definirane su funkcije svih elektroničkih modula na mobilnoj platformi. Brojni moduli povezani na jednu sabirnicu, postavili su zahtjev za visokom organizacijom komunikacijskog protokola koji je posebno osmišljen za zadovoljavanje potreba povezivanja svih modula u jednu funkcionalnu cjelinu. Osmišljeni komunikacijski paket daje mogućnost daljnjeg razvoja funkcija mobilne platforme. Ostvarena je mogućnost spremanja podataka na SD karticu tijekom rada platforme, s podacima organiziranim na taj način da omogućavaju ponavljanje rada mobilne platforme po snimljenom zapisu, ali i analizu snimljenih podataka na računalu.

**Ključne riječi:** mobilna platforma, kosilica, komunikacija, spremanje podataka

Professional paper

**Abstract:** This paper introduces the mobile platform project with the working mechanism of lawn mower. The paper describes the basic idea for making the mobile platform. Functions of all modules on the mobile platform are defined. Numerous modules connected to one bus, put the request for high organization of communication protocols that are specifically designed to meet the needs of connectivity of all modules into one functional unit. The transfer of all relevant data from one module to another is enabled. Designed communications package provides the opportunity for further development of mobile platform functions. Possibility of saving data on the SD card during the work of platform, with data organized in a way that allows the repetition of work of the mobile platform by a recorded track and analyze of stored data on computer.

**Key words:** mobile platform, lawnmowers, communications, data storage

## 1. UVOD

Čitav sustav pokretne platforme je realiziran kroz više zasebnih elektroničkih modula pomoću kojih se ostvaruju unaprijed zadani ciljevi: funkcionalno povezivanje svih modula, upravljanje mobilnom platformom na više različitih načina (daljinski upravljač, mobilni telefon i računalu), spremanje podataka tijekom rada mobilne platforme u svrhu analize podataka, ali i ostvarivanja konačnog cilja, autonomnog rada mobilne platforme. Jedan od predviđenih modula platforme je i SD modul, koji ima za zadaću prikupljati, obraditi i pohraniti podatke vezane za upravljanje i rad radnog mehanizma (kosilice) na SD karticu (eng. Secure Digital).

## 2. SUSTAV MOBILNE PLATFORME

Nakon analize sličnih sustava mobilnih platformi različitih namjena, npr. autonomnih usisavača, robota i kosilica, uvida u tehnologije koje su na njima

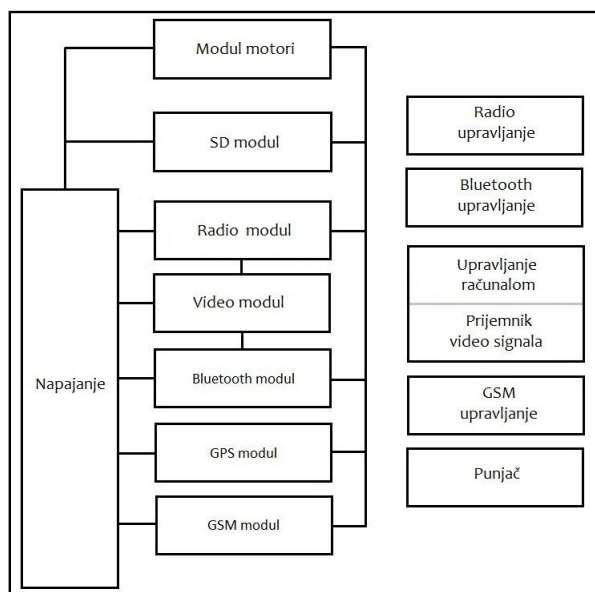
primijenjene i tehničkih rješenja koje koriste, definirani su elemente ovog sustava.

U svrhu realizacije zadanih ciljeva predviđeni su sljedeći sklopovski moduli: za napajanje energijom, punjenje platforme električnom energijom, upravljanje platformom, kontrolu izvršnih članova platforme, komunikaciju unutar modula platforme, komunikaciju prema korisniku i uređaj za spremanje podataka tijekom rada mobilne platforme.

Napajanje na samoj mobilnoj platformi, je izvedeno 12 V-nom baterijom koja ima dovoljan kapacitet za rad kosilice od nekoliko sati. Modul motori upravlja i prati rad pogonskih i radnog motora. SD modul je arbitar upravljanja platformom, prikuplja, prenosi i sprema podatke tijekom rada platforme. Radio modul je primopredajnik koji omogućuje upravljanje platformom pomoću računala ili daljinskim upravljačem. Video modul je predajnik video signala s platforme, koji se prenosi na računalu. Bluetooth modul je primopredajnik koji omogućuje upravljanje platformom pomoću računala ili mobilnim telefonom. GPS modul daje podatke o lokaciji platforme koristeći GPS (eng. Global Positioning System). GSM modul omogućuje upravljanje

platformom GSM uređajem (eng. Global System for Mobile Communications) koristeći SMS (eng. Short Message Service) kao naredbe. Vanjski elementi sustava su daljinski upravljač koji koristi radio vezu, računalo kojim se platformom može upravljati radio ili bluetooth vezom i koje može primiti video signal s platforme, te mobilni telefon kojim se platformom može upravljati GSM-om ili bluetooth vezom. Blok shema sustava prikazana je na slici 1.

Komunikacija na platformi između modula je ostvarena serijskom RS-232 (eng. Recommended Standard 232) vezom koja je prilagođena potrebama platforme. Koristi se jedna sabirnica za prijenos podataka na koju su spojeni svi moduli.

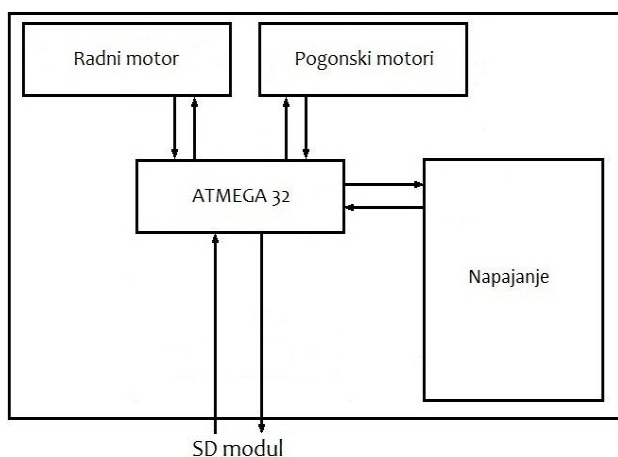


Slika 1. Blok shema sustava mobilne platforme

### 3. MODULI I NJIHOVE FUNKCIJE

Module sustava mobilne platforme i njihove funkcije sada će se detaljnije opisati.

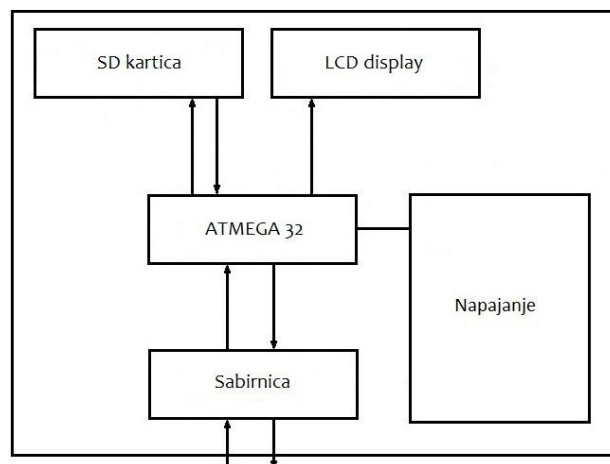
#### 3.1. Modul motori



Slika 2. Blok shema modula motori

Modul motori regulira rad pogonskih motora. Modul prima podatke samo s SD modula. Primljene podatke za rad pogonskih motora pretvara u PWM (eng. Pulse Width Modulation) signal kojim upravlja brzinom okretanja motora. Modul koristi povratnu vezu ostvarenu optičkim enkoderima na kotačima, koji vraćaju podatke o stvarnoj brzini okretanja kotača. Regulacija kretanja se vrši na pogonskim kotačima zadnje osovine platforme. Podaci o brzini se koriste za aktiviranje alarma koji dojavljuje grešku u radu platforme. Ovdje je riječ o alarmu nazvanom zaglavljenje, kod kojega se detektira disproporcionalan broj stvarnih okretaja kotača prema vrijednosti upravljačkog signala. Ovaj modul upravlja i radom radnog motora koji služi za pokretanje radnog mehanizma, odnosno kose. Za ovaj motor se koriste dva stanja: uključen i isključen. Vezano za rad motora je i mjerenje struje motora. Mjerenje struje primijenjeno je zbog zaštite elektroničkih sklopova, akumulatora, ali i cijele platforme. Izmjerena struja se uspoređuje s dozvoljenom minimalnom i maksimalnom vrijednošću. Mjerenje se vrši za svaki motor zasebno. Prekoračenje zadanih vrijednosti je izvor alarma koji je nazvan prevelika struja. Uz navedena mjerenja ovaj modul prati i napunjenost baterije mjerenjem napona. U slučaju nedovoljnog izmjerenog stanja akumulatora generira se alarm: baterija prazna; koji rezultira isključenjem platforme.

#### 3.2. SD modul



Slika 3. Blok shema SD modula

Slika 3. prikazuje blok shemu SD modula. Glavni razlog uporabe mikrokontrolera ATmega32 je potrebna veća količina SRAM-a (eng. Static Random Access Memory), minimalno 2 kB za rad s FAT sustavom (eng. File Allocation Table) na SD kartici. Najvažniji dio ovog modula je sabirnica, koja povezuje sve module na mobilnoj platformi. Glavni zadatak SD modula je prikupljanje, prijenos i spremanje podataka. Spremanje podatak se obavlja na SD karticu. Prijenos podataka između SD kartice i mikrokontrolera vrši se SPI komunikacijom. Dvosmjerna komunikacija sa SD karticom je omogućila i čitanje spremljenih podataka u svrhu ponavljanja rada platforme odnosno autonomnog načina rada mobilne platforme.

Pripadajući alarmi ovog modula su:

- SD puna - ovaj alarm upozorava da je SD kartica puna i da nije više moguće spremanje podataka tijekom rada mobilne platforme.
- Prekid upravljačke veze - ovaj alarm upozorava da je istekao najduži dozvoljeni period bez upravljačke naredbe za vrijeme rada (kretanja) mobilne platforme; ovo je vrlo važan alarm - kada se on pojavi mobilna platforma će stati i isključiti se.
- Nema traženog zapisa - ovaj alarm javlja grešku kod zahtjeva za izvršavanjem snimljenog zapisa, pojavljuje se ako se ne pronađe traženi zapis na SD kartici.

Ovaj modul još ima i LCD displej (eng. Liquid Crystal Display) kao izlazni član cijelog sustava, za prikaz svih podataka koji su važni tijekom rada mobilne platforme.

### 3.3. Radio modul

Zamišljen je kao bežični upravljački modul, koji koristi integrirani radio modul. Primopredajnik omogućuje dvosmjernu komunikaciju na radio frekvenciji 433 MHz. Kao upravljački modul može koristiti sve funkcije mobilne platforme. Može:

- uključiti mobilnu platformu,
- upravljati platformom,
- primati sve podatke vezane za stanje mobilne platforme,
- isključiti mobilnu platformu,
- pokrenuti kosilicu sa zahtjevom izvršavanja nekog snimljenog zapisa.

Upravljanje radio vezom moguće je dvama uređajima: daljinskim upravljačem i računalom. Oba uređaja mogu iskoristiti sve funkcije mobilne platforme s razlikom što upravljanje računalom još uključuje i video signal s mobilne platforme, kao dio sučelja upravljačkog programa.

### 3.4. Bluetooth modul

Bluetooth modul, sličan je radio modulu. Ovaj upravljački modul za uspostavu veze koristi bluetooth radio vezu.

Kao upravljački modul može koristiti sve funkcije mobilne platforme. Može:

- uključiti mobilnu platformu,
- upravljati platformom,
- primati sve podatke vezane za stanje mobilne platforme,
- isključiti mobilnu platformu,
- pokrenuti kosilicu sa zahtjevom izvršavanja nekog snimljenog zapisa.

Upravljanje ovom vezom moguće je dvama uređajima: računalom i mobilnim telefonom. Upravljanje računalom podrazumijeva upravljački program, koji kao i kod radio modula uključuje video signal s mobilne platforme. Zbog vrlo ograničenog dometa od 30 m bluetooth radio veze, radio modul može preuzeti upravljanje od bluetooth

modula, ali bluetooth ne može preuzeti upravljanje od radio modula.

### 3.5. GPS modul

Ovaj modul ima zadaću lociranja mobilne platforme koristeći satelite. Daje podatke o geografskoj duljini i širini, te podatke brzine i azimuta kretanja mobilne platforme. Modul se može pokrenuti i isključiti zajedno s cijelim sustavom ili odvojeno. Za ovaj modul nisu bitne nikakve naredbe osim: uključanja, isključenja, slanja alarma i slanja podataka lokacije. Ovaj modul pokreće komunikaciju samo kada dojavljuje alarm gubitka pozicije zbog npr. malog broja dostupnih satelita. Budući da su podaci lokacije vrlo dugog formata postupak njihova prijenosa je posebno definiran. Slanje podataka se događa isključivo na zahtjev. U ovoj fazi razvoja predviđeno je da samo SD modul uzima podatke o lokaciji mobilne platforme.

### 3.6. GSM modul

GSM modul je još jedan jednostavan modul. Ovaj modul uključen je u sustav mobilne platforme ponajprije zbog korištenja SMS-a za upravljanje mobilnom platformom i to u vezi s autonomnim načinom rada. Modul se može pokrenuti i isključiti zajedno s cijelim sustavom ili odvojeno. Na modul se proslijeđuju alarmi kao upozorenje korisniku. Pokretanje sustava s ovog modula je omogućeno u slučaju kada modul dobije naredbu za izvršavanjem rada po određenom zapisu. Modul proslijeđuje zahtjev SD modulu i ukoliko takav zapis postoji on će se i izvršiti. Nakon izvršenja mobilna platforma će se isključiti.

### 3.7. Video modul

Video modul može biti upravljan od strane radio i bluetooth modula. Aktiviranje video funkcije je moguće kada se mobilna platforma upravlja pomoću računala. Video modul se sastoji od IP kamere (eng. Internet Protocol Camera) koja video signal šalje bežično do prijemnog računala. Slika se zatim ugrađuje u sučelje upravljačkog programa na računalu i objavljuje na internetu.

## 4. KOMUNIKACIJA

Sustav sadrži više modula koji trebaju razmjenjivati podatke tijekom rada međusobno i prema nadređenom modulu tako da je komunikacija najbitnija za povezivanje svih modula u jednu funkcionalnu cjelinu. Pošto su svi moduli zasnovani na mikrokontrolerima AVR serije (eng. Alf Egil Bogen and Vegard Wollan 's Risc processor), izbor vrste komunikacije se sveo na protokole koje ovi mikrokontroleri imaju sklopovski ugrađene: RS 232, 1-wire, SPI (eng. Serial Peripheral Interface Bus) i I2C (eng. Inter-Integrated Circuit).

## 4.1. Odabir komunikacije

Zbog sklopovske podrške na mikrokontroleru, zadovoljavajuće brzine prijenosa i prethodnog iskustva odabran je RS-232 protokol. Primijenjena komunikacija nije ona standardna RS-232 komunikacija, ponajprije zbog naponskih nivoa koji se koriste, a to su +5V za logičku '1' i 0V za logičku '0'. Ovi nivoi su korišteni s ciljem što jednostavnijeg i pouzdanijeg ostvarivanja komunikacije. Najjednostavnije rješenje za komunikaciju jest ugrađena sklopovska podrška komunikacije i korištenje pinova mikrokontrolera kao izlaza bez dodatnih vanjskih sklopova. Svi moduli mobilne platforme povezani su na jednu zajedničku sabirnicu.

## 4.2. Razvoj protokola

Veći paketi podataka slani RS-232 komunikacijom su ispravno bili primljeni samo ako su prije slanja kodirani u heksadekadski kod, a zatim poslani kao znakovna (string) varijabla. String varijabla na prijemnoj strani je imala više byte-ova nego ona na strani pošiljatelja. Dodatni byte-ovi su bili zaostali podaci pokupljeni od strane primatelja, a uzrokovali su neispravnu komunikaciju. Ovaj način slanja podataka u string-ovima je bio korišten u kombinaciji s naredbom print za slanja i naredbom input za primanje podataka. Zbog visoke stope neuspješno prepoznatih podataka na prijemnoj strani testiran je drugi način komunikacije koji je uključivao naredbe 'printbin' za slanje podataka i 'inputbin' za primanje podataka. Uz ove naredbe podaci su prenašani kao numeričke varijable, bez ikakvog kodiranja. Kod testiranja uočene su pravilnostii kod pojavljivanja grešaka. Slanjem podataka u jednom smjeru, s jednog ispitnog modula na drugi podaci su na prijemnoj strani bili ispravno primljeni. Promjenom smjera podataka, slanjem podatka s drugog na prvi ispitni modul podaci nisu bili ispravno primljeni. Resetiranjem obaju ispitnih modula i ponovnim pokušajem slanja podataka, podaci na prijemnoj strani su ispravno primljeni. Testiranjem se došlo do zaključka da greške nastaju u prijemnom registru. Za ispravnu komunikaciju trebalo je riješiti problem neželjenih podataka u prijemnom registru. Budući da je resetiranje prijemnog modula radilo baš to, a resetiranje SD ili bilo kojeg drugog modula tijekom rada mobilne platforme nije bilo prihvatljivo, tražio se drugi način čišćenja prijemnog registra. Analizom načina rad cijelog sklopa RS-232 komunikacije na ATMEGA-32 mikrokontroleru, najprihvatljivija se činila opcija isključivanja prijemnog sklopa. Kao što je navedeno u tehničkim karakteristikama, isključivanjem prijemnog sklopa svi registri se prazne odnosno očiste od nepoželjnih podataka. U programu je to izvedeno tako da se prijemni sklop isključi, odradi se čekanje od 20 ms i zatim se ponovo uključi. Do čekanja od 20 ms došlo se eksperimentalno. Nakon neuspjele komunikacije izvrši se postupak čišćenja prijemnog sklopa i prva sljedeća komunikacija je uspješna. Za izbjegavanje kolizije u komunikaciji uvedena je semafor linija. Modul mobilne platforme koji treba uspostaviti komunikaciju prvo provjerava dali je semafor linija zauzeta (visoko stanje logička '1'), ako je zauzeta nastavlja dalje s izvođenjem

programa ili čeka da se linija oslobodi (nisko stanje ili logička '0'). Kad je linija slobodna modul obavlja hijerarhijsko čekanje. Uloga ovog čekanja je razdvojiti module prema važnosti. Najvažniji modul motori može započeti komunikaciji odmah nakon oslobađanja semafora, dok svi drugi moduli moraju čekati svoj red za komunikaciju. Modul postavlja liniju semafora u visoko stanje i započinje komunikaciju. Semafor je u visokom stanju sve dok se ne završi komunikacija. Linija semafora je na mikrokontroleru postavljena na pin PD.2 koji ima funkciju vanjskog prekida INTO. Svakim novim zauzimanjem linije semafora prijemni moduli u programu odlaze u podprogram za primanje podataka u kojem ostaju sve do završetka komunikacije.

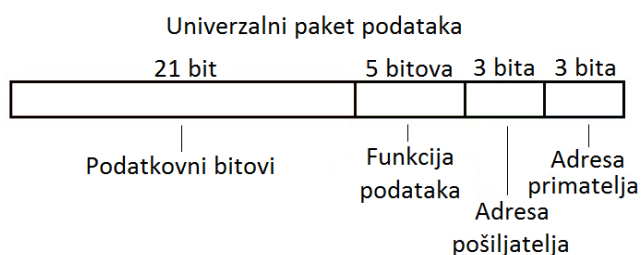
Budući da nam programski definirana komunikacijska sučelja nisu dala pozitivne rezultate u smislu komunikacije, način povezivanja svih modula se promijenio na taj način da su svi moduli povezani na jednu zajedničku sabirnicu. Sabirnica se sastoji od četiri voda: Tx linije, Rx linije, semafora i zajedničke mase. Ovakvim načinom povezivanja svih modula na jednu sabirnicu bilo je neophodno uvesti adresiranje svih modula na sabirnici. Uvođenjem adresiranja dobivamo organizaciju u komunikaciji, na način da svaka poruka sadrži adresu pošiljatelja i primatelja. Zauzimanjem semafora svi moduli primaju poruku pošiljatelja, ali odgovor daje samo onaj modul čija adresa je navedena kao adresa primatelja. U tablici 1. dane su adrese svih modula mobilne platforme. Broj modula određuje minimalnu duljinu adrese. Kako je na sabirnici prisutno ukupno pet modula, za adresiranje su potrebna tri bita.

**Tablica 1.** Adrese modula mobilne platforme

| Adrese modula | Modul     |
|---------------|-----------|
| 001           | Motori    |
| 010           | SD        |
| 011           | Radio     |
| 100           | Bluetooth |
| 101           | GPS       |
| 110           | GSM       |

## 4.3. Univerzalni paket podataka

Uvođenjem zajedničke sabirnice i organizacijom poruka adresiranjem zahtijevalo je definiranje jednog zajedničkog univerzalnog paketa podataka koji bi uz adrese pošiljatelja i primatelja mogao jednim zadanim formatom prenijeti sve potrebne podatke s bilo kojeg modula. Nakon analize svakog pojedinog modula i specifičnih zahtjeva vezanih za vrstu podataka koje svaki modul treba prenijeti, došlo se do paketa podataka prikazanog na slici 4.



**Slika 4.** Univerzalni paket podataka

Univerzalni paket podataka je duljine 32 bita. Prva tri bita, gledano s desna na lijevo, sadrže adresu primatelja. Ovi podaci su smješteni na kraju poruke zbog što jednostavnijeg i bržeg maskiranja pri prijemu poruke, te što bržeg odgovora primatelja poruke. Slijedeća tri bita sadrže adresu pošiljatelja. Modul uvijek ima istu adresu, a mjesto na kome se nalazi u poruci govori dali je modul primatelj ili pošiljatelj. Slijedećih pet bitova su bitovi funkcije, koji primatelju govore što je sadržano u podatkovnim bitovima. Širina od pet bitova daje mogućnost definiranja 31 funkcije koju mogu imati podatkovni bitovi. Do sada je definirano 10 funkcija podatkovnih bitova:

- upravljanje pogonskim i radnim motorima,
- uključenje i isključenje cijele platforme ili pojedinog modula,
- prijenos alarma,
- promjenu upravljača mobilne platforme,
- prikaz broja trenutne košnje,
- napunjenost baterije,
- slobodni prostor SD kartice,
- prijenos GPS podataka,
- pokretanje platforme autonomnim načinom rada.

Slanje upravljačkih podataka je organizirano na način da slijedeći bit, a prvi podatkovni bit ima značenje uključjenja (vrijednost '1') ili isključenja (vrijednost '0') radnog motora. Slijedećih 10 bitova su upravljački podaci za pogonske motore a imaju značenje skretanja lijevo/desno. Zadnjih 10 bitova ima značenje smjera kretanja naprijed/nazad. Sve dok kod funkcije na MSB (eng. Most Significant Bit) poziciji ima vrijednost '1' mobilna platforma je uključena. Kada je na ovom mjestu vrijednost '0' mobilna platforma se isključuje. Ovakva dodjela vrijednosti je moguća na ovom stupnju razvoja zbog malog broja definiranih funkcija. Funkcija isključenja mobilne platforme ima dekadsku vrijednost 2 (binarno 00010). Funkcija kontrolnih podataka ima vrijednost 18 (binarno 10010). Prvi podatkovni bit se zanemaruje, slijedećih 10 bitova ima značenje uključjenja ili isključenja pojedinih modula mobilne platforme, a zadnjih 10 bitova ima značenje statusa mobilne platforme.

Slanje alarma je definirano na način da se prvi podatkovni bit zanemaruje, a kod alarma se šalje dvostruko, u prvom 10 bitnom paketu i u drugom 10 bitnom paketu. Svaki definirani alarm ima dodijeljen kod koji se upisuje u oba 10 bitna paketa. Preostali podaci

definiranih funkcija se upisuju na isti način u podatkovne bitove, gdje se prvi bit zanemaruje, a preostalih 20 bitova je podijeljeno na pakete od 10 bitova u koje se podaci funkcija upisuju dva puta, jednom u prvih 10 bitova i ponovo u drugih 10 bitova. Jedina iznimka su podaci slobodnog prostora na SD kartici. Kod zahtjeva za upravljanjem u podatke se upisuje adresa modula koji traži preuzimanje upravljanja nad mobilnom platformom. Funkcija broja košnje u podatke upisuje podatak trenutne košnje koja se obavlja. Napunjenost baterije u podatke upisuje napunjenost baterije izražene u postocima. Funkcija slobodni prostor SD upisuje podatke preostalih slobodnih MB (eng. Megabyte) na SD kartici. Autonomna košnja je funkcija koja u podatke upisuje broj košnje (zapis prošlog rada), po kojemu se očekuje da mobilna platforma može izvršiti snimljenu putanju rada. GPS podaci zbog svog velikog formata imaju posebno definiran protokol slanja podataka. Uz ovako definiran univerzalni paket podataka koji je zadovoljio gotovo sve potrebe prijenosa podataka unutar sustava mobilne platforme, osmišljen je i način provjere ispravnosti primljenih podataka.

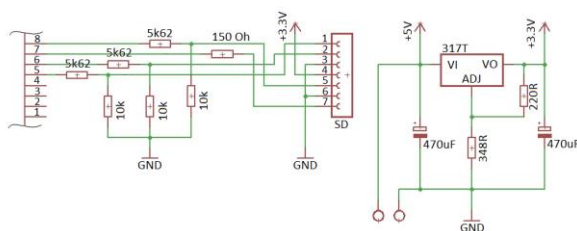
U ovu svrhu osmišljen je protokol u kojem pošiljatelj podatke šalje 2 puta, a koje onda svi moduli primaju i uspoređuju. Pod uvjetom da su podaci jednaki, svi moduli maskiranjem uspoređuju adresu primatelja u poruci sa svojom adresom. Onaj modul koji je naveden kao primatelj vraća primljenu poruku 2 puta, isto kao što ju je i primio. Dvostrukim slanjem poruke i njihovom usporedbom na strani prijemnika omogućena je provjera ispravnosti primljenih podataka. Povratnim slanjem obiju primljenih poruka dobivena je povratna informacija na strani pošiljatelja, prema kojoj pošiljatelj zna da li je komunikacija bila uspješna. U slučaju neuspješne komunikacije pošiljatelj i primatelj ponavljaju postupak komunikacije. Tri osnovna elementa koji su potrebni za kompletno definiranu komunikaciju svakog od modula su: definirane funkcije modula, definirani univerzalni podatkovni paket i definirani protokol komunikacije.

## 5. ELEMENTI SKLOPA SD MODULA

Sa završetkom ispitivanja svih potrebnih elemenata za rad SD modula na testnim modulima ETM 16, krenulo se u izradu električne sheme. Elementi modula koji su razrađeni na shemi su: komunikacijska sabirnica, sklop SD kartice, LCD displej i ISP programator (eng. In System Programming). Uz ove elemente na pločici se nalaze i rupe za montiranje sklopa na postolje i za montiranje LCD displeja, reset tipka i kondenzatori za glaćenje napona. Nakon izrade sheme, prelazi se na raspored elemenata na tiskanoj pločici. Cilj rasporeda elemenata je: koristiti što manje kratkospojnika, osigurati što kraće vodove na pločici i olakšati montažu i lemljenje komponenata na pločicu. Kada je poznat raspored elemenata, iscrtaju se vodovi na bakrenoj pločici. Jetkanjem se odstrani sloj bakra tako da ostanu samo vodovi. Nakon ovoga bušimo rupe za nožice (pinove) komponenata i to prema njihovoj dimenziji, odgovarajućim promjerom svrdla. Na ovako izrađenu i

pripremljenu pločicu montiraju se i leme komponente redosljedom od najnižih prema najvišima.

### 5.1. Sklop SD kartice



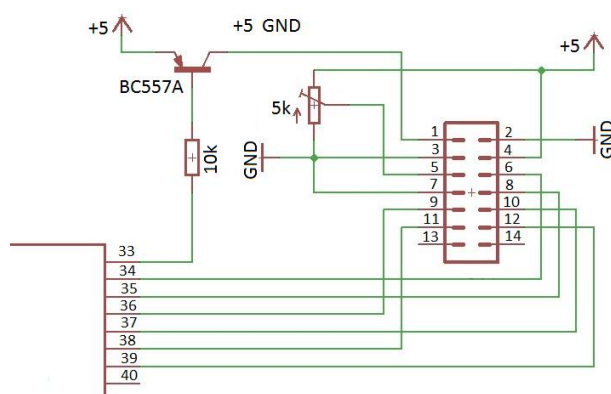
Slika 5. Sklop SD kartice

Sklop SD kartice prikazan na slici 5., je vrlo jednostavan. Uz kondenzatore koji glade napon, potreban je jedan prilagodljivi stabilizator napona LM317, koji se koristi za dobivanje napona od 3.3 V. Budući da se za ATMEGA32 mikrokontroler koristi radni napon od 5 V, potrebno je obaviti pretvorbu naponskih nivoa na komunikacijskim linijama prema SD kartici. Odabran je najjednostavniji, najjeftiniji i vrlo pouzdan način pretvorbe nivoa s otpornicima. ATMEGA32 je mikrokontroler s minimalnim resursima s kojima SD kartica može biti korištena zajedno s FAT datotečnim sustavom. Ovaj mikrokontroler ima 32kB flash memorije, 2 kB SRAM-a i 1kB EEPROM-a (eng. Electrically Erasable Programmable Read Only Memory). U ovom modulu najvažnija karakteristika je količina SRAM-a. U BASCOM-AVR za upotrebu AVR-DOS koda preporučuje se mikrokontroler s 4kB SRAM-a (Mega103 ili Mega128). Ovdje se uz programske prilagodbe, a na štetu brzine prijenosa podataka, uspjelo implementirati FAT datotečni sustav sa samo 2kB SRAM-a. Blokovi memorije koji se koriste za FAT datotečni sustav su: DIR-Handle i FAT Handle u zajedničkom buffer-u (561 Byte) i File Handel (534 Byte). Nakon implementiranog FAT sustava, ostalo je 460 Byte-a slobodnog SRAM-a. Iskorišteni flash za FAT sustav je 2kB. S implementiranim FAT sustava ostalo je dovoljno flash memorije i SRAM memorije za pisanje vlastitog koda programa. Za pogon mikrokontrolera koristi se unutarnji oscilator na frekvenciji od 1 MHz.

### 5.2. ISP programator

AVR mikrokontroleri imaju mogućnost programiranja u sklopu. Ovo je vrlo korisna opcija koja pojednostavljuje razvoj već gotovog sustava koji se samo programski unapređuje ili nadograđuje. Shema samog ISP programatora je vrlo jednostavna. Na konektor programatora se povezuju pinovi SPI komunikacije, pinovi napajanja mikrokontrolera i reset pin. Sve ovo je dovoljno za programiranje mikrokontrolera bez odvajanja mikrokontrolera od sklopa. Ovakvim programiranjem se znatno ubrzava razvoj sustava, što je i razlog implementacije ISP programatora u SD modul.

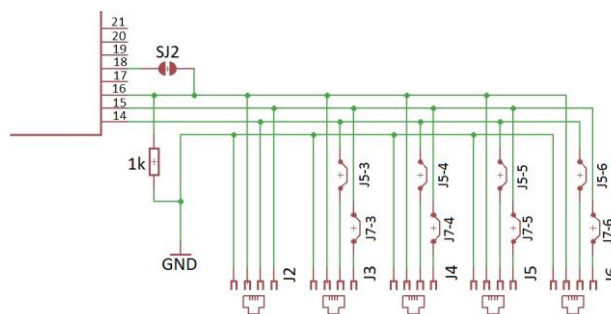
### 5.3. LCD displej



Slika 6. Električna shema LCD displeja

Jedan od izlaznih elemenata sustava mobilne platforme je i LCD displej 16x2 koji se koristi za ispis važnih podataka tijekom rada mobilne platforme. Podaci kao što su: alarmi, napunjenost baterije, upravljač, broj košnje itd. Za prijenos podataka koristi se 4 bitna sabirnica koja za razliku od 8 bitne ima manju brzinu prijenosa podataka. Upravljački pinovi su 'enable' i 'reset'.  $V_0$  signal je analogni signal kojim se namješta kontrast LCD displeja. Odvojena su napajanja elektronike modula i pozadinskog osvjetljenja. Pozadinsko osvjetljenje se uključuje posebnim pinom mikrokontrolera pomoću PNP tranzistora. Upravljački i podatkovni pinovi LCD displeja se moraju definirati u programu mikrokontrolera.

### 5.4. Komunikacijska sabirnica



Slika 7. Električna shema komunikacijske sabirnice

Uz sklop SD kartice komunikacijska sabirnica je najvažniji dio SD modula. Sabirnica je izrađena od telefonskih konektora i telefonskih četveropolnih kabela. Tx i Rx linije su linije koje su povezane na komunikacijsko sučelje mikrokontrolera. Linija semafora je povezana s pinom PD.2. Ovaj pin ima funkciju vanjskog prekida, koji služi za inicijalizaciju komunikacije. U programu je definiran kao ulazni, u niskom stanju 0 V, vrlo je osjetljiv, čak i na statički elektricitet. Zbog toga je dodan otpornik između linije semafora i mase, koji je uklonio probleme preosjetljivosti. Kod konfiguracije vanjskog prekida postavljeno je okidanje na rastući brid, prijelaz iz logičke '0' (0 V) u logičku '1' (5 V). Za postavljanje linije semafora u visoko stanje koristi se izlazni pin PD.4. Četvrta linija komunikacijske sabirnice je masa, koja je uvedena isto tako zbog osjetljivosti pina vanjskog prekida. Povezivanjem mase svih modula izbjegava se

okidanje vanjskog prekida zbog razlike potencijala između pojedinih modula, iako su napajani iz istog izvora.

## 6. PROGRAM

### 6.1. Razvoj programa

Pisanje koda program je teklo paralelno s razvojem odnosno odabirom sklopova koji se koriste na mobilnoj platformi. Prije razvoja komunikacije ispitani su načini rada vezani za korištenje EPROM-a na mikrokontroleru. Ovaj dio se pokazao vrlo jednostavnim i lakim za primjenu. Posebno su testirane mogućnosti odnosno načini maskiranja varijabli korištenjem logičkih funkcija I i ILI. Samostalno je testiran vanjski izvor prekida koji se koristi za iniciranje komunikacije i za indiciranje komunikacije u tijeku (semafor linija). Ovaj pin se pokazao vrlo osjetljivim i na najmanju razliku potencijala. Zbog toga su bile testirane razne kombinacije konfiguracije pina i konfiguracije okidanja prekida. Na kraju su dobiveni dobri rezultati s pinom konfiguriranim kao ulazom, a prekid je okidan rastućim bridom. Obje ove funkcije su definirane u programu.

### 6.2. Izvođenje programa

Na početku programa, definirani su svi podaci vezani za procesor koji se koristi, definirani su ulazi i izlazi, pinovi koji su povezani LCD displejem i vanjski prekid koji se koristi. Nakon dimenzioniranja svih potrebnih varijabli koje će se koristiti u programu, uključujući i varijable u EPROM-u slijedi skok u potprogram "Pokretanje" u kojemu se uspostavlja FAT sustav po kojemu će mikrokontroler zapisivati podatke na SD kartici. FAT sustav se uspostavlja samo jednom u programu. Nakon svakog priključenja SD modula na napon napajanja, nakon svakog programiranja ili resetiranja SD modul će se odmah postaviti u idle mod rad u kojemu se štedi energija. Pokretanje SD modula iz idle moda će biti obavljeno vanjskim prekidom odnosno iniciranjem komunikacije. Ukoliko stigne naredba za pokretanje, SD modul će izaći iz idle moda te pokrenuti i ostale module mobilne platforme. Nakon pokretanja ostalih modula, SD modul može prenositi podatke koje korisnik zatraži ili alarme koji se pojave na pojedinim modulima tijekom njihova uključivanja. Rad mobilne platforme počinje prvom naredbom upravljanja, kojom se uključuje radni motor i/ili pokreće kretanje mobilne platforme. Primitkom prve upravljačke naredbe SD modul pokreće vremenski sklop (timer) kojim mjeri vrijeme između dviju upravljačkih naredbi. Izmjereno vrijeme se zapisuje zajedno s naredbom na SD karticu. Druga funkcije timer-a je postavljanje alarma prekida upravljačke veze. Ukoliko se predviđeno vrijeme timer-a izbroji, postaviti će se alarm gubitka upravljačke veze. Pojavom ovoga alarma mobilna platforma će stati, isključiti radni motor i zatim će se cijeli sustav mobilne platforme isključiti. Sve dok se upravljačke naredbe šalju u dozvoljenom periodu mobilna platforma nastavlja s radom i podaci se zapisuju na SD karticu. Tijekom rada kada komunikacijska

sabirnica nije zauzeta slanjem upravljačkih naredbi, mogu se prenositi podaci koje traži korisnik ili alarmi koji se pojave kao upozorenje na grešku ili kvar pojedinog modula. Spremanje podataka na SD karticu se vrši u datoteke koje se otvaraju prilikom pokretanja SD modula. Ove datoteke imaju nazive brojevanih vrijednosti po kojima se pretražuju kasnije kada se pojavi zahtjev za obavljanjem spremljenog rada kosilice. Ukoliko se ne pronađe tražena datoteka pojaviti će se alarm "nema zapisa", koji će ukazati da traženi zapis nije pronađen na SD kartici. Podaci koji se spremaju u svaki red datoteke su: broj retka, podatak brzine, podatak smjera, stanje radnog motora, vrijednost timer-a, adresa upravljača, alarm i napunjenost baterije. Najveći broj redaka koji se mogu upisati u jednu datoteku je 65535. Nailaskom na ovu vrijednost broja retka, završava se rad po spremljenim podacima i mobilna platforma će se isključiti. Isto tako će se isključiti ako se tijekom rada pojavi alarm koji isključuje mobilnu platformu. Prije isključenja SD modula upisati će se broj retka 65535 koji će naznačiti kraj zapisa, a isto tako će se spremati i kod alarma zbog mogućnosti kasnije dijagnostiku mobilne platforme. Isključenje mobilne platforme je moguće: pojavom alarma, primanjem naredbe za isključenje ili izvršavanjem zadnjeg reda zapisa datoteke kod autonomnog načina rada.

### 6.3. Struktura programa

Program je koncipiran na način da se glavni dio programa nalazi unutar do – loop petlje. U njoj se obrađuju: upravljački podaci, zahtjevi za dodatnim podacima, alarmi i naredba isključenja. Sve funkcije koje SD modul obavlja su napisane u potprogramima u koje se ulazi iz do – loop petlje, vanjskim prekidom ili prekidom timera.

Uz dobro osmišljeni sklop, program je taj koji ostavlja puno prostora za daljnji razvoj mobilne platforme.

## 7. ZAKLJUČAK

Razvojem ideje o mobilnoj platformi, definirani su zahtjevi koji se na nju postavljaju. Svi zahtjevi grupirani su u niz funkcijskih cjelina na temelju kojih su projektirani sklopovi u obliku sedam zasebnih modula. Velik broj funkcija trebalo je organizirati i povezati u funkcionalnu cjelinu koja će sigurno obaviti zadane zadatke. Za funkcionalno povezivanje svih modula sustava bio je potreban prijenos podataka između modula. Sredstvo kojim je ovo postignuto je posebno razvijena komunikacija koja omogućava pouzdan prijenos podataka. Ugrađene osobine komunikacije su provjera ispravnosti podataka i povratna informacija pošiljatelju o ispravnosti podataka. Uz definirane funkcije svih modula sustava i uz njihovu međusobnu suradnju, omogućeno je i izvršavanje zadanih radnji po prethodno snimljenom zapisu rada. Ovakav način autonomnog rada bio je i konačni cilj ovog projekta.

## 8. LITERATURA

- [1] Petar Biljanović: Elektronički sklopovi, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [2] Stanko Paunović: Elektronički sklopovi, Element, Zagreb, 2006.
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Lawn\\_mower](http://en.wikipedia.org/wiki/Lawn_mower), lipanj 2012.

### Kontakt autora:

**mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.**

Veleučilište u Varaždinu

J.Križanića 33

42000 Varaždin

042/493-354

[ivan.sumiga@velv.hr](mailto:ivan.sumiga@velv.hr)

**Zoran Vrhovski, mag.ing.eit**

Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

043/241-185

[zvrhovski@vtsbj.hr](mailto:zvrhovski@vtsbj.hr)

**Tomislav Šalamunec (bivši student)**

Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

098/958-2814

[tomislav.salamunec@gmail.com](mailto:tomislav.salamunec@gmail.com)

# PRIMJENA SQL-a U PROGRAMIMA OTVORENOG KODA

## USING SQL IN THE OPEN SOURCE PROGRAMMES

*Ladislav Havaš, Matija Lesar*

Stručni članak

**Sažetak:** Pod pojmom otvoreni kod (eng. open source) podrazumijeva se programski kod koji je slobodan za upotrebu široj javnosti, što znači da ga svatko može koristiti i mijenjati bilo u osobne, bilo u poslovne svrhe. Postoji više open source različitih licenci koje bi trebale pokriti sve korisnike, ali se također mogu napisati i potvrditi vlastite licence. Treba spomenuti i Open Source Initiative (OSI), neprofitnu korporaciju posvećenu upravljanju i promoviranju Open Source Definition kriterija, odnosno licencnih uvjeta za dobrobit zajednice. U današnje vrijeme sve se više ljudi i tvrtki okreće otvorenom kodu.

Neki od najpoznatijih open source projekata su i PHP (eng. Hypertext Processor), Apache te MySQL koji su i korišteni u ovom projektu. PHP je server-side skriptni jezik za dinamičko generiranje HTML (eng. HyperText Markup Language) koda. On je danas jedan od najkorištenijih i najrasprostranjenijih server-side skriptnih jezika koji se koriste za izradu web aplikacija. Za izvođenje PHP-a najčešće se koristi Apache Web Server, koji predstavlja poslužitelja mrežnih stranica. Apache je uvelike pridonio širenju početnog World Wide Weba., a 2009. godine postao je prvi web server koji je prešao prag od 100 milijuna posluženih web stranica. MySQL je najkorištenija relacijska baza podataka otvorenog koda, ima široku primjenu i ujedno je baza podataka koja se najviše koristi pri radu s PHP-om. MySQL se najčešće koristi u kombinaciji s LAMP-om (Linux, Apache, MySQL, PHP).

**Ključne riječi:** open source, PHP, Apache, MySQL, Linux

Professional paper

**Abstract:** The term "open source" refers to the source code available to the general public for use, which means that anyone can use it and modify it for personal or business purposes. There are several different open source licenses that should cover all users, but one can also easily write your own license and give it to the confirmation. What also should be mentioned is the Open Source Initiative (OSI), a non-profit corporation, dedicated to managing and promoting the Open Source Definition criteria, that is, license conditions for the benefit of the community. Nowadays more and more people and companies are turning to the open source.

Some of the most widely known open source projects are PHP (Hypertext Processor), Apache and MySQL, which were used in this project. PHP is a server-side scripting language for dynamic generation of HTML (HyperText Markup Language) code. Currently, it is one of the most used and most widespread server-side scripting languages used to create web applications. In running PHP, the Apache web server is mostly used, which stands as a web hosting provider. Apache has greatly contributed to the initial spread of the World Wide Web, and in 2009 it became the first web server to surpass the 100 million website milestone. MySQL is the world's most used open source relation database. It is used widely, and is also a database that is most frequently used with PHP. MySQL is most commonly used in the combination known as LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP).

**Key words:** open source, PHP, Apache, MySQL, Linux

### 1. UVOD

U ovom radu je prikazan izrađeni Sustav za anketiranje studenata. Njime se olakšalo anketiranje studenata za ocjenjivanje profesora i kolegija, a sam sustav se sastoji od administracijskog i korisničkog dijela. U administracijskom dijelu se unose podaci potrebni za provođenje ankete, kao što su pitanja, studiji, kolegiji te se generiraju jednokratne lozinke koje služe za prijavu studenata u korisnički dio. Pomoću jednokratnih lozinki je osigurana anonimnost studenata. Ankete se u administracijskom dijelu mogu pregledavati

i ispisivati. Može se također vidjeti statistika za svaki kolegij te za svakog profesora. U korisničkom dijelu sustava u koji se prijavljuju studenti prikazuje se popis anketa koje student može ispuniti. Svaka anketa se može popuniti samo jednom za pojedinog profesora i kolegij. Kada se ispuni zadani postotak anketa, student dobije potvrdu lozinku koja se može provjeriti u administracijskom dijelu sustava.

Ključni pojam koji treba razjasniti kod ovoga rada, ali i za funkcioniranje Sustava za anketiranje, otvoreni je kod (eng. open source). Open source je pojam koji predstavlja sav softver što se distribuira zajedno sa

svojim izvornim kodom, otvoren je i pristupačan svakom korisniku. Sve se više počeo širiti zbog dostupnosti interneta preko kojeg se lako razmjenjuju datoteke.

Najpoznatiji open source alati za izradu web aplikacija i baza podataka su PHP i MySQL, koji su i korišteni u izradi Sustava. Većina današnjih najvećih web aplikacija (Google, Facebook, ...) koriste upravo PHP i MySQL. Njihovom razvoju najviše je pridonijela open source zajednica. Za pokretanja PHP programa potreban je i web server koji je u ovom slučaju Apache, a to je ujedno i najviše korišteni web server u kombinaciji sa PHP-om i MySQL-om.

U današnje vrijeme kada je internet dostupan svakome, traže se sve brži i lakši načini za provođenje nekih postupaka koji su se nekad radili ručno. Odličan primjer je ispitivanje kvalitete studiranja, odnosno provođenje studentske ankete.

Najveći problem kod provođenja svih anketa je u obradi prikupljenih podataka. Ako se ankete popunjavaju na papiru, tada je za njihovu obradu potrebno mnogo vremena. Kod sustava za anketiranje studenata, koji je opisan u ovom radu, nastojali smo smanjiti potrebu za interakcijom s ljudima zaduženim za provođenje ankete i obradu rezultata. Sustav za anketiranje studenata nastao je s ciljem da ubrza i olakša proces anketiranja, da studentima taj postupak učini prihvatljivim i zanimljivim te da očuva anonimnost onih koji popunjavaju ankete.

## 2. OPEN SOURCE

Pod pojmom open source podrazumijeva se da je izvorni kod dostupan svim korisnicima koji ga mogu koristiti, mijenjati i poboljšavati njegov sadržaj u bilo koju svrhu. Korisnici također imaju pravo na redistribuciju koda.

Open source projekti se obično razvijaju u krugu zajednice, što znači da bilo koji pojedinac ili tvrtka mogu sudjelovati u procesu razvoja.

Osim toga što je besplatan, mnoge organizacije koriste open source rješenja jer daju početnu prednost njihovom projektu.

Svaki stvoreni program može biti open source: od programa opće primjene, uredskih programa, preko www i e-mail klijenata i poslužitelja pa do operativnih sustava. Neki od najpoznatijih open source alternativa programima ili sustavima koji se naplaćuju su: operativni sustavi (Linux), web poslužitelji (Apache), SQL poslužitelji (MySQL), DNS (eng. Domain Name System), poslužitelji (BIND), web i e-mail preglednici (Mozilla), uredski alati (LibreOffice) i sl. Neki stručnjaci tvrde da cijeli internet ovisi o open source softveru. Razlog tome su većina blogova, foruma i portala koji su napravljeni korištenjem nekih od open source sustava za upravljanje sadržajem ili CMS (eng. Content Management System). Neki od najpoznatijih takvih sustava su Joomla, WordPress, phpBB, Nuke, Drupal itd.

Četiri glavne karakteristike open source softvera:

1. izvorni kod je dostupan svima ili je već uključen u samoj distribuciji
2. slobodna je daljnja distribucija trećim osobama

3. može se obavljati proizvoljna modifikacija kao i redistribucija softvera
4. neograničeno korištenje softvera

Osnovna ideja open sourcea nije izrađivanje besplatnih softvera nego izrađivanje visokokvalitetnih softvera i izbjegavanje izrade komponenti uvijek nanovo, ako iste već negdje postoje. Osim open source softvera postoje još neke vrste softvera:

**Freeware** - autor programa daje kod na javno korištenje i daljnju distribuciju. Izvorni kod nije uvijek na raspolaganju javnosti.

**Shareware** - korisnik može koristiti ili testirati softver određeni vremenski period. Kada vremenski period istekne, korisnik mora kupiti dozvolu za daljnji rad ako je odlučio nastaviti s korištenjem softvera.

**Komercijalni softver** - izrađen je s ciljem stvaranja profita. Korisnik mora platiti licencu za korištenje ako želi raditi na takvom softveru.

Nerijetko se u računalnom svijetu može naći softver koji je *free* (engl. slobodan, besplatan), ali jedino u smislu da korisnik ne mora plaćati za njegovo korištenje. Takve programe se često ne smije davati nikome drugome, a u pravilu ih je zabranjeno samostalno poboljšavati. Za takav softver nema nikakvog jamstva da će takav program ostati dostupan u budućnosti. Softver licenciran besplatno je najčešće samo oruđe u marketinškoj kampanji za promicanje srodnog proizvoda, ili čak sredstvo za upropaštavanje manjeg konkurenta.

Nasuprot takvim programima koji su besplatni, ali zapravo nisu slobodni, open source programi su i besplatni i slobodni. Njihova sloboda se očituje u tome da im je upotreba u bilo koju svrhu zagarantirana licencom. Iako autor zadržava pravo prodavanja i ponovnog licenciranja svojeg rada, sve ono što je jednom licencirano kao slobodno, zauvijek i ostaje takvo. Svatko može uz jasno definirane uvjete mijenjati takav softver.

Kao i u većini zemalja, i u Republici Hrvatskoj postoje prava na vlastiti rad. Licenca je autorov način dopuštanja korištenja njegovog koda drugima, na njemu prihvatljiv način. Licenca određuje na koje se načine softver smije koristiti. No, na autoru je da odabere onu koja mu najviše odgovara.

Softverske tvrtke žele zaštititi svoju imovinu pa objavljuju samo kompajlirani kod (koji se ne može čitati) i na korištenje softvera stavljaju mnoga ograničenja. S druge strane, autori slobodnog softvera traže kombinaciju sljedećeg:

1. **Nedopuštanje korištenja njihovog koda u vlasničkom softveru** - budući da svoj kod objavljuju kako bi ga svi mogli koristiti, ne žele vidjeti da ga netko otuđuje
2. **Zaštita identiteta autorskog koda** - autorima njihovo djelo puno znači pa ne žele da netko drugi prisvoji njihov rad ili da se potpišu pod tuđi rad
3. **Distribucija izvornog koda** - jedan od problema, većinom komercijalnog koda, je taj što ne možete ispraviti greške ili ga prilagoditi sebi jer vam izvorni kod nije dostupan. Također, tvrtka može odlučiti prestati podržavati

komponente koje koristite. Mnoge slobodne licence zahtijevaju distribuciju izvornog koda.

## 2.1. Povijest otvorenog koda

Na početku razvoja softverske industrije postojao je samo slobodan softver. Kasnije je razvijen vlasnički softver koji je ubrzo preuzeo vodeću ulogu do te mjere da se danas smatra jedini mogući model. Tek nedavno je industrija počela ponovo razmatrati slobodan softver kao opciju.

IBM je 60-tih godina prošlog stoljeća svoja prva komercijalna računala isporučivao sa softverom otvorenog koda. Kod koji je dolazio s računalima se mogao dijeliti među korisnicima i moglo ga se mijenjati i nadograđivati. Potkraj 60-ih godina situacija se mijenja nakon što IBM zaštićuje svoj softver pa je već sredinom 70-tih bilo uobičajeno da računala dolaze s vlasničkim softverom, ali ga korisnici ne smiju mijenjati, dijeliti i nadograđivati.

Na kraju 70-tih i početkom 80-tih stvaraju se korijeni programa otvorenog koda. Richard Stallman pokrenuo je GNU (eng. GNU's Not Unix!) projekt i Free Software Foundation. Cilj GNU projekta je bilo stvaranje besplatnog operativnog sustava. Stallman je tako počeo i s kodiranjem nekih programskih alata (kompajler, editor i sl.). Kao zakonski alat, GPL (eng. General Public License) je bio izrađen s namjerom da softver od GNU projekta ostane besplatan te da promovira proizvodnju besplatnog softvera.

CSRG (eng. Computer Systems Research Group) sa Sveučilišta u Berkleyu je poboljšavao UNIX sustav i izrađivao je mnoge aplikacije za njega, te je tako nastao BSD (eng. Berkeley Software Distribution) Unix. Te napore financirala je uglavnom DARPA (eng. Defense Advanced Research Projects Agency), a gusta mreža Unix hakera diljem svijeta pomogla je u debugiranju, održavanju i poboljšanju sustava. Dugo vremena taj softver nije bio distribuiran izvan zajednice nositelja Unix AT&T licence. Potkraj 80-tih je konačno izdan pod BSD licencom, jednom od prvih licenci otvorenog koda. Nažalost, u to vrijeme je svaki korisnik BSD Unixa trebao AT&T licencu jer su neki dijelovi kernela i nekoliko važnih alata bili izdani pod tom licencom.

Jedan od značajnih projekata otvorenog koda iz tog vremena je i TeX. TeX je sustav za pisanje koji je razvio Donald Knuth. Prvi cilj TeX-a je bio da omogući svakome izradu vrsnih knjiga, a drugi cilj da pruži sustav koji će dati potpuno iste rezultate na svim računalima. Prvu verziju TeX-a je Knuth napisao 1978. godine. Nakon treće verzije prestao je mijenjati brojeve verzija i samo je dodavao decimale broja *pi*, a time je htio označiti da je sada TeX stabilan. Trenutna verzija je 3.1415926 i izdana je u ožujku 2008. godine.

U razdoblju 80-tih i ranih 90-tih otvoreni kod je nastavio svoj razvoj, na početku u nekoliko manjih, relativno izoliranih grupa. USENET i internet su pomogli u izgradnji velike zajednice korisnika. Polako su se integrirali razvijeni programi, ujedinjujući rad mnogih skupina. Kao rezultat spajanja, čitava okruženja su napravljena na temelju Unixa, koristeći programe otvorenog koda. U mnogim slučajevima administratori sustava mijenjaju standardne alate s GNU programima.

Posebno je zanimljiv slučaj X Window Systema koji je bio jedan od prvih programa otvorenog koda koji je podupro konzorcij tvrtki. Tijekom 1991. i 1992. godine dogodila su se dva veoma važna događaja za zajednicu open source softvera. U Kaliforniji je Bill Jolitz (William Frederick Jolitz) sa svojom ženom Lynne Jolitz implementirao dijelove koji nedostaju - Net/2 distribuciju kako bi se mogla pokrenuti na i386 računalima. Net/2 je bio rezultat truda CSRG-a da bi napravili verziju BSD Unixa bez AT&T-ovog autorskog koda. Jolitz je svoj rad nazvao 386BSD koji je ubrzo postao cijenjen među BSD i Unix zajednicama. 386BSD je bio izdan pod BSD licencom koja ga je učinila potpuno besplatnom platformom. Također je uključivao besplatan softver pod drugim licencama kao što je GNU kompajler. U to vrijeme je Linus Torvalds, nezadovoljan Tanenbaumovim Minixom, implementirao prvu verziju Linux kernela. Tvorac Minixa, Andrew S. Tanenbaum ga je izradio u obrazovne svrhe 1987. godine.

Linus Benedict Torvalds je softverski inženjer koji je bio pokretač razvoja Linux kernela. Kasnije je postao glavni arhitekt Linux kernela, a sada radi kao koordinator projekta. Njegova osobna maskota je pingvin s nadimkom Tux, kojeg je prihvatila Linux zajednica kao maskotu tog kernela. Iako vjeruje da je otvoreni kod jedini pravi put za softver, on također kaže da koristi pravi alat za posao koji radi, iako to ponekad znači i korištenje vlasničkog softvera.

Sljedećih godina se Linux kernel razvija i koristi u mnogim GNU/Linux distribucijama (Slackware, Debian, Red Hat, Suse, Mandrake i mnogi drugi). Prvotno je to bio samo terminal koji je Linus koristio za pristup UNIX serverima fakulteta. Program je razvijao na MINUX-u koristeći GNU C kompajler, koji je još i danas glavni izbor kod kompajliranja Linuxa. U svojoj knjizi „*Just for Fun*“ zaključio je da je na kraju napisao kernel za operativni sustav. Godine 1991. objavio je na internetu kako radi na besplatnom operativnom sustavu koji neće bit velik. Međutim, danas se Linux koristi na milijunima računala i ima mnogo verzija.

U Kaliforniji je 3. veljače 1998. godine održan sastanak nakon kojeg se pojavio termin „otvoreni kod“ (eng. open source). Sastanku su prisustvovali Todd Anderson, Chris Peterson, John Hall, Larry Augustin, Sam Ockman i Eric Raymond. Na njemu se raspravljalo o strategiji iskorištavanja ozračja koje je nastalo Netscapeovim priopćenjem o objavljivanju izvornog koda njihovog internet preglednika. Sudionici sastanka su vidjeli ovo objavljivanje kao idealnu priliku za popularizaciju programa otvorenog koda u korporativnom okruženju. U mnogim područjima, programi otvorenog koda su danas postali najbolji izbor (npr. Apache Web Server koji koristi više od 50% tržišta).

## 2.2. OSI

Open Source Initiative (OSI) je neprofitna korporacija posvećena upravljanju i promoviranju Open Source Definition kriterija, odnosno licencnih uvjeta za dobrobit zajednice.

Osnovna ideja te inicijative je premisa da će se softver brže razvijati ako programeri mogu čitati, redistribuirati i modificirati izvorni kod. Ako više osoba radi na nekom projektu, projekt će se brže razvijati, a pogreške će se brže i lakše pronalaziti i ispravljati.

Open Source Initiative pokušava ideju programa otvorenog koda popularizirati u komercijalnom svijetu. Iako su temelji odavno postavljeni, implikacija programa otvorenog koda u komercijalnom okruženju još se uvijek razmatra, pa se tako i otvoreno poziva na konstruktivne prijedloge javnosti.

## 2.3. Open source licence

Kriterije prema kojima se certificira neka licenca sadržani su pod Open Source Definition. Najbitnije stavke unutar Open Source Definitiona koje neka licenca mora zadovoljavati su:

**Slobodna redistribucija** - licenca ne smije ograničavati ni jednu stranku u prodaji ili poklanjanju softvera

**Izvorni kod** - program mora sadržavati izvorni kod, mora dopuštati distribuciju izvornog koda kao i kompajlirane verzije

**Izvedeni oblici** - licenca mora dopustiti modifikacije i mora dopustiti redistribuciju pod istim uvjetima koje propisuje licenca originalnog softvera

**Integritet autorovog izvornog koda** - licenca može ograničavati izvorni kod distribucije u modificiranom obliku jedino ako licenca dopušta distribuciju "zakrpa" uz izvorni kod, s ciljem izmjene programa za vrijeme "izgradnje"

**Diskriminacija osoba i skupina** - licenca ne smije diskriminirati osobu ili grupu osoba

**Diskriminacija područja rada** - licenca ne smije ograničavati nikoga u korištenju programa na određenom području rada

**Distribucija licence** - ne smije se izdavati više licenci za jedan program kako bi se ograničila prava određenim osobama

**Licence ne smiju ograničavati drugi softver** - licenca ne smije stavljati ograničenja na drugi softver koji se distribuira zajedno s licenciranim softverom

**Licenca mora biti tehnološki neutralna** - ni jedna odredba licence se ne može temeljiti na pojedinoj tehnologiji ili obliku sučelja

Kao znak raspoznavanja otvorenog koda, OSI je registrirao oznaku OSI Certified, kao i grafičku oznaku (slika 2.3.1.). OSI certificirani softver mora imati jednu od tri sljedeće oznake:

**This software is OSI Certified Open Source Software**  
**OSI Certified is a certification mark of the Open Source Initiative**

**OSI Certified Open Source Software**



Slika 2.3.1. Logo OSI Certified

OSI održava bazu odobrenih licenci koje se mogu koristiti kao uvjeti korištenja i distribucije softvera. Potrebno je samo odabrati licencu koja nam najbolje odgovara, ili ako takva licenca ne postoji, OSI nudi mogućnost certificiranja novih licenci.

## 2.4. Prednosti i mane

### PREDNOSTI:

**Prilagođavanje** - izvorni kod je na raspolaganju, može se mijenjati, proširivati i prilagođavati posebnim potrebama

**Ponovno korištenje izvornog koda** - ponovnim korištenjem dijelova izvornog koda u drugim proizvodima štedi se na vremenu

**Bolja kvaliteta softvera** - postupak izradivanja otvorenog koda se razlikuje od jednog do drugog komercijalnog softvera

**Neovisnost** - programi otvorenog koda ne prisiljavaju korisnika na bilo kakvu vrstu ovisnosti o određenom prodavaču

**Bolja sigurnost** - kako izvorni kod stoji na raspolaganju, sigurnosni nedostaci se mnogo brže otkrivaju i otklanjaju

**Otvoreni standardi** - zbog slobodne raspoloživosti izvornog koda, format datoteka i standardi koji se koriste za razmjenu podataka su prema definiciji "otvoreni"

**Bez plaćanja naknade za licencu** - plaćanje naknada za licence predstavlja samo dio ukupnih troškova za vlasništvo nad softverom. Međutim, neplaćanje naknade za licencu može biti bitan ekonomski faktor.

### MANE:

**Bez povrata na garanciju** - korisnici programa otvorenog koda ne mogu zahtijevati nikakvu garanciju autora

**Ne postoji podrška programera** - samo u rijetkim slučajevima, na zahtjev, pruža se podrška autora

**Veća potreba za obukom** - u mnogim sektorima je korištenje komercijalnih softverskih rješenja uobičajenije nego korištenje otvorenog koda kao alternative

**Bez garancije za kontinuitet softvera** - autor ili više njih može uvijek završiti rad na projektima otvorenog koda

**Nedostatak interoperabilnosti s komercijalnim proizvodima** - u rijetkim slučajevima sami proizvođači komercijalnih softvera imaju interes da naprave interoperabilnost s programima otvorenog koda

## 3. PHP

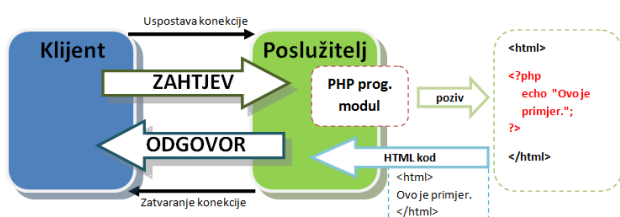
PHP je nastao iz PHP/FI koji je 1994. godine napravio Rasmus Lerdorf. Prva verzija PHP-a je bila jednostavan skup CGI (eng. Common Gateway Interface) skripti pisanih u C programskom jeziku. S vremenom je dodavao nove funkcije kao što su komunikacija s bazom podataka, pa je tako nastao framework pomoću kojeg su korisnici mogli napraviti dinamičke web stranice kao što je knjiga gostiju.

PHP je *server-side* skriptni jezik za dinamičko generiranje HTML koda. PHP kreira HTML stranicu na poslužitelju prije nego što se ona, popunjena dinamičkim sadržajem, pošalje klijentu. Ovim načinom klijent ne može vidjeti kod koji je generirao sadržaj koji gleda, već ima pristup čistom HTML kodu (slika 3.1.).

PHP ne ovisi o pregledniku ni o operativnom sustavu posjetitelja web odredišta.

Proces uključivanja PHP programa uključuje sljedeće korake:

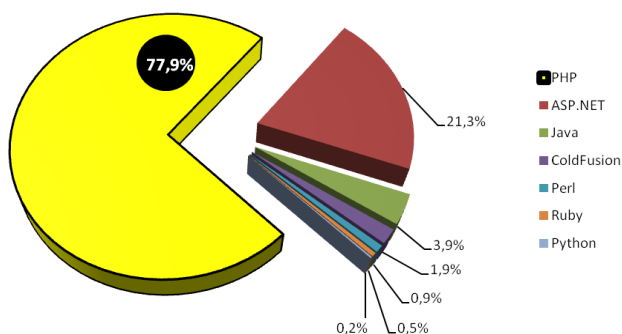
1. korisnik putem preglednika zahtijeva određeni resurs (PHP program, datoteku)
2. zahtjev dolazi do poslužitelja koji prepoznaje da se radi o PHP programu
3. poslužitelj poziva PHP *engine* koji izvršava PHP program, koji rezultira HTML kodom koji se tada šalje korisniku



Slika 3.1. Proces uključivanja PHP programa

PHP je danas jedan od najnaprednijih i najkorištenijih skriptnih jezika na strani poslužitelja u upotrebi (slika 3.2.). Po sintaksi je sličan mnogim drugim jezicima, čak se i koriste funkcije drugih jezika kao što su C ili Pearl, što znači da se jedna radnja može napisati na više načina. Najjednostavniji primjeri su **echo** "tekst" i **printf** ("tekst"), obje naredbe rade potpuno istu stvar, a to je ispis teksta koji se nalazi između navodnika.

PHP je hibridni jezik, podržava proceduralno i objektno orijentirano programiranje, te gotovo sve tipove podataka (boolean, integer, float, string, array, object, resource, NULL ...). Od velikog je značaja mogućnost pristupa bazama podataka, jer je to odlika modernog programskog jezika. Osim široke podrške za baze, podržava i komunikaciju s ostalim servisima korištenjem protokola kao što su: SNMP (eng. Simple Network Management Protocol), POP3 (eng. Post Office Protocol), HTTP (eng. HyperText Transfer Protocol) i dr.



Slika 3.2. Usporedba korištenja programskih jezika

Osnovna razlika između PHP-a i samostalnih jezika je u tome što je PHP prvobitno dizajniran samo za web programiranje te radi isključivo u toj okolini. Kako bi se

uopće mogla pokrenuti neka PHP aplikacija, treba imati instaliran web poslužitelj na svom računalu.

Kao i svaki drugi programski jezik, i PHP ima nekih nedostataka. Jedan od njih je taj što u PHP-u nije potrebna deklaracija varijabli, što znači biti izvor raznih grešaka i sigurnosnih propusta. Ugrađene funkcije nisu dosljedne što se tiče njihovog nazivlja, kao i redoslijeda argumenata među sličnim funkcijama (npr.: *strip\_tags* i *htm\_entyty\_decode* nasuprot *strslashes*, *htmlentities*). Isto tako, funkcije nisu dosljedne u vraćanju rezultata - false, ali mogu vratiti i 0 ili "". Konfigurabilnost PHP-a je istodobno prednost i nedostatak jer jedna skripta na nekom poslužitelju može raditi, dok na drugom ne radi.

## 4. MySQL

MySQL je najkorištenija relacijska baza podataka otvorenog koda, ima široku primjenu i ujedno je baza podataka koja se najviše koristi u zajedničkom radu s PHP-om. Trenutačno ima više od 100 milijuna preuzetih kopija.

Podaci u takvim (relacijskim) bazama podataka nalaze se u tablicama koje su povezane pomoću ključeva. Koriste se istovjetne vrijednosti iz dviju tablica za stavljanje u odnos (relaciju) informacija u jednoj tablici, prema informacijama u drugoj. U relacijskim bazama podataka informacije se spremaju samo jednom, što ih čini brzim i učinkovitim.

MySQL je prvobitno nastao kao interni projekt švedske tvrtke MySQL AB. Prva verzija je izdana 23.05.1995. godine, a trenutačna verzija je 5.5.25 (Community Server) izdana 31.05.2012.

Na poslužitelju na kojem je instaliran MySQL može postojati više potpuno samostalnih baza podataka. Svaka baza obično ima više tablica. Unutar jednog projekta može se baratasti s podacima iz više baza, budući da se svakom korisničkom računu mogu dodijeliti različita administracijska prava na više baza ili čitav poslužitelj. MySQL-ova popularnost se temelji na mogućnosti besplatnog korištenja, podržanosti velikog broja platformi, na relativnoj jednostavnosti, lakom održavanju i na zadovoljavajućim performansama.

MySQL koristi standardni SQL jezik za pristup bazama podataka. Obično se koristi za web aplikacije gdje se očekuje brza i sigurna obrada podataka.

Kao i kod svakog drugog mrežnog računalnog sustava, MySQL se sastoji od dva glavna dijela: od MySQL poslužitelja i niza klijenata. Na MySQL poslužitelju može biti jedna ili više shema na koje se spaja jedan ili više klijenata. Klijent može biti MySQL klijent ili neka druga aplikacija koja koristi bazu podataka.

MySQL, kao i sve drugo čemu se pristupa preko mreže, može biti nesigurna baza podataka. Ako mu pristupa računalo koje je na internoj mreži, automatski se postavljaju administratorska dopuštenja i zbog toga interni napadi mogu biti puno opasniji od udaljenih. MySQL u radu koristi mnoge privremene datoteke na nesigurnim mjestima i s predvidljivim imenima, pa mogu biti zamijenjene simboličkim vezama prema kritičnim

datotekama sustava. MySQL skripta prilikom prepisivanja sistemske datoteke koristi ovlasti MySQL procesa koji ju je pokrenuo. Za razliku od drugih baza, npr. Oracle ili Sybase, MySQL izvorno sadrži prilično slabu mrežnu podršku. Zbog toga napadač, nakon što probije MySQL poslužitelj, nema puno mogućnosti za proširivanje napada na ostatak računalne mreže.

## 5. OPIS WEB SUSTAVA ZA ANKETIRANJE STUDENATA

Sustav za anketiranje studenata je napisan u PHP-u, a korištena baza podataka je MySQL. U nastavku slijedi opis sustava i način njegovog korištenja.

### 5.1. Administratorski dio

Nakon prijave u administratorski dio, prikazuje se stranica s općim podacima o profesorima, kolegijima, anketama te o prosječnim ocjenama (slika 5.1.1.).



Slika 5.1.1. Administratorski dio

Prelaskom na izbornik *Popis studija* dolazi se na stranicu za unos i uređivanje naziva studija.

Pritiskom miša na broj ispred studija dolazi se na popis kolegija vezanih uz taj studij. Ovdje se mogu unositi kolegiji za taj studij, brojevi semestra te se mogu brisati kolegiji. Pritiskom na izbornik *Popis profesora* dolazi se do stranice s popisom profesora za pojedini studij. Tu se mogu dodavati profesori, odabirati kolegiji koje oni održavaju, kao i uređivati ti podaci. Za svakog profesora se može dodati i posebna slika tako da se dodana datoteka naziva *IDProfesora.jpg* u direktorij *sl* na poslužitelju. Pritiskom na broj ispred imena profesora dobiva se prikaz svih ispunjenih anketa za tog profesora. Pritiskom na ID pojedine ankete dolazi se do pregleda ispunjene ankete pa se ona može ispisati. Ankete se mogu brisati jedna po jedna ili sve odjednom za pojedinog profesora. Kod uređivanja podataka za pojedinog profesora mogu se odabrati i kolegiji iz drugih studija.

Pritiskom na izbornik *Pitanja* dolazi se na stranicu gdje se dodaju, uređuju i brišu pitanja iz dijelova B i C ankete.

Unutar izbornika *Generator lozinki* nalazi se mogućnost generiranja lozinki za pojedini studij i smjer, slučajnim odabirom znakova iz zadanog stringa.

Nakon generiranja lozinki, ulaskom na izbornik *Popis lozinki* dobiva se popis generiranih skupova lozinki za pojedini studij i semestar. Pored svakog skupa se nalazi i

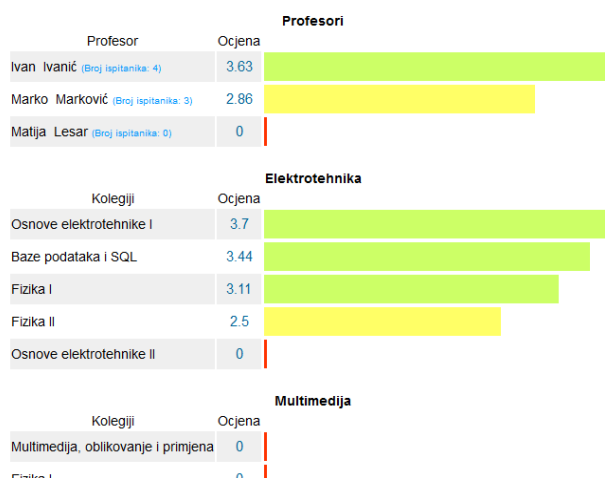
datum važenja lozinki. Lozinke se mogu i ispisati, da bi se onda podijelile studentima koji ih tada ispunjavaju.

Pod izbornikom *Svi ispitanici* nalaze se sve ispunjene ankete za sve profesore, studije i kolegije. Do pregleda anketa se dolazi pritiskom miša na broj ispred ankete. Kod pregleda ankete vidi se odgovor na svako pitanje koji je student označio ili popunio, te prosječna ocjena za skupinu pitanja pod B i C.

Kolegiji i ukupne prosječne ocjene profesora mogu se vidjeti pod izbornikom *Statistika*. Ovdje je grafički prikaz prosječnih ocjena za svakog profesora i za pojedine kolegije iz studija. Ovisno o prosječnoj ocjeni profesora/kolegija, mijenja se i boja grafa (slika 5.1.2.).

### Statistika

Prikaži: 5 najboljih



Slika 5.1.2. Statistika

Također postoji poseban prikaz s ocjenama profesora po kolegijima koji se nalazi pod izbornikom *Ocjene po kolegijima* (slika 5.1.3.).

|                                                 | B      | C      | ukupno |
|-------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| <b>Ivan Ivanić:</b>                             |        |        |        |
| Baze podataka i SQL :                           | [3.21] | [3.44] | [3.33] |
| Osnove elektrotehnike I :                       | [4.17] | [3.7]  | [3.94] |
| Osnove elektrotehnike II :                      | [0]    | [0]    | [0]    |
| Srednja ocjena ovog profesora iz svih kolegija: | [3.69] | [3.57] | [3.63] |
| <b>Matija Lesar:</b>                            |        |        |        |
| Osnove elektrotehnike I :                       | [0]    | [0]    | [0]    |
| Osnove elektrotehnike II :                      | [0]    | [0]    | [0]    |
| Srednja ocjena ovog profesora iz svih kolegija: | [0]    | [0]    | [0]    |
| <b>Marko Marković:</b>                          |        |        |        |
| Fizika I :                                      | [3.54] | [3.11] | [3.33] |
| Fizika II :                                     | [2.3]  | [2.5]  | [2.4]  |
| Srednja ocjena ovog profesora iz svih kolegija: | [2.92] | [2.81] | [2.86] |

Slika 5.1.3. Ocjene po kolegijima

Nakon što student ispuni zadani postotak anketa, dobiva potvrđnu lozinku koja se može provjeriti pod izbornikom *Provjera potvrđne lozinke*.

## 5.2. Korisnički dio

Kad student dobije svoju lozinku, on se može pomoću nje prijaviti na sustav i početi popunjavati ankete za kolegije i profesore koje pokriva lozinka (slika 5.2.1.). Lozinka je važeća do datuma koji odredi administrator.

STUDENTSKA ANKETA

Popis profesora i kolegija koje možete ocijeniti:

| Studij Elektrotehnika, 2. semestar                                                |                |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|
| Kolegij: Fizika II                                                                |                |             |
|  | Marko Marković | Glasano: ne |
| Kolegij: Osnove elektrotehnike II                                                 |                |             |
|  | Ivan Ivančić   | Glasano: ne |
|  | Matija Lesar   | Glasano: ne |

Slika 5.2.1. Korisnički dio

Pored svakog profesora je označeno da li je već ispunjena anketa za tog profesora, pa se za istog profesora anketa ne može popunjavati.

Nakon odabira profesora prikazuje se anketa s pitanjima. Pitanja koja su obavezna nalaze se u kategorijama A, B i C. Kad se anketa popuni, ona se spremi pritiskom na *Pošalji*. Pritiskom na *Pošalji* pokreće se provjera kojom se utvrđuje je li student ispunio sva obavezna pitanja. Ako nisu sva pitanja popunjena, dobiva se odgovarajuća poruka.

Nakon što student ispuni zadani postotak anketa, prikazuje se potvrdna lozinku koja se može provjeriti u administracijskom dijelu.

## 6. ZAKLJUČAK

Za potrebe ovog rada izradili smo Sustav za anketiranje studenata, u kojem smo koristili programski jezik PHP i bazu podataka MySQL. PHP kao programski jezik za izradu dinamičkih web stranica, te relacijska baza podataka otvorenog koda MySQL, pokazali su se kao dobri alati u izradi opisanog sustava za anketiranje studenata. Tim sustavom prikupljaju se podaci potrebni za ocjenjivanje kvalitete studiranja i procjene uspješnosti svakog pojedinca uključenog u nastavni proces.

Kao i svaki drugi sustav, i ovaj ima svojih prednosti i mana. Prednosti ovog sustava su lakoća korištenja, specifična primjena, koja mu je ujedno i mana, statistika i jednokratne lozinke. Pomoću jednokratnih lozinke postiže se anonimnost korisnika što je veoma važno kod ispunjavanja anketa. Za upravljanje cijelim sustavom dovoljna je samo jedna osoba.

Kao glavni nedostaci se ističu: neprimjenjivost za druga područja (sustav je napravljen samo za jednu vrstu ankete), limitiranost u broju pitanja te broj korisnika koji mogu raditi u administracijskom dijelu sustava.

Sustav bi se mogao vrlo jednostavno povezati s ISVU bazom studenata uz par preinaka pa bi jednokratne lozinke mogle stizati na e-mail studenata i broj lozinke bi onda bio ograničen na pravi broj studenata, ali bi tada (kod korisnika) postojala sumnja u potpunu anonimnost, što bi rezultiralo slabijim odazivom korisnika.

Sustav je provjeren u stvarnom okruženju i pokazao se kao dobar alat za provedbu ovakve vrste anketiranja. Uočeno je da se uz uštedu na organizacijskim troškovima (papir, pisači, osoblje za provedbu ankete, ...) do rezultata dolazi prilično brzo.

Razvijeni sustav je moguće modificirati i nadograditi tako da služi ispitivanju zadovoljstva korisnika u drugim poslovnim i životnim situacijama. Svi rezultati se mogu trajno zabilježiti u skladište podataka te tako omogućiti praćenje i usporedbu rezultata kroz duži period.

## 7. LITERATURA

- [1] D. GALIĆ: Moj OpenSource projekt na temu "Forum", Završni rad, FOI, Varaždin, 2010.
- [2] R. LERDORF, K. TATROE, P. MACINTYRE: Programiranje PHP, DOBAR PLAN d.o.o., ZAGREB, 2007.
- [3] D. Robeli: Osnove programskog jezika PHP, Semestralni rad, FSB, Zagreb, 2002.
- [4] V. VASWANI: Kako upotrijebiti PHP i MySQL, Mikro knjiga, Zagreb, 2005.
- [5] L. WELLING, L. THOMPSON: PHP and MySQL Web Development, Sams Publishing, USA, 2003.
- [6] <http://www.carnet.hr/>, lipanj 2012.
- [7] <http://www.wikipedia.org/>, lipanj 2012.
- [8] <http://www.opensource.org/>, lipanj 2012.
- [9] <http://www.tehnografija.net/>, lipanj 2012.
- [10] <http://eu.conecta.it/>, lipanj 2012.
- [11] <http://php.net>, lipanj 2012.
- [12] <http://w3techs.com/>, lipanj 2012.
- [13] <http://news.netcraft.com>, lipanj 2012.
- [14] <http://www.tiobe.com/>, lipanj 2012.
- [15] <http://tecnoesis.wordpress.com/>, lipanj 2012.
- [16] <http://buytaert.net/>, lipanj 2012.
- [17] <http://www.mysql.com/>, lipanj 2012.
- [18] <http://money.cnn.com/>, lipanj 2012.
- [19] <http://www.wikipedia.org/>, kolovoz 2012.

### Kontakt autora:

**mr.sc. Ladislav Havaš**  
 Veleučilište u Varaždinu  
 J. Križanića 33, 42000 Varaždin  
 042/493-313  
[ladislav.havas@velv.hr](mailto:ladislav.havas@velv.hr)

**Matija Lesar (bivši student)**  
 Veleučilište u Varaždinu  
 J. Križanića 33, 42000 Varaždin  
 098/698-074  
[matija.lesar@gmail.com](mailto:matija.lesar@gmail.com)

# UTJECAJ NISKOG I VISOKOG POPUŠTANJA NA TVRDOĆU ČELIKA EN 42CRMO4

## THE INFLUENCE OF LOW AND HIGH ANNEALING ON THE HARDNESS OF STEEL EN 42CRMO4

*Dražen Živković, Igor Gabrić, Slaven Šitić*

Stručni članak

**Sažetak:** Hollomon i Jaffe [1],[2] su dali funkcionalnu ovisnost parametra popuštanja (temperature i trajanja)  $P=f(T, \tau)$ . Drugim riječima ako se koriste kombinacije temperature i trajanja popuštanja, koje rezultiraju jednakom vrijednošću parametra, tvrdoća će ostati nepromijenjena. Ova funkcija se odnosi samo na čelike. Za određivanje parametara popuštanja uz postizanje željene mikrostrukture i tvrdoće nakon obrade, potrebno je poznavati dijagram popuštanja promatranog čelika. U ovom radu je istražena mogućnost dobivanja izraza gdje je tvrdoća u funkciji temperature i vremena popuštanja ( $H=f(T, \tau)$ ). Plan pokusa i statistička analiza rezultata su obavljani korištenjem programa „Design expert 6.0“ [3]. Izrađeni su cilindrični uzorci duljine 10 mm i promjera 25 mm. Pokus je obavljen u dva dijela. Prvi dio se odnosio na visokotemperaturno popuštanje, a drugi dio na niskotemperaturno. Ovakav pristup ispitivanju je odabran zbog bitno različitih struktura koje se pojavljuju na niskim i visokim temperaturama popuštanja.

**Ključne riječi:** toplinska obrada, parametri popuštanja, tvrdoća, statistička analiza

Professional paper

**Abstract:** Hollomon and Jaffe [1], [2] have given the functional dependence of the annealing parameters (temperature and time)  $P = f(T, \tau)$ . In other words, if using a combination of temperature and annealing time, resulting in equal parameters value, hardness will remain unchanged. This function refers only on steels. To determine the parameters of annealing for desired hardness after treatment, it is necessary to know the annealing diagram ( $H=f(T)$ ) of the observed steel. This paper investigates the possibility of obtaining a mathematical model where the hardness is function of annealing temperature and time ( $H=f(T, \tau)$ ). Design of experiments and statistical analysis were performed using the program "Design Expert 6.0" [3]. The cylindrical specimens were 10 mm length and 25 mm in diameter. The experiment was conducted in two levels. The first level was related to high temperature annealing, while the second level was related to the low temperature annealing. The reason for this approach was based on significantly different microstructure that appears at low and high annealing temperatures.

**Key words:** heat treatment, annealing parameters, hardness, statistical analysis

### 1. UVOD

Kako bi se ubrzao postupak određivanja parametara popuštanja korišten je centralni kompozitni plan pokusa. Pokusima i statističkom analizom određena je matematička funkcija koja povezuje parametre popuštanja i tvrdoću čelika [4].

Centralnim kompozitnim planom određen je minimalan broj uzoraka potrebnih za analizu pojave. Nakon obavljene toplinske obrade, uzorci cilindričnog oblika izrezani su iz šipke. Strojna obrada provedena je nakon toplinske obrade kako ne bi došlo do razugljčenja i oksidacije ispitivanog presjeka.

Toplinska obrada je obavljena u komornoj peći (slika 1) bez zaštitne atmosfere. Kaljenje nakon austenitizacije na temperaturi od 850°C u trajanju 10 minuta obavljeno je u ulju. Promjer šipki koje su toplinski obrađivane je bio 25 mm. Nakon popuštanja uzorci su ohlađeni na mirujućem zraku do sobne temperature.



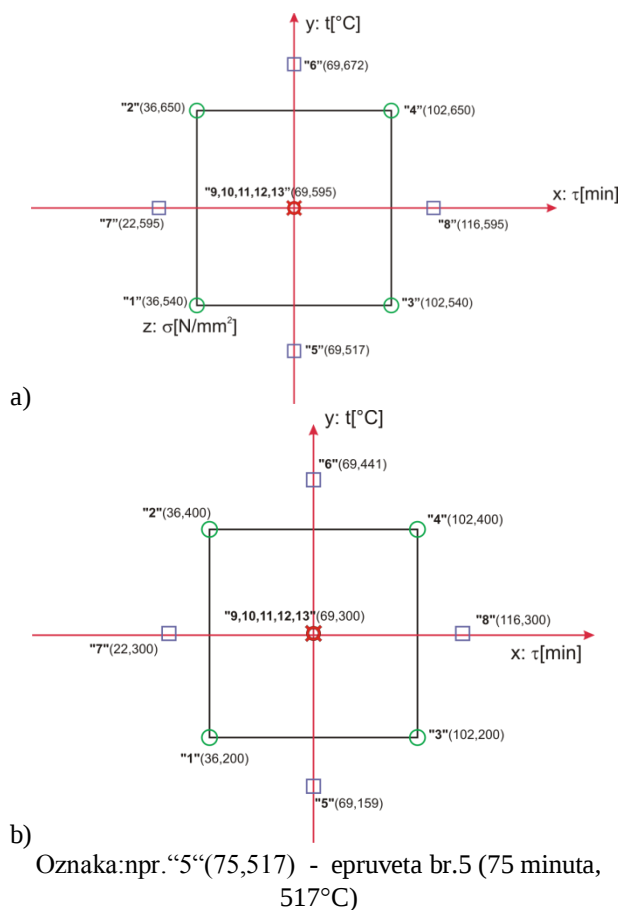
**Slika 1.** Komorna peč

Ispitivanje je obavljeno mijenjanjem dva parametra toplinske obrade: temperatura i vrijeme popuštanja. Prema centralnom kompozitnom planu korišteno je za prvi dio pokusa visokotemperaturno područje popuštanja 517÷673°C, kao i vremena popuštanja u rasponu od 22÷116 minuta. U drugom dijelu pokusa odabrano je temperaturno područje od 158÷441°C, te vremena popuštanja u rasponu od 22÷116 minuta, kao i u prvom dijelu pokusa.

## 2. EKSPERIMENTALNO

### 2.1. Planiranje pokusa

Odabran je centralno kompozitni plan pokusa (central composite design, CCD) [5]. Svaki faktor je mijenjan na pet razina. Svrha plana pokusa je pronalaženje matematičkog modela koji opisuje proces uz minimalan broj potrebnih pokusa. U ovom slučaju mijenjana su dva parametra (vrijeme i temperatura popuštanja). Svaki parametar mijenjan je na 5 nivoa (+ $\alpha$ ; - $\alpha$ ; +1; -1; 0). Na slici 2 prikazana je shema eksperimentalnih točaka pokusa. Simbol „□“ označava centralnu točku gdje razina svakog faktora ima srednju vrijednost, a koja se ponavlja 5 puta. Ovim ponavljanjem se postiže smanjenje varijance i dobra procjena čiste greške. Simbol „□“ označava 4 aksijalne točke udaljene  $\alpha=1,41$  od središta, a simbol „○“ označava 4 vršne točke plana pokusa.



**Slika 2.** Shematski prikaz eksperimentalnih točaka za visokotemperaturno (a) i niskotemperaturno (b) popuštanje

### 2.2. Ispitni materijal i oblik uzorka

Za izradu uzoraka korišten je materijal iz grupe čelika za poboljšavanje koji je u širokoj primjeni EN 42CrMo4 (Č 4732) kemijskog sastava prikazanog u tablici 1.

**Tabela 1.** Kemijski sastav čelika EN 42CrMo4

| C    | Si   | Mn   | Cr   | Mo   |
|------|------|------|------|------|
| 0.41 | 0.20 | 0.75 | 1.05 | 0.23 |

### 2.3. Plan pokusa

Unosom podataka o broju i rasponu pojedinih parametara koji se mijenjaju u programski paket Design expert generirano je 13 stanja pokusa (slika 3). Tablica 2 prikazuje redoslijed izvođenja i parametre obrade za svako stanje pokusa.

**Tablica 2.** Redoslijed izvođenja pokusa i parametri pokusa za visokotemperaturno (a) i niskotemperaturno (b) popuštanje

| broj epruvete | temperatura popuštanja |     | vrijeme popuštanja |        |
|---------------|------------------------|-----|--------------------|--------|
|               | a)                     | b)  | sati               | minuta |
| 1             | 540                    | 200 | 0                  | 36     |
| 2             | 650                    | 400 | 0                  | 36     |
| 3             | 540                    | 200 | 1                  | 42     |
| 4             | 650                    | 400 | 1                  | 42     |
| 5             | 517                    | 158 | 1                  | 9      |
| 6             | 673                    | 441 | 1                  | 9      |
| 7             | 595                    | 300 | 0                  | 22     |
| 8             | 595                    | 300 | 1                  | 56     |
| 9             | 595                    | 300 | 1                  | 9      |
| 10            | 595                    | 300 | 1                  | 9      |
| 11            | 595                    | 300 | 1                  | 9      |
| 12            | 595                    | 300 | 1                  | 9      |
| 13            | 595                    | 300 | 1                  | 9      |



**Slika 3.** Uzorci nakon obavljene toplinske obrade

### 2.3. Ispitivanje tvrdoće

Odzivna veličina, kao rezultat eksperimenta, je postignuta tvrdoća nakon toplinske obrade. Tvrdoća je mjerena Vickers-ovom metodom HV30. Srednje vrijednosti tvrdoća HV30 kao rezultati ispitivanja za visokotemperaturno i niskotemperaturno popuštanje su prikazane su u tablici 3.

**Tablica 3.** Rezultati mjerenja tvrdoće

| VISOKOTEMPERATURNO POPUŠTANJE |                                 | NISKOTEMPERATURNO POPUŠTANJE |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Broj epruvete                 | Srednja vrijednost tvrdoće HV30 | Broj epruvete                | Srednja vrijednost tvrdoće HV30 |
| 1                             | 342,1                           | 1                            | 606                             |
| 2                             | 291,9                           | 2                            | 450                             |
| 3                             | 320,6                           | 3                            | 538                             |
| 4                             | 270,8                           | 4                            | 419                             |
| 5                             | 372,3                           | 5                            | 633                             |
| 6                             | 275,0                           | 6                            | 372                             |
| 7                             | 366,3                           | 7                            | 522                             |
| 8                             | 331,3                           | 8                            | 399                             |
| 9                             | 336,5                           | 9                            | 506                             |
| 10                            | 320,6                           | 10                           | 418                             |
| 11                            | 310,6                           | 11                           | 486                             |
| 12                            | 306,1                           | 12                           | 496                             |
| 13                            | 320,6                           | 13                           | 501                             |

**Tablica 4.** Rezultati pokusa za slučaj visokotemperaturnog popuštanja

| broj epruvete | Temperatura popuštanja | vrijeme popuštanja |        | tvrdoća HV30 |
|---------------|------------------------|--------------------|--------|--------------|
|               |                        | sati               | minuta |              |
| 1             | 540                    | 0                  | 36     | 342,1        |
| 2             | 650                    | 0                  | 36     | 291,9        |
| 3             | 540                    | 1                  | 42     | 320,6        |
| 4             | 650                    | 1                  | 42     | 270,8        |
| 5             | 517                    | 1                  | 9      | 372,3        |
| 6             | 673                    | 1                  | 9      | 275          |
| 7             | 595                    | 0                  | 22     | 366,3        |
| 8             | 595                    | 1                  | 56     | 331,3        |
| 9             | 595                    | 1                  | 9      | 336,5        |
| 10            | 595                    | 1                  | 9      | 320,6        |
| 11            | 595                    | 1                  | 9      | 310,6        |
| 12            | 595                    | 1                  | 9      | 306,1        |
| 13            | 595                    | 1                  | 9      | 320,6        |

## 2.4. Statistička analiza

Rezultati mjerenja tvrdoća su statistički obrađeni pomoću programskog paketa DESIGN EXPERT 6 te je pomoću navedenog programa izrađen i matematički model. U tablici 4 prikazani su izmjerene vrijednosti tvrdoća za različite temperature visokog popuštanja i vremena popuštanja. U tablici 5 prikazani su analogni rezultati za slučaj niskotemperaturnog popuštanja.

Prvi korak kod statističke analize je bilo određivanje vrste transformacije odzivne veličine. Obzirom na dobivene rezultate nije bilo potrebe za transformacijom. U slijedećem koraku program upućuje na funkciju koja najbolje odgovara ovom slučaju, tablica 6 i 7. Za oba slučaja odabrana je linearna funkcija modela. Nadalje, određena je značajnost modela i članova polinoma pomoću analize varijance (ANOVA). Navedena analiza varijance prikazana je u tablici 8 i 9.

**Tablica 5.** Rezultati pokusa za slučaj niskotemperaturnog popuštanja

| broj epruvete | Temperatura popuštanja | vrijeme popuštanja |        | tvrdoća HV30 |
|---------------|------------------------|--------------------|--------|--------------|
|               |                        | sati               | minuta |              |
| 1             | 200                    | 0                  | 36     | 606          |
| 2             | 400                    | 0                  | 36     | 450          |
| 3             | 200                    | 1                  | 42     | 538          |
| 4             | 400                    | 1                  | 42     | 419          |
| 5             | 158.58                 | 1                  | 9      | 633          |
| 6             | 441.42                 | 1                  | 9      | 372          |
| 7             | 300                    | 0                  | 22     | 522          |
| 8             | 300                    | 1                  | 56     | 399          |
| 9             | 300                    | 1                  | 9      | 506          |
| 10            | 300                    | 1                  | 9      | 418          |
| 11            | 300                    | 1                  | 9      | 486          |
| 12            | 300                    | 1                  | 9      | 496          |
| 13            | 300                    | 1                  | 9      | 501          |

**Tablica 6.** Odabir modela metodom sume kvadrata za slučaj visokotemperaturnog popuštanja

| Izvor              | Suma kvadrata odstupanja | Broj stupnjeva slobode | Srednji kvadrat odstupanja | F-vrijednost          | P-Vrijednost Prob>F |                   |
|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| Srednja vrijednost | $1.334 \cdot 10^6$       | 1                      | $1.334 \cdot 10^6$         |                       |                     |                   |
| <u>Linearna</u>    | <u>8116.72</u>           | <u>2</u>               | <u>4058.36</u>             | <u>12.80</u>          | <u>0.0017</u>       | <u>Predloženo</u> |
| 2FI                | 0.040                    | 1                      | 0.040                      | $1.136 \cdot 10^{-4}$ | 0.9917              |                   |
| Kvadratna          | 650.63                   | 2                      | 325.31                     | 0.90                  | 0.4475              |                   |
| Kubna              | 182.44                   | 2                      | 91.22                      | 0.20                  | 0.8286              |                   |
| Ostatak            | 2336.47                  | 5                      | 467.29                     |                       |                     |                   |
| Ukupno             | $1.345 \cdot 10^6$       | 13                     | $1.035 \cdot 10^5$         |                       |                     |                   |

**Tablica 7.** Odabir modela metodom sume kvadrata za slučaj niskotemperaturnog popuštanja

| Izvor              | Suma kvadrata odstupanja | Broj stupnjeva slobode | Srednji kvadrat odstupanja | F-vrijednost | P-Vrijednost Prob>F |                   |
|--------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| Srednja vrijednost | 3.098E+006               | 1                      | 3.098E+006                 |              |                     |                   |
| <u>Linearna</u>    | 61172.26                 | 2                      | 30586.13                   | 29.20        | < 0.0001            | <u>Predloženo</u> |
| 2FI                | 342.25                   | 1                      | 342.25                     | 0.30         | 0.5948              |                   |
| Kvadratna          | 2134.62                  | 2                      | 1067.31                    | 0.93         | 0.4369              |                   |
| Kubna              | 1809.24                  | 2                      | 904.62                     | 0.73         | 0.5267              |                   |
| Ostatak            | 6189.33                  | 5                      | 1237.87                    |              |                     |                   |
| Ukupno             | 3.169E+006               | 13                     | 2.438E+005                 |              |                     |                   |

**Tablica 8.** Određivanje značajnosti modela i članova polinoma analizom varijance za slučaj visokotemperaturnog popuštanja

| Izvor varijacije     | Suma kvadrata odstupanja | Broj stupnjeva slobode | Srednji kvadrat odstupanja | F-vrijednost | P-Vrijednost Prob>F | Značaj      |
|----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------|-------------|
| Model                | 8116.72                  | 2                      | 4058.36                    | 12.80        | 0.0017              | značajan    |
| A                    | 7056.90                  | 1                      | 7056.90                    | 22.26        | 0.0008              |             |
| B                    | 1059.82                  | 1                      | 1059.82                    | 3.34         | 0.0974              |             |
| Ostatak              | 3169.57                  | 10                     | 316.96                     |              |                     |             |
| Odstupanje od modela | 2620.13                  | 6                      | 436.69                     | 3.18         | 0.1413              | neznačajano |
| Čista greška         | 549.44                   | 4                      | 137.36                     |              |                     |             |
| Ukupno               | 11286.29                 | 12                     |                            |              |                     |             |

**Tablica 9.** Određivanje značajnosti modela i članova polinoma analizom varijance za slučaj niskotemperaturnog popuštanja

| Izvor varijacije     | Suma kvadrata odstupanja | Broj stupnjeva slobode | Srednji kvadrat odstupanja | F-vrijednost | P-Vrijednost Prob>F | Značaj      |
|----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------|-------------|
| Model                | 61172.26                 | 2                      | 30586.13                   | 29.20        | < 0.0001            | značajan    |
| A                    | 51859.67                 | 1                      | 51859.67                   | 49.51        | < 0.0001            |             |
| B                    | 9312.59                  | 1                      | 9312.59                    | 8.89         | 0.0138              |             |
| Ostatak              | 10475.43                 | 10                     | 1047.54                    |              |                     |             |
| Odstupanje od modela | 5232.23                  | 6                      | 872.04                     | 0.67         | 0.6883              | neznačajano |
| Čista greška         | 5243.20                  | 4                      | 1310.80                    |              |                     |             |
| Ukupno               | 71647.69                 | 12                     |                            |              |                     |             |

gdje je: A - temperatura popuštanja  
B - vrijeme popuštanja

U tablici 10. i 11. su prikazane procjene koeficijenata u kodiranom obliku, stupnjevi slobode, procijenjena standardna devijacija koeficijenta (standardna pogreška), donje i gornje granice intervala povjerenja i faktor inflacije varijance za svaki član modela.

**Tablica 10.** Procjene koeficijenata za slučaj visokotemperaturnog popuštanja

| Član modela                            | Slobodni član | A-Temperatura | B-Vrijeme |
|----------------------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Procjena koeficijenta                  | 320.35        | -29.70        | -11.51    |
| Stupnjevi slobode                      | 1             | 1             | 1         |
| Standardna pogreška                    | 4.94          | 6.29          | 6.29      |
| 95% Interval povjerenja donja granica  | 309.34        | -43.73        | -25.53    |
| 95% Interval povjerenja gornja granica | 331.35        | -15.68        | 2.51      |
| Faktor inflacije varijance             |               | 1.00          | 1.00      |

**Tablica 12.** Procjene koeficijenata za slučaj niskotemperaturnog popuštanja

| Član modela                            | Slobodni član | A-Temperatura | B-Vrijeme |
|----------------------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Procjena koeficijenta                  | 488.15        | -80.51        | -34.12    |
| Stupnjevi slobode                      | 1             | 1             | 1         |
| Standardna pogreška                    | 8.98          | 11.44         | 11.44     |
| 95% Interval povjerenja donja granica  | 468.15        | -106.01       | -59.62    |
| 95% Interval povjerenja gornja granica | 508.16        | -55.02        | -8.62     |
| Faktor inflacije varijance             |               | 1.00          | 1.00      |

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

Procijenjeni koeficijenti u prethodnoj tablici se odnose na matematički model sa kodiranim faktorima (+ $\alpha$ ; - $\alpha$ ; +1; -1; 0) gdje je  $\alpha=1,41$ .

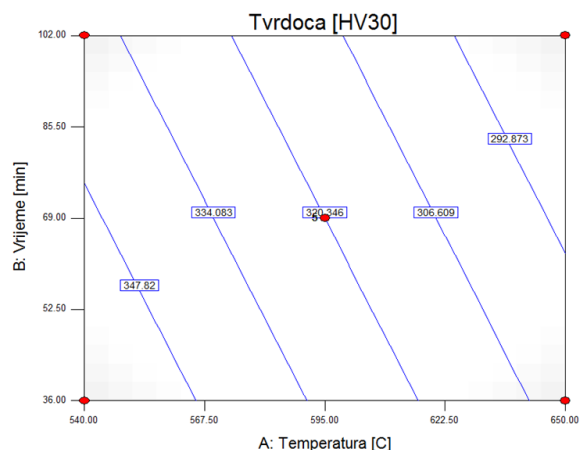
Završni matematički model sa stvarnim faktorima za popuštanje u temperaturnom intervalu od 540 do 650°C :

$$HV_{540-650} = 665,72 - 0,54001 \cdot T - 0,34879 \cdot \tau \quad [1]$$

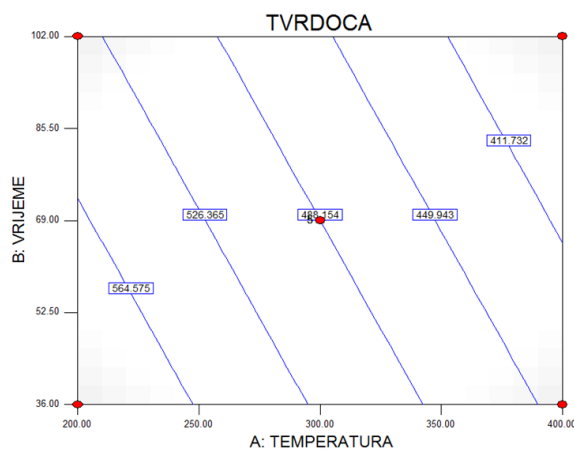
Završni matematički model sa stvarnim faktorima za popuštanje u temperaturnom intervalu od 200 do 400°C :

$$HV_{200-400} = 801,03 - 0,80514 \cdot T - 1,03389 \cdot \tau \quad [2]$$

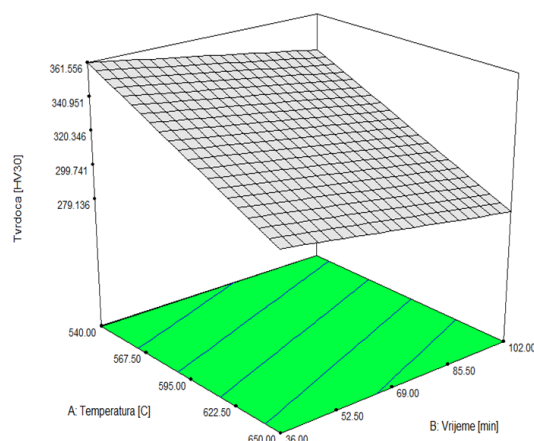
Na slici 4 i 5 prikazani su konturni, a na slikama 6 i 7 trodimenzionalni grafički prikazi matematičkih modela zavisnosti tvrdoće o parametrima popuštanja.



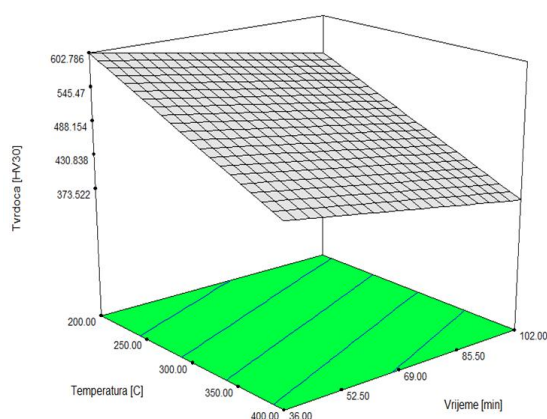
**Slika 4.** Konturni dijagram matematičkog modela za temperature popuštanja 540 do 650°C



**Slika 5.** Konturni dijagram matematičkog modela za temperature popuštanja 200 do 400°C



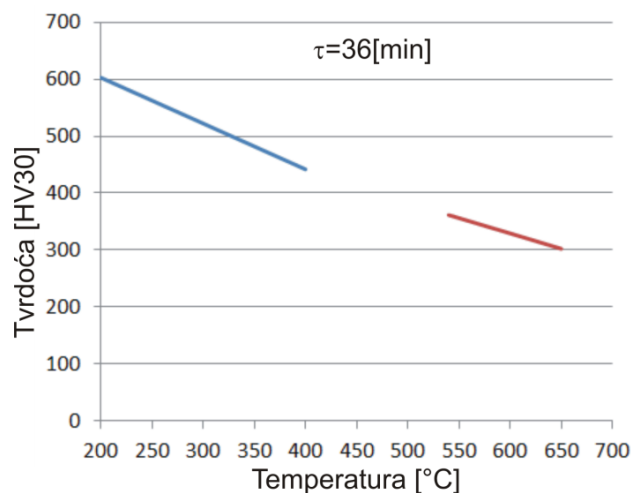
**Slika 6.** 3D dijagram matematičkog modela za temperature popuštanja 540 do 650°C



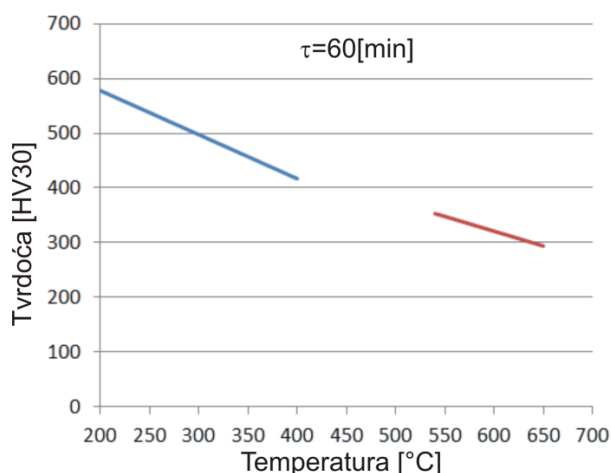
**Slika 7.** 3D dijagram matematičkog modela za temperature popuštanja 200 do 400°C

Iz slike vidimo utjecaj parametara popuštanja na tvrdoću (porastom temperature i vremena popuštanja opada tvrdoća). Paralelne linije na slikama 5, 6, 7 i 8 povezuju točke različitih kombinacija temperature i vremena popuštanja koje rezultiraju istom vrijednošću tvrdoće.

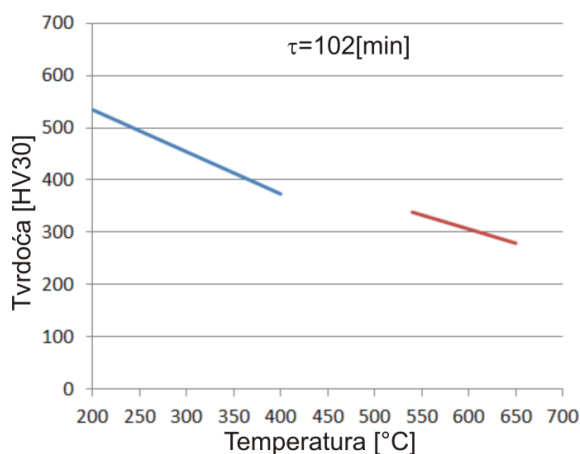
Na slici 8, 9 i 10 prikazane su eksperimentom dobivene funkcije za niskotemperaturno i visokotemperaturno popuštanje i to za trajanje 36, 60 i 102 minute. Za uočiti je nešto veći nagib pravca kod niskotemperaturnog popuštanja i nešto veći pomaci pravaca za duža trajanja popuštanja.



**Slika 8.** Usporedba matematičkog modela  $HV30=f(T, \tau=36 \text{ min})$  visokotemperaturno popuštanje – crvena linija i niskotemperaturno popuštanje – plava linija



**Slika 9.** Usporedba matematičkog modela  $HV30=f(T, \tau=60 \text{ min})$  visokotemperaturno popuštanje – crvena linija i niskotemperaturno popuštanje – plava linija



**Slika 10.** Usporedba matematičkog modela  $HV30=f(T, \tau=102 \text{ min})$  visokotemperaturno popuštanje – crvena linija i niskotemperaturno popuštanje – plava linija

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz dobivenih rezultata možemo uočiti utjecaj parametara popuštanja na tvrdoću nakon toplinskog tretmana, te da se različitim kombinacijama temperature i trajanja popuštanja može doći do istog rezultata tvrdoće (Hollomon – Jaffe) [6]. Doprinos ovog rada je dobiveni matematički model koji opisuje utjecaj parametara toplinske obrade na tvrdoću nakon popuštanja čelika EN 42CrMo4.

Na nižim temperaturama popuštanja uočljiv je veći utjecaj vremena držanja na tvrdoću nego u slučaju visokotemperaturnog popuštanja.

Dobiveni rezultati predstavljaju polaznu točku i temelj su za daljnja istraživanja.

## 5. LITERATURA

- [1] ASM Handbook, (1991), *Vol 4- Heat Treating*, ASM International, Metals Park, OH, USA,
- [2] Deželić R., (1987), *Metali 2*, Sveučilište u Splitu, FESB, Split
- [3] Prabal R., Ratan G., Ashok P., (2002), *Influence of Heat Treatment Parameters on Structure and Mechanical Properties of an HSLA-100 Steel*, Steel Research 73 No. 8, p 347-355 Germany
- [4] Stanić J., (1986), *Metod inženjerskih mjerenja*, Mašinski fakultet, Beograd
- [5] STAT EASE, Inc.: *DESIGN – EXPERT v.6.0.10*, Minneapolis, MN 55413
- [6] Totten G. E., (2006), *Steel Heat Treatment – Metallurgy and Technologies*, Portland State University, Portland, Oregon, U.S.A
- [7] Živković D., Gabrić I., Šitić S., (2012), *Analysis of heat treatment influence on the hardness of steel EN 42CrMo4*, MATRIB 2012, Vela Luka, Korčula

### Kontakt autora:

**Dražen Živković**

Sveučilište u Splitu  
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje  
Ruđera Boškovića bb  
21000 Split  
[drazen.zivkovic@fesb.hr](mailto:drazen.zivkovic@fesb.hr)

**Igor Gabrić**

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel za stručne studije  
Livanjska 5  
21000 Split  
[igor.gabric@oss.unist.hr](mailto:igor.gabric@oss.unist.hr)

**Slaven Šitić**

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel za stručne studije  
Livanjska 5  
21000 Split  
[slaven.sitic@oss.unist.hr](mailto:slaven.sitic@oss.unist.hr)

## USPOREDBA MIKROSTRUKTURNIH KARAKTERISTIKA BIOMEDICINSKIH Ti (70,80 AT. %)-Cr-Mo i Ti(70,80 AT. %)-Nb-Zr LEGURA

### COMPARISON OF MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS FOR BIOMEDICAL Ti(70,80 at. %)-Cr-Mo AND Ti(70,80 at. %)-Nb-Zr ALLOYS

*Ljerka Slokar, Tanja Matković, Prosper Matković*

Izvorni znanstveni rad

**Sažetak:** Ovaj rad prikazuje usporedbu mikrostrukturnih karakteristika Ti-Cr-Mo i Ti-Nb-Zr legura. Svrha rada bila je ispitati mikrostrukturu i tvrdoću navedenih legura za potencijalnu primjenu u biomedicini. Od svake skupine legura laboratorijski su pripremljena po tri uzorka različitog sastava u lučnoj peći. Njihova mikrostruktura je ispitana svjetlosnim i skenirajućim elektronskim mikroskopom s energijsko-disperzivnim spektrometrom. Tvrdoća je određena Vickersovom metodom. Rezultati pokazuju da su Ti-Cr-Mo legure dvofazne, odnosno da sadrže  $\beta$  i  $\alpha$  ili  $\alpha''$  fazu, dok su Ti-Nb-Zr legure uglavnom  $\beta$ -jednofazne s  $\omega$ -fazom u tragovima. EDS analiza je pokazala da  $\alpha$  ( $\alpha''$ ) i  $\beta$  faze imaju vrlo sličan kemijski sastav. Tvrdoća prema Vickersu Ti-Cr-Mo legura povećava se s udjelom molibdena u leguri, dok se ona za Ti-Nb-Zr legure povećava s udjelom niobija. Zbog skoro  $\beta$ -jednofazne mikrostrukture i niže tvrdoće u odnosu na Ti-Cr-Mo legure, Ti-Nb-Zr legure imaju veći potencijal za primjenu kao biomedicinski materijali.

**Ključne riječi:** Ti-Cr-Mo legure, Ti-Nb-Zr legure, biomedicinske legure, mikrostruktura, tvrdoća prema Vickersu

Original scientific paper

**Abstract:** This paper shows comparison of microstructural characteristics of Ti-Cr-Mo and Ti-Nb-Zr alloys. Purpose of this investigation was to examine the microstructure and hardness of these alloys with potential for biomedical use. Three samples of each alloy type with different composition were laboratory prepared by an arc melting method. Their microstructure was examined by light and scanning electron microscope with EDS. Hardness was determined by Vickers method. Results show that Ti-Cr-Mo alloys have two-phases microstructure containing  $\beta$  and  $\alpha$  or  $\alpha''$  phase, while Ti-Nb-Zr alloys were nearly  $\beta$  single-phase with traces of  $\omega$ -phase. EDS analysis indicates that  $\alpha$  and  $\beta$  have similar chemical composition. Vickers hardness of Ti-Cr-Mo alloys increases with molybdenum content, while those for Ti-Nb-Zr alloys increases with niobium content. According to the closely single-phase microstructure and lower hardness, Ti-Nb-Zr alloys have advantage as potential biomedical materials.

**Key words:** Ti-Cr-Mo alloys Ti-Nb-Zr alloys, biomedical alloys, microstructure, Vickers hardness

## 1. INTRODUCTION

In a few last decades development of biomedical titanium alloys without undesirable elements, aluminum and vanadium, has continued to increase. Due to their light weight, excellent mechanical properties and corrosion resistance, titanium alloys are popularly used today in many medical applications. The most widely used titanium biomedical alloy is Ti-6Al-4V. But, since aluminum and vanadium are known to might cause some long-term health problems, alternative Ti-based alloys without toxic elements have been developed.

The goal of this study was to prepare new titanium-based alloys with potential for biomedical use. Chromium is a  $\beta$ -eutectoid element, which stabilizes  $\beta$ -phase of titanium. Besides, it is cheap and decreases Young's modulus in a manner similar to niobium as  $\beta$ -isomorphous element in Ti-Nb alloys. Zirconium

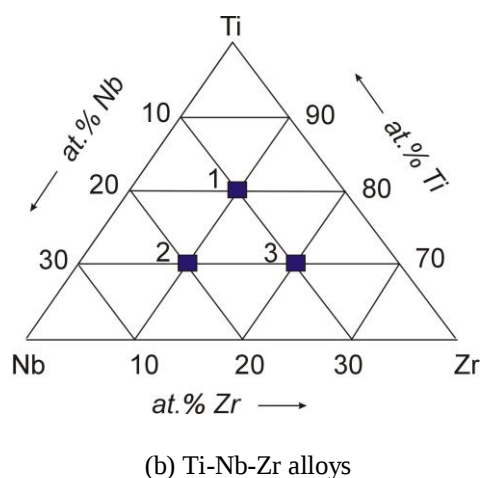
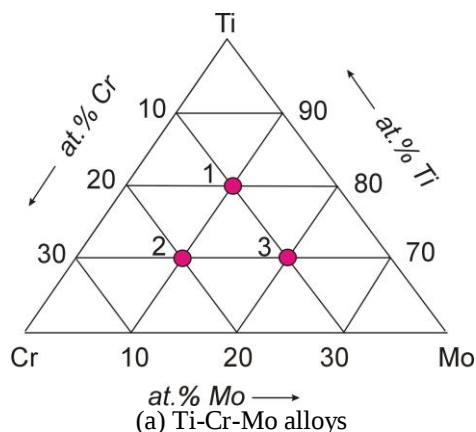
suppresses the athermal  $\omega$ -phase produced during quenching and as a result decreases Young's modulus to be similar to the cortical bone (4-30 GPa).

## 2. MATERIALS AND METHODS

In this work two types of titanium alloys were prepared with purpose to examine and compare their microstructure and hardness which would satisfy conditions for biomedical applications.

First, titanium was alloyed with chromium and molybdenum. In second type, niobium and zirconium were added to titanium. Cr and Mo were chosen as  $\beta$ -stabilizers as well as zirconium and niobium, which are not toxic and do not cause allergic reactions in body tissue. Chemical compositions of experimental alloys were selected according to the similar biomedical Ti-based alloys. Their positions in the portion of

isothermal sections of ternary diagrams at the room temperature are presented in Figure 1.



**Figure 1.** Chemical compositions of investigated alloys

Alloys were prepared by melting pure elements (with purity better than 99.9%) in vacuum arc-furnace under argon atmosphere. Because of large difference in melting temperature of elements in Ti-Cr-Mo system, first chromium and molybdenum were melted into a „button-shape“. These buttons were remelted for a three times, and then titanium was added. Such samples were remelted for another four times to ensure their homogeneity. In the similar way Ti-Nb-Zr alloys were prepared. Namely, niobium and zirconium were remelted for three times, and then titanium was added.

Alloys in forms of buttons of approximately 7g were casted in the same equipment by means of specially constructed water-cooled copper anode, which served as a casting mould. In this way, as-cast cylindrical specimens with dimensions 8 mm x 25 mm were produced and they were sectioned using a Buehler Isomet low-speed diamond saw. After embedding in conductive resin Conductomet, specimens were metallographically prepared by grinding and polishing. The microstructure of two Ti-Cr-Mo alloys ( $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{20}\text{Mo}_{10}$ ,  $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{10}\text{Mo}_{20}$ ) was remarked easily, but there was a need for etching other samples. Microstructural analysis was performed by using a light microscope Leitz Ortholux and scanning electron microscope (SEM) Tescan Vega TS 5136 MM with Bruker energy-dispersive spectrometer (EDS).

Point analysis by EDS was performed in 5 points for each phase and average value was calculated. Hardness of as-cast experimental alloys was determined by Vickers method with load 19.60N for 10 s.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Microstructure and hardness of  $\text{Ti}_{80}\text{Cr}_{10}\text{Mo}_{10}$ ,  $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{20}\text{Mo}_{10}$ ,  $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{10}\text{Mo}_{20}$  and  $\text{Ti}_{80}\text{Nb}_{10}\text{Zr}_{10}$ ,  $\text{Ti}_{70}\text{Nb}_{20}\text{Zr}_{10}$  respectively were examined. Observation of microstructure by light microscope at 280x magnification showed that all investigated Ti-Cr-Mo alloys have two-phases microstructure (Figs. 2 a-c). In  $\text{Ti}_{80}\text{Cr}_{10}\text{Mo}_{10}$  alloy it reveals a dark phase in light matrix with large primary grains, while in microstructure of  $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{20}\text{Mo}_{10}$  and  $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{10}\text{Mo}_{20}$  alloys dark dendrites and matrix-phase are present.



(a)  $\text{Ti}_{80}\text{Cr}_{10}\text{Mo}_{10}$



(b)  $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{20}\text{Mo}_{10}$



(c)  $\text{Ti}_{70}\text{Cr}_{10}\text{Mo}_{20}$

**Figure 2.** Light micrographs of investigated Ti-Cr-Mo alloys, 280x

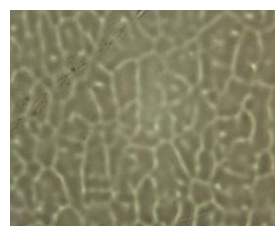
The microstructure of Ti-Nb-Zr alloys consists of one single phase with uniformly size of grains (Figs. 3 a-c).



(a)  $\text{Ti}_{80}\text{Nb}_{10}\text{Zr}_{10}$



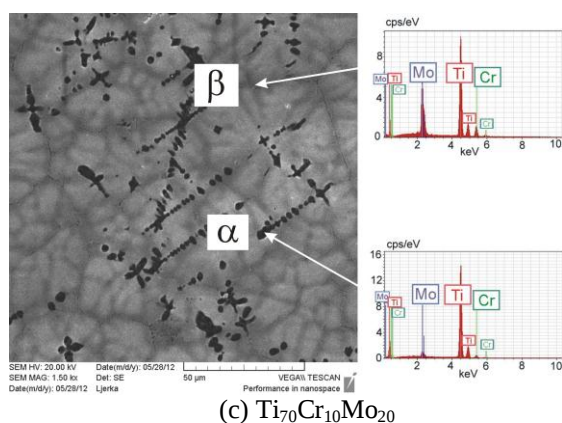
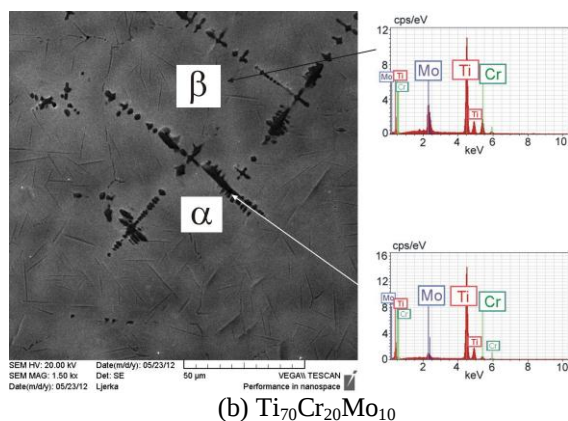
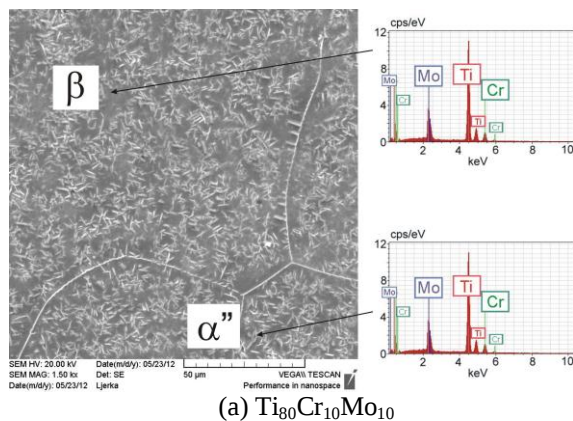
(b)  $\text{Ti}_{70}\text{Nb}_{20}\text{Zr}_{10}$



(c)  $\text{Ti}_{70}\text{Nb}_{10}\text{Zr}_{20}$

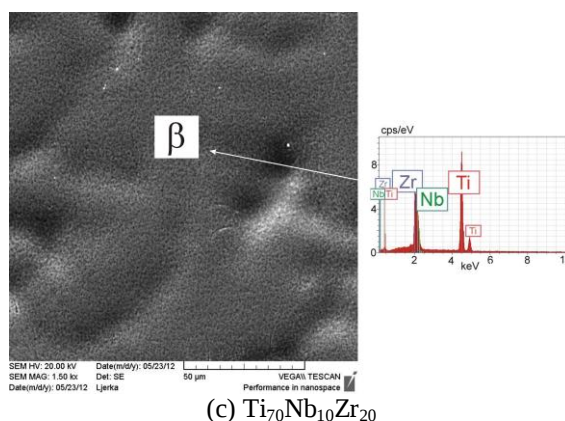
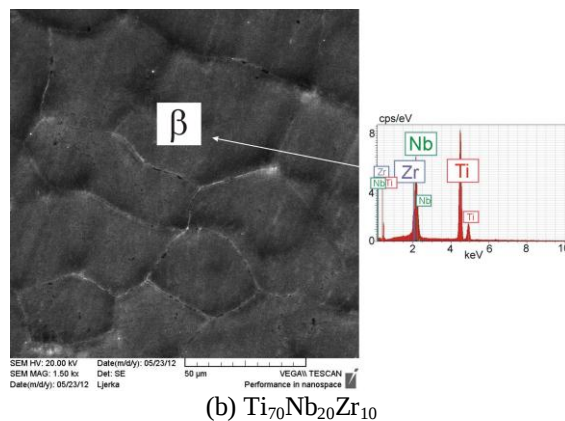
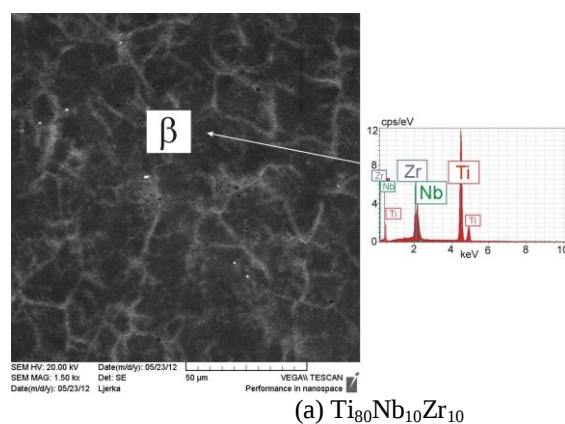
**Figure 3.** Light micrographs of investigated Ti-Nb-Zr alloys, 280x

Detailed investigation of microstructure by SEM analysis confirmed that all of three Ti–Cr–Mo alloys have two-phases microstructure (Figs. 4 a-c). Alloy Ti<sub>80</sub>Cr<sub>10</sub>Mo<sub>10</sub> with highest titanium content revealed a white needles of  $\alpha''$ -phase in a matrix of  $\beta$ -phase. Other two alloys showed dark dendrites of  $\alpha$ -phase in a matrix of  $\beta$ -phase.



**Figure 4.** SEM micrographs of investigated Ti–Cr–Mo alloys with EDS spectrum of phases

SEM micrographs of Ti–Nb–Zr alloys (Figs. 5 a-c ) show  $\beta$ -matrix and probably the presence of  $\omega$ -phase according to the reference [1].



**Figure 5.** SEM micrographs of investigated Ti–Nb–Zr alloys with EDS spectrum of phases

Chemical compositions of all phases in investigated alloys were determined by EDS point analysis (Table 1). These results revealed very similar data for composition of  $\beta$ -phase which mainly corresponds to the alloy composition. The composition of  $\beta$  and  $\alpha''$ -phases are equal for Ti<sub>80</sub>Cr<sub>10</sub>Mo<sub>10</sub> alloy. This suggests that during an alloys casting with the fast cooling rate the phase transformation occurred, without change in composition, as the evidence of martensitic transformation  $\beta \leftrightarrow \alpha''$ . SEM and EDS analysis of Ti–Nb–Zr alloys showed that all of them have homogenous structure of  $\beta$ -phase (Fig. 5). Chemical composition determined in all points revealed the same data, which corresponds to alloy composition (Table 1).

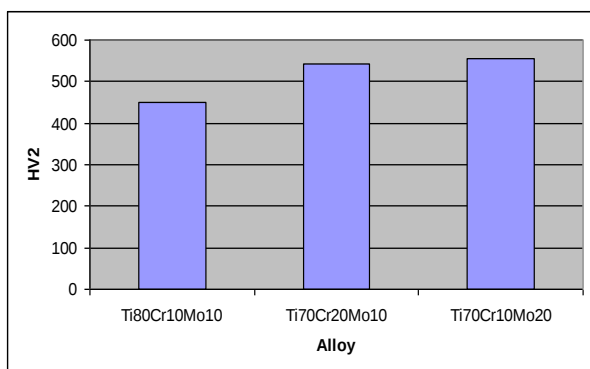
**Table 1.** EDS results obtained by point analysis

| Alloy                                              | Element | Elements content in   |                        |
|----------------------------------------------------|---------|-----------------------|------------------------|
|                                                    |         | $\beta$ -phase, at. % | $\alpha$ -phase, at. % |
| Ti <sub>80</sub> Cr <sub>10</sub> Mo <sub>10</sub> | Ti      | 80                    | 80 ( $\alpha''$ )      |
|                                                    | Cr      | 9                     | 9 ( $\alpha''$ )       |
|                                                    | Mo      | 11                    | 11 ( $\alpha''$ )      |
| Ti <sub>70</sub> Cr <sub>20</sub> Mo <sub>10</sub> | Ti      | 72                    | 89                     |
|                                                    | Cr      | 16                    | 7                      |
|                                                    | Mo      | 12                    | 4                      |
| Ti <sub>70</sub> Cr <sub>10</sub> Mo <sub>20</sub> | Ti      | 70                    | 92                     |
|                                                    | Cr      | 10                    | 3                      |
|                                                    | Mo      | 20                    | 5                      |
| Ti <sub>80</sub> Nb <sub>10</sub> Zr <sub>10</sub> | Ti      | 81                    | -                      |
|                                                    | Nb      | 9                     | -                      |
|                                                    | Zr      | 10                    | -                      |
| Ti <sub>70</sub> Nb <sub>20</sub> Zr <sub>10</sub> | Ti      | 72                    | -                      |
|                                                    | Nb      | 19                    | -                      |
|                                                    | Zr      | 9                     | -                      |
| Ti <sub>70</sub> Nb <sub>10</sub> Zr <sub>20</sub> | Ti      | 70                    | -                      |
|                                                    | Nb      | 7                     | -                      |
|                                                    | Zr      | 23                    | -                      |

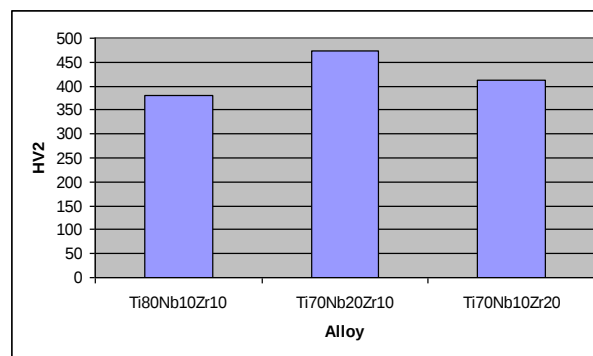
The Vickers hardness measurements (Table 2) show the strong effect of chemical composition and microstructure on hardness values. Obtained data for Ti–Cr–Mo alloys were in the range of 449 to 555 HV<sub>2</sub> and they were increased with increasing molybdenum content (Fig. 6). So, the highest value of 555 HV<sub>2</sub> has alloy Ti<sub>70</sub>Cr<sub>10</sub>Mo<sub>20</sub>.

**Table 2.** Vickers hardness of experimental alloys

| Alloy composition, at. %                           | HV <sub>2</sub> |
|----------------------------------------------------|-----------------|
| Ti <sub>80</sub> Cr <sub>10</sub> Mo <sub>10</sub> | 449             |
| Ti <sub>70</sub> Cr <sub>20</sub> Mo <sub>10</sub> | 542             |
| Ti <sub>70</sub> Cr <sub>10</sub> Mo <sub>20</sub> | 555             |
| Ti <sub>80</sub> Nb <sub>10</sub> Zr <sub>10</sub> | 379             |
| Ti <sub>70</sub> Nb <sub>20</sub> Zr <sub>10</sub> | 474             |
| Ti <sub>70</sub> Nb <sub>10</sub> Zr <sub>20</sub> | 411             |

**Figure 6.** HV dependance on Ti–Cr–Mo alloys composition

Hardness of Ti–Nb–Zr alloys depends on niobium content (Fig. 7). So, alloy with the highest content of this element has the highest value of Vickers hardness. Ti–Nb–Zr alloys have lower hardness values (379 – 474 HV<sub>2</sub>) when compared with Ti–Cr–Mo alloys. This could be explained by fact that  $\beta$ -phase has lower hardness than  $\alpha$ -phase. Measured values are similar to that of other titanium  $\beta$ -type biomedical alloys.

**Figure 7.** HV dependance on Ti–Nb–Zr alloys composition

## 4. CONCLUSIONS

In this paper two types of titanium-based alloys for biomedical application were studied. Light microscopy showed two-phases microstructure of Ti<sub>80</sub>Cr<sub>10</sub>Mo<sub>10</sub>, Ti<sub>70</sub>Cr<sub>20</sub>Mo<sub>10</sub> and Ti<sub>70</sub>Cr<sub>10</sub>Mo<sub>20</sub> alloys, which consists of  $\beta$  and  $\alpha$  or  $\alpha''$  phases. As-cast alloys Ti<sub>80</sub>Nb<sub>10</sub>Zr<sub>10</sub>, Ti<sub>70</sub>Nb<sub>20</sub>Zr<sub>10</sub> and Ti<sub>70</sub>Nb<sub>10</sub>Zr<sub>20</sub> were single  $\beta$ -phases. That was confirmed by SEM analysis. EDS indicated that chemical composition of  $\beta$  and  $\alpha''$  phases are equal for Ti<sub>80</sub>Cr<sub>10</sub>Mo<sub>10</sub> alloy. This is the evidence that martensitic transformation  $\beta \leftrightarrow \alpha''$  takes place. Vickers hardness of Ti–Cr–Mo alloys depends on molybdenum content, and that of Ti–Nb–Zr alloys depends on niobium content. Hardness of Ti–Nb–Zr alloys was lower than that for Ti–Cr–Mo alloys because the  $\beta$ -alloys has lower hardness than  $\beta/\alpha$  alloys.

According to the results showing single-phase microstructure and lower hardness, Ti–Nb–Zr alloys have advantage in front of Ti–Cr–Mo alloys as potential biomedical materials.

## 5. REFERENCES

- [1.] Lin, C. J.; Chern Lin, J. H.; Ju, C. P.: Effect of chromium content on structure and mechanical properties of Ti–7.5Mo–xCr alloys, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 14 (2003) 1–7
- [2.] Eisenbarth, E.; Velten, D.; Müller, M.; Thull, R.; Breme, J.: Biocompatibility of  $\beta$ -stabilizing elements of titanium alloys, *Biomaterials* 25 (2004) 5705–5713
- [3.] Ho, F.-O.; Pan, C.-H.; Wu, S.-C.; Hsu, H.-C.: Mechanical properties and deformation behavior of cast binary Ti–5Cr–xFe alloys, *Journal of Alloys and Compounds* 472 (2009) 546–550
- [4.] Geetha, M.; Singh, A. K.; Asokamani, R.; Gogoa, A. K.: Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review, *Progress in Materials Science* 54 (2009) 397–425
- [5.] Murayama, Y.; Sasaki, S.; Kimura, H.; Chiba, A.: Phase stability and mechanical properties of Ti–Cr based alloys with low Young's modulus, *Materials Science Forum* 654–656 (2010) 2114–2117

- [6] Polmear, I. J.: Light Alloys, Metallurgy of the light metals, Arnold, London, 1995
- [7] Xu, L. J.; Chen, Y. Y.; Liu, Z. G.; Kong, F. T.: The microstructure and properties of Ti-Mo-Nb alloys for biomedical application, Journal of Alloys and Compounds 453 (2008) 320-324
- [8] Lamirand, M.; Bonnentien, J-L.; Ferrière, G.; Guérin, S.; Chavalier, J-P.: Relative effects of chromium and niobium on microstructure and mechanical properties as a function of oxygen content in TiAl alloys, Scripta Materialia 56 (2007) 325-328
- [9] Niinomi, M.; Akahori, T.; Takeuchi, T.; Katsura, Sh.; Fukui, H.; Toda, H.: Mechanical properties and cyto-toxicity of new beta type titanium alloy with low melting points for dental applications, Materials Science and Engineering C, 25 (2005) 417-425
- [10] Ho, W-F.; Wu, S-C.; Chang, H-H.; Hsu, H-C.: Structure and mechanical properties of Ti-5Cr based alloy with Mo addition, Materials Science and Engineering C 30 (2010) 904-909
- [11] Slokar, Lj.; Matković, T.; Matković, P.: Alloying and heat treatment effects on the microstructure and hardness of biomedical titanium alloys, Proc. 17th International Conference MATRIB 2011, Vela Luka, June 2011, 450-456
- [12] Weiss, I.; Semiatin, S. L.: Thermomechanical processing of beta titanium, Materials Science and Engineering A, 243 (1998) 46-65
- [13] Koike, M.; Itoh, M.; Okuno, O.; Kimura, K.; Takeda, O.; Okabe, T. H.; Okabe, T.: Evaluation of Ti-Cr-Cu alloys for dental applications, Journal of Materials Engineering and Performance 14 (2005) 778-783
- [14] Hsu, H-C.; Wu, S-C.; Chiang, T-Y.; Ho, W-F.: Structure and grindability of dental Ti-Cr alloys, Journal of Alloys and Compounds 476 (2009) 817-825

#### Kontakt:

##### **dr.sc. Ljerka Slokar, Assist.Prof.**

University of Zagreb Faculty of Metallurgy  
Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak  
044/533-378  
[slokar@simet.hr](mailto:slokar@simet.hr)

##### **dr.sc. Tanja Matković, redoviti profesor**

University of Zagreb Faculty of Metallurgy  
Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak  
044/533-379 /202/  
[tmatko@simet.hr](mailto:tmatko@simet.hr)

##### **dr.sc. Prosper Matković, redoviti profesor**

University of Zagreb Faculty of Metallurgy  
Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak  
044/533-379 /202/  
[pmatko@simet.hr](mailto:pmatko@simet.hr)

## PONOV LJIVOST ISPITIVANJA SVOJSTAVA APSORPCIJE ENERGIJE ALUMINIJSKE PJENE

### REPRODUCIBILITY OF ENERGY ABSORPTION PROPERTIES OF ALUMINIUM FOAMS

*Krešimir Grilec, Vedran Bojanić*

Izvorni znanstveni rad

**Sažetak:** Aluminijska pjena je u osnovi kompozitni materijal koji se sastoji od aluminijske osnove ili osnove od neke aluminijske legure i pora ispunjenih plinom. Ovaj rad istražuje ponovljivost rezultata ispitivanja svojstava apsorpcije energije aluminijske pjene. Uzorci aluminijske pjene proizvedeni su iz "Alulight" prekursora ( $AlMgSi\ 0.6\ TiH_2-0.4$ ). Prekursor je stavljen u kalup i zagrijavan sve dok se plinski agens nije počeo pjeniti. Nakon toga je kalup izvađen iz peći i hlađen pri čemu je uzorak pjene poprimio oblik kalupa. Iskoristivost apsorpcije energije aluminijskih pjena procijenjena je iz rezultata tlačnog ispitivanja. Rezultati ispitivanja pokazali su da aluminijske pjene imaju dobra svojstva apsorpcije energije i da je ponovljivost rezultata relativno niska.

**Ključne riječi:** aluminijske pjene, apsorpcija kinetičke energije, kapacitet apsorpcije energije, iskoristivost apsorpcije energije, tlačno ispitivanje

Original scientific paper

**Abstract:** Aluminium foam is, principally, a composite material consisting of aluminium or aluminium alloy matrix and of pores filled up with a gas distributed throughout the matrix. This paper studies the reproducibility of aluminium foams energy absorption properties. Samples of aluminium foam were produced from an Alulight precursor ( $AlMgSi0.6\ TiH_2-0.4$ ). This precursor was placed into a mould form and heated up until the agent starts to foam. Immediately thereafter the mould is taken out of the furnace and cooled off, so the aluminium foam part is frozen in shape. The ability of samples to absorb mechanical energy was estimated from the results of compression tests. Test results showed that aluminium foams have good energy absorption properties and reproducibility is relatively low.

**Key words:** aluminium foams, absorption of kinetic energy, energy absorption capacity, energy absorption efficiency, compression test

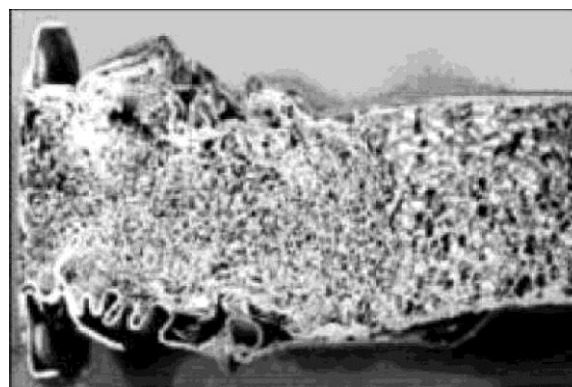
## 1. INTRODUCTION

Foamed aluminium is, principally, a composite material consisting of aluminium or aluminium alloy matrix and of pores filled up with a gas distributed throughout the matrix. This unique structure possesses an unusual combination of properties, such as low thermal conductivity, high impact energy absorption capacity, very high specific toughness and good acoustic properties, especially in the case of interconnected porosity. Moreover, this exceptionally lightweight material is nonflammable, ecologically harmless and easily recyclable [2].

Although it is many years since the first patents concerning the manufacture of metallic foams appeared, the material has not been put into large-scale commercial production yet. This discouraging fact can be attributed to inadequate design of components, low reproducibility of properties, a lack of testing procedures and calculation approaches, absence of concepts for secondary treatment, as well as the production technologies being too complicated and relatively expensive [4].

Metallic foams are excellent impact energy absorber, and they can convert impact energy into deformation energy and absorb more energy than bulk metal at low stress [8].

In recent years, foamed aluminium has been frequently used in various absorbers of kinetic energy (buffers of automobiles, trains, trams) [5], figure 1.



**Figure. 1** - The motor carrier filed with aluminium foam after frontal impact [6]

The energy absorption capacity is defined as the energy necessary to deform a given specimen to a specific strain. So the absorption energy per unit volume for a sample, up to a strain, can be evaluated by integrating the area under the stress–strain curve, namely [7]:

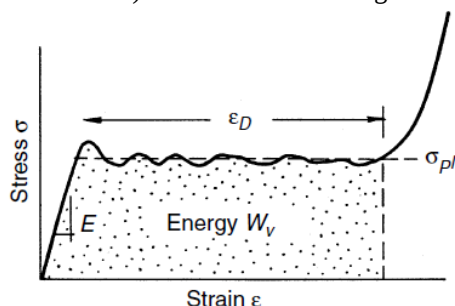
$$W = \int_0^{\varepsilon_0} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (1)$$

$W_V$  –absorbed energy per unit volume, J/mm<sup>3</sup>

$\sigma$  – stress, N/mm<sup>2</sup>

$\varepsilon$  – strain, %

Good energy absorbers have a long flat stress–strain (or load–deflection) curve like those of Figure 2.



**Figure 2** - Stress–strain curve for an energy absorber ( $\sigma_{pl}$  - plateau stress,  $\varepsilon_D$  - nominal strain) [1]

The energy absorption efficiency compares the deformation energy absorbed by a real material or component with that of an "ideal" energy absorber. An "ideal" absorber shows a rectangular march of the load-compression curve, i.e. it reaches directly the maximum admissible strain and keeps it constant during the whole deformation process. The efficiency  $\eta$  is defined as ratio of the actually absorbed energy after a compression strain  $s$  and the energy absorption of the ideal absorber [3]:

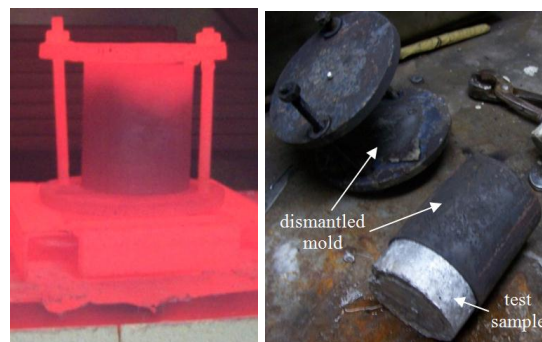
$$\eta = \frac{\int_0^s F(s') ds'}{F_{\max}(s)s} \quad (2)$$

where  $F_{\max}(s)$  is the highest force occurring up to the deformation  $s$ .

## 2. EXPERIMENTAL PART

For the production of Alulight foamed aluminium, Al powder is mixed with a product releasing gas at higher temperature and then compacted. This foaming agent is placed into a mold form and heated up until the agent starts to foam. Immediately thereafter the mold is taken out of the furnace and cooled off, so the aluminium foam part is frozen in shape. The outcome of this process is a closed cell aluminium foam showing a thin casting skin on the surface [9].

An electric resistance furnace with a power of 7,5 kW (situated in the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb, Croatia) was used for producing aluminium foam samples.



**Figure 3** - The process of producing aluminium foam samples

Five samples of aluminium foams with density of foam  $\rho = 0,675 \text{ g/cm}^3$  and seven samples with density of foam  $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$ , with equal dimension ( $\phi 84 \times 100 \text{ mm}$ ), were produced from an Alulight AlMgSi 0,6 TiH<sub>2</sub> - 0,4 precursor. One sample from each density were cut crosswise. Figure 4 shows a cross section of aluminium foam samples.



a)  $\rho = 0,675 \text{ g/cm}^3$



b)  $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$

**Figure 4** - Cross section of aluminium foam samples

Compression test was carried out in the Laboratory for Mechanical Properties Testing at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb. A universal test machine, with a maximum

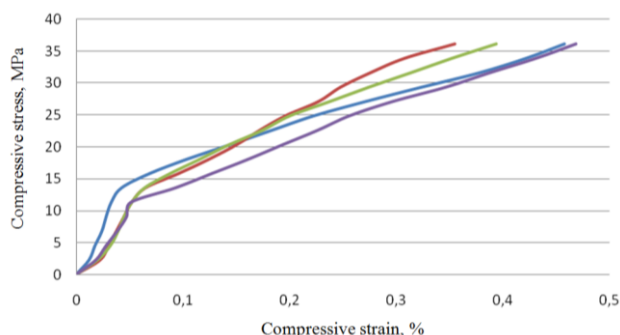
compressive force of 400 kN was used. The feed rate was 60 mm/min which is the equivalent to strain rate of  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Figure 5 shows compression of sample.



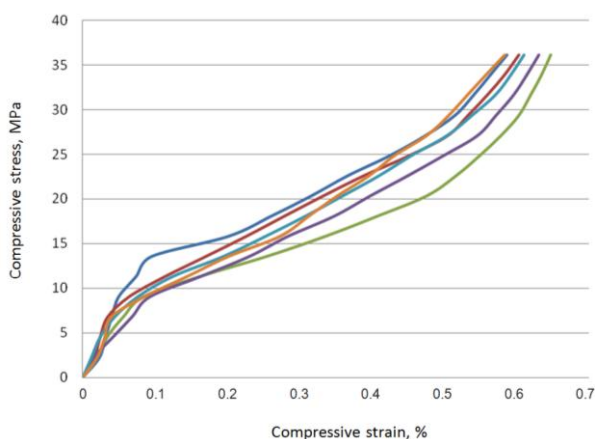
**Figure 5** – Compression of aluminium foam sample

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The recorded load-displacement curves were used to calculate the compressive engineering stress-strain curves. Figure 6 and figure 7 presents approximated "stress – strain" diagram.



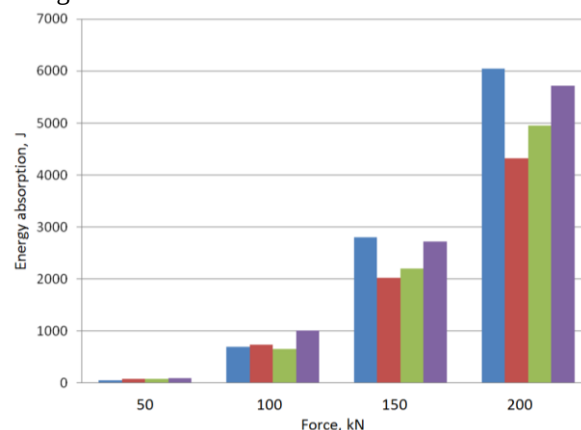
**Figure 6** - Compressive engineering stress-strain diagram of four aluminium foam samples with equal dimension and density ( $\rho = 0,675 \text{ g/cm}^3$ )



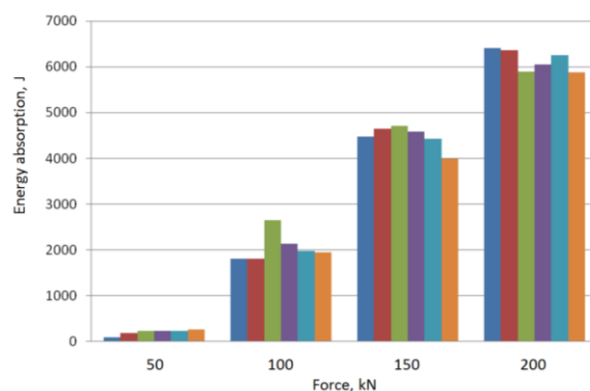
**Figure 7** - Compressive engineering stress-strain diagram of six aluminium foam samples with equal dimension and density ( $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$ )

It can be seen that the shapes of the stress-strain curves are similar but not overlapping.

In order to determine reproducibility of aluminium foams energy absorption, the dependence of absorbed energy on the compressive force are shown in Figure 8 and Figure 9.

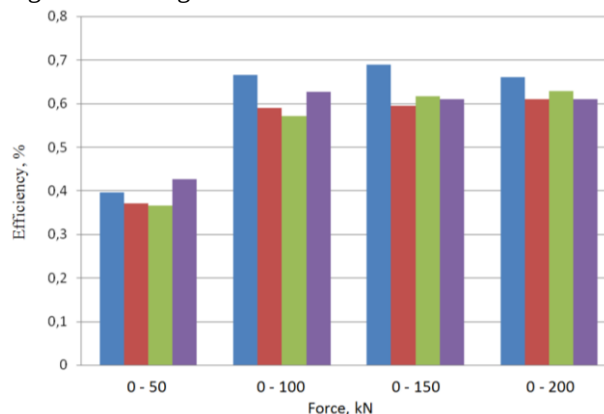


**Figure 8** - Energy absorption of aluminium foams with equal dimension and density ( $\rho = 0,675 \text{ g/cm}^3$ )

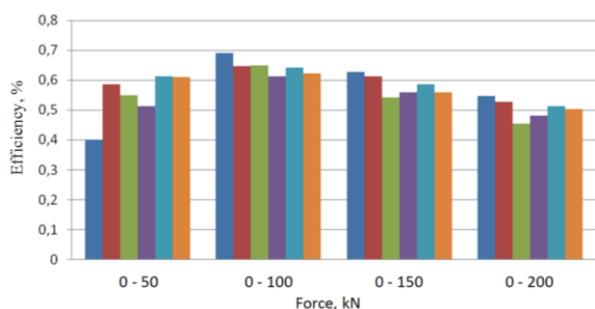


**Figure 9** – Energy absorption of aluminium foams with equal dimension and density ( $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$ )

Standard deviations in relation with the mean values (relative standard deviation) for different forces are between 28 and 56% for density  $\rho = 0,675 \text{ g/cm}^3$  and between 4 and 28% for density  $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$ . In order to determine reproducibility of aluminium foams energy absorption efficiency, the dependence of absorbed energy efficiency on the compressive force is shown in Figure 10 and figure 11.



**Figure 10** – Energy absorption efficiency of aluminium foams with density ( $\rho = 0,675 \text{ g/cm}^3$ )



**Figure 11** – Energy absorption efficiency of aluminium foams with density ( $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$ )

Standard deviations in relation with the mean values for different forces are between 4 and 7% for density  $\rho = 0,675 \text{ g/cm}^3$  and between 6 and 15% for density  $\rho = 0,81 \text{ g/cm}^3$ .

#### 4. CONCLUSION

Energy absorption characteristics of closed-cell aluminium foam (Alulight) were investigated through quasi-static uniaxial compression. Aluminium foams foamed by blowing agents exhibit a non-uniform cell with different sizes and shapes and with density variations within samples. Non-uniform structure and local density variations resulting in variability in energy absorption properties. Test results showed that aluminium foams have good energy absorption efficiency and reproducibility are relatively low (relative standard deviation are between 4% and 15%). Reproducibility of total energy absorption is very low (relative standard deviation are between 4% and 56%).

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The financial support of project "Rear and side underrun protection on trucks" is gratefully acknowledged.

#### 6. LITERATURE

- [1] Ashby, M.F.; Evans, A.G.; Fleck, N.A.; Gibson, L.J.; Hutchinson J.W.; Wadley, H.N.G., (2000), *Metal Foams: A Design Guide*, Butterworth-Heinemann, Boston-Oxford-Auckland-Johannesburg -Melbourne-New Delhi
- [2] Banhart, J. (2001), Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, *Progress in Materials Science* Vol. 46, 559–632
- [3] Baumeister, J., Banhart, J., Weber, M., (1997), Aluminium foams for transport industry, *Materials&Design* Vol. 18 No.4/6, 217-220
- [4] Degischer, H.P., Kriszt, B., (2002) *Handbook of Cellular Metals*, Wiley-Vch Verlag GmbH, Weinheim
- [5] Lebedev, V.I.; Komov, V.I.; Andreev D.A., (2003), Ability of constructions from foamed aluminium to

absorb different kinds of energy, *Proceedings of International Conference on Cellular Metals and Metal Foaming Technology*, Berlin, 451-455

- [6] Simancik, F., (2001) Metallic foam – ultra light materials for structural applications, *Inzynieria Materialowa* Vol. 5 823-828
- [7] Yi, F., Zhu, Z., Zu, F., Hu, S., Yi, P., (2001), Strain rate effects on the compressive property and the energy-absorbing capacity of aluminum alloy foams, *Materials Characterization* Vol. 47 No. 5, 417-422
- [8] Zhang, C., Feng, Y., Zhang, X., (2010), Mechanical properties and energy absorption properties of aluminium foam-filled square tubes, *Transactions of Nonferrous Metal Society of China* Vol. 20, 1380-1386
- [9] [http://www.alulight.com/en/downloads/alulight\\_data\\_sheets\\_en2006.pdf](http://www.alulight.com/en/downloads/alulight_data_sheets_en2006.pdf)

#### Contact authors:

##### Prof.dr.sc. Krešimir Grilec

University of Zagreb  
Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture  
Ivana Lučića 5  
10000 Zagreb  
01/6168-350  
[kresimir.grilec@fsb.hr](mailto:kresimir.grilec@fsb.hr)

##### Vedran Bojanić (bivši student)

Polytechnic of Zagreb  
Professional study in Mechanical Engineering  
Ivana Lučića 1, 10000 Zagreb  
098/1625-716  
[vedran.bojanic@zg.t-com.hr](mailto:vedran.bojanic@zg.t-com.hr)

# PROJEKTIRANJE, IZRADA I TESTIRANJE CNC GLODALICE

## DEVELOPING, CONSTRUCTING AND TESTING A CNC MILLING MACHINE

*Božidar Hršak, Ante Čikić, Dejan Katić*

Stručni članak

**Sažetak:** Prikazan je postupak projektiranja, izrade 3D modela i testiranje 3 osne CNC glodalice kao stroja za maloserijsku izradu dijelova pločastog namještaja od iverala i medijapana. Na temelju kreiranog 3D modela i realizacijom prototipa, provedeno je testiranje radnih karakteristika glodalice te postupak izrade G-koda i strojne obrade izradom logotipa Visoke tehničke škole u Bjelovaru.

**Ključne riječi:** CNC, 3 osna glodalica, SolidWorks, CAD, CAM, Mach3, G-kod, 3D modeliranje

Professional paper

**Abstract:** The procedure of designing, creating 3D models and test the 3 axis CNC milling machine, a machine for small series production of furniture parts from chipboard and MDF. Based on the created 3D models and prototype implementation was carried out performance testing of routers, and the procedure of G - code and machining Logo "Technical high school in Bjelovar."

**Key words:** CNC, 3 axis milling machine, SolidWorks, CAD, CAM, Mach3, G- code, 3D modeling

### 1. UVOD

Danas je industrijska proizvodnja gotovo nezamisliva bez suvremenih CNC (*Computer Numerical Control*) strojeva. CNC strojevi imaju manje-više iste dijelove kao i stari, ručno kontrolirani strojevi. Bitna razlika je u dodatku upravljačke (CNC) jedinice i servo ili koračnih motora na sve osovine vretena.

Razvoj CNC strojeva je u stalnom usponu. Omogućuju sve veću brzinu obrade, visoku preciznost obrade i pouzdanost. Razvoj proizvodnje u cilju postizanja visoke kvalitete i kvantitete, te opstanak na zahtjevnom tržištu uvjetuje "agresivnije" uvođenje CNC obrade u svaku proizvodnu tvrtku.

Stoga je prikazan postupak projektiranja, izrade 3D modela i prototipno testiranje 3 osne CNC glodalice.

### 2. PROJEKTIRANJE CNC GLODALICE

Prvi korak u izradi 3 osne CNC glodalice je projektiranje. Kroz projektiranje je opisana namjena kao i potrebne karakteristike stroja kao što su radni prostor stroja, vrsta pogonskog motora glodala i način pogonjenja pojedinih osi stroja. Način pogonjenja pojedinih osi ovisi o željenoj brzini radnog hoda, praznog hoda, te željenoj rezoluciji pomaka. Na osnovu toga potrebno je odrediti materijal za izradu konstrukcije, definirati elemente za vođenje pokretnih dijelova kao što su platforme pojedinih osi stroja. Zatim slijedi izrada 3D modela, 2D radioničke dokumentacije i "stvarnog"

prototipa stroja, te njegovo testiranje u realnim uvjetima eksploatacije.

#### 2.1. Namjena

Osnovna namjena CNC glodalice je maloserijska izrada dijelova pločastog namještaja od iverala i medijapana, bušenje provrta i potrebnih rupa za montažu namještaja, te glodanje utora i krivuljno izrezivanje dijelova namještaja. Druga namjena je mogućnost graviranja u drvetu, medijapanu i plastici.

#### 2.2. Radni prostor

Veličina obratka određuje veličinu radnog mjesta. Za obradu dijelova namještaja treba velik radni prostor. Potrebno je barem 1200 mm po duljoj horizontalnoj osi, 700 mm po kraćoj horizontalnoj osi i 100-150 mm po vertikalnoj osi kako bi se mogla obrađivati većina dijelova namještaja. Cilj ove konstrukcije stroja je da obradak može biti dulji od maksimalnog radnog hoda najdulje osi stroja, te se tako obradak koji je dulji od 1200 mm može pozicionirati za potrebnu obradu i obraditi poziciju kroz dvije ili više faza.

#### 2.3. Brzina radnog i praznog hoda

Vrijeme obrade značajno ovisi o brzinama obrade i brzini praznog hoda. Kako se ovdje radi o velikoj radnoj površini veličine 1200 mm × 700 mm i nekoliko desetaka provrta po obratku, te o puno praznog hoda pri premještanju alata od provrta do provrta, treba

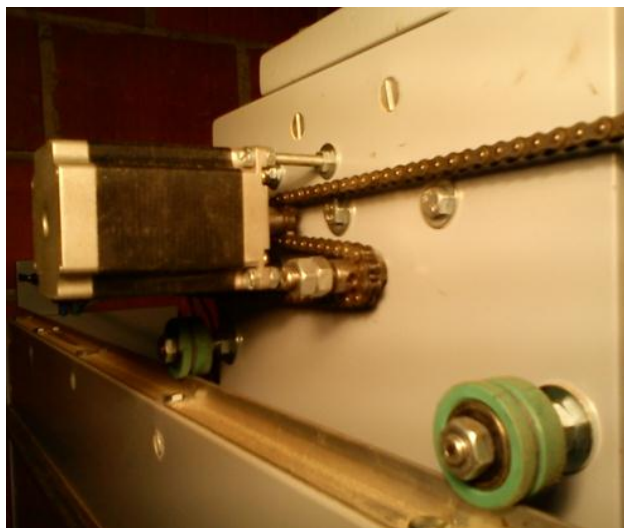
maksimalno skratiti vrijeme obrade. Brzina praznog hoda za tu veličinu radnog prostora je najmanje 3000 mm/min. Kako je za pogon osi stroja na raspolaganju koračni motor i pripadajući kontroler, treba odrediti način prijenosa snage u svrhu linijskog pomicanja osi stroja i treba zadovoljiti potrebnu brzinu pomaka. U tu svrhu primijenjena su dva načina prijenosa snage: trapezno navojno vreteno i lančani prijenos.

#### TRAPEZNO NAVOJNO VRETENO

Dostupno je i cijenom pristupačno. Ovaj način pogona je primjeren za brzine obrade po osi od 1000 mm/min, odnosno  $500 \text{ min}^{-1}$  motora, što zadovoljava uvjete pogona za ovaj projekt. Linijski pomak vertikalne osi stroja iznosi 150 mm.

#### LANČANI PRIJENOS

Za pretvaranje rotirajućeg gibanja u linearno gibanje primijenjen je lančani prijenos (dostupnost, povoljna cijena, mogućnost ostvarivanja potrebnih pomaka osi) (slika 1.). Za efikasnije korištenje ovog načina prijenosa treba uzeti u obzir napetost lanca i da je obod pogonskog lančanika maksimalno obuhvaćen lancem. Ovi uvjeti su vrlo važni zbog točnosti pozicioniranja, odnosno neutraliziranja praznog hoda. Napetost lanca se osigurava postavljanjem navojnog zatezača na kraju osi pomoću kojeg se regulira napetost. Maksimalno obuhvaćanje lančanika lancem se izvodi uz pomoć dodatnog lančanika koji se postavlja dijagonalno u odnosu na pogonski lančanik. Dodatni lančanik služi samo kao zatezač, tako da ga se postavlja samo na osovinu i slobodno rotira oko nje.



**Slika 1.** Izvedba prijenosa gibanja pomoću lanca, lančanika i zatezača

### 2.4. Određivanje vrste i načina izvođenja vodicice

Vodilice su elementi strojeva po kojima se kreću pokretni dijelovi stroja. U ovom slučaju to su platforme pojedinih osi stroja. Ovi elementi moraju osigurati precizno i lako vođenje, jer o tome jako ovisi točnost obrade. Na slici 2. prikazane su neke vrste vodicica.

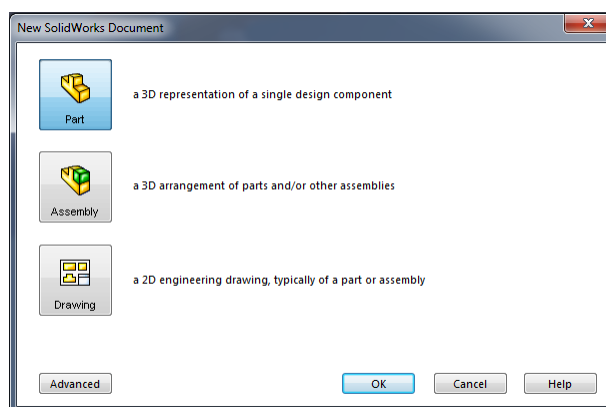


**Slika 2.** Prikaz vodicica [1]

Uzevši u obzir tolerancije izrade pločastog namještaja, a bitno su veće nego kod metalnih i drugih proizvoda koje koriste CNC obrade, ostvarena je vlastita izvedba vodicica pomoću L aluminijskih profila po čijoj bi se stjenici kotrljali kotačići na kojima je tokaren utor. Time se osigurava optimalna tolerancija obrade za spomenutu namjenu. Upotrebom kotačića je izbjegnuto veliko trenje klizanja, jer se oni kotrljaju po stjenici profila, pa se takvom izvedbom vodicice osigurava optimalno vođenje i minimalno opterećenje prilikom pomaka platforme po x i y osi stroja.

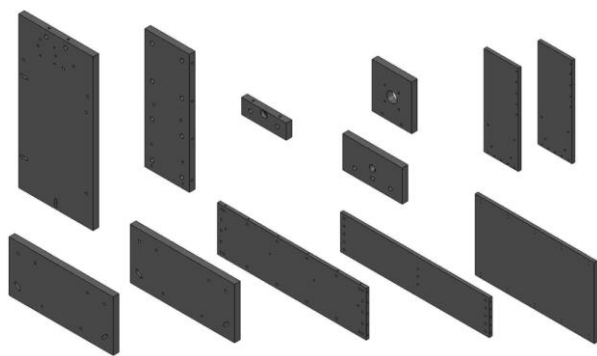
### 3. IZRADA 3D MODELA 3 OSNE CNC GLODALICE

3D model CNC glodalice izrađen je u programskom alatu *SolidWorks*. Za izradu, odnosno modeliranje dijelova glodalice korišten je modul *Part*, za sastavljanje dijelova u funkcionalnu cjelinu modul *Assembly*, a za izradu radioničkih crteža modul *Drawing* (slika 3.).



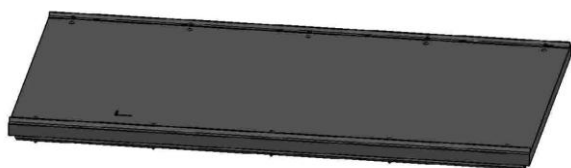
**Slika 3.** Prikaz 3 modula rada programskog alata *SolidWorks* [2]

Postupak izrade 3D modela počinje modeliranjem dijelova konstrukcije (slika 4.), koračnog motora s "couplingom", dijelova za vodicice i "spindle" s nosačima.

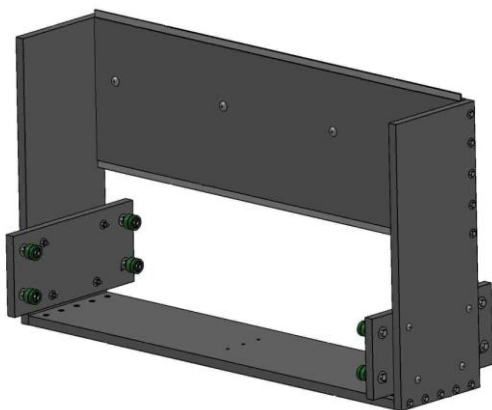


**Slika 4.** Dijelovi konstrukcije

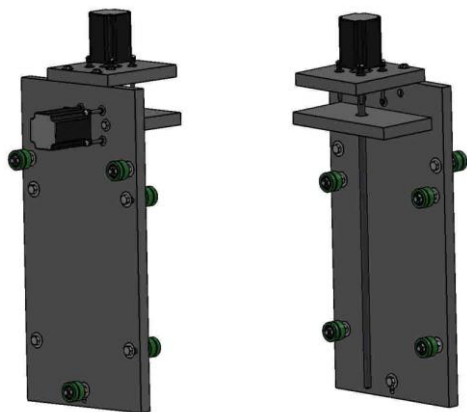
Nakon izrade svih potrebnih dijelova CNC glodalice, oni se spajaju u podsklopove (slike 5., 6., 7., 8.) i glavni sklop (slika 9.), tj. u konačan 3D model stroja.



**Slika 5.** Glavna ploča s aluminijskim profilima



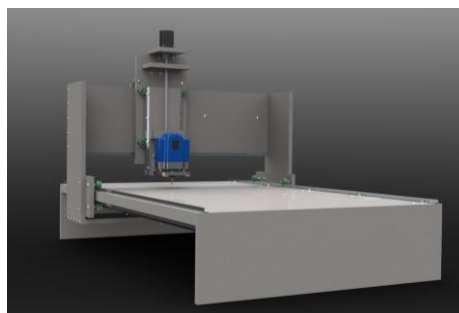
**Slika 6.** Glavna platforma – gibanje po X osi



**Slika 7.** Platforma – gibanje po Y osi



**Slika 8.** Platforma s koračnim motorom – gibanje po Y osi



**Slika 9.** Gotov 3D model 3 osne CNC glodalice renderiran u programskom alatu *PhotoView 360*

#### 4. TESTIRANJE RADNIH KARAKTERISTIKA GLODALICE

Nakon izrade CNC glodalice i početnih proba pokretanja platformi po x i y osi, obavljeno je njeno testiranje da se provjere stvarne karakteristike stroja. Prvi dio testiranja se odnosi na točnost pozicioniranja i točnost ponavljanja. Pomoću komparatora, odnosno mjernog sata, izmjerene su vrijednosti odstupanja od idealnih u slučaju dva uzastopna pomaka osi za 2 mm u istom smjeru, te u slučaju pomaka za 2 mm u jednom smjeru i 2 mm u drugom smjeru, tj. vraćanja na istu poziciju (slika 10. i 11.).

Kod provedbe ovog mjerenja, odstupanja na točnost pozicioniranja i ponavljanja bila su manja od 0,01 mm, što potvrđuje ispravnost proračuna prijenosa i odabir optimalne mehanike stroja. Nakon sinkronizacije upravljačkog programa s koračnim motorima i njihovim prijenosima, provjerena je promjena smjera gibanja platformi po osi i pri tome odstupanje tzv. "praznog" hoda i pomaka po X i Y osi. Provjera je izvršena mjerenjem pomaka osi za 2 mm, te vraćanjem unatrag za 2 mm. Pri tome su uočena "mjerljiva" odstupanja. Za X os prazni hod je iznosio 0,10 mm, dok je za Y os taj iznos bio 0,05 mm. S obzirom na to da je prijenos gibanja na X i Y osi izveden pomoću lanca i lančanika, uzrok većeg praznog hoda X osi je veća duljina lanca, kao i njegova masa koja stvara problem napinjanja lanca na većim dužinama. Kako su to doista male vrijednosti odstupanja i nalaze se unutar tolerancije odstupanja za predviđenu namjenu (pojedinačna izrada pločastog

namještaja od iverala i medijapana), nije potrebno naknadno prepravljanje konstrukcije.

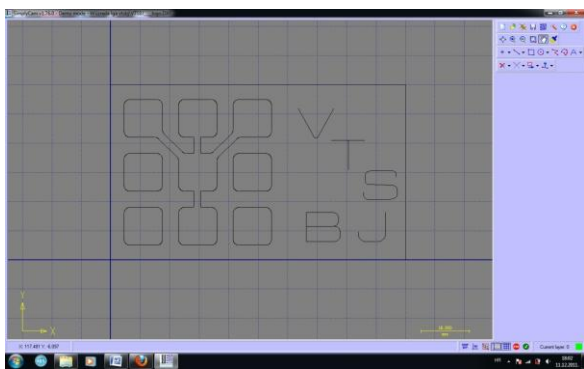


Slika 10. Prikaz testiranja pomoću mjernog sata - početna pozicija



Slika 11. Prikaz testiranja pomoću mjernog sata - završna pozicija

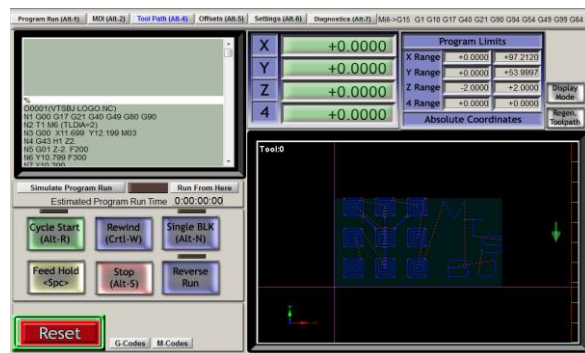
Drugi dio testiranja se odnosi na stvarnu obradu, prema specifičnim zahtjevima potencijalnih korisnika CNC glodalice, izradom logotipa Visoke tehničke škole Bjelovar. Nakon 3D oblikovanja u programskom alatu *SolidWorks* definirana je putanja gibanja alata, odnosno generirao se G-kod u programskom CAM alatu *SimplyCam* (slika 12.).



Slika 12. Prikaz logotipa učitano u programski alat *SimplyCam* [3]

Izrada G-koda počinje izborom Post processora CNC stroja, definiranjem načina obrade i alata, definiranjem brzine okretaja alata, brzine obrade, te brzine spuštanja alata u materijal. U ovom slučaju broj okretaja alata iznosi  $10000 \text{ min}^{-1}$ , radna brzina  $300 \text{ mm/min.}$ , brzina upuštanja alata  $200 \text{ mm/min.}$ , a promjer alata iznosi 2 mm. Odabire se dubina na koju je potrebno glodati logotip, sigurnosna visina alata, dopuštena dubina po koraku, pomak alata u postocima i način pomicanja. Postupak izrade G-koda završava njegovim generiranjem (*Calculate*). Zatim se sadržaj G-koda prenosi u

tekstualnu datoteku, iz upravljačkog programa (*Mach3*) otvara generiran G-kod te se pokreće obrada (slika 13.).



Slika 13. Izgled sučelja upravljačkog programa *Mach3* s učitanim G-kodom logotipa VTŠBJ [4]

## 5. ZAKLJUČAK

Izradom 3D modela 3 osne CNC glodalice, stroja za maloserijsku izradu dijelova pločastog namještaja upotrebom CAD i CAM tehnologije, znatno se smanjuju troškovi projektiranja i razvoja te se skraćuje vrijeme izrade prototipa stroja.

Prikazani su postupci projektiranja CNC glodalice i izrade 3D modela pojedinačnih dijelova i montažnih sklopova u programskom alatu *SolidWorks*. Nakon izrade 3D modela i stvarnog prototipa, predstavljen je postupak testiranja radnih karakteristika glodalice te "stvarna" obrada na stroju izradom logotipa VTŠBJ u programskom alatu *SimplyCam*.

## 6. LITERATURA

- [1] [http://img.diytrade.com/cdimg/1311646/16947653/0/1289178624/Linear\\_motion\\_bearing.jpg](http://img.diytrade.com/cdimg/1311646/16947653/0/1289178624/Linear_motion_bearing.jpg)
- [2] Programski alat *SolidWorks*
- [3] Programsko sučelje alata *SimplyCam*
- [4] Programsko sučelje upravljačkog programa *Mach3*
- [5] Bošnjaković M.: Numerički upravljani alatni strojevi, Školska knjiga, Zagreb
- [6] Shih R.H.; Schilling P.J.: *SolidWorks 2008-parametarsko modelovanje*, Kompjuter biblioteka, 2008.

### Kontakt autora:

Visoka tehnička škola u Bjelovaru  
Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

**Božidar Hršak, dipl.ing.stroj. (mag.ing.mech.)**  
043/241-185, [bhrsak@vtsbj.hr](mailto:bhrsak@vtsbj.hr)

**doc.dr.sc. Ante Čikić, dipl. ing.str.**  
043/241-186, [acikic@vtsbj.hr](mailto:acikic@vtsbj.hr)

**Dejan Katić (bivši student)**  
095/503-9344, [dkkevic@gmail.com](mailto:dkkevic@gmail.com)

# STATISTIČKA ANALIZA SPOSOBNOSTI PROCESA PROIZVODNJE STRETCH FOLIJE

## STATISTICAL ANALYSIS OF STRETCH FILM PRODUCTION PROCESS CAPABILITIES

*Goran Kovačić, Živko Kondić*

Stručni članak

**Sažetak:** Osnovni koncept statističke kontrole procesa temelji se na uspoređivanju podataka dobivenih iz procesa s izračunatim kontrolnim granicama te na osnovi toga donošenje zaključaka o samome procesu. Ovaj postupak se prepoznaje kao suvremena metoda za analizu sposobnosti procesa preko različitih indeksa sposobnosti. U radu se opisuje primjena ove metoda pri praćenju i analizu sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije.

**Ključne riječi:** Sposobnost procesa, indeksi sposobnosti procesa, kvaliteta

Professional paper

**Abstract:** The basic concept of statistical process control is based on the comparison of data collected from the process with calculated control limits and conclusions about the process based on the above. This process is recognized as a modern method for the analysis of process capabilities over different capability indexes. This paper describes the application of this method in monitoring and analysis of stretch film production process capabilities.

**Key words:** process capabilities, process capability indexes, quality

### 1. UVOD

Sposobnost procesa se procjenjuje računanjem tzv. indeksa sposobnosti procesa, ali i pomoću drugih pokazatelja koji nisu toliko važni za primjenu u industriji. Proces je sposoban ako je raspon zahtjeva veći ili jednak od raspona procesa. To je ujedno i temeljni uvjet sposobnosti procesa. Raspon zahtjeva, odnosno tolerancijsko područje T je područje između gornje (USL) i donje granice zahtjeva (LSL), odnosno

$$T = USL - LSL \quad (1)$$

Raspon procesa podrazumijeva područje unutar  $\pm 3$  standardna odstupanja ( $6\sigma$ ) u odnosu na sredinu procesa (99,73 % površine ispod krivulje normalne raspodjele kojom se aproksimira proces). Temeljni uvjet sposobnosti procesa je:

$$T \geq 6\sigma \quad (2)$$

Ocjena sposobnosti procesa odgovara na pitanje treba li poboljšati proces. Ako je odgovor potvrđen, postavlja se pitanje za koliko ga treba poboljšati. Drugim riječima, ova se analiza svodi na razmatranje uzroka varijabilnosti procesa, budući da se u svakom procesu pojavljuje određeni stupanj varijabilnosti iz slučajnih ili posebnih uzroka. Ocjenom sposobnosti procesa mjeri se učinkovitost i efikasnost procesa u slučaju nepostojanja posebnih uzroka varijacija, dakle u slučaju kada je proces u stanju statističke kontrole. Kad je proces pod

kontrolom bit će manja vjerojatnost da promatrani parametri procesa izađu izvan okvira kontrolnih granica. To će biti tako zbog toga jer se na proces može djelovati već u trenutku kada se pojave naznake da bi mogao izaći izvan kontrole, odnosno izvan specificiranih kontrolnih granica.

Također treba osigurati ne samo da je proces pod kontrolom, već i da je ispravno centriran u odnosu na definiranu i praćenu karakteristiku proizvoda ili nekog njegovog parametra.

Prije analiziranja sposobnosti procesa treba proces dovesti u stanje statističke kontrole i osigurati da je normalno distribuiran. Prema Breyfogleu [44], postoje tri statistička instrumenta za utvrđivanje je li proces pod kontrolom i jesu li njegovi izlazi normalno distribuirani, a to su:

- kontrolne karte
- histogrami
- matematička analiza distribucije

Prije ocjene sposobnosti procesa potrebno je izabrati kritični parametar ili promjenjivu veličinu koja će se kontrolirati. To je veličina koja se mora uklopiti u zadane tolerancije, npr. dimenzija neke pozicije ili bilo koja druga veličina. U složenijim slučajevima ocjene sposobnosti procesa, kritični parametri mogu biti rezultat nekoliko procesa. U takvim slučajevima ponekad je neophodno analizirati sposobnost svakog od tih procesa. Analize početnih procesa se najčešće pokazuju korisnije od analiza kasnijih procesa.

Kad se odabere kritični parametar, može se pristupiti prikupljanju rezultata mjerenja. Kritični parametar treba biti mjeren što preciznijim mjerilom s klasom točnosti većom od veličine tolerancije. U suprotnom, proces mjerenja će biti uzrok pojave varijacija na konkretnom parametru. Najbolje je prikupljati što više podataka tijekom dužeg vremenskog perioda. Tako se s većom pouzdanošću dobiva ocjena sposobnosti procesa jer se zasniva na velikom uzorku.

## 2. POKAZATELJI SPOSOBNOSTI PROCESA

Sposobnost procesa se procjenjuje računanjem tzv. indeksa sposobnosti procesa. Za taj izračun uvede se određene pretpostavke:

- razdioba podataka se aproksimira normalnom razdiobom,
- proces koji se analizira je stabilan i bez značajnih uzroka varijacija (proces je pod kontrolom),
- pouzdana procjena sposobnosti procesa može se donijeti samo temeljem praćenja procesa primjenom odgovarajuće kontrolne karte i nakon dovođenja procesa u stanje statističke kontrole (stanje „pod kontrolom“)

Kod uvođenja ovih pretpostavki važno je naglasiti da ako proces nije „pod kontrolom“ računanje indeksa sposobnosti je puka formalnost i zavaravanje. Pored toga važno je uočiti da otklanjanjem značajnih uzroka varijacija u procesu i dovođenjem sredine procesa u okoliš ciljane vrijednosti ima smisla procjenjivati njegovu sposobnost.

Indeksi sposobnosti procesa su koristan alat kada se statistički analiziraju podaci dobiveni mjerenjem. Za njihovo izračunavanje potrebno je imati toleranciju ili dopuštene granice odstupanja. Indeks sposobnosti procesa „uzima“ informacije koje postoje u histogramu i svodi ih na samo jedan broj koji izražava jedan aspekt sposobnosti procesa. Indeksi sposobnosti procesa su pojedinačni brojevi, pa je to i prednost i nedostatak. Prednost se sastoji u tome što je najlakše uspoređivati jedan broj, a nedostatak što je jedan broj donekle ograničenog dometa.

Uvažavajući vrijeme odvijanja procesa, procjenjivanje sposobnosti (pripadajući indeksi) može pripadati jednoj od sljedeće tri kategorije:

1. Sposobnost procesa u dužem vremenskom razdoblju (Long-Term Process Capability)
2. Preliminarna sposobnost procesa (Preliminary Process Capability)
3. Sposobnost u kratkom vremenskom razdoblju (Short-Term Capability)

## 2.1. Sposobnosti procesa u dužem vremenskom razdoblju

Indeksi sposobnosti procesa računaju se nakon odvijanja procesa tijekom razložno dugog vremenskog razdoblja u kojem su se mogli pojaviti sve moguće varijacije procesa. Preporuka je 20 proizvodnih dana (tvrtka Ford). Indeksi su sljedeći:

- Potencijalna sposobnost  $C_p$
- Omjer sposobnosti  $C_r$
- Donja i gornja potencijalna sposobnost  $C_{pL}$  i  $C_{pU}$
- Faktor korekcije necentriranosti  $k$
- Demonstrirana izvrsnost -  $C_{pk}$

### 2.1.1 Potencijalna sposobnost $C_p$

Ovaj se indeks računa kao odnos tolerancije prema  $6\sigma$ :

$$C_p = \frac{T}{6\hat{\sigma}} = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (3)$$

Vrijednost  $C_p$  pokazuje koliko je puta širina tolerantnog polja veća od stvarne širine odgovarajuće raspodjele. Pri ovome korištenje  $6\sigma$  intervala kao etalona podrazumijeva implicitno usvajanje pretpostavke o normalnoj raspodjeli konkretnog parametra.

Standardno odstupanje se procjenjuje analizom odgovarajuće kontrolne karte, odnosno iz izraza:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (4)$$

(u slučaju primjene  $\bar{X} - R$  kontrolne karte) ili

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_2} \quad (5)$$

(u slučaju primjene  $\bar{X} - s$  kontrolne karte).

Ovako procijenjeno standardno odstupanje naziva se „standardno odstupanje iz uzorka“ ili „unutrašnje standardno odstupanje“ (within subgroups or internal standard deviation).

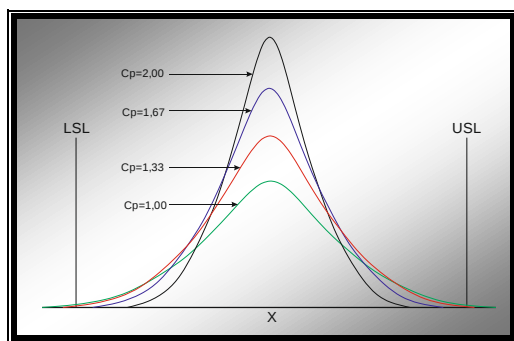
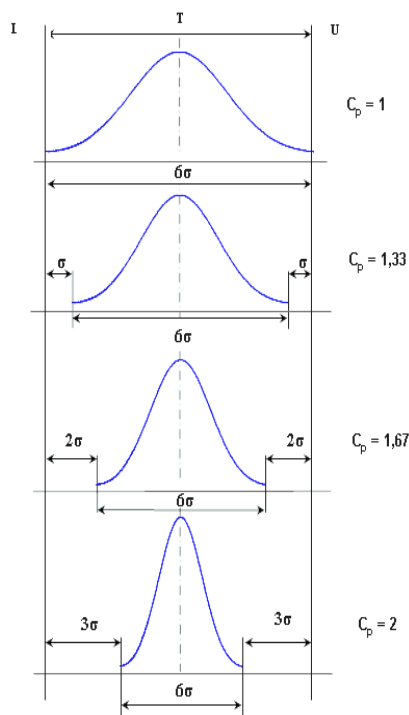
Vrijednost ovog indeksa neposredno pokazuje može li proces biti sposoban. Što je iznos indeksa veći, to je rasipanje procesa manje. Njegove vrijednosti se kreću oko nule do vrlo velikih pozitivnih brojeva. Što je vrijednost indeksa veća, to je manje rasipanje procesa.

Teorijski je proces sposoban ako je  $C_p \geq 1$ . Sve dok je srednja vrijednost rezultata mjerenja jednaka centralnoj točki tolerancije, može se komentirati i povezati  $C_p$  i preciznost procesa (tabela 1). Nedostatak ovog indeksa je u tome što zanemaruje sredinu procesa, te se u slučaju loše centriranosti procesa može doći do pogrešnog zaključka.

**Tabela 1.** Vrijednost  $C_p$  i sposobnost procesa

| $C_p$              | Sposobnost procesa                                            |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|
| $> 1,33$           | Proces može biti sposoban                                     |
| <b>1,0 do 1,33</b> | Moguća sposobnost je upitna, a proces treba i dalje nadzirati |
| $< 1,00$           | Vrlo upitna sposobnost procesa                                |

Na slikama 1 i 2 prikazana je povezanost širine raspodjele nekog parametra procesa s vrijednošću  $C_p$ . Na taj način, jedan od prvih i polaznih zadataka uvođenja faktora sposobnosti procesa (FSP) sastoji se u karakterizaciji procesa prema postotku škarta pomoću jednog jednostavnog broja. Različite tvrtke usvajaju za svoje procese različite kritične vrijednosti  $C_p$ . Mnogi japanski proizvođači orijentiraju se na vrijednosti  $C_p = 1,33$ , što odgovara takvoj situaciji kada interval  $\pm 3\sigma$  zauzima 75% od polja dopuštenog odstupanja. Ovu vrijednost za  $C_p$  koristi i tvrtka „Ford“ kao etalon, dok se u tvrtkama „Reno“ kao kritična vrijednost  $C_p$  koristi 1. Neke tvrtke ovu vrijednost podižu na 1,67, odnosno na  $C_p \geq 2$ .

**Slika 1.** Primjeri koeficijenta  $C_p$ **Slika 2.** Različite vrijednosti koeficijenta  $C_p$  prema normalno distribuiranom procesu

## 2.1.2 Omjer sposobnosti $C_r$

Za ocjenu sposobnosti procesa koristi se recipročna vrijednost indeksa  $C_p$ :

$$C_r = \frac{6\hat{\sigma}}{T} = \frac{6\hat{\sigma}}{USL - LSL} \quad (6)$$

Ako se iznos ovog indeksa prikaže u postocima ( $C_r \cdot 100\%$ ), dobiva se postotak tolerancijskog područja koji je „iskorišten“ rasponom procesa.

Za sposoban proces iznos indeksa  $C_r$  treba biti manji od 1.

## 2.1.3 Donja i gornja potencijalna sposobnost $C_{pL}$ i $C_{pU}$

Vrijednosti indeksa  $C_{pL}$  i  $C_{pU}$  računaju se korištenjem sljedećih izraza:

$$C_{pL} = \frac{(\bar{x} - L)}{3 \cdot \hat{\sigma}} \quad (7)$$

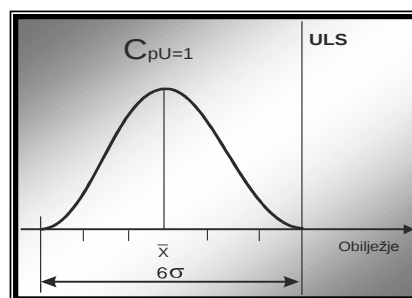
$$C_{pU} = \frac{(U - \bar{x})}{3 \cdot \hat{\sigma}} \quad (8)$$

Sredina procesa je središnja linija primijenjene kontrolne karte. U slučaju računanja statističkih parametara iz svih podataka sredina procesa odgovara aritmetičkoj sredini tih podataka.

Indeksi  $C_p$  i  $C_r$  ne pokazuju kako je smješten proces u odnosu na granice specifikacija. To se može utvrditi usporedbom iznosa indeksa  $C_{pL}$  i  $C_{pU}$ :

- identični iznosi ukazuju na potpunu centriranost procesa (vrijednosti indeksa jednake su vrijednosti indeksa  $C_p$ )
- iznos manji od 1 ukazuje na nesukladnost
- proces je pomaknut prema granici specifikacije manje vrijednosti indeksa

Ovi indeksi se računaju u slučaju procjenjivanja sposobnosti procesa kada je dan jednostrani zahtjev na proces (samo jedna granica specifikacije-primjer pokazuje slika 3).

**Slika 3.** Primjena  $C_{pL}$ ;  $C_{pU}$  kad je dan jednostrani zahtjev

### 2.1.4 Faktor korekcije necentriranosti k

Iznos indeksa  $C_p$  može se korigirati zbog necentriranosti računanjem faktora korekcije necentriranosti k:

$$k = \frac{|M - \bar{x}|}{(USL - LSL)/2}, \quad (9)$$

gdje je M ciljana vrijednost procesa, odnosno:

$$M = (USL - LSL)/2; \quad (10)$$

tako da je  $0 < k < 1$

### 2.1.5 Demonstrirana izvrsnost - $C_{pk}$

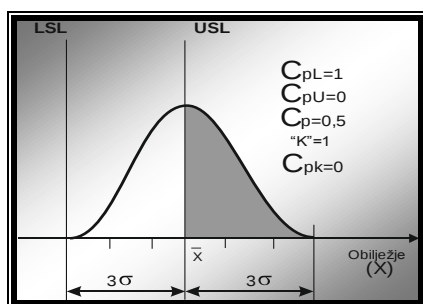
Vidjelo se da indeks  $C_p$  mjeri potencijalnu sposobnost, pretpostavljajući da je prosjek procesa jednak srednjoj točki granica tolerancije i da se odvija pod statističkom kontrolom. Budući da prosjek nije često u srednjoj točki, korisno je imati indeks sposobnosti koji odražava varijaciju i položaj prosjeka procesa. Takav indeks je  $C_{pk}$ . Faktor  $C_{pk}$  iskazuje točnost procesa na osnovi najlošije slike podataka (slika 4).

Negativna vrijednost  $C_{pk}$  ukazuje da je srednja vrijednost izvan granica tolerancije. Ako je  $C_{pk} = 0$  onda je srednja vrijednost jednaka jednoj od granica tolerancije.  $C_{pk}$  između 0 i 1,0 znači da proces ( $6\sigma$ ) izlazi izvan granica tolerancije.  $C_{pk}$  od 1,0 znači da jedan kraj procesa ( $6\sigma$ ) pada na granicu tolerancije.  $C_{pk}$  iznad 1,0 znači da proces ulazi potpuno unutar granica tolerancije. Što je veća vrijednost  $C_{pk}$ , to će biti manja količina proizvoda koji su izvan dopuštenih granica.

Veza između indeksa  $C_p$  i  $C_{pk}$  matematički se prikazuje kao:

$$C_{pk} = C_p(1 - k) \quad (11)$$

gdje je „k“ vrijednost koja označava koliko je proces odmaknut od centra, a matematički se izražava:



Slika 4. Demonstrirana izvrsnost  $C_{pk}$

Ako je proces idealno centriran tada je k jednak nuli i  $C_{pk} = C_p$ . Pomicanjem procesa od ciljana vrijednosti

(sredine područja tolerancija) k se povećava, a  $C_{pk}$  postaje manji od  $C_p$ .

Ako se vrijednost  $C_{pk}$  povećava, to zahtijeva promjenu u prosjeku procesa, procesnom standardnom odstupanju ili objema vrijednostima. Za neke procese može biti lakše povećati vrijednost  $C_{pk}$  mijenjanjem prosječne vrijednosti (pomoću jednostavnog prilagođavanja procesnom cilju), nego smanjivanjem standardnog odstupanja (istraživanjem mnogih uzroka varijacija). Histogram procesa treba uvijek kritički analizirati kako bi se naglasio prosjek i raspon procesa. Treba biti oprezan te imati na umu da se vrijednosti  $C_{pk}$  i  $C_p$  izračunavaju za procese s normalnom razdiobom, ali svi procesi se ne ponašaju prema zakonu normalne razdiobe. Bez poznavanja razdiobe kojom se može opisati proces, upotreba  $C_{pk}$  vrijednosti može nepravilno utjecati na procjenu i dovesti do loših poslovnih odluka.

Sadašnji standardi za indekse sposobnosti procesa su:

$$C_p > 1,33 \quad \text{i} \quad C_{pk} > 1,33$$

Ova vrijednost nije izabrana slučajno. Proces su vrlo rijetko statični i ova vrijednost omogućuje male pomake procesa. Npr., ako se vrijednost  $C_{pk}$  mijenja s vrijednosti 1,0 na vrijednost 0,67 (pomak od jedne standardne devijacije), opis procesa se promijeni s 0,27 % škarta na 4,55 % škarta. Također, stvarni procesi obično pridonose povećanju škarta pa visoki indeksi sposobnosti procesa osiguravaju prihvatljivost do kraja linije  $C_{pk}$ .

### 2.2 Preliminarna sposobnost procesa

Preliminarno procjenjivanje sposobnosti procesa provodi se na njegovom početku ili nakon kratkog praćenja procesa. Preporuka je da se razmatra uzorak od najmanje 100 jedinica ili kontrolna karta s najmanje 20 uzoraka.

U nazivlju indeksa se umjesto riječi sposobnost (Capability) koristi termin značajka (Performance). U tom smislu se indeksi označavaju kao  $P_p$ ,  $P_{pL}$ ,  $P_{pU}$ ,  $P_{pk}$ , a računaju se na isti način kao  $C_p$ ,  $C_{pL}$ ,  $C_{pU}$ ,  $C_{pk}$ , a standardno odstupanje naziva se „ukupno standardno odstupanje“ (engl. overall or total standard deviation).

Zahtjevi na najmanje iznose indeksa  $P_p$  i  $P_{pk}$  su stroži nego za iznose indeksa  $C_p$  i  $C_{pk}$  (npr., ako je zahtjev za  $C_p \geq 1,33$ , tada je ekvivalentni zahtjev za  $P_p \geq 1,67$ ). U SPC softverima za računanje ovih indeksa koristi se ukupno standardno odstupanje.

Ukupno standardno odstupanje računa se iz izraza:

$$s = \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (12)$$

## 2.3 Sposobnost u kratkom vremenskom razdoblju

Za analizu sposobnosti procesa u kratkom vremenskom razdoblju često se koristi termin „analiza sposobnosti stroja“ (engl. Machine Capability Analysis). Primjenjuje se prilikom preuzimanja stroja. Preporučuje se analiza na uzorku od najmanje 50 jedinica. Temeljni interes je informacija o rasipanju podataka oko ciljane vrijednosti  $M$ .

$$M = \frac{(USL + LSL)}{2} \quad (13)$$

### 2.3.1 Potencijalna sposobnost stroja $C_{pm}$

Neki kažu (Boyles 1991.) da  $C_p$  i  $C_{pk}$  nisu primjereni za opisivanje centriranja procesa. Taguchi zagovara alternativu, a kasnije mnogi autori  $C_{pm}$  navod kao Taguchi indeks (Chan 1988.).

$C_{pm}$  se računa korištenjem alternativne procjene standardnog odstupanja koja sadrži efekt slučajne necentriranosti (rasipanja oko ciljane vrijednosti), odnosno:

$$C_{pm} = \frac{T}{6\hat{\sigma}} = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (14)$$

gdje je:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n-1}} \quad (15)$$

Veza  $C_{pm}$  kruži oko Taguchijevog šampionskog pristupa smanjenju varijacije s ciljane vrijednosti kao vodeći princip prema poboljšanju kvalitete. Ova jednadžba je dosljedna s Taguchijevom filozofijom, relativna je njegovoj funkciji gubitka i njegovoj filozofiji gubitka financija gdje su žrtve korisnici i društvo općenito, kada proizvod ne postigne željeni cilj. Ovi koncepti opisani su u daljnjem tekstu. Iz ove jednadžbe zapažamo sljedeće:

- više važnosti pridaje se cilju ( $M$ )
- manje važnosti pridaje se granicama specifikacija

Pored opisanih pokazatelja sposobnosti procesa, treba navesti da postoji još nekoliko pokazatelja uspješnosti procesa, koji se ovdje neće razmatrati zato što nemaju široku primjenu u industriji.

## 2.4 Razlozi za primjenu indeksa sposobnosti procesa

Sve veća primjena indeksa sposobnosti procesa u vodećim poduzećima u svijetu može se pojasniti na sljedeći način:

1. Razvoj suvremenog pristupa upravljanju kvalitetom sve više u prvi plan stavlja probleme varijabilnosti konkretnih vrijednosti, tj. odstupanja parametara proizvoda od zadanih

vrijednosti. U suvremenom svijetu ovo je glavni uvjet konkurentne sposobnosti, a pokazatelji sposobnosti procesa služe kao prikladna mjera varijabilnosti procesa.

2. Inzistiranje na certifikaciji i atestiranju proizvoda zahtijeva postojanje kvantitativnih karakteristika deklarirane kvalitete. Za tu namjenu indeksi sposobnosti procesa su najjednostavniji i najjeftiniji.
3. Indeksi sposobnosti procesa su prikladni za suvremeni audit procesa, tj. za periodičku provjeru usklađenosti nekog procesa s definiranim zahtjevima.
4. Provjera sredstava u eksploataciji, njihovo podešavanje, kontrola, održavanje i dr. zahtijeva jednostavne kvantitativne pokazatelje stabilnosti karakteristika kroz određeni vremenski period, za što su također veoma prikladni indeksi sposobnosti procesa.
5. Indeksi sposobnosti procesa prikladni su za praćenje, izbor i ocjenu dobavljača, a pomoću njih se mogu postavljati zahtjevi dobavljačima i tako se stimulira njihov razvoj.
6. Istu ulogu mogu imati indeksi sposobnosti procesa pri interakciji s korisnicima i kupcima. Danas je sve teže prodati proizvode za koje se ne znaju indeksi sposobnosti procesa proizvodnje.
7. Indeksi sposobnosti procesa su odlično sredstvo za kontrolu stanja tehnoloških procesa i prikladna mjera za njihovo poboljšanje.
8. Možda je jedna od najvažnijih osobina indeksa sposobnosti procesa što omogućuje svim sudionicima u procesu (od dobavljača do kupca, od radnika do menadžera) da o problemima kvalitete govore istim jezikom, što je neophodan uvjet za dostizanje suvremene kvalitete proizvoda.

Kod indeksa sposobnosti procesa postoje i nedostaci. Navode se dva najvažnija. To je prije svega jednostavno usklađivanje sa zahtjevima prema određenoj vrijednosti indeksa, jednostavnom izmjenom vrijednosti  $USL$  i  $LSL$  u tehničkoj dokumentaciji, bez aktivnosti u stvarnoj proizvodnji. Proizvoljno određivanje i korigiranje tolerancije je najveći problem primjene ovih indeksa. Tolerancija se izračunava ili određuje na osnovi  $\sigma$ . Tolerancija se mijenja samo ako se u procesima mijenjaju parametri (npr. broj ljudi, novi stroj i dr) jer se smanjuje  $\sigma$ , što automatski utječe na smanjenje tolerancije. Postoji mogućnost da se ne primijete ozbiljni nedostaci proizvoda, oslanjajući se na visoke vrijednosti indeksa sposobnosti procesa u slučaju nepotpunog razumijevanja dopuštenih odstupanja, na kojima se zasniva njihova točna primjena.

### 3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Za obradu i daljnju analizu koristi se programski paket „Statistica“. Software je razvila američka tvrtka Statsoft Inc. i sadrži napredne alate za statističku, grafičku i analitičku obradu podataka te specijalizirane alate i metode za analiziranje podataka i kontrole kvalitete. Statistica je ujedno i analitička platforma koja više od dva desetljeća doprinosi znanstvenim otkrićima te potpomaže uspješne poslovne rezultate svojih korisnika. U hrvatskim ustanovama iz sustava visoke naobrazbe i znanosti Statistica se koristi u nastavi, kao i u znanstvenom i istraživačkom radu još od kraja 90-tih godina, a danas broji preko 2000 korisnika.

Za analizu je uzeto 90 podataka iz završne kontrole u proizvodnji stretch folije a parametri za praćenje bili su:

- Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable debljine
- Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable predzatezanja
- Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable zatezanja
- Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable težine

#### 3.1 Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable debljine

Za procjenu sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable debljine, uzete su niže navedene zahtijevane vrijednosti:

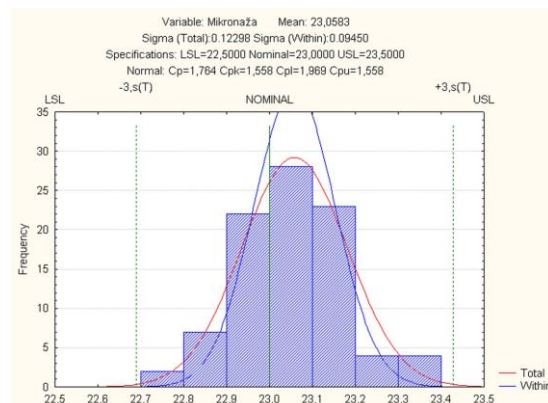
- Nazivna vrijednost debljine: 23  $\mu\text{m}$
- Gornja granica (USL): 23,5  $\mu\text{m}$
- Donja granica (LSL): 22,5  $\mu\text{m}$
- Ciljana mjera: 23  $\mu\text{m}$

Podatci o uzorkovanju prikazani su u tabeli 2, a rezultati izračuna na slici 5.

**Tabela 2.** Rezultati uzorka mjerenja debljine folije

| 1. dan | 2. dan | 3. dan | 4. dan | 5. dan |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 23,06  | 22,94  | 22,91  | 23,19  | 22,94  |
| 23,08  | 23,12  | 23,31  | 23,08  | 23,02  |
| 23,04  | 23,14  | 23,16  | 23,08  | 22,87  |
| 23,04  | 23,08  | 23,18  | 22,99  | 23,15  |
| 23,09  | 23,09  | 23,05  | 23,09  | 23,19  |
| 23,15  | 23,2   | 23,07  | 23,14  | 23,23  |
| 23,2   | 22,84  | 23,08  | 23,01  | 23,14  |
| 23,16  | 22,94  | 23,09  | 22,75  | 23,05  |
| 23,01  | 22,85  | 23,13  | 23,06  | 22,92  |

| 6. dan | 7. dan | 8. dan | 9. dan | 10. dan |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| 23,2   | 22,97  | 23,16  | 23,1   | 22,85   |
| 23,19  | 23,31  | 22,92  | 23,09  | 22,95   |
| 23,06  | 23,35  | 22,97  | 23,07  | 22,91   |
| 23,02  | 23,15  | 22,79  | 23,05  | 22,96   |
| 22,87  | 23,21  | 22,99  | 23,01  | 22,95   |
| 23,07  | 23,19  | 23,31  | 23     | 23,19   |
| 22,89  | 22,88  | 23,25  | 22,97  | 23,15   |
| 22,94  | 23,21  | 22,99  | 22,96  | 22,98   |
| 23,03  | 23,12  | 23,14  | 23     | 22,97   |



**Slika 5.** Histogram debljine folije

Indeks sposobnosti procesa (slika 5) prikazuje kako je proces sposoban:  $C_p > 1,33$ . Rasipanje procesa iznosi  $6s = 0,75 \mu\text{m}$ , a tolerantno polje,  $USL - LSL = 1$ . Cijeli proces je pomaknut prema gornjoj granici zahtjeva – što je zadovoljavajuće, a možemo se očitati iz indeksa  $C_{pk} = 1,558$ .

#### 3.2 Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable predzatezanja

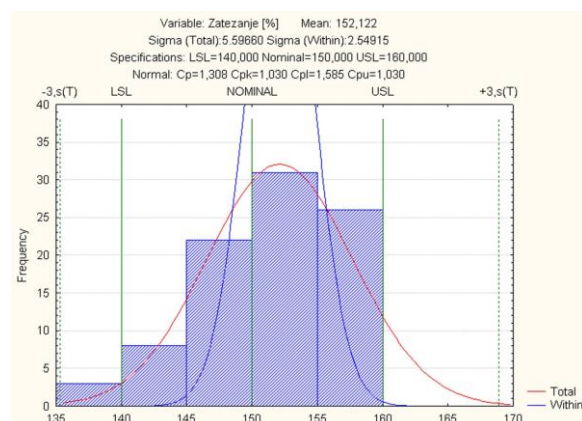
Za procjenu sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable predzatezanja uzete su niže navedene zahtijevane vrijednosti:

- Nazivna vrijednost predzatezanja: 170
- Gornja granica (USL): 180
- Donja granica (LSL): 160

Podatci o uzorkovanju prikazani su u tabeli 3, a rezultati izračuna na slici 6.

**Tabela 3.** Rezultati uzorka mjerenja predzatezanja

| 1. dan | 2. dan | 3. dan | 4. dan | 5. dan | 6. dan | 7. dan | 8. dan | 9. dan | 10. dan |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 160    | 173    | 165    | 164    | 171    | 174    | 172    | 169    | 180    | 164     |
| 170    | 172    | 175    | 169    | 164    | 174    | 173    | 168    | 180    | 166     |
| 180    | 178    | 176    | 180    | 166    | 172    | 174    | 166    | 180    | 171     |
| 165    | 179    | 179    | 179    | 166    | 179    | 172    | 162    | 176    | 175     |
| 175    | 180    | 174    | 178    | 163    | 178    | 170    | 161    | 175    | 172     |
| 180    | 165    | 173    | 172    | 167    | 176    | 170    | 171    | 175    | 173     |
| 174    | 162    | 172    | 175    | 169    | 165    | 178    | 172    | 172    | 172     |
| 169    | 161    | 172    | 173    | 175    | 169    | 179    | 178    | 171    | 170     |
| 164    | 160    | 174    | 172    | 175    | 168    | 176    | 179    | 169    | 172     |



**Slika 6.** Histogram predzatezanja

Indeks sposobnosti procesa (slika 6) prikazuje kako je njegova sposobnost upitna  $C_p = 1,053$  i kako ga je i dalje potrebno nadzirati. Rasipanje procesa:  $6s = 31$ ; a tolerantno polje,  $USL - LSL = 20$  je veće od zahtijevanog.

Cijeli proces je pomaknut prema gornjoj granici zahtjeva i može se zaključiti da je necentriran.

### 3.3 Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable zatezanja

Za procjenu sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable zatezanja uzete su niže navedene zahtijevane vrijednosti:

- Nazivna vrijednost predzatezanja: 150 %
- Gornja granica (USL):160 %
- Donja granica (LSL):140 %

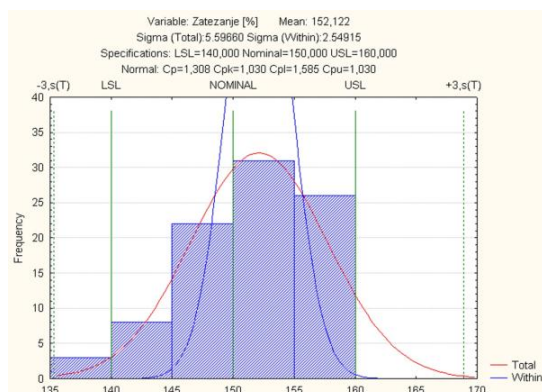
Podatci o uzorkovanju prikazani su u tabeli 4, a rezultati izračuna na slici 7.

**Tabela 4.** Rezultati uzorka mjerenja zatezanja

| 1. dan | 2. dan | 3. dan | 4. dan | 5. dan |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 150    | 140    | 159    | 152    | 149    |
| 146    | 142    | 153    | 154    | 150    |
| 160    | 150    | 152    | 149    | 152    |
| 155    | 157    | 152    | 148    | 153    |
| 158    | 155    | 152    | 142    | 158    |
| 153    | 158    | 160    | 142    | 155    |
| 151    | 160    | 158    | 140    | 150    |
| 146    | 160    | 160    | 145    | 157    |
| 141    | 160    | 150    | 146    | 159    |

| 6. dan | 7. dan | 8. dan | 9. dan | 10. dan |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| 160    | 149    | 158    | 146    | 159     |
| 154    | 148    | 157    | 148    | 158     |
| 152    | 152    | 155    | 149    | 160     |
| 151    | 155    | 152    | 148    | 157     |
| 151    | 156    | 148    | 150    | 155     |
| 150    | 157    | 146    | 153    | 154     |
| 154    | 152    | 142    | 153    | 155     |
| 146    | 159    | 141    | 154    | 153     |
| 145    | 160    | 140    | 158    | 152     |



**Slika 7.** Histogram zatezanja

Indeks sposobnosti procesa prikazuje kako je njegova sposobnost upitna  $C_p = 1,308$  i kako ga je i dalje potrebno nadzirati. Rasipanje procesa:  $6s = 33,5$  % ;  $USL - LSL = 20$  % je veće od zahtijevanog.

Cijeli proces je pomaknut prema donjoj granici zahtjeva i necentriran je.

### 3.4 Sposobnost procesa proizvodnje stretch folije na temelju varijable težine

Za procjenu sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije uzete su niže navedene zahtijevane vrijednosti:

- Nazivna vrijednost predzatezanja: 5,00 Kg
- Gornja granica (USL):5,05 Kg
- Donja granica (LSL):4,95 Kg

Podatci o uzorkovanju prikazani su u tabeli 5, a rezultati izračuna na slici 8.

**Tabela 5.** Rezultati uzorka mjerenja težine

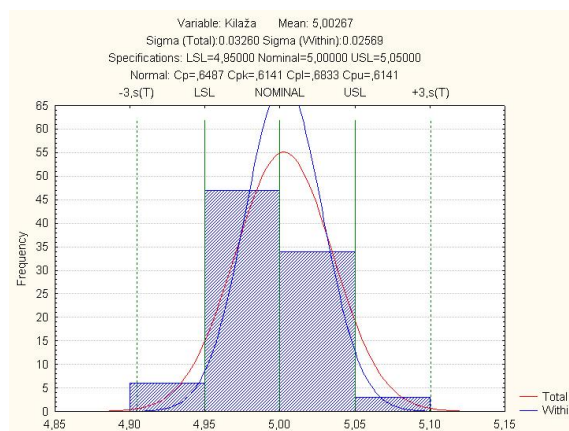
| 1. dan | 2. dan | 3. dan | 4. dan | 5. dan |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4,95   | 5,03   | 4,97   | 5,01   | 4,99   |
| 4,99   | 5,01   | 5,04   | 5,05   | 5,02   |
| 5,01   | 4,99   | 4,99   | 4,99   | 5,03   |
| 5      | 5      | 5,01   | 4,96   | 5      |
| 5      | 4,95   | 5      | 5,01   | 5      |
| 5      | 4,97   | 5,04   | 4,96   | 5      |
| 4,96   | 5,03   | 4,96   | 4,97   | 5      |
| 4,98   | 5,02   | 5,04   | 5,04   | 5      |
| 5,05   | 5      | 5      | 5,02   | 4,97   |

| 6. dan | 7. dan | 8. dan | 9. dan | 10. dan |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| 4,98   | 4,95   | 4,95   | 4,91   | 5       |
| 4,99   | 5,05   | 4,96   | 5      | 5,01    |
| 5      | 5,05   | 5,02   | 5,02   | 5,05    |
| 5,01   | 5,08   | 5,03   | 5,04   | 5,09    |
| 5,02   | 5,01   | 5      | 5,05   | 5,08    |
| 5,03   | 4,98   | 5      | 5      | 5       |
| 5,05   | 4,99   | 5      | 4,96   | 5,01    |
| 4,99   | 5,02   | 5      | 4,97   | 4,96    |
| 4,98   | 5,03   | 4,95   | 4,99   | 4,97    |

Indeks sposobnosti procesa prikazuje kako je njegova sposobnost upitna te kako ga je i dalje potrebno nadzirati.

Rasipanje procesa:  $6s = 0,11$  Kg ;  $USL - LSL = 0,1$  Kg i veće je od zahtijevanog. Cijeli proces je necentriran pomaknut prema gornjoj granici zahtjeva.



**Slika 8.** Histogram težine

#### 4. ZAKLJUČAK

Tijekom procesa proizvodnje stretch folije najveća odstupanja ili varijacije ima varijabla zatezanje. Navedena varijabla prikazuje rastezanje folije po njezinoj dužini, što prvenstveno ovisi o kvaliteti ulazne sirovine, a zatim i o temperaturi taljenja odnosno temperaturi ponovnog hlađenja.

Potrebna je kvalitetnija ulazna kontrola sirovine kako bi se ovakve nepravilnosti ubuduće izbjegle, na način da se nedovoljno kvalitetna sirovina prije ulaska u ekstruder odstrani i vrati dobavljaču. Samim time bi se smanjile i ostale varijacije pošto su usko povezane sa sirovinom.

Neizbježno je nakon provedenih mjera poboljšanja pratiti proces i što je češće moguće analizirati dobivene vrijednosti u svrhu daljnjeg usavršavanja i poboljšavanja procesa proizvodnje stretch folije.

Rad je prikazao primjenu statističkih alata u nadziranju i kontroli jednog realnog procesa. Važno je naglasiti da se sposobnost procesa preko indeksa može najbolje pratiti u kombinaciji s kontrolnim kartama i uz korištenjem kompetentnih programskih alata. Na osnovu praćenja i nalaza moguće je poduzimati mjere poboljšanja, odnosno djelovati u području definiranih tolerancija / specifikacija. Primjena ovih alata zahtijeva izobrazbu kadrova (operatera, voditelja smijene, kontrolora i najvišeg vodstva) kako bi se ostvarila efikasna primjena.

#### 4. LITERATURA

- [1] Mudronja V.; Predavanja iz kontrole kvalitete; FSB Zagreb 2010; [www.fsb.hr](http://www.fsb.hr), listopad 2010.
- [2] Kovačić G.; Statistička analiza procesa proizvodnje stretch folije, Završni rad br. 45/PS/2012, Veleučilište u Varaždinu, studij proizvodnog strojarstva, Varaždin, 2012.
- [3] Statistical Process Control (SPC) reference manual; Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation; 1995.
- [4] Kondić Ž.; Statistička kontrola kvalitete, veleučilište u Varaždinu, varaždin, 2012.
- [5] Šakić, N.; Benić, D.; Statistika u kontroli kvalitete, podloge za seminar iz statističke kontrole kvalitete, Zagreb, FSB, laboratorij za operativno istraživanje, 1996.
- [6] Tehnička dokumentacija sustava upravljanja kvalitetom, tvrtke Bomark – Pak d.o.o. Varaždin, 2010.
- [7] HRN ISO/TR 10017:2003, Upute za statističke tehnike za ISO 9001:2000.
- [8] ISO 11462-1:2001, Smjernice za primjenu statističke kontrole postupka (SPC) - 1. dio: Elementi SPC
- [9] ISO/TR 13425:1995, Upute za odabir statističkih metoda u standardizaciji i specifikaciji

##### Kontakt autora:

**Goran Kovačić, ing.strojarstva**  
Bomark – Pak d.o.o. Varaždin  
[gkovacic@bomark.hr](mailto:gkovacic@bomark.hr)

**Živko Kondić, dr.sc**  
Veleučilište u Varaždinu  
Križanićeva 33  
[zkondic@velv.hr](mailto:zkondic@velv.hr)

# VAŽNOST I NEOPHODNOST BIOINŽENJERSKIH METODA U RJEŠAVANJU PROBLEMA EROZIJA I KLIZIŠTA TLA

## THE IMPORTANCE AND NECESSITY OF BIO-ENGINEERING METHODS OF SOLVING THE PROBLEMS OF SOIL EROSION AND LANDSLIDES

*Ana Kopčić*

Stručni članak

**Sažetak:** Bioinženjerske metode uključuju znanje iz područja biologije i tehničkih vještina, kod rješavanja problema erozije tla i klizišta. Ti problemi mogu biti posljedica djelovanja prirode, a čovjeka (antropološki utjecaj). Osnovna značajka ove metode je upotreba živoga biljnog materijala, čiji odabir naravno ovisi o bonitetu tla i o složenosti problema koji rješava, kao i elementi krajobraznoga uređenja. Koriste se i drugi materijali kao što je kamen, žica, panel ploče, trupci, geotekstil, biorazgradiva ljepljiva i tvari koje djeluju na kvalitetu samoga tla kao hranidbenog medija. U radu se navode i moguće metode: hidrosjetva, izrada gabiona i izrada terasa različitim bioinženjerskim tehnikama. Mora se naglasiti važnost sanacije bilo koje vrste devastacije prostora u smislu krajobraznog uređenja.

**Ključne riječi:** bioinženjerska metoda, živi biljni materijal, hidrosjetva, gabioni, terase, krajobrazno uređenje

Professional paper

**Abstract:** Bio-engineering methods include knowledge in the field of biology and technical skills in solving problems of soil erosion and landslide. This problem may be caused due to impact of nature and an anthropological impact. The basic feature of this method is the use of living plant materials, and their choice of course depends on the creditworthiness of the soil and the complexity of the problem that has to be solved, as well as the elements of landscaping. Also used other materials, such as stone, wires, panels, logs, geotextile, biodegradable adhesives, and substances which influence the quality of the soil as a nutritional medium. The work also describes possible methods, such as hydroseeding, building gabions and building terraces with various bio-engineering techniques. As conclusion it has to be emphasized the importance of sanitation of any type of devastation space in terms of landscaping decoration.

**Key words:** bio-engineering methods, living plant materials, hydroseeding, gabions, terraces, landscaping decoration

### 1. UVOD

Bioinženjerska metoda sanacije i zaštite od erozija i devastacije prostora poznata je od davnina. Tako su kod izgradnje kineskoga zida, kao zaštitu od erozije, koristili terase od pletera drveta tamarisa. U današnje vrijeme zaštita od erozije vrlo je važna i nezaobilazna metoda zato što je potrebno sanirati svaku devastaciju krajobraza, bila ona prirodno ili antropološki izazvana. Za rješavanje problema koristi se živim biljnim materijalom, pri čemu treba paziti da zadovoljavaju osnovne zahtjeve kao što je brzi početni rast, razvoj duboke, snažne i široke mreže korjenova sustava, razvoj adventnog (postranog) korijenja i izdanaka, te pojačane transpiracijske osobine (gubitak vode kroz list) [1].

Osim ovih tzv. tehničkih svojstava biljaka treba zadovoljavati kriterije krajobraznog uređenja, te se koristiti autohtonim vrstama ako je riječ o prirodnom krajobrazu. U antropološki uređenom krajobrazu biraju se i ukrasne, kultivirane vrste s potrebnim spomenutim tehničkim svojstvima.

### 2. HIDROSJETVA

Hidrosjetva je metoda strojnoga ozelenjivanja površina sjemenom trava ili drveća. U smjesu se dodaju i hranjiva koja u lošijim prilikama od optimalne omogućavaju rast i stvaranje početne mase samoga korijenja. Koristi se smjesa više vrsta sjemena pri čemu se, oponašajući prirodu, postižu najbolji rezultati. Odabir vrsta je ovisan o lokaciji i bonitetu tla. Recepturu priprema bioinženjer, biolog ili ing. hortikulture.

Travna smjesa treba sadržavati više vrsta, najmanje četiri. Među najpoznatijima je engleski ljulj (lat. *Lolium perenne*), brzorastuća i ozelenjiva vrsta koja stabilizira površinu i niče već nakon dva tjedna.

Kao bazične vrste koriste se:

- vlasulje: livadna vlasulja (lat. *Festuca pratensis*), ovčja vlasulja (lat. *Festuca ovina*)
- vlasnjače: livadna vlasnjača (lat. *Poa pratensis*), obična vlasnjača (lat. *Poa trivialis*)
- klupčasta oštrica (lat. *Dactylis glomerata*) i mačji repak (lat. *Phleum pratense*)

Djetelinske smjese su isto tako važne zbog izraženih traženih tehničkih osobina (razvijaju jako razgranati korijenov sustav).



**Slika 1.** Stroj za hidrosjetvu

Kod sijanja sjemena drveća izbor su autohtone vrste, kao i vrste odgovarajućih kvaliteta. Često korištene su iz porodica javora (lat. *Acer*), breze (lat. *Betula*) i crnog bora (lat. *Pinus nigra*).

Osim smjese trava koja se nanosi šmrkom iz stroja za hidrosjetvu, u recepturi su i hranjiva poznata kao gnojiva i alge, biorazgradivo ljepilo te humus, ovisno o podlozi na kojoj se sjetva provodi. Podloga za hidrosjetvu je samo tlo koje može biti humusirano, gdje je sloj plodne zemlje navezen ili neka druga kompleksnija tehnika kao što je postavljanje biorazgradivih i hranjivih materijala od kokosovih vlakana. Kokosovo platno se postavlja kao podloga i prvotna zaštita od erozija, na koju se sije sjeme. Na kosinama se platno učvršćuje klinovima te je važno dobro prijanjanje za površinu tla da ne bi nastali džepovi, koji bi doveli do narušavanja stabilnosti terena. Tehnikom hidrosjetve mogu se ozeleniti i terase i gabioni.



**Slika 2.** Postavljanje žičanih mreža na bioplatno

### 3. TERASE

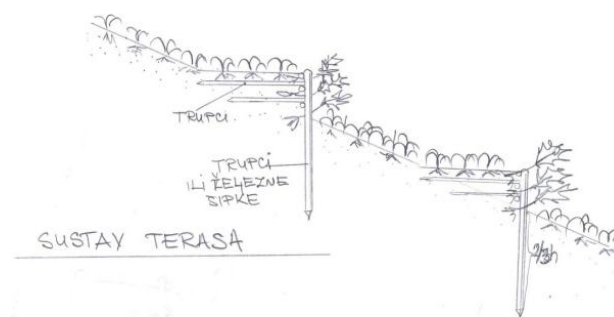
Metoda izrade terasa je rješenje na terenima kod glinastog ili pjeskovitog tla (slika 3.) [2]. Kao potporni zid koriste se trupci bukve, graba, javora, hrasta, oraha

promjera oko 20 cm, visine oko 1m, od čega je 20-30 cm visine tek iznad tla. Poprečno su postavljeni kolci od istih vrsta tvrdoga drveta. Potrebno je impregnirati trupce prije polaganja, pa se koristi ekološko i biorazgradivo impregnacijsko sredstvo. Sadnja stablašica na navezenu terasu obavlja se od istog materijala podloge klizišta, s mladim stablima radi manjeg iskopa jama za sadnju. U trenutku sadnje su stabla starosti 3-5 godina. Kasnije razvijaju jako korijenje, vežući i stabilizirajući tlo.

Često se koriste stabla graba (lat. *Carpinus betulus*), bagrema (lat. *Gleditsia triacanthos*) johe (*Alnus glutinosa*), breze (lat. *Betula pendula*) i dr., poznatih kao stabilizatori tla i brzorastuće vrste.

Uz spomenutu sadnju stablašica, kao živi materijal koriste se i grmlja istih tehničkih svojstava korijena kao npr. borovica (lat. *Juniperus communis*).

Uspješno se kombinira i tehnika hidrosjetve s tehnikom stvaranja terasa na klizištu.



**Slika 3.** Sustav terase

### 4. GABIONSKI ZID S BIONŽENJERSKOG STANOVIŠTA

Poznata je tehnika izrade gabionskog zida, sastavljena od žičane armature u formi kocke, tzv. košare, dimenzija 1m<sup>3</sup> ispunjene lomljenim kamenom

Slaganjem gabiona stvara se zid koji može imati funkciju zaštite od buke na autocestama (bolje upijaju buku od neživih materijala) ili kao zaštita od klizišta.

Kod bioinženjerskog pristupa se prilikom ispune žičane armature koristi zemljani materijal u košuljici od biomreže. Iste se košarice zasijavaju smjesom travne smjese. Receptura se bira istim kriterijima kao kod bilo koje druge podloge, ovisno o bonitetu korištene zemlje ili o samoj lokaciji gradilišta [3].

Osim sijanja travne smjese, može se zasaditi i biljni materijal prema ranije spomenutim kvalitetama. Odabir biljaka je određen lokacijom na koju se postavlja gabionski zid. Ako je riječ o urbanoj sredini, koristit će se ukrasne kultivirane vrste, bilo da je riječ o travama kao što su npr. plava vlasulja (lat. *Festuca glauca*) - dekorativna i tehnički prihvatljiva vrsta, ili o grmu mahonija (lat. *Mahonia aquifolium*). Projekt sadnje priprema inženjer hortikulture.



**Slika 4.** Gabionski zid za zaštitu od buke

## 5. ZAKLJUČAK

Bez obzira je li riječ o sanaciji prostora kao posljedici djelovanja prirodnih ili antropoloških čimbenika, nju treba završiti krajobraznim uređenjem kao okvirom svake građevinske slike ili sustava. Osim svoje estetske vrijednosti, ozelenjivanje ima primarnu funkciju. Služi kao zaštita tla od gubitka mase uslijed djelovanja vjetra ili vode, služi kao biološka pumpa te kroz proces evapotranspiracije rješava višak vode. Svojom građom preuzima ulogu stabilizatora tla jer korjenov sustav djeluje kao sustav sigurnosne armaturne mreže. Ozelenjivanje je važno rješenje u prirodnom i ekološki prihvatljivom očuvanja tla, pri čemu nam je krajobraz zdrav i uređen.

## 6. LITERATURA

[1] Hacker, Inženjersko-biološke metode stabilizacije riječnih obala, Hrvatski seminar perivojne kulture, Zagreb 2001.

[2] Coppin, N.J., Use of Vegetation in civil engineering, Ciria 1990.

[3]

<http://ekosistem.org.rs/sr/ozelenjivanje/bioinzenjerske-mere/262-bioinzenjerske-mere-na-nagibima-i-kosinama>  
(Dostupno: 14.09.2012.)

### Kontakt autora:

**Ana Kopčić, dipl.ing.**

Vodoprivreda Zagreb

Petrovaradinska 110

095/915-4146

[kopcic.ana@gmail.com](mailto:kopcic.ana@gmail.com)

# PRIMJENA METODE KONAČNIH ELEMENATA U GRAĐEVINARSTVU

## APPLICATION OF FINITE ELEMENTS METHOD IN CIVIL ENGINEERING

*Vladimir Mirković, Josip Užar*

Stručni članak

**Sažetak:** Najtočnija matematička rješenja za neki nosivi konstrukcijski sustav proizlaze iz parcijalnih diferencijalnih jednačini. Npr., pronaći točno rješenje za štap svodi se na određivanje integracijskih konstanti s obzirom na osnovne relacije opisane rubnim uvjetima. Metodom konačnih elemenata radi se prijelaz iz parcijalne diferencijalne jednačine u sustav linearnih običnih jednačini, koji se može zapisati u matričnoj formulaciji, odnosno diskretizira se promatranu domenu u onoliko dijelova (konačnih elemenata) koliko treba da se dobije točno rješenje na traženim mjestima. U većini slučajeva MKE ne daje točno rješenje, ali su rezultati dovoljno precizni i prihvatljivi za inženjersku praksu. Rad prikazuje primjenu postupka po MKE na primjeru jednostavnih štapnih elemenata.

**Ključne riječi:** metoda konačnih elemenata, parcijalne diferencijalne jednačine, pomaci, čvorovi, krutost

Professional paper

**Abstract:** The most accurate mathematical solutions for a bearing structural system arise from partial differential equations. For example, finding the exact solution for a rod is reduced to the determination of the integration constants with respect to the basic relations described in boundary conditions. The finite element method is used for transition from partial differential equation into a system of linear ordinary equations which can be written in matrix formulation, i.e. the observed domain is discretized in a number of parts (finite elements) necessary to obtain a sufficiently accurate solution for the required places. In most cases, FEM does not give the exact solution, but the results are enough precise and acceptable for engineering practice. This paper presents the application procedure by FEM in the case of simple rod elements.

**Key words:** finite element method, partial differential equations, shifts, nodes, rigidity.

### 1. UVOD

Metoda konačnih elemenata (MKE) je najraširenija metoda za proračun građevinskih konstrukcija. Njome se može rješavati svaka inženjerska zadaća. Pojavom sve snažnijih stolnih računala, danas inženjeri imaju velike mogućnosti za rješavanje različitih zadaća. Uz sve sofisticiranije statičke programe i jednostavnu grafičku prezentaciju rezultata, inženjeri mogu obraditi znatno više podataka nego prije. Osnova većine statičkih programa je upravo metoda konačnih elemenata. Metoda konačnih elemenata počela se razvijati u 50-tim godinama prošlog stoljeća. Isprva se počela primjenjivati metoda sila i metoda pomaka u matričnoj formi, koja je posebno pogodna za primjenu na računalima. Analogno tome su se proračunavale štapne konstrukcije, a ubrzo su se počeli rješavati površinski i prostorni problemi. Godine 1960. uvodi se i naziv Metoda konačnih elemenata (Clough). Do početka 60-tih godina razvijen je statički koncept MKE, a u tim godinama se počinju razvijati i varijacijski principi MKE. U 70-tim godinama prošlog stoljeća razvijaju se matematička pitanja točnosti metode i konvergencije rješenja. Metoda se razvija i dalje te se poboljšavaju postojeći konačni elementi, a

pronalaže se i novi. U mehanici krutog tijela osnovne veze između naprezanja i deformacija postavljaju se na diferencijalno malom elementu. Te veze dovode do diferencijalnih jednačini koje s početnim i rubnim uvjetima definiraju odgovarajuću zadaću. Zbog složenog matematičkog modela nema puno rješenja u zatvorenom obliku. Zbog toga se vrlo često traže približna rješenja. Metodom konačnih elemenata se neko realno tijelo rastavlja (diskretizira) na konačni broj elemenata jednostavnog oblika. Elementi su međusobno spojeni samo u čvorovima. Nepoznanice problema su pomaci čvorova, a pomake unutar elementa se određuje interpolacijom. Iz određenih pomaka određuju se ostale veličine (sile, naprezanja, ...).

### 2. OPĆENITO O METODI KONAČNIH ELEMENATA

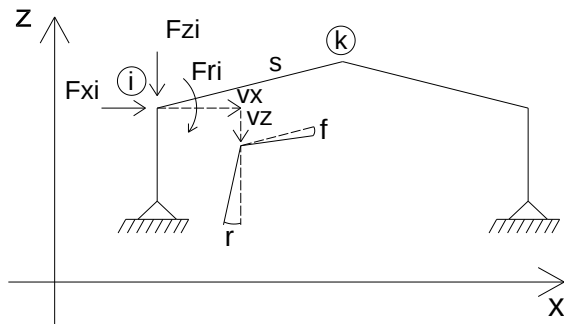
Osnovna matrična jednačina nekog sustava glasi:

$$E \cdot v = S \quad (1)$$

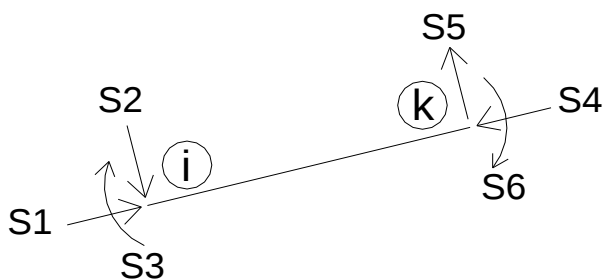
gdje je:

$E$  – matrica krutosti  
 $v$  – vektor nepoznatih čvornih pomaka  
 $S$  – vektor poznatih sila u čvorovima

Ovo predstavlja sistem od  $n$  jednažbi s  $n$  nepoznanica, odnosno stupnjeva slobode. U ovom će se stručnom radu ukratko prikazati osnovne postavke MKE naravninskom štapnom modelu. Slika 1. prikazuje ravninski nosač sa čvornim opterećenjem i pomacima, dok slika 2. prikazuje štap s sa silama koje djeluju na kraju štapa.



Slika 1. Ravninski nosač sa čvornim opterećenjem i pomacima



Slika 2. Sile na krajevima štapa s

Nekakav element konstrukcije se nalazi u nekom općem položaju u odnosu na globalni koordinatni sustav (GKS). Za svaki se element definira lokalni koordinatni sustav (LKS), čija se lokalna os  $x_1$  pruža od početnog čvora i prema krajnjem čvoru k. Orijentacija lokalnog koordinatnog sustava mora biti ista kao i orijentacija globalnog koordinatnog sustava. Za svaki štapni element ravninskog okvira nepoznato je 6 pomaka i to dvije translacije i jedna rotacija na početku i na kraju štapa.

$$v_1 = v_{11}, v_{21}, v_{31} \quad v_{41}, v_{51}, v_{61} \quad (2)$$

( $l$  uz brojni indeks označava lokalni koordinatni sustav)

Ukupan broj nepoznanica cijelog sistema jednak je broju nepoznatih komponenti pomaka svakog čvora. Nepoznate sile na krajevima štapa:

$$S_1 = S_{11}, S_{21}, S_{31} \quad S_{41}, S_{51}, S_{61} \quad (3)$$

Veza između nepoznatih sila na kraju štapa i nepoznatih pomaka na kraju štapa je:

$$S_1 = E_1 \cdot v_1, \quad (4)$$

gdje je:

$S_1$  – vektor nepoznatih sila na krajevima štapa

$E_1$  – lokalna matrica krutosti štapa

$v_1$  – vektor nepoznatih pomaka na kraju štapa

Matrica krutosti jednog sistema određuje se tako da se na svakom mjestu nepoznatog pomaka daje jedinični pomak, pa se odrede sile u čvorovima uslijed jediničnog pomaka. Elementi lokalne matrice krutosti određuju se iz jednažbe:

$$M_{i,k} = \frac{2 \cdot EI_{i,k}}{l_{i,k}} \cdot (2 \cdot \Phi_i + \Phi_k + 3 \cdot \Psi_{i,k}) + Mo_{i,k} \quad (5)$$

gdje je:

$M_{i,k}$  – moment u čvoru i

$EI_{i,k}$  – krutost štapa i

$l_{i,k}$  – dužina štapa

$\Phi_i, \Phi_k$  – kutovi zaokreta štapa u čvoru i, odnosno k

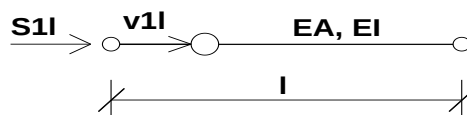
$\Psi_{i,k}$  – nagib štapa

$Mo_{i,k}$  – moment od vanjskog opterećenja na obostrano upetom elementu

### 3. ODREĐIVANJE LOKALNE MATRICE KRUTOSTI

Prvo se postavljaju jedinični pomaci s obzirom na djelovanje jediničnih sila kako je to pokazano na slikama 3., 4., 5., 6., 7., 8.

$v_{11} = 1$ :

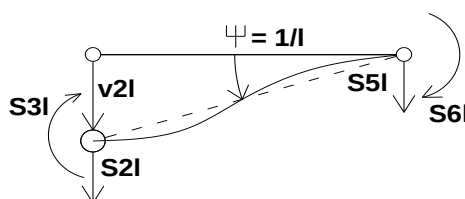


Slika 3. Sile od jediničnog pomaka u početnom čvoru u smjeru lokalne osi x

$$S_{11} = EA / l$$

$$S_{41} = -EA / l$$

$v_{21} = 1$ :

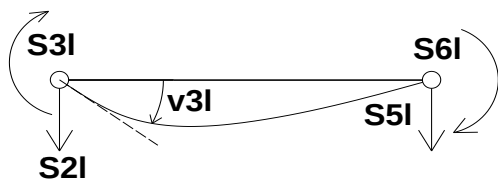


Slika 4. Sile od jediničnog pomaka u početnom čvoru u smjeru lokalne osi y

$$S_{3l} = S_{6l} = 2EI/l \cdot (2 \cdot 0 + 0 + 3 \cdot 1/l) = 6EI/l^2$$

$$S_{2l} = -S_{5l} = (S_{3l} + S_{6l}) / l = 12EI / l^3$$

$$v_{3l} = 1:$$



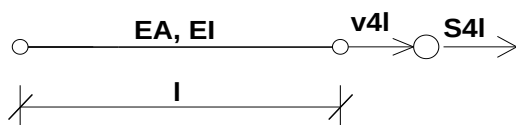
Slika 5. Sile od jedinične rotacije u početnom čvoru

$$S_{3l} = 2EI/l \cdot (2 \cdot 1 + 0 + 0) = 4EI/l$$

$$S_{6l} = 2EI/l \cdot (2 \cdot 0 + 1 + 0) = 2EI/l$$

$$S_{2l} = -S_{5l} = (S_{3l} + S_{6l}) / l = 6EI/l^2$$

$$v_{4l} = 1:$$

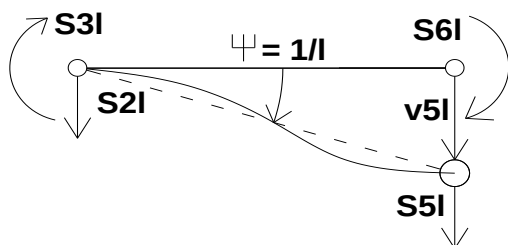


Slika 6. Sile od jediničnog pomaka u krajnjem čvoru u smjeru lokalne osi x

$$S_{1l} = -EA / l$$

$$S_{4l} = EA / l$$

$$v_{5l} = 1:$$

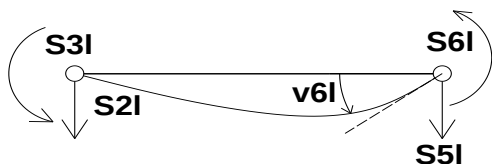


Slika 7. Sile od jediničnog pomaka u krajnjem čvoru u smjeru lokalne osi y

$$S_{3l} = S_{6l} = 2EI/l \cdot (2 \cdot 0 + 0 - 3 \times 1/l) = -6EI/l^2$$

$$S_{2l} = -S_{5l} = (S_{3l} + S_{6l})/l = -12EI/l^3$$

$$v_{6l} = 1:$$



Slika 8. Sile od jedinične rotacije u krajnjem čvoru

$$S_{3l} = 2EI/l \cdot (2 \cdot 0 + 1 + 0) = 2EI/l$$

$$S_{6l} = 2EI/l \cdot (2 \cdot 1 + 0 + 0) = 4EI/l$$

$$S_{2l} = -S_{5l} = (S_{3l} + S_{6l}) / l = 6EI/l^2$$

Matrica krutosti štap: (6)

$$EI = EI / l \cdot$$

|        |           |        |        |           |        |
|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|
| $A/l$  | 0         | 0      | $-A/l$ | 0         | 0      |
| 0      | $12/l^2$  | $6/l$  | 0      | $-12/l^2$ | $6/l$  |
| 0      | $6/l$     | 4      | 0      | $-6/l$    | 2      |
| $-A/l$ | 0         | 0      | $A/l$  | 0         | 0      |
| 0      | $-12/l^2$ | $-6/l$ | 0      | $12/l^2$  | $-6/l$ |
| 0      | $6/l$     | 2      | 0      | $-6/l$    | 4      |

Lokalna matrica krutosti ima sljedeće važne osobine:

1. Svi elementi na glavnoj dijagonali su pozitivni, tj.  $e_{i,i} > 0$
2. Matrica krutosti je simetrična oko glavne dijagonale, tj.  $e_{i,j} = e_{j,i}$

Kako se uvjeti ravnoteže za svaki čvor sistema postavljaju u globalnom koordinatnom sustavu, treba transformirati lokalne pomake u globalne koordinate. Ta transformacija se radi matricom transformacije, koja je istog reda kao i lokalna matrica krutosti.

Matrica transformacije štap: (7)

|       |    |   |   |    |   |
|-------|----|---|---|----|---|
| $T =$ |    |   |   |    |   |
| c     | -s | 0 | 0 | 0  | 0 |
| s     | c  | 0 | 0 | 0  | 0 |
| 0     | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 |
| 0     | 0  | 0 | c | -s | 0 |
| 0     | 0  | 0 | s | c  | 0 |
| 0     | 0  | 0 | 0 | 0  | 0 |

gdje je:

$$c = \cos \alpha$$

$$s = \sin \alpha$$

$\alpha$  = kut nagiba između lokalne osi x i globalne osi x

Lokalni pomaci se izražavaju preko sljedeće matrične jednačbe:

$$v_l = T \cdot v \quad (8)$$

Sile na krajevima štap u globalnom koordinatnom sustavu:

$$S = T^t \cdot S_l \quad (9)$$

Iz odnosa sila u čvorovima i pomaka čvorova slijedi:

$$S_l = E_l \cdot v_l \quad (10)$$

Uvrštavanjem gornje jednačbe:

$$S_l = E_l \cdot T \cdot v \quad (11)$$

Množenjem obje strane jednačbe s  $T^t$ :

$$T^t \cdot S_l = T^t \cdot E_l \cdot T \cdot v \quad (12)$$

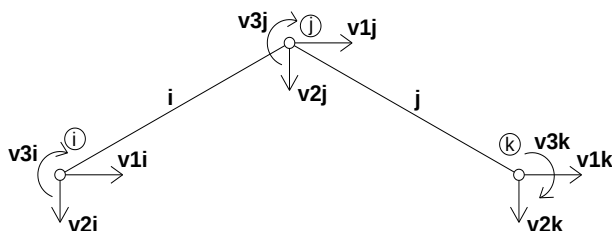
$$S = E \cdot v \quad (13)$$

gdje je  $E$  globalna matrica krutosti jednog štapa.

$$E = T^t \cdot E_l \cdot T \quad (14)$$

#### 4. FORMIRANJE MATRICE KRUTOSTI CIJELOG SUSTAVA

Matrica krutosti cijelog sistema sastavlja se od podmatrica krutosti svakog pojedinog elementa. Na mjestu spajanja dva elementa, tj. u čvoru, pomaci su jednaki za oba elementa (slika 9. prikazuje dva elementa spojena u čvoru j).



Slika 9. Pomaci u čvorovima elemenata

Na spoju dva elementa, u ovom slučaju u čvoru j, pomaci čvora j su zajednički za oba elementa. U matrici krutosti to znači da se zbrajaju podmatrice krutosti koje se odnose na taj. Ovdje osjenčani dijelovi predstavljaju pojedine lokalne matrice krutosti elemenata i i j. U tamnije osjenčanom području elementi matrica  $E_i$  i  $E_j$  se zbrajaju (slika 10.).

$$\text{Npr.: } E(4, 4) = E_i(4, 4) + E_j(1, 1)$$

| 1 | 2 | 3     | 4 | 5 | 6 | 7     | 8 | 9 |          |
|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|----------|
|   |   |       |   |   |   |       |   |   | $v_{1i}$ |
|   |   |       |   |   |   |       | 0 |   | $v_{2i}$ |
|   |   | $E_i$ |   |   |   |       |   |   | $v_{3i}$ |
|   |   |       |   |   |   |       |   |   | $v_{1j}$ |
|   |   |       |   |   |   |       |   |   | $v_{2j}$ |
|   |   |       |   |   |   |       |   |   | $v_{3j}$ |
|   |   |       |   |   |   | $E_j$ |   |   | $v_{1k}$ |
|   |   |       |   |   |   |       |   |   | $v_{2k}$ |
|   |   |       |   |   |   |       |   |   | $v_{3k}$ |

Slika 10. Matrice  $E_i$  i  $E_j$

U slučaju da se u čvoru j sastavljaju 3 elementa (i, j, l), matrica se formira prema skici na slici 11.:  
 $E_l$ :

|  |   |  |  |   |  |          |
|--|---|--|--|---|--|----------|
|  |   |  |  |   |  | $v_{1j}$ |
|  | 1 |  |  | 3 |  | $v_{2j}$ |
|  |   |  |  |   |  | $v_{3j}$ |
|  |   |  |  |   |  | $v_{1l}$ |
|  | 4 |  |  | 2 |  | $v_{2l}$ |
|  |   |  |  |   |  | $v_{3l}$ |

Slika 11. Podmatrice matrice krutosti elementa l

Matrica krutosti  $E$ :

|  |  |       |   |  |       |          |
|--|--|-------|---|--|-------|----------|
|  |  |       |   |  |       | $v_{1i}$ |
|  |  |       |   |  |       | $v_{2i}$ |
|  |  | $E_i$ |   |  |       | $v_{3i}$ |
|  |  |       |   |  |       | $v_{1j}$ |
|  |  |       | 1 |  |       | $v_{2j}$ |
|  |  |       |   |  | 3     | $v_{3j}$ |
|  |  |       |   |  |       | $v_{1k}$ |
|  |  |       |   |  | $E_j$ | $v_{2k}$ |
|  |  |       |   |  |       | $v_{3k}$ |
|  |  |       |   |  |       | $v_{1l}$ |
|  |  |       | 4 |  |       | $v_{2l}$ |
|  |  |       |   |  | 2     | $v_{3l}$ |

Slika 12. Globalna matrica krutosti za elemente i, j i l

U osjenčanom području matrice krutosti, koje se vidi na slici 12., zbrajaju se elementi podmatrice  $E_i$ ,  $E_j$ ,  $E_l$ .  
Npr.:

$$E(4, 4) = E_i(4, 4) + E_j(1, 1) + E_l(1, 1) \text{ . Itd.}$$

Globalna matrica krutosti sustava ima ista svojstva kao i lokalna matrica krutosti. Svi elementi na dijagonali su pozitivni i matrica krutosti je simetrična. Također matrica krutosti nije u cijelosti popunjena, već je mnogo elemenata jednako nuli. Popunjenost matrice je oko dijagonale, tako da matrica ima određenu širinu ili band. Širina banda ovisi o numeraciji čvorova, tj. poželjno je da razlika početnog i krajnjeg čvora nekog elementa bude što je moguće manja. Širina banda matrice krutosti može se odrediti prema formuli:

$$B = 3 \cdot \max |i - j| + 3 \quad (15)$$

#### 4.1. Opterećenje

Desna strana jednadžbe je vektor čvornih opterećenja. Opterećenja mogu biti zadana kao koncentrirane sile u čvorovima, ili kao lokalno opterećenje na elementima. Ako je opterećenje zadano kao lokalno na elementima, treba izračunati reakcije od lokalnog opterećenja na obostrano upetoj gredi. Tim reakcijama treba pribrojiti eventualno čvorno opterećenje.

#### 4.2. Rubni uvjeti

Formirana matrica krutosti je singularna, tj. njena determinanta je jednaka nuli. Da bi sustav bio regularan i imao jedno rješenje, potrebno je unijeti rubne uvjete. Rubne uvjete čine poznati pomaci ležajeva. To su najčešće spriječeni pomaci koji su jednaki nuli. Jednadžbe koje se odnose na te poznate pomake nije potrebno postavljati jer su njihovim pomaci poznati (= 0). Eliminacija tih jednadžbi može predstavljati probleme oko ponovne numeracije i memoriranja jednadžbi. Problem se može nadici pogodnom numeracijom čvorova tako da npr. čvorovi s poznatim pomacima budu numerirani posljednji. Zato se za posljednje čvorove i ne postavljaju jednadžbe ravnoteže. Moguće rješenje je i da se na dijagonalni element matrice krutosti koji odgovara poznatom pomaku pribroji veliki broj, bitno veći nego ostali elementi na dijagonali (npr.  $10e10$ ). To ima značenje postavljene opruge veoma velike krutosti. Na taj se način dobiva odgovarajući pomak koji je vrlo mali.

Dodatni problem koji se može pojaviti kod matrice krutosti je nula na dijagonali. To se može pojaviti kod čvorova koji su zglobovi. Problem se može riješiti izbacivanjem te jednadžbe, kod koje nije poznata rotacija čvora, ali je poznat moment koji je jednak nuli. Također se na dijagonali može dodati proizvoljno mali broj, što je ekvivalentno dodavanju opruge male krutosti. To za posljedicu ima dobiveni moment savijanja u čvoru, ali vrlo male vrijednosti, praktično nula.

#### 4.3. Rješavanje sustava jednadžbi

Postavljeni sustav jednadžbi predstavlja n jednadžbi s n nepoznanica. Za rješavanje sustava jednadžbi koriste se različite metode rješavanja, npr. Gaussova eliminacija, metoda Choleskog i sl.

Za bilo koju metodu koja se primjenjuje važno je:

1. da zauzima što manje memorije
2. da broj računskih operacija bude što manji
3. da greška zaokruživanja bude što manja

### 5. ZAKLJUČAK

Prikazani postupak postaje prilično složen kada se radi o sustavu s većim brojem elemenata, ili kada su elementi složenijeg oblika kao što su volumenski elementi (tip AB ploče). U tom slučaju problem postaje gotovo nerješiv bez upotrebe računalne tehnologije. Računala s jakim procesorima mogu vrlo brzo riješiti velike sustave jednadžbi u matricnoj formi i već za nekoliko sekundi generirati rješenje. Upravo zato metoda konačnih elemenata nalazi svoju široku primjenu u praksi te se teži daljnjem usavršavanju matematičkog modela koji bi se potom mogao implementirati unutar računalnog programa, a rezultati bi bili još precizniji i pouzdaniji.

### 6. LITERATURA

- [1] Bernhard, F.: StatikprogrammefürPersonalcomputer, Dusseldorf, Werner, 1992.
- [2] Michael, A.: Statik im Bauwesen, TabellenkalkulationzurLösungingenieurtechnischer Aufgaben, VerlagBauwesen, Am Friedrichshoin 22, 10 407 Berlin.
- [3] Pandit, G.S.; Gupta, S.P.: Structuralanalysis; A matrixapproach, Tata McGraw-HillPublishingCompanyLimited – New Delhi, 1986.
- [4] Thieme, D.: EinführungindieFinite-Elemente-MethodefürBauingenieure, VerlagfürBauwesenGmbH, Berlin 1980.
- [5] Sekulović, M.: Teorija linijskih nosača, Građevinska knjiga Beograd, 2005.

#### Kontakt autora:

**Vladimir Mirković, dipl. ing. grad.**

KB Mirkowsky d.o.o.

Cehovska 8

34000 Požega

034/274-851

[kb-mirkowsky@po.t-com.hr](mailto:kb-mirkowsky@po.t-com.hr)

**Josip Užar, struč.spec.ing.grad.**

Grad Požega; Upravni odjel za komunalne djelatnosti i gospodarenje Grada Požege

Trg svetog Trojstva 1

34000 Požega

095/801-8539

[josip.uzar@gmail.com](mailto:josip.uzar@gmail.com)

# GRADITELJSKI SPOMENICI PROHUJALIH EPOHA I STILOVA

## MONUMENTS OF PAST ERAS AND STYLES

*Mateja Ladišić*

Stručni članak

**Sažetak:** Ljetni je semestar započeo s idejom da se pod vodstvom naših nastavnika gospodina Ivana Muhovca i gospodina Matije Oreškovića studenti upute na dvodnevnu stručnu ekskurziju krajem travnja. Očekujući velebne i raskošno uređene građevine pune stranih turista, ostali smo ugodno iznenađeni malim crkvicama od kojih nam je zastajao dah te rustikalnim bunjama i posve skromnim, tajnovitim naseljima. Profesori su nas, organizirajući nam ovu ekskurziju, oduševili svojim neiscrpim znanjem i vještinom snalaženja u prostoru te moram priznati izvrsnom kondicijom. Dakako, dokazali su nam da svaka građevina, pa i ona mala i skromna, ima ono nešto što je čini specifičnom, lijepom i nadasve vrijednom. Nadam se da će naši dojmovi potaknuti nekoga da posjetiti ove lokalitete, jer to zaista vrijedi vidjeti.

**Ključne riječi:** bunja, crkva, ekskurzija, graditeljstvo, građevina, katedrala, kupola, lažna kupola, lokalitet, materijal, oltar, povijesni ostaci, spomenik, tumul/tumulus, spolij

Professional paper

**Abstract:** The summer semester has brought up the idea of a two-day field trip in April, guided by professor Ivan Muhovec and Mr Matija Orešković. We expected to see striking historical buildings overcrowded by foreign tourists but what we actually visited were breathtaking little churches, rustic corbel stone-huts and tucked away villages. By organizing this inspiring field trip, our professors have passed on their inexhaustible knowledge on cultural, historical and construction aspect of these edifices. We marvelled at their good physical shape as well a great feeling for orientation in the area. They have proved us that every structure, no matter how tiny and modest in its shape, has something that makes it very special and valuable. I hope that our positive experience from this trip will inspire others to visit these localities as they are truly worth a visit.

**Key words:** church, field-trip, civil engineering, cathedral, building, dome, corbled dome, locality, material, altar, historical ruins, monument, tumulus, spolia (lat. spoliolum)

### 1. ODLAZAK IZ PANONSKE NIZINE

Imali smo veliku volju da nešto novo naučimo, ali da se i odlično zabavimo. Ukricali smo se u autobus u 4 sata ujutro. Još snene, ali uzbuđene radi dugo očekivanog puta, autocesta nas je povela od Varaždina, preko Zagreba do Karlovca, renesansnih vrata Panonske nizine. Čim smo prošli rijeku Kupu, ušli smo među blage brežuljke, a što smo se kretali dalje ulazili smo u sve razvedenije planinsko područje. Prolazeći pokraj planine Kleka koja u meni uvijek probudi određenu dozu znatiželje, i kroz tunel Mala Kapela dugačkog 5821 m, ušli smo u Liku. Tu nas je dočekala još jedna stožasta stijena, Zir u samom Ličkom polju. Njena visina je oko 850 m, a u vezi s njom naš profesor izrekao je jedan prigodni stih koji opisuje spomenutu stijenu: „*Da je mlika kao Lika, sir bi bio kao Zir.*“ Prolaskom kroz tunel Sv. Rok, dužine 5679 m, došli smo u područje sjeverne Dalmacije. Nakon kratkog zaustavljanja krenuli smo preko Masleničkog mosta (380 m) do Ravnih Kotara, koji su doista opravdali ime svojom prostranošću.

### 2. ANTIČKA AENONA

Naposljedku smo stigli do svog prvog odredišta, gradića Nina. On se smjestio na lagunarnom otočiću gdje su tijekom cijelog prvog stoljeća prije Krista obitavali ilirski Liburni. Nakon rimskih osvajanja u I. st. pr.Kr. ilirska općina na području Nina postaje dijelom Rimskog Carstva. Od tada se definira urbana matica antičke Aenone, tj. Nina, koja se može vidjeti u pravokutnoj uličnoj mreži, te ulicama cardo maximus orijentirane približnim pravcem sjever-jug i decumanus maximus s pravcem istok-zapad. Na raskrižju tih dviju glavnih gradskih ulica, sukladno tada važećim urbanističkim načelima, smjestio se forum, glavni gradski trg. Ninski cardo maximus počinje kod južnih gradskih vrata do kojih nas je s kopna doveo most. Njega je sredinom I. st. pr.Kr. dao sagraditi ugledni domaći građanin Gaius Julius Curticus Aetor. Most je bio dug 187 stopa (oko 60 m) i širok 10 stopa (oko 3 m). Decumanus maximus počinjao je od mosta kod istočnih gradskih vrata. Uz sjeverni rub foruma, tj. sjeverno od decumanusa maximusa nekad se nalazio veliki rimski hram, najveći

na Jadranu. Danas se na tom mjestu nalaze tek neznatni ostaci koje smo imali priliku vidjeti, te si uz pomoć nedavno rekonstruiranog stupa predložiti samo veličinu hrama. Sve dosad viđeno odalo je Nin kao skromno i pusto mjesto, što je pomalo razočaralo naša očekivanja, no cjelokupni dojam je popravila skladna predromanička crkva Sv. Križa iz IX. stoljeća (slika 2.2.), koja pripada starohrvatskom graditeljstvu. Do prije nekoliko desetaka godina smatralo se da su ju gradili nevješti majstori, a tako se učinilo i nama pa su se na malu crkvicu obrušili komentari kako bi je i svatko od nas mogao izgraditi. Zapravo, tu tezu opovrgao je prof. Mladen Pejaković koji je kroz mnoga istraživanja utvrdio u crkvi niz geometrijskih nepravilnosti koje nisu bile rezultat neukosti već postizanja sklada između građevine, godišnjeg i dnevnog gibanja Sunca te položaja građevine u danom prostoru (slika 2.1.).



**Slika 2.1.** Smještaj sunčeve zrake u određeno doba dana u odnosu na otvor daje crkvi ulogu „naprave za očitavanje vremena“



**Slika 2.2.** Prva zajednička fotografija kod crkve Sv. Križa u Ninu

### 3. POLJE PRAHULJE I GRAD POD OKRILJEM SV. ŠIMUNA

Nakon Nina krenuli smo prema Zadru. Prije Zadra zaustavili smo se kod polja Prahulje gdje smo u daljini ugledali ranoromaničku crkvicu Sv. Nikole (slika 3.1.), izgrađenu na ilirskom grobnom tumulusu. Ono što nas se posebno dojmilo je slikoviti pejzaž polja u koji se crkva odlično uklopila. Također su nas iznenadili nagibi pokosa tumulusa za koje osobno ne bih pretpostavila da su pod idealnim inženjerskim nagibom 1:2 da se nismo penjali na sam tumulus. Inače, ovo zdanje je s početka XII. stoljeća, a nadograđivano je obrambeno krunište s 8 zubaca, kao izvidnica u svrhu obrane od Turaka.



**Slika 3.1.** Crkva Sv. Nikole u polju Prahulje

Još uvijek pod dojmom ove simpatične građevine krenuli smo do Zadra. Prvo smo na zapadnom dijelu zadarske rive zastali kod Pozdrava Suncu i morskih orgulja koje su nas uz poticanje vjetra i valova počastile prekrasnim simfonijama. Nastavili smo šetnju kroz grad. Prvi imenom poznati stanovnici na tom području (Jadera) bili su ilirski Liburni, na što nas upućuju zapisi iz IV. st. pr. Kr. Kasnije dolaze Rimljani pa Jadera postaje grad u II. st. po. Kr. Rimski koncept gradogradnje utisnut je i u današnju matricu ulične mreže. Tu su cardo maximus, decumanus maximus, odnosno današnja Kalebarga kojom smo prošetali, a tu je i forum.

Nedaleko od rimskog foruma nalaze se i ostaci crkve Stomorice (slika 3.2.), kod koje su danas sačuvani samo temelji. Nekoć je to bila šesterolisna predromanička crkva posvećena Sv. Uršuli. Imala je još i kupolu, a umjesto jedne apside sagrađen joj je pravokutni krak sa zvonikom. U 16. stoljeću je porušena, 1883. godine arheološki istražena, nakon toga zasuta, te napokon 1966. godine otkopana i konzervirana. Priča kaže da oblik tlocrta ove crkvice, koja podsjeća na ključ, simbolizira ključeve Sv. Petra.



Slika 3.2. Crkva Stomorice

Na samom rimskom forumu nalazi se i poznati simbol Zadra, crkva Sv. Donata (slika 3.3.). Okrugla predromanička crkva se prvobitno nazivala crkva Sv. Trojstva, no od XV. stoljeća nosi ime sveti Donat, po biskupu koji ju je dao sagraditi početkom IX. stoljeća. U temeljima crkve nalaze se mnogi spoliji, odnosno dijelovi prethodnih antičkih građevina s foruma, a poslužili su kao građevni materijal kod gradnje crkve. Prvobitno je područje ispred crkve bilo ispunjeno zemljom, što dokazuju vrata čiji je prag dosta podignut od tla.



Slika 3.3. Crkva Sv. Donata u Zadru

Posjetili smo i zadarsku katedralu, posvećenu Sv. Stošiji (Anastaziji), koja s pravom nosi titulu najveće katedrale u Dalmaciji. U najstarijim dijelovima je starokršćanska bazilika, a današnji izgled romaničke crkve oblikovan je u XII. stoljeću. Za vrijeme križarske opsade i zauzimanja grada 1202. godine katedrala je bila oštećena, a kasnije obnovljena i produžena. Portali su nas oduševili bogato ukrašenim reljefima. Glavni portal ima u luneti reljef gotičkog stila i posvetni natpis nadbiskupa Ivana iz 1324. godine. Njen zvonik građen je u XV. i XIX. stoljeću i to uglavnom u stilu neoromanike.

#### 4. ŠKABRNJA

U Škabrnji, koja je napadnuta istog dana kada je pao i Vukovar, ubijena su 84 Hrvata, od toga 26 branitelja i 58 civila. Na groblju u Škabrnji podignut im je spomenik (slika 4.1.) pred kojim smo i mi zastali. Smatram da je većina nas vidjela Škabrnju na malim ekranima, kada su mnogi političari dolazili odavati počast žrtvama. Dok sam stajala pred imenima preminule djece i staraca, koji

su danak srpske agresije platili životima, preplavio neopisiv osjećaj poštovanja prema ovom mjestu. Na samom groblju nalazi se crkva Sv. Luke. Oko nje nalazilo se srednjovjekovno selo Kamenjane, koje je u XIII. i XIV. stoljeću posjedovala obitelj Šubić, a kasnije su tamo zemlju kupovali i Zadrani. Crkva Sv. Luke (slika 4.2.) sagrađena je u XIII. stoljeću. Njen šiljasti svod sagrađen je u XIV. stoljeću. Potkraj XVII. stoljeća crkva je pretrpjela oštećenja, nakon kojih je obnovljena, a slično se dogodilo i tijekom Domovinskog rata. Danas je ona potpuno obnovljena. Unutrašnjost crkve je jednobrodna i završava jednom širokom poluoblom apsidom. Presvođena je šiljastim gotičkim svodom, ojačanim dvjema poprečnim pojasnicama. Na sredini apside je mali prozor, a na pročelju, iznad portala, se nalazi jedan uski gotički prozor iznad kojeg je i mali okrugli otvor.



Slika 4.1. Spomenik žrtvama Domovinskog rata

#### 5. CARSTVO BUNJA

Već pomalo umorni priželjkivali smo odmor. Ušli smo u područje bunja koje nas je nekako razbudilo i posebno oduševilo. Zaustavili smo se kod nekoliko bunja u blizini Vodica koje smo doživjeli kao hrpu kamenja dok smo im prilazili. Kada se svatko od nas s dozom nesigurnosti uvukao u bunju, iznenadila nas je prostranost tih zdanja iznutra. Bunje su tip tolosoidnih građevina, a bez obzira na njihove male dimenzije sadrže sve elemente kao i velebna Atrejeva grobnica (tzv. riznica) u Grčkoj, tolosoidna građevina s pristupnim putom dromosom, ulaznim hodnikom stomionom te grobnom dvoranom u formi košnice (grč. tholos).



Slika 5.1. Bunja izvana

I na našim bunjama mogu se prepoznati spomenuti elementi, kao i impresivna lažna kupola koja nadsvođuje sam tholos. Bunje su u Dalmaciji nekada služile isključivo kao poljski zakloni i kao alatnice, a vjerujem da mnogim stanovnicima i danas tome služe. Doista nas je impresionirao način gradnje bunja te sam izgled tih malih rustikalnih građevina (slika 5.1.).

## 6. OTOČIĆ LJULJEVAC

Napokon smo stigli u Tribunj gdje nas je dočekaao smještaj, ali tu nije bio kraj našeg prvog dana kao što smo očekivali. Nakon što smo se osvježili slijedila je vožnja brodićem prema tvrđavi Sv. Nikole na otočiću Ljuljvcu (slika 6.1.). Ta vožnja nam je omogućila pogled na Tribunj, Srima pa i na Šibenik. Velebnu renesansnu tvrđavu Sv. Nikole izgradio je 1540. godine veroneški graditelj Giangirolamo Sanmicheli (1513.-1558.), nećak poznatog graditelja Michelea Sanmichelija (1484.-1559.). Impozantna tvrđava izgrađena tik uz kopno, a na ulazu u kanal Sv. Ante pred Šibenikom trebala je služiti kao obrana. Doznali smo da ona u tu svrhu nikad nije poslužila, možda upravo radi svog zastrašujućeg izdanja. Nakon razgledavanja unutrašnjosti tvrđave u kojoj su se od morske soli formirali stalagmiti, vratili smo se u Tribunj. Za kraj našeg prvog dana odlučili smo se proveseliti, dok su se neki povukli u sobe kako bi napuniti tijelo energijom za podvige u sljedećem danu.



**Slika 6.1.** Tvrđava Sv. Nikole na otoku Ljuljvcu

## 7. JUTRO U PRIŽBI

Novi dan počeli smo odlaskom prema Prižbi na poluotoku Srima. Tamo nas je dočekala ranokršćanska dvojna bazilika. Arheološka istraživanja na tom lokalitetu, pod vodstvom Zlatka Gunjače, provedena su od 1969. do 1974. godine, da bi nakon toga uslijedila konzervacija. Otkrivene su dvije jednobrodne bazilike izgrađene u različitim vremenima. Zbog toga ih nazivamo basilicae geminatae ili „crkve blizanke“ – dvojne crkve (slika 7.1.). Ove dvojne bazilike su ujedno i najkompletnije istražene na području Dalmacije. Iako mišljenja o vremenu njihove gradnje nisu potpuno usuglašena, prevladava ono koje obje crkve smješta u 6. stoljeće. Sjeverna crkva je starija, a južna joj je nešto kasnije pridružena. U sklopu južne crkve nalaze se i grobovi, otkriveni istočno od apsida obje bazilike.



**Slika 7.1.** Dvojne bazilike u Prižbi

Ima ih osam i uglavnom su zidani, s prilazima, klupama te kosturnicama. Oltari s ciborijima se nalaze u središnjem dijelu svetišta. Zahvaljujući pronađenom materijalu, rekonstruirane su obje oltarne ograde. Na više mjesta su uočeni ostaci poda od žbuke koja se sastojala od smjese vapna i šljunka s primjesama smrvljene opeke.

## 8. KREŠIMIROV GRAD

Nakon Prižbe upustili smo se u razgledavanje Šibenika. Šibenik je najmlađi grad na našoj jadranskoj obali, a spominje se od XI. stoljeća. U tom gradu osobno su me se dojmile duge uske ulice okružene visokim zgradama, što doista odaje ugođaj dalmatinskog grada. Najznačajnija građevina u Šibeniku je katedrala sv. Jakova (slika 8.1.) građena tijekom XV. i XVI. stoljeća.

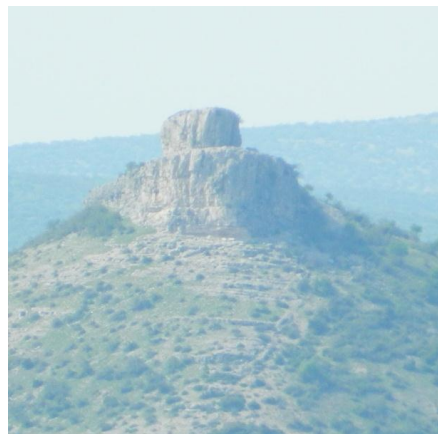


**Slika 8.1.** Katedrala Sv. Jakova u Šibeniku

Nastanak katedrale obuhvaća tri različite stilsko-razvojne faze od kojih se prva naziva po biskupu Boganu Pulšiću (1402.-1437.) koji je počeo s njenom gradnjom, dok se preostale dvije nazivaju prema dvojici najvažnijih graditelja koji su definirali njen današnji lik – Jurju Matijevom Dalmatincu i Nikoli Ivanovom Firentincu. Tijekom stoljetnog razdoblja gradnje katedrala je nastajala sukcesivnim izmjenama triju različitih arhitektonskih koncepcija, pri čemu su se izmijenila tri različita stila: prvi gotički, drugi mješoviti gotičko-renesansni i treći renesansni. Ono što je specifično za katedralu jest dvodimenzionalnost glava tadašnjih mještana u prirodnoj veličini, što je bila ideja Jurja Dalmatinca. Njegovo ime ostaje ugravirano u samu katedralu. Ušli smo u katedralu sa zapada. Poseban dojam ostavila je krstionica (slika 8.2.), koja je bogato urešena biblijskim motivima. Mogli smo primijetiti i zatege unutar katedrale, koje su postavljene radi statičkih razloga.



Slika 8.2. Krstionica katedrale Sv. Jakova



Slika 9.1. Pogled na Ostrovicu

## 9. LOKALITET BRIBIRSKA GLAVICA

Nakon Šibenika, preko Šibenskog mosta otišli smo za Gaćeze, gdje smo zastali kod bunje „pod liburnijskom Arauzonom“ te se nakon toga naš put nastavlja do Bribirske glavice. S Bribirske glavice je izvrstan pogled na okolni krajolik, a nama je pogled zapeo i za stožasti lokalitet Ostrovicu (slika 9.1.), na kojoj je nekad stajala srednjovjekovna utvrda pod vlašću moćnih Šubića Bibirskih, koja je u XIX. stoljeću zamijenjena za Zrin na Zrinskoj gori. Od tada se Šubićima dodaje i naziv Zrinski. Ona sama podsjeća na utvrdu, no zapravo je to stijenska masa. Bribirska glavica je skup povijesnih ostataka: od romaničke crkve, zatim gotičke crkve Sv. Ivana iz XIII. st. te samostana i crkve Sv. Marije (XIII.st.), preko ostataka dvora bana Pavla Šubića Bribirskog (XIII. st.) te antičkih vodospremi (I.-II. st.) do kripe s kasnoantičkim sarkofazima (IV. st.) i ostataka šesterolisne (odnosno osmerolisne) starohrvatske crkve (IX. i XI.st.). Također smo naišli na deponij prikupljenih fragmenata sedre kojoj je glavna karakteristika specifična težina od 12 kN/m<sup>3</sup> te se upravo radi toga često koristila kao materijal za formiranje lukova.

## 10. „SMIŠNA“ CRKVICICA SV. PETRA

Posjetili smo i romaničku crkvicu Sv. Petra (slika 10.1.) iz IX. stoljeća koja je usamljeni ukras polju pod naseljem Morpolača. Rijetki zapravo znaju za tu crkvicu, jer nikakvi putokazi ne upućuju na nju. Riječ je o jednostavnoj, jednobrodnoj građevini s nekom vrsti izdužene, poluvaljkasto nadsvođene zaobljene apside. Zvonik je kvadratne osnove i jednom stranom priljubljen uz crkvu. Preostale tri strane raščlanjene su visećim slijepim lukovima, a sam vrh s jednostrukim otvorom nastao je kasnije. Prizemlje zvonika ima zidani svod. Crkva je zaštićeni spomenik kulture i obnovljena je 1988. godine. U zvoniku nasuprot ulaznim vratima s desne strane nalazila se kamenica za blagoslovljenu vodu, postavljena na nadgrobni spomenik koji je upotrijebljen za podnožje kamenici. Na spomeniku se primjećivalo samo nekoliko starohrvatskih slova pisanih bosančicom. Uz crkvu je bilo groblje, odnosno danas su to brojni steći. Ovom, kako smo je mi nazvali, smišnom crkvicom, što u ovoj regiji znači simpatičnom, zgodnom, završila je naša pustolovina u Dalmaciji.



Slika 10.1. Naša družina pred crkvom Sv. Petra

## 11. DOJMOVI S PUTOVANJA

Nismo vidjeli neke raskošno uređene građevine, ali vjerujem da će nam ovo putovanje ostati u lijepom sjećanju. Oduševile su nas male crkvice od kojih vam zastaje dah, te rustikalne bunje i posve skromna, tajnovita naselja. Profesori koji su ovu ekskurziju i organizirali oduševili su nas neiscrpim znanjem i vještinom snalaženja u prostoru. Dokazali su nam da svaka građevina, i ona mala i skromna, ima nešto što je čini posebnom i lijepom. Dojmove s putovanja prepričavamo i danas. Osim što smo upoznali neke nama nepoznate i samozatajne građevine, upoznali smo i jedni druge. Neki su sami sebi dokazali svoje sposobnosti i želju za učenjem te interes za područje kojim se bavimo.

I have to admit that we haven't seen some tremendous or delightful buildings, but I believe that this trip will stay in our memories for a long time. I expect that we will see some tremendous or delightful buildings like in primary school or highschool, which are full of tourists.

However, I was impressed by little beautiful churches, rustic little houses and secret, decent villages. This excursion was organized by our teachers which have surprised us with inexhaustible knowledge, ability of managing in space, and I have to admit, with excellent shape. They have also proved us that every building, even the little one and decent is nice and has something specifically. We talk about our impressions every day, because we have seen some unknown and self-effacing building, but we have also introduced each other and ourselves. Some of us find new abilities, desire to learn something new and interest for the area of civil engineering. I think that this is the biggest advantage of this excursion. I hope that this text will induce someone to visit this localities because it's really worth seeing.

### Kontakt autora:

#### **Ladišić Mateja**

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33, 42000 Varaždin

098/908-9808

[mateja.ladistic@gmail.com](mailto:mateja.ladistic@gmail.com)

## GUBICI VODE U VODOOPSKRBNOM SUSTAVU

### WATER LOSSES IN WATER SUPPLY SYSTEM

*Josip Užar*

Stručni članak

**Sažetak:** U radu je analizirana problematika vodoopskrbnih sustava sa stanovišta neekonomičnosti i neracionalnosti u pogledu gubitaka vode. Prikazan je uređaj za mjerenje protoka te su pokazane metode pronalaženja gubitaka. Nadzorno-upravljački sustav predstavlja ekonomski optimalno i tehnički fleksibilno rješenje u održavanju postojećih i budućih vodoopskrbnih poduzeća, a zauzima važno mjesto u radu sustava. Također su dane smjernice pristupa koji dovodi do smanjenja gubitaka, kao i osnovne informacije o IWA metodologiji vođenja bilance.

**Ključne riječi:** gubici vode, smanjenje gubitaka, telemetrijski sustav za daljinski nadzor, vodomjeri

Professional paper

**Abstract:** This paper analyzes the issue of water supply systems from the point of irrationality and uneconomical in terms of water losses. With the basic display devices for measuring flow, detailed view is given in the methods of finding the losses. The supervisory control system is technically flexible and economically optimal solution to maintain existing and future water supply companies, and occupies an important place in the work of system. Also, is given approach that leads to a reduction in losses and basic information on the IWA methodology of keeping balance.

**Key words:** water losses, reduce losses, telemetry system form remote monitoring, water meters.

#### 1. UVOD

Često se zaključuje kako Republika Hrvatska obiluje pitkom vodom, a tome u prilog govori i svrstavanje među 30 vodom najbogatijih zemalja u svijetu. Mnogi vodni tokovi otkrivaju bogatstvo površinskih voda. No, za vodoopskrbu se koristi oko 90% podzemne vode, dok je tek 10% zahvaćene površinske vode iz vodotoka i višenamjenskih akumulacija. Podaci o zalihama obnovljive podzemne vode ukazuju na smanjenje količine vode iako se, zbog nedostatnih istraživanja, dobar dio takvih informacija bazira na procjenama. Sve veći utjecaj industrije i stvaranja nelegalnih odlagališta otpada daje lošu sliku kvalitete površinskih voda u vidu njenog iskorištavanja u vodoopskrbi. Najveći nedostatak u vodoopskrbi su gubici, što je nedopustivo i kao posljedicu ima neekonomično poslovanje vodoopskrbnih poduzeća. Osim toga, vrlo velik problem može biti i neracionalno trošenje i rasipanje vode, jer dobre vode je sve manje, a u nekim krajevima je i nema zbog siromaštva ili prekomjerne zagađenosti. Stoga je u postojećim i novim vodoopskrbnim sustavima od prijekog interesa formiranje stručne službe koja će biti opremljena uređajima i instrumentima za mjerenje, kontrolu, opažanje i saniranje kvarova, odnosno gubitaka vode u vodoopskrbnim objektima. Što su gubici vode u sustavu vodoopskrbe veći, to je i manja realizacija naplate vode, a troškovi održavanja ostaju isti ili se povećavaju (npr. raste cijene električne energije), pa je time borba protiv gubitaka još opravdanija. Podaci iz

2006. godine govore kako je prosječan gubitak vode (nenaplaćene vode) u javnim vodoopskrbnim sustavima iznosio 40%, a neki noviji podaci tvrde da je taj postotak nešto veći - oko 46%. Izraženo u novcu, ukupni gubici za 2005. godinu iznosili su približno 2,1 milijardu kuna, što je prosječno gledano po županijama 100 milijuna kuna godišnje. Procjena Svjetske banke daje navode da godišnja količina neprihodovane vode vodoopskrbnih sustava u svijetu iznosi 48,6 milijardi kubičnih metara, ili u 14,6 milijardi dolara godišnje. Dakle, stanje u Hrvatskoj može se usporediti sa stanjem u svijetu. Prema Svjetskoj banci nenaplaćena voda trebala bi iznositi manje od 25%, dok Europska unija ima i strože kriterije - gubici ne bi smjeli biti veći od 15%. Zemlje poput Njemačke, Danske i Japana imaju gubitke ispod 10%, slična Hrvatskoj je Italija koja bilježi oko 42% gubitaka, dok neke afričke zemlje imaju gubitke i do 80%. Gubici vode su sveprisutan problem u svim vodoopskrbnim sustavima i kao takvi se ne mogu potpuno isključiti. Međutim, može se raditi na njihovom smanjenju, što zahtijeva redovito i kvalitetno održavanje mreže.

#### 2. MJERENJE KOLIČINE PROTOKA

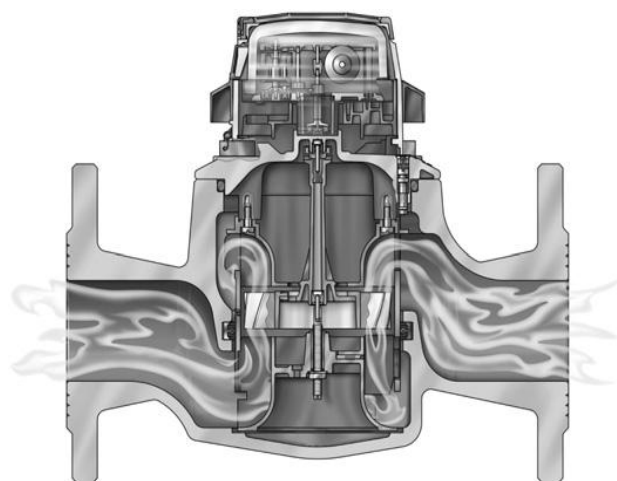
Mjerenje i bilježenje osnovnih veličina podrazumijeva hidrauličke veličine, električne i mehaničke veličine te parametre o kvaliteti vode. Hidrauličke veličine odnose se najčešće na količinu protoka, na tlak, brzinu vode, razinu vode i druga

značajna obilježja. U sklopu ovog rada spominju se mjerni uređaji za mjerenje količine protoka. Takvi uređaji mogu se postaviti na ulazu-izlazu vodospreme, na vodozahvatu, na pogonski obilježenim mjestima cjevovoda, na mjestu vodovodnih križišta (čvorovi), ali i na drugim mjestima koja doprinose učinkovitom praćenju rada sustava. Osim toga, vrlo često se postavljaju i na odvojenim dijelovima naselja radi mjerenja potrošnje pojedinih zona ili regija. U novije vrijeme mjerači protoka su povezani, a mjerni podaci se optičkim kabelom ili UKV radiovezom prenose u dispečerski centar (nadzorno-upravljački sustav). Mjerenje količine protoka je uvjet dobrog funkcioniranja i gospodarenja vodom i uvida u gubitke, te odgovarajuće naplate potrošene količine vode. Male količine protoka mjere se vodomjerima, a velike mjeračima protoka. Krajnji korisnici najviše interesa pokazuju prema vodomjerima jer oni predstavljaju potrošnju vode u kućanstvu, što je ekonomski trošak pa se autor ovog članka referira isključivo na njih. Postoji više vrsta vodomjera i oni uglavnom rade mehanički: vodomjer s krilom, vodomjer s prstenastim klipom i Woltmannov turbinski vodomjer. Vodomjer s krilom (slika 1.) radi na principu mjerenja brzine protoka pomoću rotora s krilcima. Voda tangencijalno udara u krilo i okreće ga određenom brzinom te prenosi okretaje pomoću niza zupčanika na kazaljke koje zatim prikazuju količinu, odnosno potrošnju vode.



**Slika 1.** Vodomjer s krilom

Vodomjer s prstenastim klipom radi na sličan način kao i krilni vodomjer s tom razlikom što umjesto krilatog točičića sadrži prstenasti klip. Za mjerenje većih količina vode upotrebljava se turbinski (Woltmannov) vodomjer. Ovi vodomjeri su dobili naziv po njemačkom inženjeru Reinhardu Woltmannu (1757.-1830.) koji je proučavao mjerenje protoka. Oni u cilindričnoj kućici imaju turbinski krug sa spiralnim lopaticama koji se pod utjecajem toka vode okreće i mjeri brzinu protoka vode te se na temelju tog podatka izračunava ukupna potrošnja. Pošto ovi vodomjeri teže registriraju manje količine protoka, ako postoji potreba da se oni zabilježe, može se ugraditi bay-pass. Slika 2. prikazuje Woltmannov vodomjer.



**Slika 2.** Woltmannov turbinski vodomjer

Osim spomenutih, postoje mjerači za veće količine vode koji se postavljaju uglavnom na cjevovode, vodospreme, vodozahvate i crpne stanice. Takvi mjerači mogu biti statički i dinamički. Statički mjerači su Venturijev mjerac, Pitotova cijev, elektromagnetski mjerac i ultrazvučni mjerac, dok su dinamički potapajući mjerac i turbinski mjerac.

### 3. PROBLEMI GUBITAKA VODE U VODOOPSKRBNOM SUSTAVU

Gubici vode odnose se na razliku zahvaćene i isporučene (naplaćene) količine vode, odnosno predstavljaju zahvaćenu vodu koja ne stigne do krajnjeg korisnika. Javljaju se duž čitavog vodoopskrbnog sustava, od vodozahvata pa sve do posljednjeg hidranta: na uređajima za pročišćavanje kroz nepravilno pranje filtera te kroz loše zasune i crpke; curenje na glavnim cjevovodima, osobito na ventilima i spojnica; kod glavnih cjevovoda koji nisu pravilno zaštićeni izolacijom; u crpnim stanicama gdje često radi lošeg održavanja dolazi do curenja na spojevima i crpkama. Vrlo je važno osobitu pozornost pridati održavanju vodoopskrbne mreže gdje su gubici vode najveći (obično su najmanje vidljivi) – spojevi, armature i priključci. Količina gubitaka ovisi o: tlaku u mreži (pri većem tlaku je i veći gubitak), dotrajalosti priključaka i vodoopskrbne mreže, o kvaliteti materijala, načinu izvedbe, nestabilnosti terena kao što su klizišta i slijeganje, o hidrauličkim udarima, o nemarnom i nestručnom radu službe za održavanje, o stupnju tehnološkog razvoja i opremljenosti vodoopskrbnog poduzeća, o organizaciji rada, educiranosti i sl. Također postoje gubici vode koji se javljaju kod priključaka većih promjera radi neosjetljivosti na bilježenje malih količina vode, a česti su i neovlašteni priključci na objekte koji troše vodu – nenaplaćena voda. Kod neispravnih kućnih instalacija i vodomjera nastaju gubici koji izazivaju neracionalno trošenje vode, što može štetno utjecati na naselja u kojima postoje mjere štednje vode zbog nestašice. Neracionalan može biti i fiksni način plaćanja vode koji se zbog nedostatka vodomjera može zateći u manjim selima. Gubici vode iz distribucijskih sustava su problem svih zemalja širom svijeta, a kod zemalja koje oskudijevaju vodom taj problem je i vrlo ozbiljan. Zato je prijeko potrebno uočiti i sanirati gubitke.

#### 1.1. Metode za pronalaženje gubitaka

Otkrivanje kvarova najvažnija je aktivnost koja doprinosi smanjenju gubitaka. Prilikom istjecanja vode na oštećenim cjevovodima često se događa da voda ne dođe do površine već se izgubi kroz porozno tlo ili nađe put u obližnji šaht. U takvim slučajevima se pomoću opreme za makro mjerenje ispituju neispravne dionice te se pojedine dionice zatvaraju, svodeći na taj način problem na mikro lokaciju. Razlikuju se dva načina otkrivanja gubitaka: indirektan način koji se sastoji u uspoređivanju proizvedene vode i obračunate potrošnje vode u određenom razdoblju (obično mjesec dana), i direktan način koji podrazumijeva ispitivanje mreže i objekata traženjem kvarova. Indirektnim načinom se najčešće u noćnim satima, kada je manja potrošnja, mjere gubici na relaciji vodozahvat-vodosprema. Kod toga se evidentira razina punjenja u jedinici vremena, a koriste se mjerači protoka na vodozahvatu i ulazu u vodospremu. Druga metoda je mjerenje gubitaka od vodozahvata do distributivne mreže, mjereći pritom razinu pražnjenja vodospreme u jedinici vremena i to u noćnim satima kada je potrošnja najmanja. Direktan način otkrivanja

gubitaka sastoji se od: obilaženja cjevovoda i otkrivanje vode na površini ili u šahtovima, na hidrantima i zasunima; od mjerenja tlaka na pojedinim dionicama; mjerenja dotoka i potrošnje u domaćinstvima, zgradama i naseljima te od traženja kvarova i gubitaka vode osluškivanjem vodoopskrbne mreže pomoću posebnih uređaja. Obilaženje cjevovoda je vizualna metoda opažanja istjecanja vode na određenim mjestima ili objektima. Mjerenjem tlaka manometrima uspostavlja se piezometarska linija. Ako ta linija naglo pada znači da postoji istjecanje, odnosno puknuće cijevi. Često je metoda pronalaženja gubitaka praćenjem tlaka bila zanemarena u nerazumijevanju odnosa tlak-protok (veći tlak-veći protok i obratno), pa je kroz vrijeme uspostavljena FAVAD (Fixed and Variable Area of Discharge Paths) metoda koja stavlja u zavisnost te dvije veličine. Gubici u domaćinstvima mogu se najbolje uočiti noću putem vodomjera, tj. ako postoji aktivnost vodomjera a ne ispušta se voda, vrlo je vjerojatno da postoji mjesto istjecanja u vidu neispravnog vodokotlića, ventila i sl. Ako nema raspoložive opreme, osluškivanje vodoopskrbne mreže može se izvršiti preko željeznih šipki i zasunskih ključeva iako to predstavlja najgrublju metodu koja se rijetko koristi. Veća preciznost može se ostvariti detektorom koji reagira na šum vode izazvan kvarom na mreži. Uređaj se sastoji od instrumenta koji se objesi o vrat radnika, i slušalice koja se stavlja po terenu pri čemu se traži šum idući korak po korak (slika 3.). Preporuka je da se s takvim instrumentom radi noću kada nema nikakve buke koja bi značajnije ometala prisluškivanje.



Slika 3. Detektor i traženje šumova od istjecanja iz puknute cijevi

Mnogo precizniji od detektora je korelator. Sastavljen je od više instrumenata: dva akustična senzora s predpojačalom i radiopredajnika koji otkriveni šum prenose do korelatora koji stvara signal te time određuje mjesto istjecanja vode iz cijevi. Zvučni signali se prenose kabelom ili radiovezom do korelatora. Postavlja se po jedan senzor sa svake strane mogućeg kvara, a razmak između senzora ne bi smio biti veći od 100 metara. Slika 4. prikazuje korelator s pripadajućim instrumentima.

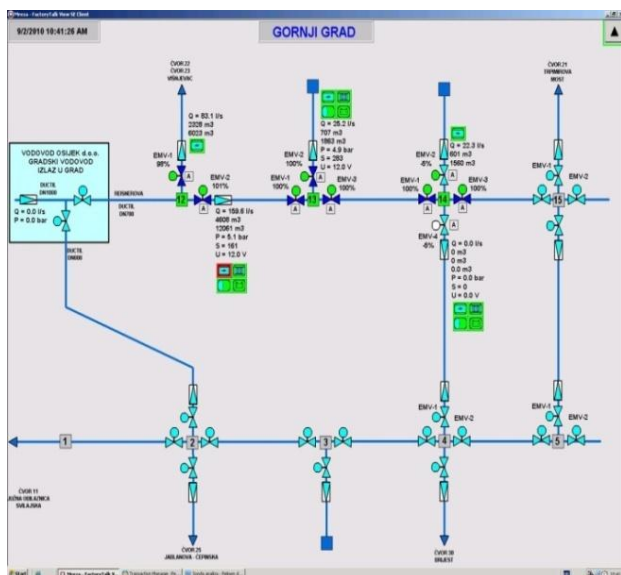


**Slika 4.** Korelator s instrumentarijem

Kvalitetnijem prisluškivanju, odnosno detekciji kvara može pridonijeti i sustav „pametnih loptica“ koje se ubacuju u cjevovod, kreću se zajedno s vodom te stvaraju poseban zvuk pri nailasku na mjesto istjecanja. Važno je napomenuti obavezu radnika da prilikom otkrivanja kvara, nakon iskopavanja tla na mjestu puknuća, procijeni karakter kvara i gubitke vode te dobivene podatke upiše u dnevnik.

### 3.2. Nadzorno upravljački sustav (NUS)

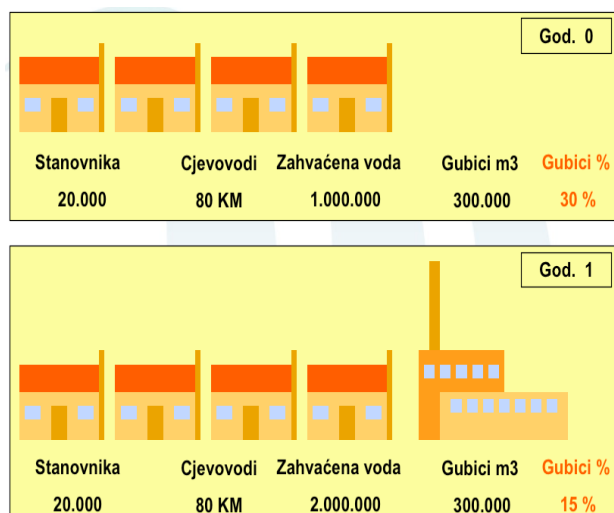
Cilj uvođenja nadzorno-upravljačkog sustava (telemetrijskog sustava) za daljinski nadzor vodoopskrbnog sustava je pouzdanija, kvalitetnija i ekonomski prihvatljivija vodoopskrba potrošača pitkom vodom. Ekonomičnost i jednostavnost nadzorno-upravljačkog sustava (u daljnjem tekstu NUS-a) leži u praćenju rada i upravljanja nad sustavom vodoopskrbe s jednoga mjesta, pri čemu informacije iz pojedinih dijelova sustava pristižu putem optičkog kabela ili UKV radioveze. U centru NUS-a vodoopskrbe instaliran je računalni program koji nadzire rad sustava. Dispečer svakog radnog dana po preuzimanju dužnosti aktivira računalni program. Program održavanja se sastoji od baze podataka o svim objektima, strojevima i uređajima s točno određenom lokacijom i učestalošću potrebnih preventivnih zahvata održavanja. Program je obično postavljen tako da svakog prvog radnog dana u tjednu automatski izdvađa objekte, strojeve i uređaje na kojima treba u tom tjednu izvršiti preventivne zahvate održavanja. Svi postupci održavanja arhiviraju se kako bi se mogle raditi analize za potrebe planiranja, te se ispisuju dva primjerka radnog naloga za preventivno održavanje. Program prepoznaje i razlikuje strojarstvo, elektro i građevinsko održavanje i označava ih kraticama „s“, „e“ i „g“. Osim preventivnog održavanja na temelju uočenih i prijavljenih kvarova i gubitaka, u centru NUS-a obavlja se i tekuće ili korektivno održavanje. Odgovorna osoba koja preuzima nalog potpisuje primjerak koji ostaje u centru NUS-a tako da se može znati tko je i kada trebao izvršiti nalog. Održavanje se provodi prema radnim uputama „strojarstvo održavanje“ i „elektro održavanje“. O provedenim zahvatima vodi se GRAĐEVINSKO-MONTAŽNI DNEVNIK u kojem se vidi tko je i što je radio, te sve druge bitne činjenice. Nakon izvršenja naloga odgovorna osoba (poslovođa održavanja) predaje popunjen radni nalog rukovoditelju koji sve kontrolira, potpisuje i vraća dispečeru koji popunjeni i potpisani primjerak arhivira. Centralizacija sustava upravljanja doprinosi većoj učinkovitosti usluga, smanjenju troškova održavanja te većoj programabilnosti radnih procesa. Osim informacija s perifernih stanica, odnosno vodosprema i crpnih stanica, u sustav pristižu i informacije iz razdjelne ili distributivne mreže koje čine čvorovi mreže (slika 5.). Svaki čvor se sastoji od višenamjenske sonde za dvosmjerno mjerenje protoka, tlaka i šuma, te od zasuna s elektromotornim pogonom koji imaju ulogu zatvaranja pojedinih dionica u slučaju kvara. Uređaj za mjerenje rezidualnog klora i dozirna crpka hipoklorita smještaju se samo na vrlo udaljene čvorove zbog potrebe dodavanja klora, jer na većim udaljenostima dolazi do razrjeđenja klora ubačenog u pogonu za kondicioniranje vode.



Slika 5. Nadzor čvorova u NUS centru na primjeru Vodovod-Osijek d.o.o.

### 3.3. Neracionalna primjena postotnog izračunavanja gubitaka

Dosadašnja praksa prikazivala je gubitke vode u postotku (%) u odnosu na zahvaćenu vodu. Međutim, takav način ne predstavlja stvarno stanje stvari. Slika 6. prikazuje zahvaćenu vodu u godini 0 i godini 1 te obračun gubitaka u kubnim metrima i u postotku. Vidi se da se u godini 1 zahvaćena količina vode povećala zbog novog industrijskog potrošača, dok su se prema postotnom izračunu gubici smanjili iako su količinski ostali isti. Iz toga se lako da zaključiti kako postotno izračunavanje gubitaka u odnosu na zahvaćenu vodu ne može biti ispravan pokazatelj.



Slika 6. Primjer promjene postotnog izračunavanja gubitaka vode u ovisnosti o promjeni prodane količine (izvor: A. Lambert)

### 3.4. Kako smanjiti gubitke?

Da bi se riješio problem smanjenja gubitaka treba restrukturirati vodoopskrbna poduzeća. Prva prava mjera bila bi privatizacija vodoopskrbnih poduzeća jer je privatnom investitoru osnovni interes povećanje prihoda i što veće smanjenje rashoda. Podjela sustava na zone dala bi detaljniji uvid u praćenje rada pojedine zone. Uvođenje geografsko-informacijskog sustava (GIS) omogućuje korištenje baza podataka koje su kompatibilne s raznim računalnim programima, a takva praksa može biti i vrlo jeftina jer na tržištu postoje mnogi besplatni programi tog tipa-dovoljna je investicija u obuku radnika. Slična je situacija i s uvođenjem numeričkog modeliranja koje zahtijeva minimalna ulaganja, a putem njega je moguće napraviti sva osnovna hidraulička ispitivanja, kao i uvođenje upravljačkih scenarija u sustavu koji mogu dovesti do ušteda vode i energije. Administrativna reorganizacija i zapošljavanje visokoobrazovanog kadra koji na pravi način može pristupiti rješavanju problema gubitaka te uvođenje telemetrijskog sustava za daljinski nadzor bilo bi još jedno ispravno rješenje kojim bi se moglo provoditi dobro održavanje i nadzor nad gubicima u sustavu. Ako je riječ o ekonomski slabijem vodoopskrbnom poduzeću, tada su dovoljne i mjere redovitog praćenja protoka putem vodomjera i stanja tlaka na pojedinim dionicama kao i upotreba opreme za osluškivanje šumova.

## 4. IWA METODOLOGIJA

Međunarodno udruženje za vodu IWA (International Water Association), 2000. godine utvrdila je novu metodu analize i kontrole gubitaka, tzv. IWA WLSG metodologiju. Radi se o standardnom obliku za proračun bilance vode koji je primjenjiv za različite tipove vodoopskrbnih sistema, ali i vlastitog podsistema. Bilanca se prikazuje u obliku tablice (tablica 1.) u kojoj se promatra tok vode od proizvodnog pogona do krajnjeg korisnika. IWA WLSG nudi mogućnost izračunavanja svih komponenti neprihodovane vode i standardizaciju pojedinih komponenti i termina. Posebnost ove metode je izračun stvarnih i prividnih gubitaka. Pravilno planiranje mjera i aktivnosti na smanjenju gubitaka moguće je kroz spoznaju točnih količina bilance. IWA je razvila i indikatore koji uzimaju u obzir specifičnosti sustava, a omogućuju nadzor nad gubicima i usporedbu s drugim sustavima. Svjetska banka je podržala smjernice promatranja gubitaka izražene preko infrastrukturnog indeksa istjecanja – ILI. ILI indikator (Infrastructure Leakage Indeks) pokazuje mjeru kvalitete održavanja vodoopskrbnog sustava (održavanje, rekonstrukcija, popravci, razvoj) s ciljem kontrole i smanjenja stvarnih gubitaka.

**Tablica 1.** Opća bilanca vode prema IWA metodologiji (skraćena tablica)

|                 |                     |                                   |                                                                 |                    |
|-----------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------|
| Dobavljena voda | Ovlaštena potrošnja | Fakturirana ovlaštena potrošnja   | Fakturirana mjerena količina vode (očitani vodomjeri potrošača) | Prihodovana voda   |
|                 |                     |                                   | Fakturirana nemjerena količina vode (paušal)                    |                    |
|                 |                     | Nefakturirana ovlaštena potrošnja | Nefakturirana mjerena količina vode                             | Neprihodovana voda |
|                 |                     |                                   | Nefakturirana nemjerena količina vode                           |                    |
|                 | Gubici vode         | Prividni gubici                   | Netočnost vodomjera potrošača (i pogreške u obradi podataka)    |                    |
|                 |                     |                                   | Neovlaštena potrošnja vode                                      |                    |
|                 |                     | Stvarni gubici                    | Curenje na cjevovodima                                          |                    |
|                 |                     |                                   | Preljevanja i curenje rezervoara                                |                    |
|                 |                     |                                   | Curenje na priključcima vodomjera                               |                    |

## 5. ZAKLJUČAK

Uvođenjem mjera redovitog preventivnog održavanja vodoopskrbnog sustava smanjuje se potreba za korektivnim intervencijama, što dovodi i do smanjenja gubitaka. Gubici u sustavima vodoopskrbe još uvijek su tabu tema budući da direktno utječu na formiranje cijene vode. S druge strane pokazuju razinu organiziranosti, odgovornosti, ali i sposobnosti vodoopskrbnog poduzeća da se na pouzdan način brine o vodoopskrbi područja za koje je zaduženo. Veliki gubici predstavljaju i velike količine nenaplaćene vode pa to utječe i na ekonomsku sliku poduzeća. Zbog nedostatka novca, umjesto ulaganja u nove tehnologije tek povremeno se krpaju dotrajali cjevovodi i ostali neadekvatno održavani objekti. Pojedine vodoopskrbne tvrtke su primorane na korištenje dodatnih sredstava iz državnog proračuna ili iz jedinica lokalne uprave i samouprave. Vodoopskrbna poduzeća koja imaju male gubitke bilježe i veću dobit pa imaju više novca za ulaganje u razvoj sustava te na taj način još više smanjuju postojeće gubitke. Od 1.1.2015. godine važit će odredba Zakona o financiranju vodnog gospodarstva (NN 153/09), što će biti korak u rješavanju gubitaka. Osnovica za obračun naknade bit će količina zahvaćene vode, a ne isporučene, kao što čini postojeća praksa. Korisnici će biti primorani da snose teret gubitaka pa je svakom stanovniku Hrvatske u interesu da ti gubici postanu što manji.

## 6. LITERATURA

- [1] Halkijević, I.; Vuković, Ž.; Vouk, D.: *Optimalno upravljanje gubicima vode javne vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj*; deveti skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, drugi međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, 2011.
- [2] Tadić, I: *Kako doći do vode* (praktična knjiga za praksu i obuku), Vrelo, Tuzla, 1996.
- [3] Šperac, M.; Josipović, P.: *Održavanje sustava javne vodoopskrbe*; 20. Znanstveno stručni skup Organizacija i tehnologija održavanja OTO 2011 / Lacković, Zlatko (ur.). – Osijek, Društvo održavatelja, 125-131, Osijek, 2011.
- [4] KJPK Vodovod i kanalizacija d.o.o.; *Razvojni projekti u oblasti vodosnabdjevanja i odvođenja otpadnih voda u Kantonu Sarajevo*, septembar 2008.
- [5] Bajo, A; Filipović, B: *Učinkovitost opskrbe vodom u Hrvatskoj*; Povremeno glasilo instituta za javne financije br. 37, Zagreb, 2008.
- [6] Informacije i podaci poduzeća *Vodovod-Osijek d.o.o.* (datum preuzimanja: 28.03.2012.).
- [7] Kovač, J.: *Uvod u IWA WLSG metodologiju analize gubitaka vode*, [http://www.juricakovac.com/images/Uvod\\_u\\_IWA\\_WLTF\\_metodologiju\\_analize\\_gubitaka\\_vode\\_v231210v1.pdf](http://www.juricakovac.com/images/Uvod_u_IWA_WLTF_metodologiju_analize_gubitaka_vode_v231210v1.pdf) (dostupno: 03.04.2012.).
- [8] Kovačić, I: *Prvo sanirati gubitke i racionalizirati potrošnju vode...*; Rudan d.o.o., <http://www.upravljanjevodom.com/wp-content/uploads/2011/03/Prvo-sanirati-gubitke-i-racionalizirati-potrosnju-vode.pdf> (dostupno: 07.05.2012).

### Kontakt autora:

#### Josip Užar, struč.spec.ing.grad.

Grad Požega; Upravni odjel za komunalne djelatnosti i gospodarenje Grada Požege  
Trg svetog Trojstva 1  
34000 Požega  
095/801-8539  
[jospip.uzar@gmail.com](mailto:jospip.uzar@gmail.com)

# KARTONI: OD PROIZVODNJE DO KONAČNE PRIMJENE

## PAPERBOARD: FROM THE PRODUCTION TO THE FINAL USE

*Dario Petrić, Damir Vusić, Robert Geček*

Stručni članak

**Sažetak:** U ovom radu prikazan je životni ciklus kartona kao sredstva ambalaže. Opisani su sirovi materijali, te pomoćni materijali kao dodaci koji uvelike utječu na kvalitetu gotovog kartona. Ambalaža predstavlja važan dio promocije proizvoda, zaštite proizvoda te informiranja kupaca. Različite vrste kartonske ambalaže, od jednostavnih do složenih kutija koje se površinski dorađuju, zahtijevaju određenu vrsnoću kartona, a podijeljene su prema sastavu i završnoj obradi. Kartonska ambalaža zauzima visoku poziciju na tržištu ambalaže u svim segmentima gospodarstva. Ona je revolucionizirala sigurnu distribuciju svih proizvoda, čista je i visoke kvalitete, te je karton kao materijal ekološki prihvatljiv i održiv za pozitivnu budućnost.

**Ključne riječi:** karton, celuloza, drvenjača, ambalaža, papirni stroj, ekologija

Professional paper

**Abstract:** This paper deals with the life-cycle of paperboard as a packaging material. It describes raw materials and supplementary materials which greatly influence on the quality of the final paperboard. Packaging is an important part of the product promotion, protection products and informing customers. Different types of paperboard packaging, from rigid boxes to folding boxes that built the surface demand certain paperboard qualities which are divided by their compound and final treatment. Paperboard packaging holds a high position on the packaging market in all areas of the economy since it revolutionized a safe distribution of all products, it is clean and high quality, and paperboard as a packaging material is ecologically acceptable and sustainable for the positive future.

**Key words:** paperboard, cellulose, mechanical pulp, packaging, paperboard machine, ecology

### 1. UVOD

Počeci čovječanstva nisu iziskivali potrebu za očuvanjem hrane jer se hrana konzumirala na licu mjesta. Ljudskim napretkom razvijala se i svijest o skladištenju hrane te zaštiti od vanjskih utjecaja. Hrana se počela spremati u primitivne spremnike izrađene od različitih materijala. Najstariji oblik savitljive ambalaže koji se koristio u tu svrhu bio je papir. Papir dobiven iz dudove kore u Kini upotrebljavao se već u 1. i 2. stoljeću prije Krista. Prve komercijalne kartonske kutije proizvedene su u Engleskoj 1860. godine. Potkraj 19. stoljeća upotreba papira i kartona kao materijala za ambalažu bivala je sve veća kako bi se zadovoljile potrebe sve većeg razvoja industrije. Proizvodnja papira i kartona je napredovala iz manualne, gdje se proizvodio arak po arak, u kontinuiranu proizvodnju visoke brzine gdje drvena pulpa zamjenjuje krpe kao sirovi materijal. Svjetska proizvodnja papira i kartona u posljednjih tridesetak godina prikazana je u tabeli 1.1. U cijelom svijetu bilježi se globalan porast proizvodnje ambalaže koja trenutačno i predstavlja najjači segment grafičke industrije. Veliki dio papira i kartona koristi se za izradu ambalaže (40% - 50%), što je po težini najviše korišteno sredstvo ambalaže. Papiri i kartoni su materijali dobiveni preplitanjem međusobno povezanih celuloznih vlakana.

Mogu se otiskivati i imaju fizička svojstva koja im omogućuju da se formiraju u složivu ambalažu.

Tabela 1.1. Svjetska proizvodnja papira i kartona [1]

| Godina | Ukupna količina (miliijuna tona) |
|--------|----------------------------------|
| 1980.  | 171                              |
| 1985.  | 193                              |
| 1990.  | 238                              |
| 1995.  | 276                              |
| 1998.  | 300                              |
| 1999.  | 315                              |
| 2000.  | 324                              |
| ...    |                                  |
| 2008.  | 380                              |

Postoji mnogo različitih tipova papira i kartona što pretežito ovisi o sastavu i obliku vlakana, na koji način je to vlakno dobiveno i obrađeno (pulping), te o samom načinu proizvodnje. Temeljna razlika između papira i kartona je u gramaturi, debljini, čvrstoći i građi. Karton može biti napravljen od više slojeva jednakog ili različitog sastava, koji se u mokrom stanju međusobno spajaju i čine čvrsti kompaktni materijal. Izrađuje se od vlakana kemijske celuloze, drvenjače, otpadnog papira, punila, keljiva i boja. Prema ISO standardu papir težine iznad 200 g/m<sup>2</sup> smatra se kartonom. Međutim, postoje

varijacije proizvoda te se negdje papir smatra kartonom i ispod 200 g/m<sup>2</sup>. Kartonska ambalaža koristi se u širokom spektru jer zadovoljava nekoliko važnih zahtjeva za uspješno pakiranje proizvoda [2]:

- sadržava proizvod
- štiti proizvode od mehaničkih oštećenja
- čuva proizvod od propadanja
- informira kupca i potrošača
- pruža vizualni dojam kroz grafički i strukturni dizajn

Ovi zahtjevi potrebni su na svim razinama osnovne namjene ambalaže [2]: *primarna ili prodajna, sekundarna ili skupna, tercijarna ili transportna.*

U velikom broju svojih ambalažnih oblika kartoni zadovoljavaju nabrojane zahtjeve jer imaju vizualna i mehanička svojstva koja im omogućuju transformiranje u raznu strukturalnu ambalažu. Kada kartonska ambalaža odsluži svojoj svrsi, lako se može sklopiti i kompresirati prije nego se transportira na prikladno reciklažno mjesto.

## 2. IZBOR SIROVIH MATERIJALA

### 2.1. Uvod u sirove materijale

Izumom tiskarskog stroja počinje era modernog tiskarstva koja uzrokuje znatno povećanje potrošnje papira. Počinje se polako razvijati manufakturna proizvodnja papira, a kao sirovine koriste se pamuk, lan, konoplja i stare krpe. Nijemac Keller brušenjem drveta dobio je drvena vlakna koja su, pomiješana s krpama, davala sasvim dobru osnovnu sirovinu za izradu papira. Na ovaj način se zapravo dobila drvenjača kao osnovna sirovina za izradu papira koja se i danas koristi za izradu novinskih papira. Pravi tehnološki napredak za masovnu industrijsku proizvodnju papira i kartona, te upotreba drveta kao baze za osnovnu sirovinu, počeo je tek u prvoj polovici dvadesetog stoljeća. Izbor sirovine za proizvodnju papira svodi se na primarna vlakna (dobivena iz drveta nekim od postupaka razdvajanja vlakana) ili sekundarna, te na reciklirana vlakna (dobivaju se od otpadnih papira i kartona).

### 2.2. Drvo kao osnovni izvor sirovina

Šuma je danas jedan od najvećih isporučitelja sirovina cijelog čovječanstva. U razne svrhe se godišnje posiječe oko 1,5 milijarda metara kubičnih drva, a na to oko 13% otpada na industriju celuloze i papira [3]. Za izradu papira i kartona, odnosno celuloze i drvenjače, najčešće se koriste:

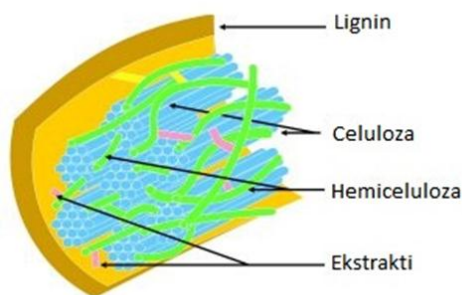
- *četinjari* - smreka, bor i jela
- *lišćari* - bukva, breza, topola i dr.

### 2.3. Kemijski sastav drva

Glavni sastojci drva prikazani su na slici 2.1. Čine ga celuloza, hemiceluloza, lignin i ekstrakcije tvari. Postotni udio različit je kod četinjara i lišćara, a i kemijski sastav nije jednak unutar stabla. Gledajući općenito taj je sastav otprilike ovakav [2]:

- celuloza: kod četinjara oko 45 %, a kod lišćara 42%

- hemiceluloza: kod četinjara 24%, a kod lišćara 32%
- lignin: kod četinjara 27%, a kod lišćara 20%
- ekstrakti: kod četinjara 6%, a kod lišćara 4%



Slika 2.1. Kemijski sastav drva [2]

### 2.4. Celuloza

Celuloza predstavlja ugljikohidratni polimer sastavljen od jedinice anhidroglukoze i ima empirijsku formulu (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>. Celuloza je najčešći organski spoj koji nalazimo u prirodi. Zapravo je celuloza vlaknasta tvar od koje se sastoje stanične stijenke svake biljke. U drvetu je celuloza povezana s ligninom i drugim sastavnim dijelovima staničnih stijenki. Celulozno vlakno je vlakno dobiveno kemijskom razgradnjom različitih vrsta drveta ili jednogodišnjih biljaka (trstika, slama i druge). Kemijski čista celuloza sadrži 44.5% ugljika, 6.2% vodika i 49.3% kisika [2]. Celuloza je potpuno netopiva u vodi i u drugim običnim topilima. Čista celulozna vlakna su bijela, bez okusa i mirisa, mekana i fleksibilna.

### 2.5. Lignin

Lignin je polimer složene građe. Potpuno je drukčiji materijal od celuloze jer je tvrd i lomljiv. Njegova glavna uloga je povezivanje vlakana celuloze drveta, čime drvo postaje tvrdo i čvrsto. Sadržaj lignina daje papiru i kartonu zvuk, tvrdoću i krutost. Oni zbog lignina žute, a previsoki sadržaj lignina smanjuje čvrstoću lista. Pri visokim temperaturama lignin potpuno omekša pa se celulozna vlakna mogu odvojiti iz drveta bez oštećenja.

### 2.6. Hemiceluloza

To je tvar koja gradi primarnu i tercijarnu stijenku drveta. Njeni slojevi mogu bolje upijati vodu i bubriti nego celulozni slojevi. Služi kao tvar za povezivanje središnjeg sloja iz celuloze i lignina. Premali udio hemiceluloze uzrokuje rahle papire koji upijaju, a preveliki utječu na smanjenje i otpornost na cijepanje papira.

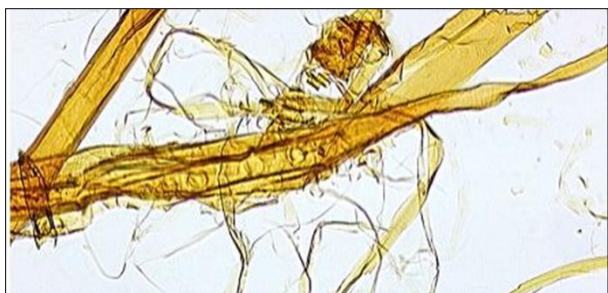
### 2.7. Ekstrakti

Postoji mnogo ekstraktivnih tvari koje su u drvu sadržane u malim količinama: eterična ulja, smola, kaučuk, škrob, šećer, bjelanjčevine, mineralne tvari i dr.

### 3. VRSTE SIROVIH MATERIJALA I NJIHOVA OBRADA

#### 3.1. Drvenjača (mechanical pulp)

Pod "drvenjačom" podrazumijevamo mehaničko odvajanje drvene mase na vlakna. Tim procesom dobiju se visoki prihodi vlakna iz drva te se bilježi najveća iskoristivost drveta, čime se štede veliki prirodni resursi. Razlog tomu je što u drvenjači ostaje isti udio celuloze, hemiceluloze, lignina i ostalih ekstrakata kao u drvetu. Zbog prisutnosti lignina, vlakna drvenjače su čvrsta i tvrda. Ovime se dobije karton jake krutosti, limitirane snage, no niske gustoće i otpornosti. Dobivena drvenjača zadržava boju drveta i može se kemijski potpuno izbijeliti. Na slici 3.1. prikazana su vlakna drvenjače.



Slika 3.1. Vlakna drvenjače [2]

Postoje tri načina dobivanja mehaničke drvenjače [2]:

1. mehanički postupak
2. termomehanički postupak (tmp)
3. kemitermomehanički postupak (ctmp)

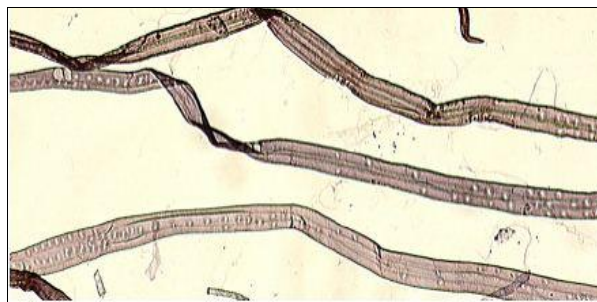
##### 3.1.1. Bijeljenje mehaničke drvenjače

Cilj bijeljenja je povećati stupanj bjeline vlaknastog materijala koji je podvrgnut tom procesu. Glavni cilj bijeljenja mehaničke drvenjače je u tome da se uklone kromofore, tj. dio molekula koje su odgovorne za boju. Ovo je moguće iz razloga jer je struktura odgovorna za boju bolje osjetljiva na oksidaciju i redukciju. Vodikov peroksid najčešće je korišteno sredstvo za bijeljenje mehaničke drvenjače. Bjelina drvenjače dobivena ovim postupcima je samo privremena budući da je sadržaj lignina ostao nepromijenjen. Izlaganjem zraku i svjetlu proizvode se nove kromofore od preostalog lignina. Ovo je glavni razlog zašto papiri i kartoni žute s vremenom.

#### 3.2. Kemijska celuloza (chemical pulp)

Dobivanje kemijske celuloze otkrio je Amerikanac Benjamin Chew Tilghman 1863., a Nijemac Alexander Mitscherlich primijenio je njegov patent 1876. [2] Kemijska celuloza u današnje vrijeme proizvodi se u velikim količinama iz drva i drugih biljnih sirovina. Iskuhavanjem u kotlu (digesteru), različitim kemikalijama uklanjaju se smole, lignin i druge nepotrebne tvari te se dobiva izrazito jak i elastični vlaknasti materijal – kemijska celuloza. Njena vlakna su fleksibilna i mekana zbog čega se proizvedeni karton

vrlo dobro presavija, gravira i štanca. Izbijeljena celuloza ima vrhunsku bjelinu i svjetlostalnost. Karton proizveden od takve celuloze ima veliku čistoću pa takva ambalaža najbolje čuva mirise i okuse. Postotak dobivenih vlakana je manji nego kod proizvodnje drvenjače (50% - 65%). Lignin i ostali nusprodukti mogu se iskoristiti kao unutarnji izvor energije. Kemijska celuloza može biti sulfitna ili sulfatna, a razlikuje se prema kemikalijama i vrstama postupaka upotrijebljenima u proizvodnji.



Slika 3.2. Vlakna kemijske celuloze [2]

##### 3.2.1. Bijeljenje kemijske celuloze

Kemijska celuloza dobivena sulfitnim ili kraft postupkom sadrži mnogo manje lignina od mehaničke drvenjače (<5% u odnosu na 40%). Između procesa bijeljenja sulfitne i sulfatne celuloze nema razlike, ali alkalnim postupkom raščinjani materijali teže bijele. Konačni cilj kod bijeljenja kemijske celuloze je ukloniti preostali lignin, zbog čega se ovaj proces još naziva i delignifikacija. Kemijski dobivena celuloza smeđe je boje, a boja ovisi o načinu razvlaknjivanja i stupnjevima uklanjanja lignina (slika 3.3.).

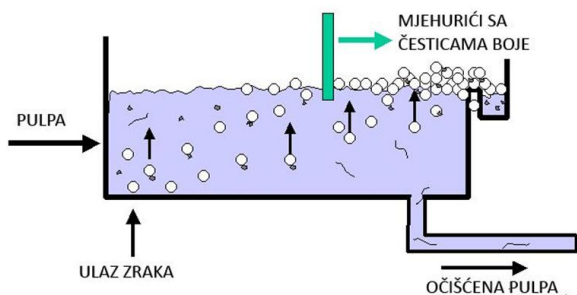


Slika 3.3. Celuloza - različiti stupnjevi delignifikacije [2]

#### 3.3. Reciklirana vlakna (recycled pulp)

Ponovna upotreba starog papira za proizvodnju kartona, papira i ljepenke danas je ekonomski i ekološki opravdana jer se štede velike količine drva. Vrsnoća starog papira vrlo je različita pa tako i upotreba. Postoje sasvim čisti (rezani arci i iz kotura) pa do jako zaprljanih s 3% nečistoća. Procesom reciklaže i separacije iskoristi se puno vrsta otpadnog papira. Oko 80% prikupljenog starog papira može se koristiti za recikliranje, a oko 20% je otpad: žice, klamerice, spajalice, plastificirani materijali i ljepila koja je najteže ukloniti. Boje i lakovi moraju se ukloniti tijekom razvlaknjivanja, čišćenja i prosijavanja. Reciklaža počinje razvlaknjivanjem papira u vodi, a zatim slijedi grubo prosijavanje vlaknastog

materijala. Jedan od najvažnijih dijelova procesa je uklanjanje otisnute boje s papira, odnosno „deinking flotacija“ (slika 3.4.). Nakon uklanjanja boje slijedi čišćenje, fino prosijavanje, ispiranje te eventualno ugušćivanje i konzerviranje vlaknaste mase. Svojstva budućeg recikliranog papira ovisna su o gotovo svakom dijelu postupka prerade. Zato se tijekom čitavog postupka kontroliraju uzorci i prate se svojstva vlaknastog materijala da bi se dobila zadovoljavajuća kvaliteta koja je uvjet za izradu papira i kartona [2].



Slika 3.4. Deinking flotacija [2]

Radi zaštite okoliša, ali i velike vrijednosti, papirni otpad se skuplja za ponovnu preradu u papir i karton. Tako se smanjuje sječa drveća i uništavanje šuma za proizvodnju primarnih vlakana. Višekratna upotreba i primjena otpadnog papira šteti druge sirovine, potrošnju svježe vode i energije te značajno pojeftinjuje proizvodnju novog papira i kartona.

### 3.4. Poluceluloza i polutvorevina

Vlakanca poluceluloze karakterizira sličnost s kemijskom celulozom, a po sastavu je to zapravo drvenjača. Ovaj vlaknasti materijal upotrebljava se uglavnom za izradu papira za valovitu ljepenu, kojoj daje potrebna svojstva čvrstoće, tvrdoću i žilavost, što je povoljno za izradu transportne složive ambalaže. Polutvorevina je vlaknasti materijal za izradu kartona, koja se dobije preradom pamuka, lana, starih krpa jute i lika, tj. otpada iz tekstilne industrije. Kartoni izrađeni iz osnovnog vlaknastog materijala polutvorevine upotrebljavaju se kod svih grafičkih proizvoda koji zahtijevaju veliku čvrstoću i otpornost na habanje.

## 4. POMOĆNI MATERIJALI ZA PROIZVODNJU KARTONA

### 4.1. Mineralna punila

Punila su slabo topivi anorganski pigmenti bijele boje. Punila se kartonu dodaju zbog povećanja gramature (čime se smanjuje udio primarnih vlakana), porasta opaciteta i stupnja bjeline, mekoće i podatnosti lista za tisak, povećavanja glatкости površine, a zbog svog nehigroskopskog karaktera punila dijelom utječu i na dimenzionalnu stabilnost kartona. Glavni cilj je poboljšanje tiskovnih svojstava kartona. Punila dijelimo prema kemijskom sastavu [4]. Od anorganskih spojeva to

su silikati (kaolin-aluminijev silikat, talk-magnezijev silikat), sulfati (gips–kalcijev sulfat, blanefix–barijev sulfat), karbonati (kreda, vapnenac–kalcijev karbonat, magnezit–magnezijev karbonat) i oksidi (kvarc–silicijev dioksid, cinkov oksid).

### 4.2. Veziva (keljiva)

Neke vrste papira i kartona moraju imati svojstvo da boja, tinta i slično ne prodire u strukturu nego da se osuši na površini lista. Regulirana upojnost papira postiže se keljenjem, odnosno postupkom zatvaranja vlaknaca, cjevčica. Keljiva su hidrofolni dodaci papiru i kartonu, najčešće prirodne ili umjetne smole koje se dodaju u masi ili površinski u obliku premaza sa svrhom da papiru i kartonu smanje upojnost i poroznost i da površinu lista učine homogenijom. To su tvari koje čvrsto međusobno povezuju vlakna i druge tvari u kompaktnu, čvrstu strukturu. Keljiva su sastavni dio građe te pružaju potrebnu vodootpornost materijalu. U proizvodnji se koriste sljedeća keljiva [4]:

kolofonij, sojin protein, škrob (kukuruzni i pšenični), aluminijev sulfat, sintetička veziva, parafin, umjetne smole, vosak (za otpornost na vlagu i sprečavanje probijanje mirisa) i dr.

### 4.3. Bojila i optička bjelila

U proizvodnji papira i kartona bojenje je složen proces pošto se radi o biljnom vlaknu na čije obojenje utječu fizikalni procesi poput mljevenja, te dodaci različitih tvari–keljiva i punila. Papiru i kartonu koji nije sasvim bijel dodaje se ton. Bijeljeni papir je žućkastog tona, a do bijelog tona mu nedostaje crvene, plave i ljubičaste boje. Ako se dodaju ove boje potiskuje se žućkasta boja i papir se doima bjelijim. Bojila su isključivo sintetska i mogu biti kisela, lužnata, supstancijna i organski pigmenti. Papiri i kartoni kao gotovi materijali nisu samo bijeli već mogu biti i obojeni različitim bojama. Boje koje se upotrebljavaju su tekućine u raznim nijansama. Pod terminom "optička bjelila" (OBA–optical brightening agents i FWA–fluorescent whitening agents) podrazumijevaju se bojila koja apsorbiraju svjetlo u ultraljubičastom i ljubičastom (340–370nm) dijelu elektromagnetskog spektra i ponovno emitiraju svjetlo u plavom dijelu spektra (420–470nm) pa time potiskuju žutilo. Do dodatne emisije plavog svjetla dolazi zbog toga jer se oku nevidljivo svjetlo pretvara u vidljivo svjetlo kraćih valnih duljina. Ovi aditivi često se koriste s ciljem poboljšanja izgleda boje kartona, uzrokujući bijeli efekt, čime karton izgleda manje žuti povećavajući sveukupnu količinu reflektiranog plavog svjetla. Bjelila se koriste u mnogim kartonima, posebice visokosajajima, čiji je rezultat visoka pojava fluorescencije pod UV osvjetljenjem. Bjelina kartona često se mjeri pri valnoj duljini od 457nm, što je unutar fluorescentnog opsega bjelila.

## 5. INDUSTRIJSKA PROIZVODNJA KARTONA

### 5.1. Priprema vlakana

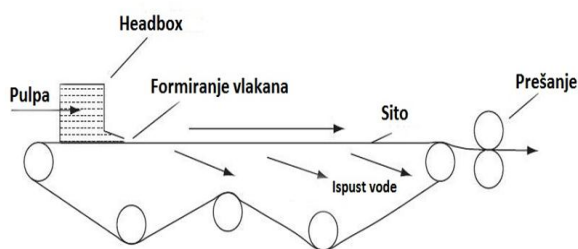
Za pripremu papirne mase kao osnovne sirovine za izradu različitih vrsta kartona koriste se i prije spomenuti vlaknasti materijali: celuloza, drvenjača, polutvorevina i reciklirani papir. U procesu pripreme pulpe za određene vrste kartona prema recepturi miješaju se i različite vrste te udjeli vlaknastog materijala. Materijali dolaze u tvornicu kartona dehidrirani u balama, ili se transportiraju u određenim formatima (celuloza) ako je tvornica izvan lokacije za izradu vlaknastog materijala. Ako su tvornice jedna uz drugu, tada se vlaknasti materijal transportira u tekućem stanju, pumpama. Da bi se mogao proizvesti karton standardne, strogo određene kvalitete, treba pripremiti odgovarajuću masu (pulpu). Postupak pripreme papirne mase podrazumijeva radne procese koji su neophodni za pripremu svih sirovina, te miješanje u homogenu masu određene gustoće. Takva je masa potom spremna za natok na stroj za proizvodnju kartona. Glavni radni procesi u fazi pripreme mase [4]:

1. dispergiranje u vodi pomoću hidrapulpera
2. mljevenje vlaknastih sirovina do stupnja koji odgovara namjeni kartona
3. miješanje različitih vlaknastih materijala (zavisno od vrste kartona)
4. dodatak mineralnih punila u količini i kvaliteti prilagođenoj kvaliteti
5. dodatak bojila za nijansiranje ili bojenje kartona (OBA)
6. dodatak veziva za reguliranje upojnosti kartona

Ovako predobrađena vlakna miješaju se u spremnicima s određenom količinom punila, veziva i drugih dodataka poput optičkih bjelila, te se razrjeđuju na potrebnu gustoću pulpe, ovisno o željenoj gramaturi kartona. Konzistentnost (omjer vlakna i vode) se na kraju fino podešava prije nego se pumpama dovodi na natok stroja za proizvodnju kartona.

### 5.2. Stroj za proizvodnju kartona

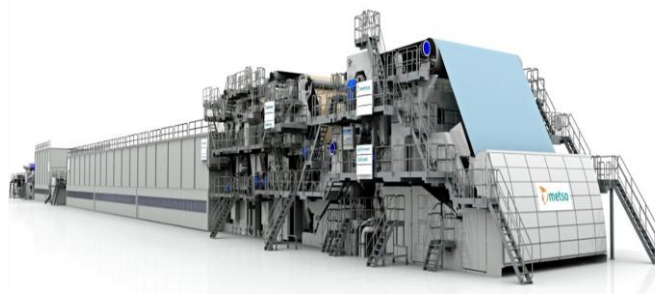
Većina današnjih strojeva za proizvodnju papira i kartona temelji se na principu Fourdrinier stroja (slika 5.1.), koji koristi dugo beskonačno sito za proizvodnju kontinuirane papirne i kartonske trake. Fourdrinier stroj je bio prvi stroj koji je proizvodio kontinuiranu papirnu traku. Prije se papir proizvodio pomoću individualnih sita, što je bio dug i mukotrpan posao.



Slika 5.1. Prikaz Fourdrinier koncepta [5]

Moderni strojevi za proizvodnju papira i kartona su divovska postrojenja veličine od 100 do više od 300 metara duljine (slika 5.2.). To su strojevi širine 0,5 - 12 metara. Ovaj podatak ujedno govori i o širini koluta papira i kartona koji izlazi iz stroja. Veličina strojeva zavisi od kapaciteta stroja. Sve radnje stroja praćene su računalno - od ulaska vlaknastog materijala, preko miješanja raznih dodataka, kontrole parametara, do upravljanja robotiziranim alatima i strojevima. Većinom se sastoji od sljedećih ključnih dijelova i postupaka:

1. dio za formiranje slojeva kartona
2. dio za prešanje
3. dio za sušenje
4. površinsko keljenje
5. kalandriranje (glačanje)
6. premazivanje
7. kalandriranje i poliranje
8. namotavanje i rezanje role
9. mjerenje i kontrola
10. strojno glačanje (MG ili Yankee cilindar)



Slika 5.2. Metso - stroj za proizvodnju kartona [6]

## 6. SVOJSTVA KARTONA

Svojstva kartona koja ovise o potrebama tiska, o njegovoj pretvorbi u kutije, njegovom korištenju za ambalažu, distribuciju, pohranu i zaštitu proizvoda mogu se identificirati i precizno izmjeriti. Sva svojstva ovise o vrsti sirovog materijala, kao npr. o vrsti i količini vlakna i drugih pomoćnih materijala te o samom procesu proizvodnje. Ova svojstva kartona odnose se na opća, optička i mehanička svojstva [4]:

- a) Opća svojstva odnose se na gramaturu, debljinu, smjer vlakana, postotak vlage i dr.
- b) Optička svojstva odnose se na boju, bjelinu, opacitet, sjaj te ukupni vizualni dojam i potrebe procesa poput tiskanja koji jako utječu na optički izgled ambalaže.
- c) Mehanička svojstva se odnose na krutost, otpornost prema cijepanju, otpornost prema kidanju, kao i na opću zaštitu proizvoda i potrošača te efikasnost svih procesa uključenih u proizvodnju ambalaže.

Svojstva kartona mogu se mijenjati, pa se tako kontrolira kvaliteta ulaznog materijala, tj. operacija u fazi pripreme kartona za tisak. Ispitivanje svih spomenutih svojstava i održivost tih svojstava su vrlo bitni u grafičkoj proizvodnji [4]. Pri tome valja istaknuti neke ključne točke:

- kretanja materijala u tiskarskim strojevima i strojevima za pakiranje ambalaže
- operacije poput dovođenja, vođenja, pozicioniranja, odvođenja i sl.
- realizacija obrade materijala, odnosno dobivanja otiska

Karton za ambalažnu svrhu mora imati sljedeće karakteristike: otpornost na mehanička opterećenja, otpornost na klimatske uvjete, barijerna svojstva, vizualne karakteristike te mogućnost upotrebe za pakiranje hrane [7].

## 7. VRSTE KARTONA ZA SLOŽIVE KUTIJE

Kartoni su papiri većih gramatura i nešto drukčijeg načina izrade od samog papira. Monolitni kartoni mogu biti izrađeni od iste mase, a složeni od više različitih masa te mogu imati do 9 slojeva. Izrađuju se na strojevima s kombiniranim ravnim i okruglim sitima spajanjem mokrih traka prije procesa sušenja bez upotrebe ljepljiva. Svaka vrsta kartona može se definirati pomoću dva slova ili dva slova i jednog broja [8].

Prvo slovo opisuje **način površinske obrade**:

- A = vruće premazani
- G = premazani mineralnim punilom
- U = nepremazani

Drugo slovo predstavlja **glavni sastav**:

- Z = izbijeljena kemijska celuloza
- N = neizbijeljena kemijska celuloza
- C = mehanička drvenjača
- T = sekundarna vlakna s bijelom, krem ili smeđom poledinom
- D = sekundarna vlakna sa sivom poledinom

Brojka označava **boju poledine** (osim za D razred):

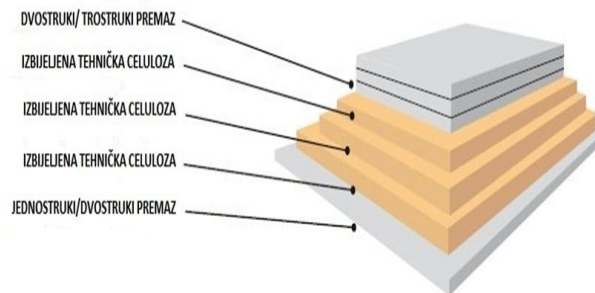
- 1 = bijela
- 2 = krem
- 3 = smeđa

Kod D razreda brojka označava **specifični volumen kartona**:

- 1 =  $\geq 1.45 \text{ cm}^3/\text{g}$
- 2 =  $< 1.45 \text{ cm}^3/\text{g}, > 1.30 \text{ cm}^3/\text{g}$
- 3 =  $\leq 1.3 \text{ cm}^3/\text{g}$

### 7.1. Gz/Sbb/Sbs karton

Ovaj karton je sastavljen isključivo od izbijeljene kemijske celuloze (slika 7.1.). Obično ima dvostruki, čak i trostruki premaz na gornjoj strani temeljen na mineralnim ili sintetičkim punilima. S donje strane ima jednostruki ili dvostruki premaz. Ako nema premaz, nosi oznaku UZ. SBB ima izvrsna tiskovna svojstva, strukturni dizajn i izvrsne karakteristike za reljefni tisak te je kao takav idealan za proizvode gdje je bitno očuvanje arome, okusa i higijene. Koristi se za ambalažu parfema, kozmetike, čokolade, lijekova, cigareta i smrznute hrane.



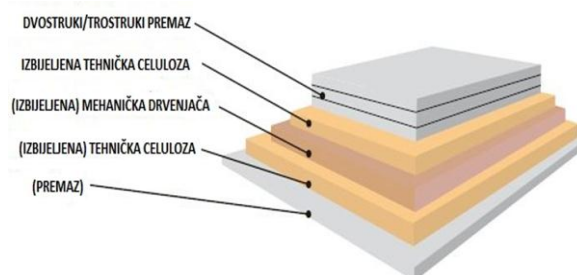
Slika 7.1. Sastav sbs kartona [8]

### 7.2. Sub/Sus karton

To je karton izrađen od isključivo neizbijeljene kemijske celuloze. Budući da su ova vlakna smeđa, da bi se postigla bijela površina koristi se dvostruki ili trostruki premaz, ponekad u kombinaciji s izbijeljenom tehničkom celulozom. U nekim slučajevima poledina se također premazuje. Drvenjača i reciklirana vlakna nekad mogu djelomično zamijeniti kemijsku celulozu. Ovaj tip kartona koristi se kod svih tipova ambalaže gdje su bitna jaka mehanička i mokromočna svojstva. Primjer su kutije za nošenje boca i limenki budući da je vrlo jak i izdržljiv, i može se napraviti tako da je vodootporan, što je nužno tijekom pakiranja. Karton se može primijeniti i za smrznutu hranu, deterdžent, žitarice, cipele i dr.

### 7.3. Fbb/Gc/Uc karton

To je tzv. karton za složive kutije čiji srednji sloj čini mehanička drvenjača zatvorena između slojeva izbijeljene kemijske celuloze (slika 7.2.). Drvenjača može biti brušena, termomehanička ili kemitermomehanička. Gornji sloj čini izbijeljena kemijska celuloza s jednostrukim ili dvostrukim premazom, dok donji sloj može biti izbijeljena ili neizbijeljena kemijska celuloza.



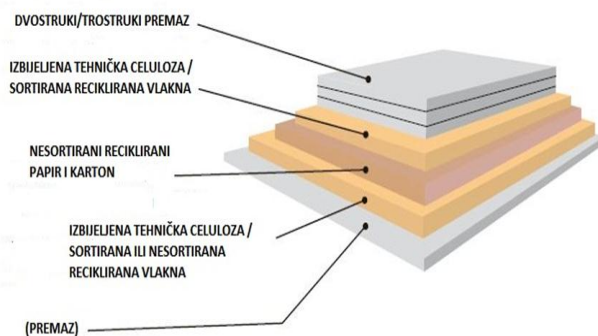
Slika 7.2. Sastav fbb kartona [8]

Kod GC2 kartona poledina je obično krem boje. Razlog tome je što je donji sloj izbijeljene kemijske celuloze proziran te se vidi boja srednjih slojeva mehaničke drvenjače. Ako se ti slojevi blago kemijski obrade, drvenjača postane svjetlija u boji te karton postaje bjeliji. Također, donji sloj može biti deblji u konstrukciji ili premazan te se dobije karton s bijelom poledinom (GC1). Kombinacija unutarnjih slojeva od mehaničke drvenjače

i vanjskih od kemijske celuloze stvara visokokvalitetni karton s izvrsnim svojstvima krutosti i dimenzionalne stabilnosti. Pošto je ovaj karton izrađen od primarnih vlakana, ima visoku čistoću te kao takav zadovoljava kriterije ambalaže za hranu i aromatične proizvode. Ima široku primjenu u farmaceutskoj, kozmetičkoj i duhanskoj industriji, kao i za ambalažu pića, igračaka i ostalih mnogobrojnih proizvoda.

#### 7.4. Wlc/Gd/Gt

Ovaj tip kartona sastoji se od srednjih slojeva recikliranog starog papira i/ili kartona (slika 7.3.). Gornji sloj obično se sastoji od izbjeljene kemijske celuloze ili sortiranih bijelih vlakana. Donji sloj može sa također sastojati iz tih istih vlakana ili od nesortiranih recikliranih vlakana. Površina je obično dvaput ili triput premazana mineralnim punilima te je i uobičajen jedan premaz na poledini. Poledina kartona može biti siva (GD), bijela, krem ili smeđa (GT). Sveukupni sadržaj recikliranih vlakana varira 80%-100%, ovisno o proizvođaču i kvaliteti kartona. Ovaj karton ima vrlo široku primjenu u prehrambenoj, kozmetičkoj i kemijskoj industriji, kao i za pakiranje igračaka, kutija za obuću i mnoge druge.



Slika 7.3. Sastav wlc kartona [8]

### 8. KOMERCIJALNA KARTONSKA AMBALAŽA - SLOŽIVE KUTIJE

Složive komercijalne kutije su male ili srednje veličine, izrađene od kartona spomenutih u prijašnjem poglavlju, gramature 200 – 600 g/m<sup>2</sup> (slika 8.1.). Složive kutije stvorile su industriju ambalaže kakvu danas poznajemo, počevši u kasnom 19. stoljeću. Predstavljaju značajni udio u prodajnim sektoru te se mogu pronaći gotovo svugdje. Kartonske kutije zadovoljavaju ambalažne zahtjeve, jeftine su, pružaju dobar vizualni dojam te se prilagođavaju ovisno o proizvodu, načinu distribucije i potrebama potrošača. Složive kutije isporučuju se u spljoštenom otisnutom ili neotisnutom obliku. Pošto su spljoštene, imaju veliku prednost u distribuciji i skladištenju jer se njima štedi velika količina mjesta u odnosu na nesložive kutije koje se proizvode spremne za korištenje prilikom proizvodnje [9].



Slika 8.1. Komercijalne složive kutije [9]

Prilikom punjenja proizvodom kutija se uspravi, puni i zatvara ručno, strojno ili kombinacijom oba postupka. Složive kutije obično se tiskaju s vanjske strane tekstom, ilustracijom i dekorativnim dizajnom, no mogu se tiskati i s unutarnje strane za proizvode specijalne svrhe. Koristi se i lakiranje, čime se poboljšava vizualni dojam i zaštićuje se otisak. Tisak daje informaciju o proizvodu, njegovom sigurnom korištenju kao i vizualni dojam prilikom kupnje. Koriste se razni doradni postupci poput plastifikacije, metalizacije, vrući tisak folijom, preganje, Brailleovo-pismo, prozorčići i mnogi drugi. Strukturni dizajn većine složivih kutija temelji se na pravokutnom ili četverokutnom dizajnu, ovisno o proizvodu, načinu njegovog pakiranja, metodi distribucije i o načinu korištenja. S pravokutnim kutijama lakše je raditi, posebno kada se proizvod mora pakirati velikom brzinom. Mogući su i drugi oblici da bi se zadovoljila specifična svojstva proizvoda te da bi se poboljšao vizualni dojam, poput okruglih, eliptičnih, trokutnih, piramidalnih, kupolastih i dr. Svi ovi oblici mogući su u proizvodnji zbog fundamentalnih svojstava kartona opisanih u prethodnim poglavljima.

### 9. EKOLOŠKI POGLED NA KARTONSKU AMBALAŽU

Pošto su evidentna svagdanja suočavanja s promjenama u klimatskim uvjetima, važno je dotaknuti se ekološke strane proizvodnje i korištenja kartona kao sredstva ambalaže. Papirna i kartonska ambalaža može se promatrati s dva gledišta što se tiče brige o okolišu. Prvo, kao bitan dio papirne industrije predmet su interesa koji se odnose na kompletnu papirnu industriju. Drugo, predmet su interesa koji se odnose na svu ambalažu. Globalno, pod time se podrazumijeva:

- Pritisak na resurse zbog povećane potražnje za papirom i kartonom.
- Drvo kao glavni izvor sirovina potječe iz šuma.
- Utjecaj na okoliš zbog korištenja puno energije i svježe vode.
- Onečišćenja prilikom proizvodnje, posebno kod procesa odvajanja vlakana i izbjeljivanja.

- Ambalaža se smatra otpadom jednom kad odsluži svojoj svrsi te predstavlja problem za okoliš.

Povećana potražnja za papirnom i kartonskom ambalažom rezultat je rasta svjetske populacije zajedno s povećanjem ukupne potrošnje kao i rasta standarda. Vodeći princip za današnje moderno društvo, kada se procjene naše sadašnje i buduće potrebe, jest da se osigura upravljanje resursima na ekološki održivi način. Održivi razvoj je onaj koji susreće trenutačne ljudske potrebe za resursima, a da ne ugrožava potrebe budućih generacija. Prema tome, papir i karton ne bi smjeli biti onečišćivači u proizvodnji, korištenju i odlaganju i ne bi smjeli crpiti nezamjenjive resurse.

## 9.1. Šume

Stvarnost je ta da šume nestaju zbog ljudskog nesavjesnog iskorištavanja. One su glavni izvor sirovina za proizvodnju papira i kartona. Postalo je popularno isticati da je papirna industrija glavni krivac za nestajanje šuma što je potpuno netočno. Većina drveća u papirnoj industriji dolazi iz industrijski razvijenih zemalja gdje je zabilježen porast područja pokrivenih šumom u periodu 1990.-1999., i to od 54 milijuna hektara, što je otprilike površina Francuske. U Europi i Americi zabilježen je porast šuma u odnosu na posječene šume u razmjeru više od 40%. Većina tvornica diljem svijeta imaju interes za šume, te je u njihovoj politici poslovanja da upravljaju tim šumama na održiv i ekološki prihvatljiv način. U njihovom je interesu da čuvaju svoja ulaganja i osiguraju sirovi materijal, a to se može postići samo kroz održivi razvoj šuma.

## 9.2. Energija

Energija se koristi prilikom separacije vlakana, izbjeljivanja, proizvodnje te kod korištenja papirne i kartonske ambalaže. Energija pokriva oko 25% troškova u proizvodnji. Izvor energije kao i njena potrebna količina ovise o načinu proizvodnje, tiskanju, doradi, ambalaži, distribuciji i njenoj lokaciji. Kod kemijske separacije vlakana, kemikalije se koriste za odvajanje nevlaknastih supstanci iz drva. Odvojeni materijal se koristi kao gorivo za proizvodnju električne energije i vodene pare, potrebne za proizvodnju. Stoga je drvo izvor energije i kao materijal i kao pogonsko gorivo. Ovaj izvor energije, tzv. biomasa, je obnovljiv i održiv. U Europi i Americi se više od 50% papira i kartona proizvodi iz energije na bazi biomase. Kod mehaničke separacije vlakana i recikliranja koristi se električna energija. Većina tih tvornica proizvodi svoju energiju i paru. Izvor energije za ove procese u većini slučajeva je fosilno gorivo u obliku prirodnog plina. Štednja energije u proizvodnji papira i kartona veliko je područje za razvoj na koji svakako treba obratiti pozornost. Potrošnja energije po toni papira ili kartona u stalnom je padu, te se neprestano razvijaju i primjenjuju novi izvori energije, napredniji sistemi za štednju i obnavljanje energije za proizvodnju.

## 9.3. Voda

Prije desetak godina u prosjeku se koristilo 35 m<sup>3</sup> vode za proizvodnju jedne tone kartona, što je za trećinu manje u odnosu na prijašnje godine. Međutim, bitno je napomenuti da se proizvodnja u istom razdoblju povećala čak 36%. Neki proizvodi zahtijevaju manju potrošnju vode, trend je i dalje padajući, te danas treba manje od 15 m<sup>3</sup> vode za jednu tonu. Voda se koristi u gotovo cijelom procesu proizvodnje papira i kartona. Koristi se kod kemijskog i mehaničkog razvlaknjivanja, izbjeljivanja, pranja i oplemenjivanja vlakana. Voda se koristi i kod recikliranja vlakana, posebno u procesu flotacije. Također, voda ima ključnu ulogu prilikom proizvodnje na stroju. Nakon korištenja, voda korištena u procesu obrađuje se s ciljem zadovoljavanja regulativa i povratka u rijeke, jezera i prirodne tokove. Kao što je već spomenuto, trend je korištenje manje vode. Voda se reciklira i obnavlja. Koriste se zatvoreni vodeni sistemi u kojima se reciklira sva procesna voda te se tako smanjuje potreba za korištenjem svježe vode. Poboljšani procesi u obradi vode, kao i prestanak upotrebe elementarnog klor, rezultirali su sveukupnim smanjenjem korištenja vode.

## 9.4. Kemikalije

Kemikalije korištene u proizvodnji čine 3% ukupnog sirovog materijala. Daljnjih 9% čine minerali korišteni kao punila i kao premaz. Aluminijev sulfat korišten kao vezivo prirodnog je podrijetla, isto kao i škrob. Većina kemikalija koje se koriste prilikom razvlaknjivanja obnavljaju se i ponovno koriste u procesu. Većina ostalih materijala korištenih u proizvodnji pažljivo se odabire, pri čemu se pazi na okoliš, zdravlje i sigurnost, i moraju biti prikladni za ambalažu u prehrambenoj industriji.

## 9.5. Otpadna ambalaža i njena minimalizacija

Iako se neki dio ambalaže odvaja iz otpada prikupljanjem, ponovnim korištenjem i recikliranjem, podaci govore da prije ili kasnije sve završi u prirodi. To se vidi na mjestima gdje ljudi žive i rade, i to zbog činjenice da su ljudi navikli ambalažu baciti s ostalim otpadom. Da bi se kvalitetno minimalizirala otpadna papirna i kartonska ambalaža, trebali bi obratiti pozornost na sljedeće principe:

- Dizajn same ambalaže može optimizirati količinu potrebnog materijala istodobno zadržavajući snagu.
- Smanjiti gramaturu materijala, ali pritom imati na umu da zaštita proizvoda nije ugrožena. Moguće je uštediti na materijalu tako da se reducira količina primarnog materijala i poveća se snaga ambalaže u distribuciji i obratno.
- Promijeniti specifikaciju materijala. Neki papiri i kartoni nude istu snagu s uštedom na materijalu od 20%, npr. kraft karton, valoviti karton, korištenje primarnih vlakana i dr.

## 10. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme kada smo suočeni sa svagdanjim izvještajima o negativnim ekološkim promjenama, održiva budućnost postala je globalna tema za vlade, proizvođače i potrošače. Sve vrste proizvoda imaju neki negativni utjecaj na okoliš. Ambalaža nije izuzetak. Kada se iskoristi proizvod koji ambalaža sadrži, ona se odbacuje pa njen utjecaj na ekologiju ponekad može biti prilično vidljiv. Tu dolazimo do ključnog pitanja: jesu li kartoni prijatelji okolišu? Odgovor je pozitivan. Što se tiče utjecaja na okoliš i na klimatske promjene, ne postoji bolja ambalaža od kartonske. Ona se temelji na drvu, što je jedini obnovljivi sirovi materijal i dolazi iz održivih certificiranih šuma. Karton se može reciklirati i pretvoriti u novi karton i novu ambalažu, ili se može spaliti i iskoristiti kao biogorivo u ponovnoj proizvodnji. Nije katastrofa ako kartonska ambalaža završi u prirodnom okolišu jer se jednostavno razgradi pomoću mikroorganizama, što nije slučaj kod ostalih vrsta ambalaže. Trebamo biti svjesni glavnih dobrobiti kartonske ambalaže, a to je da štite puno važnije resurse prilikom pakiranja, skladištenja, distribucije, prodaje i potrošnje, naročito hrane. Zatvorena ekološka petlja šuma daje nam sirovi materijal za kartonsku ambalažu, dok istodobno stari karton i papir imaju važnu ulogu u recikliranom sistemu modernog održivog društva.

## 11. LITERATURA

- [1] Kiwan, M.: Paper and Paperboard Packaging Technology, Blackwell Publishing, London, 2005.
- [2] Horvatić. S.: Grafika – Papiri i Kartoni, Grafička škola u Zagrebu, Zagreb, 2009.
- [3] <http://www.storaenso.com> (Dostupno: travanj 2011.)
- [4] Golubović, A.: Svojstva i ispitivanje papira, Grafički fakultet, Zagreb, 1993.
- [5] <http://www.iggesund.com> (Dostupno: travanj 2011.)
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Paper\\_machine](http://en.wikipedia.org/wiki/Paper_machine) (Dostupno: lipanj 2011.)
- [7] Kosić, T.: Osnove grafičkih materijala i tiskarskih tehnika, Zagreb, 2008.
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Packaging\\_and\\_labelli](http://en.wikipedia.org/wiki/Packaging_and_labelli) (Dostupno: lipanj 2011.)
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Folding\\_carton](http://en.wikipedia.org/wiki/Folding_carton) (Dostupno: lipanj 2011.)

### Kontakt autora:

**Dario Petrić (bivši student)**

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33, 42000 Varaždin  
098/412 710, 042/816-085  
[petric.d@gmail.com](mailto:petric.d@gmail.com)

**Dr. sc. Damir Vusić, v. pred.**

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33, 42000 Varaždin  
Tel.: 042 493 334  
[dvusic@velv.hr](mailto:dvusic@velv.hr)

**Robert Geček, dipl.ing., vanjski suradnik**

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33, 42000 Varaždin  
098/268-862  
[graphing-ivanec@vz.t-com.hr](mailto:graphing-ivanec@vz.t-com.hr)

# MEĐUSOBNI ODNOS LOGISTIČKIH I TRANSPORTNIH SUSTAVA

## MUTUAL RELATION BETWEEN LOGISTICS AND TRANSPORTATION SYSTEMS

*Krešimir Buntak, Davor Grgurević, Ivana Droždek*

Stručni članak

**Sažetak:** Ovaj rad analizira i komparira logistički sustav i transportnu mrežu. Kao sastavni dio logističkog sustava transport je djelatnost prijenosa i premještanja robe i putnika u svim vrstama prijevoznih sredstava (kamion, zrakoplov, brod, vlak i dr.). Isto tako, sa stajališta poslovne logistike transport je djelatnost koja je istodobno i element logističkog sustava kojim se omogućuje premještanje dobara kroz logistički i distribucijski sustav. Transport je element logističkih sustava koji omogućuje funkcioniranje ovakvih sustava na svim razinama.

**Ključne riječi:** logistički sustavi, strukture i razgraničenja logističkih sustava, transportni lanci, transportne mreže

Professional paper

**Abstract:** As an integral part of logistic system, transport is activity of transferring and relocation of goods and passengers in all types of transportation devices (lorry, airplane, vessel, train, etc.). Also from the point of business logistics, transport is an activity which is at the same time element of the logistic system which enables transportation of goods through logistic and distribution system. Transport is element of logistic systems which enables functioning of the logistic systems at all levels. The paper conducts analysis of the logistic systems and transport networks and carries their comparison.

**Key words:** logistic systems, structures and demarcations of logistic systems, transport chains, transport networks

### 1. UVOD

Analizirajući logističke sustave, neovisno o njihovoj složenosti i funkciji, nemoguće je izostaviti funkciju transporta. Neovisno o tome jesu li transportni procesi interno ili eksterno uvjetovani, ili se provode samo unutar jednog ili povezujući više logističkih sustava, njihova uloga što se tiče funkcioniranja vrlo je važna. Cilj ovog rada je analizirati ulogu procesa transporta na funkcioniranje logističkih sustava svih razina i tipova.

- transporta, pregrupiranja i skladištenja gdje su bitni procesi tokova dobara
- pakiranja i signiranja gdje su bitni procesi pomaganja tokovima dobara
- dostavljanja i obrada naloga gdje su bitni procesi tijekova informacija

Isto tako, logistički sustav je skup elemenata tehničke, tehnološke, organizacijske, ekonomske i pravne naravi s ciljem optimizacije tokova materijala, roba, informacija, energije i ljudi na određenom zemljopisnom području radi ostvarenja najvećih ekonomskih efekata. Općenita podloga za razumijevanje poslovne logistike je teorija sustava čija je osnovna zamisao da glavni problem nije u optimiziranju zasebnih područja poslovanja, već u optimiziranju poslovnog sustava kao cjeline.

### 2. LOGISTIČKI SUSTAVI

Osnovna karakteristika logističkog sustava je povezanost procesa kretanja (transporta) i zadržavanja (skladištenja, pakiranja i dr.). Pod logističkim sustavom podrazumijeva se, u najširem smislu, prostorno-vremenska transformacija dobara i potrebnih informacija u procesu reprodukcije. Logistički procesi su poslovi i zadaci o kojima ovisi realizacija logističkih usluga.<sup>1</sup> Temeljna funkcija logističkog sustava je prostorno-vremenska transformacija dobara, a ona se odvija u procesima<sup>2</sup>:

#### 2.1. Mikrologistički sustavi

Takav sustav poduzeća treba osigurati prijevoz, skladištenje i isporuku robe i materijala, kao i za to potrebne komunikacijske veze unutar poduzeća. Mikrologistika poduzeća mora osigurati da svaki dio poduzeća bude na vrijeme i uz minimalne troškove opskrbljen potrebnim predmetima rada i informacija. To je sustav međusobno, svrsishodno povezanih i međusobno podložnih podsustava i elemenata koji pomoću temeljenih elemenata proizvodnje omogućuje

<sup>1</sup> Šamanović, J., (2009.), *Prodaja-Distribucija-Logistika*, Ekonomski fakultet Sveučilišta, Split, 76. str.

<sup>2</sup> Pfohl, H. Ch., (1990.), *Logistiksysteme*, IV. Auflage, Springer Verlag, Berlin – Heideberg – New York, 7. i 8.

proizvodnju logističkih proizvoda unutar određenog logističkoga poslovnoga sustava.<sup>3</sup>

## 2.2. Metalogistički sustavi

To su zapravo interorganizacijski sustavi koji prelaze pravne granice pojedinih poduzeća, a karakteristični su po kooperativnim odnosima između poduzeća koja sudjeluju u premještanju dobara. Jedan metalogistički sustav ne obuhvaća cijeli promet robe u nacionalnom gospodarstvu, a ni promet samo jednog poduzeća, nego promet niza poduzeća koja rade u jednom marketinškom kanalu. Kooperacijske prednosti se očituju kroz reduciranje pojedinih poslova i zadataka u logističkom kanalu, zatim racionalnije korištenje transportnih sredstava i opreme, otklanjanje uskih grla u logističkom kanalu, te ubrzanje robnog tijeka i povećanje kvalitete logističkih usluga. Metalogistika svojim znanjima i aktivnostima, putem specijaliziranih logističkih subjekata, povezuje važne logističke funkcije između brojnih logističkih subjekata makrologistike i mikrologistike u upravljanju tokova roba - od isporuke i razdiobe pa sve do primitka.

## 2.3. Makrologistički<sup>4</sup> sustavi

Objedinjuje oba prethodna sustava u jedinstveni sustav koji predstavlja jedan od podsustava društva. Makrologistički sustav raspodjele dobara je jedan od najvažnijih pokazatelja razvitka nacionalnog gospodarstva. Logističke aktivnosti počinju izvan poduzeća (suradnja s dobavljačima) i završavaju također izvan poduzeća (kroz odnose s kupcima preko kojih se plasiraju proizvodi). Makrologistički sustav obuhvaća granske logistike, a razvoj kompjutorske tehnologije omogućio je povezivanje i usklađivanje prijevoza robe putem integralnog transporta i to unutar zemlje i prema inozemstvu. To znači da makrologistički sustav čini neposredna okolina u kojoj se nalaze mikrologistički i metalogistički sustavi.

## 2.4. Megalogistički sustavi

U odnosu na makrologistički sustav, to je specifičan oblik logističkih aktivnosti koje omogućuju prostorno-vremensku transformaciju dobara, stvari i materijala između makrologističkih sustava, uz maksimalno zadovoljstvo korisnika i minimalno uložene materijalne resurse i ljudske potencijale. On predstavlja društveno gospodarski i pravni okvir za djelovanje makrologističkih sustava. Sustav megalogistike čine svi makrologistički sustavi pojedinih država zajedno sa svojim mikrologističkim i metalogističkim sustavima. To je sustav međusobno svrsishodno povezanih i međuučesajnih podsustava i elemenata koji pomoću odgovarajućih elemenata proizvodnje omogućuju proizvodnju logističkih proizvoda na velikim područjima, npr. u Europi, SAD-u i sl.

## 2.5. Globalnologistički sustavi

To je sustav međusobno, svrsishodno povezanih i međuučesajnih makrologističkih sustava i elemenata koji pomoću elemenata proizvodnje omogućuju proizvodnju različitih logističkih proizvoda na logističkom svjetskom tržištu. Njega čine svi makrologistički sustavi sa svojim podsustavima, odnosno mikrologističkim sustavima. To je najveći realni, složeni, dinamički i stohastički logistički sustav i u današnjoj civilizaciji jedini stvarni megalogistički sustav.

## 3. TRANSPORTNI SUSTAV

Pod transportom se podrazumijeva premošćivanje prostora ili promjena mjesta transportiranih proizvoda pomoću transportnih sredstava. Svaki se transportni sustav sastoji od transportnog sredstva, transportiranog proizvoda (proizvoda koji treba transportirati) i transportnog procesa<sup>5</sup>. Sa stajališta poslovne logistike pod transportom se podrazumijeva djelatnost koja je istodobno i element logističkog sustava kojim se omogućava premještanje dobara kroz logistički i distribucijski proces. Transport se može obavljati u sklopu različitih grana prometa, a svaka je karakteristična po prijevoznom putu, prijevoznim sredstvima i prijevoznom procesu.

### 3.1. Transportni lanac

Transportni lanac je<sup>6</sup> skup, odnosno niz međusobno i interesno povezanih karika (partnara i aktivnih sudionika) koje omogućuju brze, sigurne i racionalne procese proizvodnje transportnih proizvoda. Svaku kariku u transportnom lancu predstavlja jedan aktivni sudionik u procesu proizvodnje transportnih proizvoda, npr: pošiljatelj – prijevoznik – skladištar – terminal – slagač, dok proizvod ne dođe do krajnjeg korisnika. Transportni lanci se dijele na:

- **kratke** - imaju do pet karika i takvi lanci se prakticiraju najviše u konvencionalnom transportu
- **dugačke** - imaju od 6 do 10 karika i prakticiraju se najviše u kombiniranim i jednostavnijim multimodalnim transportima
- **veoma dugačke** - imaju od 11 do 20 karika i prakticiraju se u složenijim kombiniranim i multimodalnim transportnim poduhvatima
- **megatransportni lanci** - imaju više od 21 kariku i prakticiraju se u megamultimodalnim transportnim poduhvatima.

Transportni lanci se mogu dizajnirati u **konvencionalnom, kombiniranom i multimodalnom** transportu. Za **konvencionalni** transport je znakovito da se predmet transporta prevozi s jednog mjesta na drugo samo jednim prijevoznim sredstvom i to prijevoznim sredstvom samo jedne vrste transporta, npr. kamionom ili željeznicom. Prijevoz se provodi na osnovu jednog

<sup>3</sup> Zelenika, R., Pupavac, D., (2008.), Menadžment logističkih sustava, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, str. 70.

<sup>4</sup> Šamanović, J., 2009., str. 81.

<sup>5</sup> Pfohl, H. Ch. 1990., str. 157.

<sup>6</sup> Zelenika, R.; Pupavac, D., 2008., str. 186.

ugovora o prijevozu, jedne isprave o prijevozu i takav prijevoz organizira samo jedan špediter.

U **kombiniranom** transportu prijevoz robe (sipki, rasuti teret) obavlja se najmanje s dva različita prijevozna sredstva i s dvije različite transportne grane. Zapravo se sklupa onoliko ugovora o prijevozu robe koliko je sudjelovalo transportnih grana. Pribavlja se i ispostavlja onoliko isprava o prijevozu robe koliko je sklopljeno ugovora o prijevozu. Transportni proces organizira jedan ili više špeditera.

Prema konvenciji Ujedinjenih naroda o međunarodnom **multimodalnom** transportu robe važno je.

- da su „operatori multimodalnog prijevoza“ i primatelji robe u dvije različite države
- da se prijevoz robe u međunarodnom multimodalnom transportu obavlja s najmanje dva različita prijevozna sredstva, odnosno da u takvom transportnom procesu sudjeluju najmanje dvije različite grane transporta
- da se cjelokupni pothvat međunarodnog multimodalnog transporta temelji samo na jednom ugovoru o prijevozu pošiljke što ga je operator multimodalnog transporta sklopio s pošiljateljem robe
- da se za cjelokupni pothvat ispostavlja samo jedan dokument o prijevozu pošiljke

## 3.2. Transportne mreže

Transportna mreža je<sup>7</sup> sustav međusobno i interesno povezanih transportnih čvorišta, prometnica, koridora, ruta, linija, transportnih lanaca koji omogućuje brze, sigurne i racionalne procese proizvodnje transportnih proizvoda. Transportne mreže omogućuju transport neke stvari, materijala, robe ili putnika s jednog mjesta na drugo, svladavajući pri tome prostorne i vremenske dimenzije. Transportne mreže tvori više transportnih lanaca koje mogu imati manje ili više karika, tj. manje ili više prometnica, koridora i sl. Čvorovi u transportnim mrežama zapravo su manja ili veća skladišta, terminali (univerzalni ili specijalizirani), robnotrgovinski centri, robnodistribucijski centri, logistički centri, kolodvori (autobusni, željeznički), morske luke, riječna pristaništa i sl.

### 3.2.1. Konvencionalne transportne mreže

Dizajniraju se u nacionalnom i međunarodnom konvencionalnom transportu. Za takve mreže je znakovito da su otpremna i odredišna mjesta izravno povezana određenim prometnicama, koridorima, brodskim linijama, vodenim kanalima, cjevovodima i sl. Otpremna i odredišna mjesta mogu biti tvornice, skladišta, terminali, morske luke, riječna pristaništa, aerodromi i dr. U otpremnim mjestima djeluju brojni gospodarski, odnosno pravni subjekti, i to proizvođači, prerađivači, dobavljači i sl. koji samostalno ili putem specijaliziranih posrednika dizajniraju transportne mreže.

### 3.2.2. Multimodalne transportne mreže

Dizajniraju se u međunarodnom multimodalnom transportu. Za njih je važno da u povezivanju otpremnih i odredišnih mjesta sudjeluje više različitih grana transporta i to: cestovni, željeznički, pomorski i riječni. Otpremna se mjesta mogu povezivati s odredišnim mjestima transportnim nitima preko brojnih transportnih čvorova, a to su obično morske luke, riječna pristaništa, cestovno-željeznički terminali i dr.

### 3.2.3. Mikrotransportne mreže

Dizajniraju se na relativno malom zemljopisnom području, tj. u sklopu mikrotransportnih sustava, npr. Splitsko-dalmatinske županije. U njima sudjeluju sve grane transporta, ali najčešće sudjeluju: cestovni, željeznički, pomorski i zračni transport, kao i brojni proizvođači, prodavatelji, dobavljači, trgovci, prijevoznici, kupci i potrošači. Ne mogu funkcionirati bez određenih materijalnih, financijskih i vlasničkih tokova. One su sastavni dijelovi makrotransportnih, globalnotransportnih i megatransportnih mreža.

### 3.2.4. Makrotransportne mreže

Kreiraju se na određenom nacionalnom transportnom tržištu, kao npr. transportna mreža u RH. U takvim mrežama samostalno ili u kombinaciji sudjeluju sve grane transporta kao npr.: cestovni, željeznički, pomorski, riječni, zračni, kanalski, poštanski, unimodalni, kombinirani i multimodalni. Te mreže čini više mikrotransportnih mreža. Makrotransportne mreže kreiraju se i dizajniraju također i na višenacionalnom transportnom tržištu. U njima sudjeluju brojni proizvođači, prodavatelji, dobavljači, trgovci, prijevoznici, špediteri, agenti, kupci, potrošači. One funkcioniraju kao segmenti globalnih i megatransportnih mreža.

### 3.2.5. Globalnotransportne mreže

Takve mreže tvori više makrologističkih mreža kao npr. transportna mreža Sjeverne Amerike. U takvim transportnim mrežama samostalno ili u kombinacijama sudjeluju sve grane transporta i to: pomorski, cestovni, željeznički, riječni, kanalski, zračni, konvencionalni, kombinirani i multimodalni.

### 3.2.6. Megatransportne mreže

One se dizajniraju na megatransportnom tržištu koje se može promatrati na tri razine:

1. megatransportno tržište u užem smislu, a to je tržište na kojem se proizvode transportne usluge na određenom kontinentu
2. megatransportno tržište u širem smislu, a to je područje veće od kontinenta, odnosno to je transportno tržište na planetu Zemlji
3. megatransportno tržište u najširem smislu, a to je moguće samo futuristički promišljati jer se odnosi na proizvodnju transportnih usluga između planeta Sunčevog sustava.

<sup>7</sup> Ibidem str. 193.

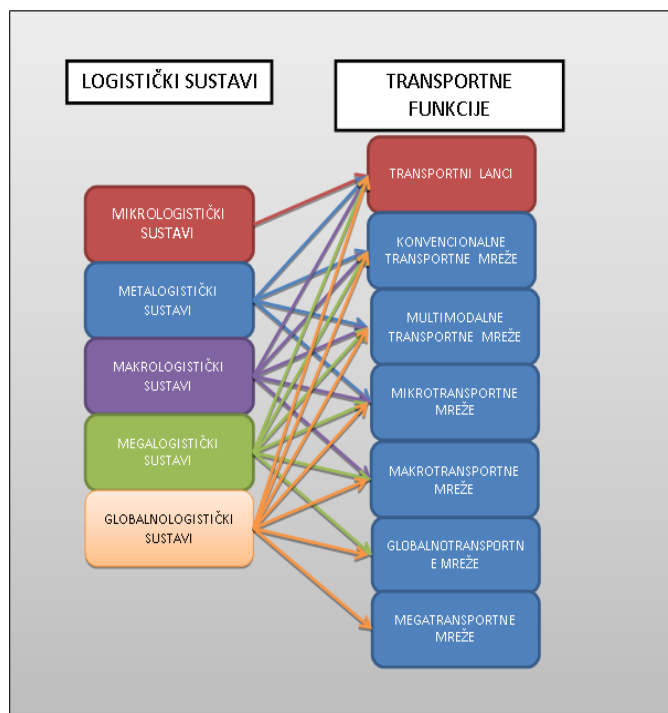
#### 4. ODNOS LOGISTIČKIH I TRANSPORTNIH SUSTAVA

Savladavanje prostornih i vremenskih dimenzija u kupoprodaji, transportu, odnosno u logističkim sustavima pri distribuciji materijalnih dobara između mjesta proizvodnje i mjesta potrošnje, nije moguće bez transportnih lanaca. Oni su najbitnija sastavnica transportnih mreža. Njihova je temeljna zadaća da omoguće brze, sigurne i racionalne procese proizvodnje transportnih proizvoda. To znači da znanjima, spoznajama, pravilima, tehnikama, vještinama proizvođači transportnih proizvoda pomoću transportnih lanaca omoguće fizički prijenos, premještanje, prijevoz materijalnih dobara s jednog mjesta na drugo, bez obzira na broj karika u transportnim lancima te prostorne i vremenske dimenzije procesa proizvodnje transportnih proizvoda. S obzirom na to da su transportne mreže sastavljene od transportnih lanaca te da one omogućuju proizvodnju, razmjenu, transport materijalnih dobara između mjesta proizvodnje i mjesta potrošnje, može se ustvrditi da takve mreže imaju primarnu zadaću fizičkog prijenosa, prijevoza materijalnih dobara, putnika s jednog mjesta na drugo bez obzira na arhitekturu i modalitet transportnih mreža. One zapravo predstavljaju temeljnu infrastrukturu ne samo u transportnoj industriji, nego i u svim modalitetima logističkih sustava. Može se reći da su transportni lanci i transportne mreže sastavni dijelovi transportnih funkcija. Komparirajući logističke sustave i transportne funkcije došlo se do zaključka da transportni lanac obavlja svoju funkciju na razini mikrologističkog sustava u kojem se transport odvija u sklopu jednog poduzeća, dok konvencionalne transportne mreže, koje koriste samo jednu vrstu transportnog sredstva, prožimaju mikrologistički, metalogistički, makrologistički i megalogistički sustav. Za multimodalne transportne mreže za koje je znakovito da u njima sudjeluje više vrsta transporta, osim već spomenutih sustava, može biti obuhvaćen i globalnologistički sustav.

Mikrotransportna mreža koja se kreira npr. na području jedne županije karakteristična je za metalogistički sustav, dok je makrotransportna mreža koja se kreira na jednom nacionalnom tržištu karakteristična za makrologistički sustav.

Globalnotransportne mreže koje se kreiraju npr. na području jednog kontinenta ili na razini EU su karakteristične za megalogističke sustave. Megatransportne mreže koje se mogu promatrati kroz tri razine, od transporta na razini jednog kontinenta preko transporta na razini zemaljske kugle, sve do transporta između planeta, karakteristične su za globalnologističke sustave.

Zaključujemo da se na isti način, kako više razine logističkih sustava uključuju u sebe i one niže, događa i s transportnim mrežama koje pokrivaju i logističke sustave. Tako npr. makrologistički sustav, za koji je karakteristična makrotransportna mreža, uključuje u sebe s gledišta logističkog sustava mikrologistički i metalogistički sustav, a s gledišta transporta uključuje transportne lance, konvencionalne, multimodalne i mikrotransportne mreže. Sve spomenute relacije su vidljive iz slike 1.).



Slika 1. Odnos logističkih sustava i transportne funkcije  
Izvor: autorski rad

#### 5. ZAKLJUČAK

Analize u radu upućuju na zaključak da transport ima vrlo bitnu ulogu u logističkom sustavu zato što je jedan od onih aktivnosti na koje otpada većina troškova poduzeća. Zato treba odabrati što ekonomičniji, sigurniji i pravodobni način transporta robe na svim razinama logističkih sustava.

Mikro, meta, makro, mega i globalni logistički sustavi ne mogu optimalno funkcionirati bez djelotvornih transportnih lanaca, te svih gore spomenutih transportnih mreža sa svim svojim elementima i sadržajima. Takvi lanci i mreže omogućuju brzu, sigurnu i racionalnu distribuciju materijalnih dobara i partnerske odnose između brojnih logističkih subjekata iz gotovo svih djelatnosti logističkoga sektora. Takvi se lanci i takve se mreže trebaju stalno prilagođavati željama, potrebama, potražnji i kupovnoj moći potrošača i korisnika distribucijsko-logističkih proizvoda. Isto tako takvi lanci i mreže trebaju omogućiti proizvođačima distribucijsko-logističkih proizvoda uspješno, učinkovito i profitabilno poslovanje.

Temeljna misija distribucijske logistike i distribucijsko-logističkih sustava jest da svojim potencijalima, resursima, znanjima, aktivnostima, omogući racionalnu proizvodnju proizvoda u svim modalitetima logističkih sustava. To zapravo znači da takva logistika i takvi sustavi moraju omogućiti kontinuiranu dostavu i opskrbu pravih i vrsnih dobara, odgovarajućega asortimana, na pravo mjesto, pravodobno, uz najniže troškove i rizike, uz ostvarenje primjerenog profita, ali i zadovoljavanje potražnje kupaca i potrošača. Izvršni distribucijsko-logistički

proizvodi pozitivno utječu na redizajniranje poslovne politike, organizacijske strukture, organizacijske kulture, menadžmenta, prije svega megakompanija, ali i srednjih i malih poduzeća. Ostvarivanje temeljne misije distribucijske logistike i distribucijsko-logističkih sustava nije jednostavno. Svaka specijalistička logistika i svaki specijalistički logistički sustav ima svoje posebne zahtjeve, posebne interese, oni su na različitim stupnjevima razvoja tehničkih, tehnoloških, organizacijskih, ekonomskih, pravnih, ekoloških logističkih fenomena. U takvim zamršenim odnosima presudnu važnost ima kvaliteta logističkoga ljudskoga kapitala, odnosno kvaliteta svih elemenata proizvodnje distribucijsko-logističkih proizvoda.

## 6. LITERATURA

- [1] Andrijanić, I.; Aržek, Z.; Prebežec, D.; Zelenika, R., (2001.), *Transportno i špeditorsko poslovanje*, Mikrorad i Ekonomski fakultet, Zagreb
- [2] Pfohl, H. Ch., (1990.), *Logistiksysteme*, IV. Auflage, Springer Verlag, Berlin – Heideberg – New York
- [3] Segetlija, Z., (2008.), *Uvod u poslovnu logistiku*, Ekonomski fakultet Osijek, Osijek
- [4] Šamanović, J. (2009.), *Prodaja-Distribucija-Logistika*, Ekonomski fakultet Sveučilišta, Split
- [5] Zelenika, R.; Pupavac, D., (2008.), *Menadžment logističkih sustava*, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka

### Kontakt autora:

**dr.sc.Krešimir Buntak, vanjski suradnik**

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33, 42000 Varaždin  
098/357-494  
[kresimir.buntak@dzm.hr](mailto:kresimir.buntak@dzm.hr)

**mr.sc. Davor Grgurević**

Ministarstvo unutarnjih poslova RH, Odjel  
gospodarskog kriminaliteta i korupcije  
Ilica 335, 10000 Zagreb  
[davor.grgurevic@gmail.com](mailto:davor.grgurevic@gmail.com)

**Ivana Droždek, dipl.oec., asistent**

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33, 42000 Varaždin  
042/493-338  
[ivana.drozdek@velv.hr](mailto:ivana.drozdek@velv.hr)

# USPOREDBA FLEKSOGRAFSKOG I DIGITALNOG TISKA ETIKETA IZ ROLE

## COMPARISON OF FLEXOGRAPHY AND DIGITAL ROLL LABELS PRINTING

*Antonio Zdelar, Marin Milković, Dean Valdec*

Stručni članak

**Sažetak:** Na tržištu grafičkih proizvoda etikete su jedan od najzastupljenijih proizvoda. Većina etiketa se još uvijek tiska putem konvencionalnih tiskarskih tehnika, kao što su fleksotisak i ofsetni tisak. Međutim, novi tržišni trendovi u proizvodnji etiketa nalažu manje naklade i veću personalizaciju otisaka, i taj posao polako preuzimaju tehnike digitalnog tiska bazirane na elektrofotografskoj i ink-jet tehnici. Prema najnovijim podacima, na globalnoj razini je instalirano oko 1300 digitalnih strojeva za tisak etiketa. Trenutno su na tržištu najzastupljeniji HP i Xeikon strojevi bazirani na elektrofotografskoj tehnici digitalnog tiska. Na tržištu strojeva je zabilježen porast strojeva baziranih na ink-jet digitalnoj tehnologiji. U praktičnom dijelu završnog rada prikazan je rad digitalnog ink-jet stroja Durst Tau 150 8C. Također se istražuje ekonomska isplativost tiska malih naklada etiketa između digitalnog Rapid X stroja i konvencionalnog fleksografskog NILPETER 3300 stroja.

**Ključne riječi:** konvencionalni tisak etiketa, digitalni tisak etiketa, vrijeme tiska, troškovi tiska, ekonomska isplativost tiska malih naklada

Professional paper

**Abstract:** Labels are one of the most common products on the global graphic market. Majority of labels are still printed on conventional printing presses based on flexographic or offset printing technology. Constant changes on the label printing market now demand labels printed in shorter runs and with higher level of personalization. Such products are rather printed with non-impact (digital) printing technologies based on electrophotography or ink jet. Nowadays, on the global market, around 1,300 digital printing presses are installed, and the market leaders are HP and Xeikon presses based on electrophotographic technology. There is also an increasing growth in percentage of worldwide installation of digital label presses based on ink jet technology. In the practical part of this paper a detailed description of Durst Tau 150 8C digital label press is given, while in the rest of the practical part, this paper examines an economic profitability of short run label printing, between the digital label press Rapid X and the conventional flexographic label press NILPETER 3300.

**Key words:** conventional label printing, digital label printing, run time, run cost, economic profitability of short run printing

### 1. UVOD

Etikete su grafički proizvodi koji se definiraju kao samoljepljive ili na neki drugi način ljepljive naljepnice napravljene od plastičnih (polimernih) folija, papira, metaliziranih folija i drugih specijaliziranih supstrata (tiskovnih podloga) za tisak etiketa. Njihova uloga je da opisuju namjenu određenog proizvoda, imaju marketinšku ulogu te imaju i sigurnosnu funkciju. U najjednostavnijem obliku etikete na sebi nose samo informaciju o cijeni i/ili barkod. Etikete često služe i kao zamjena za tisak ambalaže.

Etikete se tiskaju na tiskarskim strojevima baziranim na fleksografskoj tehnici konvencionalnog tiska, na materijalima iz role širine 180-560 mm (tzv. „narrow web“ format). Osnovne značajke digitalnih sustava za tisak etiketa su isplativost otiskivanja manjih naklada, personalizacija tiska te tisak na zahtjev (Print on Demand).

Većina proizvodnih procesa u industriji etiketa temelji se na konvencionalnim tiskarskim sustavima građenim na tehnikama fleksografskog i ofsetnog tiska. Međutim, novi trendovi u proizvodnji koji uglavnom nastaju kao posljedica aktualne ekonomske krize nalažu proizvodnju manjih naklada etiketa i veću personalizaciju proizvoda.

Prema najnovijim podacima, početkom 2011. instalirano je oko 1300 digitalnih strojeva za tisak etiketa. Glavni tržišni lideri su HP Indigo strojevi bazirani na elektrofotografskoj tehnici tekućeg tonera, i Xeikon modeli iz serije 3000 bazirani na elektrofotografskoj tehnici praškastog tonera. U novije vrijeme se na tržištu pojavljuju novi strojevi bazirani na diskontinuiranoj UV ink-jet tehnologiji. Spomenuti strojevi služe za tisak etiketa na širinama role od 108 do 330 mm, te kao nadopuna konvencionalnoj tehnici fleksotiska.

## 2. DIGITALNI TISAK ETIKETA IZ ROLE

Digitalne tehnike tiska u proizvodnji etiketa koriste se za različite namjene. Digitalni sustavi za tisak etiketa svoju su primjenu prije svega našli u tisku malih naklada etiketa te za personalizaciji otisaka. Digitalna tehnologija se također koristi za otiskivanje varijabilnih podataka (barkodovi, različite šifre, rokovi trajanja i dr.) na etiketama. Digitalni strojevi dolaze kao samostalne jedinice za tisak malih naklada etiketa ili kao sastavni dio konvencionalnih tiskarskih sustava, gdje imaju ulogu personalizacije otisaka i otiskivanja varijabilnih podataka.

Digitalna tehnologija sve se više primjenjuje (od 2007.). U tom vremenskom periodu tržište etiketa doživljava nagle promjene koje su posljedica globalnih ekonomskih previranja. Naime, novi tržišni trendovi nalažu tiskanje manjih količina etiketa (prosječna naklada od 8 do 10 tisuća etiketa), te zahtijevaju sve veću personalizaciju otisaka. Digitalni strojevi čine 15% od svih rotacijskih strojeva instaliranih na godišnjoj razini. Samim time i prodaja digitalno otisnutih etiketa bilježi porast od 36% godišnje u odnosu na etikete otisnute putem konvencionalnih tehnika tiska koje bilježe rast od svega 4-5% na godišnjoj razini.

Najnoviji trend u ink-jet digitalnom tisku etiketa su tzv. „low-cost“ stolni printeri nižih cjenovnih razreda bazirani na Memjet tiskovnoj jedinici koja radi na principu termalne diskontinuirane ink-jet tehnologije. Osim toga, ink-jet tehnologija se primjenjuje u hibridnim sustavima za tisak etiketa i fleksibilne ambalaže u kombinaciji s konvencionalnim fleksografskim tiskovnim jedinicama.

### 2.1. HP Indigo modeli

Na području digitalnog tiska etiketa iz role tržišni lideri po broju instaliranih strojeva su HP Indigo modeli. Za digitalni tisak etiketa HP Indigo na tržištu predstavlja dva osnovna modela zasnovana na elektrofotografskoj tehnologiji tekućeg tonera: HP Indigo WS4600 i HP Indigo ws6000. Oba stroja omogućuju sedmerobojni tisak na širokom spektru tiskovnih podloga za tisak etiketa, fleksibilne ambalaže i kartona. Oba stroja koriste tekući HP ElectroInk toner koji omogućuje ofsetnu kvalitetu otisaka te vrhunsku reprodukciju grafičkih elemenata na svim tiskovnim podlogama. HP Indigo digitalni strojevi za tisak etiketa omogućuju korisnicima automatiziranu kontrolu procesa tiska te širok spektar sustava za završnu obradu (doradu) otisaka.



Slika 1. HP Indigo ws6000

### 2.2. Xeikon modeli

Xeikon, baziran na elektrofotografskoj tehnologiji praškastog tonera, je kao pionir digitalnog tiska u boji još 1996.g. predstavio prvu liniju za digitalni tisak etiketa.

Jedinstvena kombinacija mogućnosti adresiranja od 1200 x 3600 dpi i četverobitna varijabilna gustoća točke omogućuje bogatu paletu boja i postizanje finih kontrasta. Oštri i jasni detalji omogućuju tisak dodatnih elemenata, kao što je npr. mikrotekst koji se koristi kod sprečavanja krivotvorenja. Upotrebom četiri procesne boje i dodatnom jedinicom za spot ili UV boju proširuje se raspon boja, a samim time i poslova koje je moguće otisnuti na stroju. Zahvaljujući neprozirnoj bijeloj boji koja se nanosi u jednom prolazu, brzo i učinkovito se mogu otisnuti grafički elementi vrhunske kvalitete na prozirnim ili metalnim, odnosno metaliziranim podlogama. Rotacijska tehnologija koja je potpuno kombinirana s varijabilnim ponavljanjem omogućuje tisak pri maksimalnoj brzini bez obzira na širinu otiska i broj boja. Svi modeli iz serije Xeikon 3000 mogu tiskati na širokom spektru tiskovnih podloga kao što su samoljepljivi materijali, koekstrudirani filmovi, PET, PVC, ljepenke, kartoni, papiri gramature od 40 do 350 g/m<sup>2</sup>, te prozirne i mat folije.



Slika 2. Xeikon 3300

### 2.3. Stork Prints Digital System Ink Jet – DSI

Stork Prints DSI digitalni stroj za tisak etiketa je diskontinuirana UV ink-jet tehnologija koja omogućuje visokoproduktivan i ekonomski isplativ tisak manjih do srednjih naklada etiketa, te personalizaciju otisaka. DSI stroj se odlikuje visokom produktivnošću koja prelazi 4000 metara (700 m<sup>2</sup>/h), a brzina tiska iznosi 35 m/min. DSI stroj u standardnoj konfiguraciji dolazi sa četiri tiskovne jedinice i širinom tiska od 200 mm. Međutim, stroj se može nadograditi do deset tiskovnih jedinica i širine tiska od 330 mm. Konfiguracija boja sastoji se od standardnog CMYK sustava te se, ovisno o potrebama, može nadopuniti bijelom, narančastom i ljubičastom bojom, te nizom specijalnih boja poput digitalnog laka, metaliziranih boja ili dodatnih spot boja.



Slika 3. Stork Prints DSI

## 2.4. Epson Surepress L-4033A

Epson SurePress L-4033A je šesterobojni digitalni ink-jet tiskarski stroj baziran na diskontinuiranoj ink-jet tehnologiji s vodenim bojilima, a služi za tisak malih do srednjih naklada etiketa iz role. Šesterobojni tisak uključuje osim standardnih CYMK procesnih boja još i zelenu te narančastu boju, čime se dobiva raspon boja koji omogućuje visoku kvalitetu otisaka. Epson SurePress stroj omogućuje tisak na podlogama kod kojih nije potrebno prethodno premazivanje ili oplemenjivanje materijala, čime se omogućuje tisak na nizu podloga koje se inače koriste u konvencionalnom tisku. Širina role pogodna za tisak na spomenutom stroju kreće se u rasponu 80-330 mm. Za upravljanje strojem koristi se Wasatch SoftRIP koji obuhvaća X-Rite alate za upravljanje bojama.



Slika 4. Epson SurePress L-4033A

## 2.5. Rapid X modeli

Rapid X modeli su prvi komercijalni modeli ink-jet digitalnih strojeva čiji se rad bazira na principu nove Memjet ink-jet tehnologije (low-cost termalna ink-jet tehnologija s vodenim bojilima). Memjet tehnologija omogućuje fotografsku kvalitetu otisaka pri brzini tiska od 18 m/min.

Rapid X strojevi za tisak etiketa bazirani na Memjet tehnologiji na tržište dolaze u obliku dvaju modela: Rapid X1 i Rapid X2. Rapid X1 je manji stolni model s maksimalnim promjerom role od 305 mm, dok je Rapid X2 veći samostojeći model s maksimalnim promjerom role od 605 mm. Kod oba stroja Memjet tiskovna glava omogućuje maksimalnu širinu tiska od 222 mm. Rapid X1 model ima najveću širinu role od 220 mm, dok je najmanja širina role 50 mm. Rapid X2 model može biti direktno povezan s doradnom jedinicom Rapid SR-102. Rapid X modeli omogućuju peterobojni tisak etiketa, a boja je formulirana u CMYKK sustavu.



Slika 5. Rapid X2

## 2.6. Nilpeter CASLON

Nilpeter CASLON je ink-jet digitalni tiskarski sustav baziran na Xaar 1001 Greyscale tehnologiji. To je hibridni tiskarski stroj sastavljen od fleksografskih i ink-jet digitalnih tiskovnih jedinica. Tiskarski sustav se sastoji od četiri tiskovne jedinice širine tiska 310-420 mm. Princip tiska je četverbojni CMYK proces u jednom prolazu s UV sušivim bojilima. CASLON digitalni tiskarski sustav sastavni je dio standardne Nilpeter FA platforme. CASLON tiskarski sustav može također biti konfiguriran kao samostalna digitalna tiskarska platforma. CASLON digitalni tiskarski sustav ima mogućnost tiska na tretiranim i netretiranim standardnim tiskovnim podlogama (papir, film, folija i drugo). Rad stroja je potpuno automatiziran naprednim sustavom podešavanja postavki rada.



Slika 6. Nilpeter CASLON

## 3. USPOREDBA FLEKSOGRAFSKOG I DIGITALNOG TISKA ETIKETA IZ ROLE

Statistička usporedba između digitalnih i fleksografskih strojeva za tisak etiketa temelji se na usporedbi nekoliko parametara koji određuju cijenu tiska etiketa putem pojedine tehnike tiska. Tehnike tiska, čiji će se troškovi uspoređivati, su digitalna ink-jet tehnologija (Rapid X stroj) te tehnologija „velikih“ fleksografskih strojeva (NILPETER 3300).

### 3.1. Digitalni stroj Durst Tau 150 8C

Durst Tau 150 8C je digitalni stroj za tisak etiketa iz role, a radi na principu diskontinuirane UV ink-jet tehnologije. Stroj je konstruiran za tisak malih do srednjih naklada etiketa (isplativost tiska do 40000 otisaka).



Slika 7. Durst Tau 150 8C

Sustav transporta role dijeli se u dvije funkcionalne cjeline: ulazni i izlazni sustav role. Ulazni sustav role vodi tiskovnu podlogu prema tiskovnoj jedinici. Sastoji se od koluta za odmatanje te sustava vodilica koje vode rolu prema tiskovnoj jedinici. Maksimalni promjer role koju prihvaća ulazni sustav iznosi 610mm, dok promjer cilindra iznosi 76 mm. Izlazni sustav role sastoji se od UV lampi te od vodilica i koluta za namatanje otisnute role tiskovne podloge.

Tiskovna jedinica stroja radi na principu „Single Pass“ UV ink-jet tehnologije, odnosno bazirana je na diskontinuiranoj piezo-električnoj ink-jet tehnologiji s Xaar1001 tiskovnom glavom. Durstova UV ink-jet tehnologija omogućuje tisak do osam boja u jednom prolazu pa zato tiskovna glava sadrži do osam modula za nanos bojila na tiskovnu podlogu.

Moduli za nanos bojila, osim standardne CMYK konfiguracije, sadržavaju bijelu boju (za tisak na transparentnom filmu) te dvije dodatne procesne boje - narančastu i ljubičastu koje služe za postizanje većeg kolornog gamuta.

Tehnologija omogućuje brzinu tiska od 48 metara u minuti na rolama širine od 100 do 165 mm. Stroj može tiskati na širokom rasponu samoljepljivih supstrata koji uključuju papir, zatim transparentni i bijeli film te niz specijalnih supstrata namijenjenih tisku etiketa.

### 3.2. Fleksografski stroj NILPETER 3300

Pojam „veliki“ fleksografski strojevi podrazumijeva tehnički nešto složenije fleksografske strojeve koji se sastoje od više tiskovnih jedinica (osam ili više), imaju velike brzine tiska te za prijenos informacije na tiskovnu podlogu koriste uglavnom UV bojila. Tisak etiketa putem fleksografske tehnike tiska karakteriziraju velike naklade (> 50000).

Za potrebne statističke usporedbe u ovom radu, kao primjer „velikog“ fleksografskog stroja odabran je model NILPETER 3300. Spomenuti stroj je sastavljen od osam fleksografskih tiskovnih jedinica, a za prijenos informacija na tiskovnu podlogu koristi UV bojila. Tiskovne jedinice stroja omogućuju tisak na rolama širine do 350 mm. Brzina tiska je 228 m/min, odnosno 7000 otisaka po satu. Cijena sata rada stroja iznosi 600 kn.



Slika 8. Fleksografski stroj za tisak

Strojevi za tisak etiketa konstruirani su po tzv. modularnom principu, odnosno tiskarska platforma je konstruirana od više tiskovnih jedinica koje su konstruirane tako da unutar jedne proizvodne linije postoje tiskovne jedinice koje pokrivaju širok raspon tiskarskih i doradnih tehnika. To znači da su strojevi sastavljeni od sustava za odmatanje role s kontrolom

napetosti trake, zatim od nekoliko tiskovnih agregata baziranih na fleksografskoj tehnici tiska, te od jedne ili više doradnih jedinica.

### 3.3. Proračun troškova izrade etiketa iz role

Parametri koji će se uspoređivati kod spomenutih strojeva: vrijeme potrebno za tisak određene naklade, cijena potrošenog materijala, ukupna cijena naklade i cijena pojedinačnog proizvoda. Radi lakše usporedbe ovih parametara, zadan je radni nalog čije se specifikacije nalaze u tablici 1.

Tablica 1. Specifikacije radnog naloga

| Opis radnog naloga    |                                                |
|-----------------------|------------------------------------------------|
| Dimenzije etikete     | 50 x 90 mm                                     |
| Razmak između etiketa | 6 mm                                           |
| Širina role za tisak  | 210 mm                                         |
| Broj boja za tisak    | 4 boje                                         |
| Naklada               | 1.000, 2.500, 5.000,<br>1.0000, 25.000, 50.000 |

#### 3.3.1. Proračun za digitalni tisak

Radi lakše projekcije troškova tiska putem Rapid strojeva kompanija (Rapidlabelsystem) je osmislila kalkulator. On daje projekciju troškova tiska za Rapid digitalne strojeve za tisak etiketa. Točnost izračuna je oko 90% realnih troškova tiska pojedinog radnog naloga. Kalkulator troškova u izvornom obliku je na engleskom jeziku, a cijene su izražene u eurima (€). Za potrebe ovog rada kalkulator je preveden na hrvatski jezik, a cijene će biti izražene u kunama (1€ = 7,5 kn). Kalkulator se potencijalnim kupcima stroja distribuira u obliku Excel tablice (slika 9.).

| Cost and Profitability Calculator                                                      |                |                 |                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------------------|
| red fields can be changed - prices in € - all ink cost based on 1600 x 1600 dpi prints |                |                 |                                               |
| Stock Variables                                                                        | Customer Price |                 |                                               |
| Ink                                                                                    | € 449,40       | /L              |                                               |
| Stock                                                                                  | € 0,00         | /M <sup>2</sup> | Blank Media cost per sqm                      |
| Print heads                                                                            | € 399,00       | /U              |                                               |
| Machine rate                                                                           | € 0,00         | /Hr             | Hourly labour cost                            |
| Print Resolution                                                                       |                |                 |                                               |
| Across                                                                                 | 1600           | DPI             | print resolution across the web               |
| Along                                                                                  | 800            | DPI             | optional 1600 dpi along web                   |
| Speed                                                                                  | 12             | "/s             | speed dependent on 800 or 1600 dpi            |
| Drop Size                                                                              | 1,40E-12       | L               | physical ink droplet size                     |
| Job Details                                                                            |                |                 |                                               |
| Label Width                                                                            | 5              | "               | physical label size                           |
| Label Length                                                                           | 4              | "               | physical label size                           |
| Print Coverage                                                                         | 80%            | %               | variable depending on image                   |
| Roll size                                                                              | 1000           | U               | Amount of labels on precut roll               |
| Run Size                                                                               | 1.000          | U               | total quantity of labels for this calculation |
| Label Gap                                                                              | 0,125          | "               | gap distance between each label               |
| # across                                                                               | 1              |                 | qty of labels across the web (max 222mm)      |
| Calculation Conclusions                                                                |                |                 |                                               |
| Run Time                                                                               | 0,27           | Hr              | time taken to print total qty entered above   |
| Ink Used                                                                               | 0,06           | L               | volume of ink used for this calculation       |
| Material Used                                                                          | 21656,25       | sq"             | total blank media used                        |
| Ink Cost/Roll                                                                          | € 25,77        |                 | ink used per roll of pre cut labels           |
| Ink Cost/Run                                                                           | € 25,77        |                 | ink used for entire job                       |
| Material Cost                                                                          | € 0,00         |                 | cost of blank media                           |
| % est head life                                                                        | 1,15%          |                 | estimated head life usage                     |
| Head life cost/run                                                                     | € 4,57         |                 | print head cost for this job calculation      |
| Labour cost/run                                                                        | € 0,00         |                 | total labour cost for job calculation         |
| Estimated cost                                                                         | € 30,34        |                 | total labour and consumable cost              |

Slika 9. Rapid X kalkulator u izvornom obliku

Tablica se sastoji od bijelih i crvenih polja. Bijela polja su fiksne vrijednosti, dok crvena polja predstavljaju promjenjive vrijednosti koje se mijenjaju ovisno o potrebama pojedinih poslova. Fiksne vrijednosti u tablici (poput cijene litre bojila) baziraju se na otiscima maksimalne rezolucije od 1600 x 1600 dpi.

Primjer proračuna troškova tiska zadanog radnog naloga prikazan je za nakladu od 1000 etiketa. Za zadani radni nalog postavljeni su sljedeći parametri:

- Cijena m<sup>2</sup> role tiskovne podloge: 7,5 kn
- Cijena sata rada stroja: 150 kn
- Rezolucija tiska: 1.600 x 800 dpi
- Širina etikete: 2"
- Dužina etikete: 3,5 "
- Postotak tiska: 60%
- Broj etiketa na roli prije rezanja: 1.000
- Naklada: 1.000
- Razmak između dvije etikete: 0,233"
- Broj etiketa po širini role: 4

### 3.3.2. Proračun za fleksografski tisak

Za proračun troškova tiska naklade koristi se jednostavni matematički proračun koji se sastoji od: proračuna cijene tiska, proračuna cijene potrošenog materijala te od proračuna ukupne cijene naklade. Sve relacije proračuna za zadani radni nalog bit će prikazane na nakladi od 1000 etiketa.

#### Proračun troškova tiska:

- Poznati parametri:
  - N – naklada = 1000 etiketa (6 etiketa po tiskovnoj formi)
  - Brzina rada stroja = 7000 po satu
  - Cijena sata rada stroja: 600 kn
  - T<sub>p.s.</sub> – vrijeme pripreme stroja za četverbojni tisak = 60 min
- Traženi parametri:
  - a – broj otisaka ovisan o formatu tiskovne forme
  - t<sub>1</sub> – vrijeme tiska naklade
  - t<sub>2</sub> – ukupno vrijeme pripreme stroja za tisak
  - c<sub>t</sub> – cijena tiska
  - c<sub>p</sub> – cijena pojedinačnog otiska

Broj otisaka po roli tiskovne podloge (a) dobiva se tako da se podijeli naklada (N) s brojem otisaka na tiskovnoj formi:

$$a = N : 6 = 1.000 : 6 = 167 \text{ otisaka} \quad [1]$$

Vrijeme tiska naklade (t<sub>1</sub>) dobiva se dijeljenjem broja otisaka po roli (a) s brzinom tiska stroja po satu:

$$t_1 = a : 7.000 = 0,02 \text{ h} = 1,2 \text{ min} \quad [2]$$

Ukupno vrijeme pripreme stroja (t<sub>2</sub>) dobiva se zbrajanjem vremena tiska naklade (t<sub>1</sub>) i vremena potrebnog za pripremu stroja za četverbojni tisak (t<sub>p.s.</sub>):

$$t_2 = t_1 + t_{p.s.} = 1,2 \text{ min} + 60 \text{ min} = 61,2 \text{ min} = 1 \text{ h} \quad [3]$$

Cijena tiska (c<sub>t</sub>) se dobiva množenjem ukupnog vremena pripreme stroja (t<sub>2</sub>) s cijenom sata rada stroja:

$$c_t = 1 \text{ h} \times 600 \text{ kn} = 600 \text{ kn} \quad [4]$$

Cijena tiska pojedinačnog otiska (c<sub>p</sub>) dobiva se dijeljenjem cijene tiska s nakladom (N):

$$c_p = c_t : N = 600 : 1000 = 0,60 \text{ kn} \quad [5]$$

#### Proračun potrošenog materijala:

- Poznati parametri:
  - C<sub>r</sub> – cijena role tiskovne podloge
- Traženi parametri:
  - k<sub>m</sub> – količina potrošenog materijala
  - c<sub>m</sub> – cijena potrošenog materijala

Količina potrošenog materijala (k<sub>m</sub>) dobiva se tako da se pomnoži broj otisaka po roli (a) s formatom role u metrima kvadratnim:

$$k_m = a \times \text{format role} = 167 \times 0,21 \text{ m} \times 0,203 \text{ m} = 7 \text{ m}^2 \quad [6]$$

Cijena potrošenog materijala (c<sub>m</sub>) dobiva se množenjem količine potrošenog materijala (k<sub>m</sub>) s cijenom metra kvadratnog role tiskovne podloge (c<sub>r</sub>):

$$c_m = k_m \times c_r = 7 \text{ m}^2 \times 7,5 \text{ kn} = 52,5 \text{ kn} \quad [7]$$

#### Proračun ukupne cijene naklade:

- Poznati parametri:
  - c<sub>t</sub> – cijena tiska
  - c<sub>m</sub> – cijena potrošenog materijala = 52,5 kn
  - c<sub>t.f.</sub> – cijena izrade tiskovne forme = 300 kn
- Traženi parametri:
  - c<sub>n</sub> – ukupna cijena naklade
  - c<sub>n.p.</sub> – cijena pojedinačnog proizvoda

Ukupna cijena naklade (c<sub>n</sub>) dobiva se zbrajanjem cijene tiska (c<sub>t</sub>), cijene potrošenog materijala (c<sub>m</sub>) te cijene izrade tiskovne forme (c<sub>t.f.</sub>):

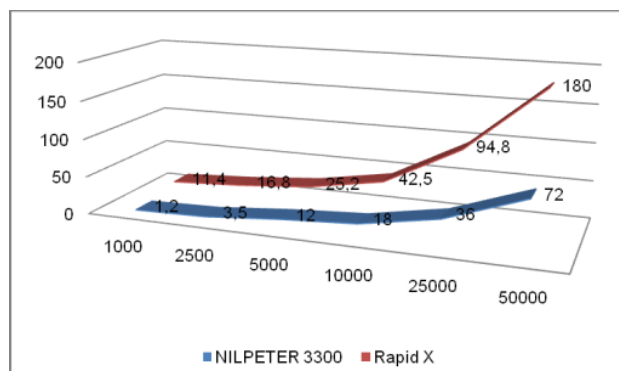
$$c_n = c_t + c_m + c_{t.f.} = 600 + 52,5 + 300 = 925,5 \text{ kn} \quad [8]$$

Cijena pojedinačnog proizvoda (c<sub>n.p.</sub>) dobiva se dijeljenjem ukupne cijene naklade (c<sub>n</sub>) s nakladom (N):

$$c_{n.p.} = c_n : N = 925,5 \text{ kn} : 1.000 = 0,95 \text{ kn} \quad [9]$$

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

Iz usporednog grafičkog prikaza vremena tiska za oba stroja proizlazi da fleksografski stroj NILPETER 3300 otiskuje zadani radni nalog i do nekoliko puta brže u odnosu na digitalni Rapid X stroj neovisno o nakladi.



Slika 10. Usporedni prikaz vremena tiska u minutama

Razlika u brzini tiska između dvaju ispitivanih strojeva naročito je vidljiva kod tiskanja malih naklada, gdje je za otiskivanje 1000 etiketa NILPETER stroju potrebno svega 1,2 minute, dok je Rapid X stroju potrebno 11,4 minute. Razlika u vremenu tiska je nešto manje izražena kod otiskivanja velikih naklada (npr. za otiskivanje 50.000 etiketa NILPETER stroju treba 72 min., a Rapid X stroju 180 minuta).

Tablica 2. Prikaz cijene potrošenog materijala u kn za tisak pojedine naklade

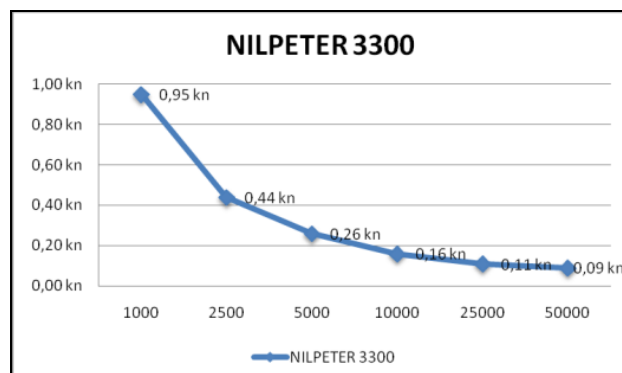
| Naklada | NILPETER 3300 | Rapid X     |
|---------|---------------|-------------|
| 1000    | 52,50 kn      | 44,50 kn    |
| 2500    | 135,00 kn     | 111,40 kn   |
| 5000    | 270,00 kn     | 222,80 kn   |
| 10000   | 540,00 kn     | 445,40 kn   |
| 25000   | 1.335,00 kn   | 1.116,00 kn |
| 50000   | 2.670,00 kn   | 2.227,20 kn |

Iz prikazanih podataka vidimo da se cijena materijala kreće u rasponu od nekoliko desetaka kuna do nekoliko tisuća kuna kod tiska velikih naklada. Za oba stroja cijena metra kvadratnog materijala je 1€ ili 7,5 kuna. Iz tabličnog prikaza je također vidljivo da su troškovi materijala nešto manji kod digitalnog Rapid X stroja u odnosu na konvencionalni fleksografski stroj. Tako npr. za nakladu od 10.000 otisaka cijena materijala za konvencionalni NILPETER stroj iznosi 540 kn, dok za digitalni tiskarski stroj Rapid X cijena materijala iznosi 445,40 kuna.

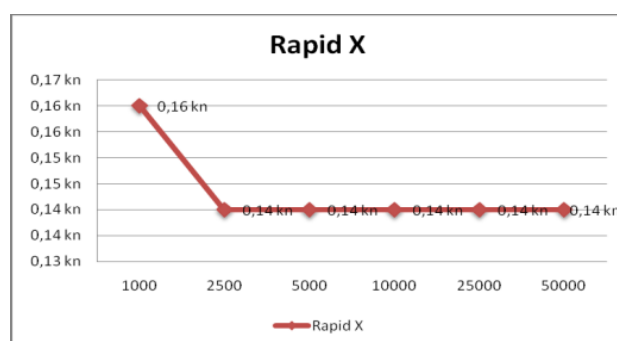
U tablici 3. prikazane su cijene naklade u kunama za kompletni radni nalog za oba stroja.

Tablica 3. Prikaz cijena naklade zadanog radnog naloga u kn

| Naklada | NILPETER 3300 | Rapid X     |
|---------|---------------|-------------|
| 1000    | 952,50 kn     | 155,02 kn   |
| 2500    | 1.095,00 kn   | 357,40 kn   |
| 5000    | 1.290,00 kn   | 695,08 kn   |
| 10000   | 1.620,00 kn   | 1.370,16 kn |
| 25000   | 2.595,00 kn   | 3.395,40 kn |
| 50000   | 4.290,00 kn   | 6.770,81 kn |



Slika 11. Cijena pojedinačnog proizvoda u kn za stroj NILPETER 3300



Slika 12. Cijena pojedinačnog proizvoda u kn za stroj Rapid X

Iz priloženih tabličnih i grafičkih prikaza vidljivo je da je ekonomska isplativost tiska putem različitih tehnika isključivo ovisna o veličini naklade. Iz grafičkog prikaza na slici 11. je vidljivo da je tisak zadanog radnog naloga putem fleksografskog NILPETER 3300 stroja ekonomski isplativ isključivo u velikim nakladama (25000 i 50000 etiketa) u odnosu na digitalni tiskarski stroj. Raspon cijena pojedinačne etikete za „veliki“ fleksografski stroj iznosi 0,96 kn po otisku za nakladu od 1000 etiketa, pa sve do 0,09 kn po otisku za nakladu od 50000 etiketa. Ekonomska isplativost tiska zadanog radnog naloga putem Rapid X digitalnog stroja očituje se prije svega u tisku malih naklada (1000-5000 etiketa). Iz grafičkog prikaza na slici 12. vidimo da pojedinačna cijena otiska za nakladu 1000 etiketa iznosi 0,16 kn, dok za ostale naklade zadane u radnom nalogu iznosi 0,14 kn po otisku. Ekonomska isplativost digitalnog tiska u odnosu na konvencionalni prestaje kod tiska velikih naklada (cijena pojedinačnog proizvoda kod fleksografskog NILPETER 3300 stroja iznosi 0,11 kn, odnosno 0,09 kn za velike naklade, dok cijena pojedinačnog proizvoda kod Rapid X stroja iznosi 0,14 kn za obje naklade).

Korelacija u usporedbi ekonomske isplativosti tiska etiketa između konvencionalnih i digitalnih tiskarskih sustava temelji se na veličini naklade. Naime, male naklade se tiskaju putem digitalnih tiskarskih sustava, dok se velike naklade tiskaju putem konvencionalnih tiskarskih sustava. Trendovi smanjivanja naklada (prosječna naklada iznosi 8000-10000 etiketa), kao i težnja za personalizacijom otisaka sve više dovode do ekonomske isplativosti digitalnog tiska etiketa. To potvrđuju i rezultati statističke usporedbe ekonomske

isplativosti tiska između digitalnog i konvencionalnog tiska. Iz rezultata se može iščitati da je tisak malih naklada i do nekoliko puta isplativiji putem digitalnih tehnika tiska, u ovom slučaju ink-jet tehnologije.

Svaka tehnologija tiska ima svoje prednosti i nedostatke. Osnovna prednost digitalnog tiska etiketa leži u temeljnim tehničkim principima digitalnog tiska. Te prednosti su nepostojanje čvrste tiskovne forme, bitno jednostavnije podešavanje i upravljanje strojem te niz drugih čimbenika. Druga vrlo važna prednost digitalnih strojeva za tisak etiketa je ekonomska isplativost tiska malih ili personaliziranih naklada koje nisu isplative ili su tehnički neizvedive putem konvencionalnih tiskarskih sustava. Bitni nedostaci digitalnih strojeva za tisak etiketa očituju se u prilično visokim ekonomskim ulaganjima koja su potrebna za nabavu samog stroja, koja dosežu i do nekoliko milijuna kuna za veće industrijske strojeve. Također, vrlo bitan nedostatak digitalnih tiskarskih strojeva u odnosu na konvencionalne strojeve za tisak etiketa vidljiv je i u brzinama tiska stroja, koje su i do nekoliko puta manje u odnosu na konvencionalne strojeve. Naime, prosječna brzina tiska modernih fleksografskih strojeva iznosi 150-200 m/min, dok maksimalna brzina tiska digitalnih strojeva za tisak etiketa iznosi 50 m/min.

## 5. ZAKLJUČAK

Globalna ekonomska kriza iz temelja je promijenila trendove u proizvodnji etiketa. Novi trendovi u sektoru tiska etiketa zahtijevaju manje naklade proizvoda, koji vrlo često zahtijevaju personalizaciju otisaka ili varijabilni tisak. Tisak takvih proizvoda nije ekonomski isplativ (ili nije tehnički izvediv) pomoću konvencionalnih tehnika tiska pa dolazi do naglog razvoja digitalnih sustava za tisak etiketa. Glavna prednost digitalne tehnologije u odnosu na konvencionalni tisak je ekonomski isplativa realizacija malih naklada. Tržište strojeva za tisak etiketa bilježi sve veći porast udjela digitalnih strojeva. Trenutno na tržištu, osim dvaju vodećih elektrofotografskih strojeva, ima više od 30 modela digitalnih ink-jet strojeva za tisak etiketa. Prema predviđanjima, svi modeli ne mogu opstati na tržištu, ali će modeli vodećih proizvođača bilježiti sve veći postotak instalacija na globalnoj razini. Razvojem novih tehnologija, poboljšanjima postojećih strojeva, digitalni ink-jet strojevi će u budućnosti postati vodeća tehnika digitalnog tiska za tisak etiketa i fleksibilne ambalaže. Iako digitalni tisak etiketa stalno raste, konvencionalni tiskarski sustavi neće nestati. Naime, proizvođači konvencionalnih strojeva uveli su bitne promjene u svoje tiskarske sustave. Rad stroja bitno je pojednostavljen, kao i podešavanje strojeva prije tiska, čime se omogućuje isplativiji tisak manjih naklada nego prije. Također, sve se više u tisku primjenjuju i hibridni strojevi sastavljeni od fleksografskih i digitalnih tiskovnih jedinica.

Digitalni strojevi troše manje električne energije u odnosu na konvencionalne tiskarske sustave. Pošto kod digitalnog tiska nema potrebe za čvrstom tiskovnom formom, nema ni potrebe za skladištenjem i zbrinjavanjem iskorištenih klišea kao u fleksotisku.

Također dolazi do uštede prirodnih resursa (voda i električna energija) potrebnih za izradu tiskovnih formi. Priprema digitalnog stroja za tisak jednostavnija je i brža u odnosu na konvencionalni tisak, čime se troši manje materijala, odnosno stvara se puno manje otpadnog materijala nego kod konvencionalnog tiska.

## 4. LITERATURA

- [1] Durst Phototechnik AG., (2009.), *Durst Product Portfolio Label Printing*, Durst Brixen Italy
- [2] Fairley M., (2010.), Digital label open for bussines, *Labels and labeling*, br. 3. 71 – 72
- [3] Fairley M.(2012.), Manage the enviroment to unprove profitability, *Labels and labeling*, 6 – 8
- [4] Hunt B., (2010.), Shining a light on digital road, *Labels and labeling*, br. 4, 92 – 97
- [5] Haak R., (2010.), Bridging the gap, *Digital Label and Packaging*, br. 1, 31
- [6] Haak R., (2010.), Jet power, *Digital Label and Packaging*, br. 1, 30
- [7] Jerschfske D. (2010.), Where now for digital, *Labels and labeling*, br. 1, 21 – 24
- [8] Kiphan H. (2001.) Handbook of Print Media, Springer – Verlag, Heidelberg
- [9] Majnarić I., Brozinčević M., Bolanča S., (2010.) Optički aspekti digitalnog tiska na adhezivnim materijalima, *Zbornik radova MATRIB '05*, 147 – 156, Vela Luka.
- [10] Smyth S., (2010.) The digital issues, *Digital Label and Packaging*, br.2, 11 – 13
- [11] Tribute A., (2011.) Progress in digital label printing, *Digital Label and Packaging*, br. 6, travanj 2011., pp 11 – 13
- [12] [www.digitalprintermag.co.uk](http://www.digitalprintermag.co.uk), prosinac 2011.
- [13] [www.hp.com/go/myindigoweb](http://www.hp.com/go/myindigoweb), travanj 2012.
- [14] [www.xeikon.com](http://www.xeikon.com), travanj 2012.
- [15] [www.ambalaža.hr](http://www.ambalaža.hr), travanj 2012.
- [16] [www.spagprints.com](http://www.spagprints.com), travanj 2012.
- [17] [www.epson.com](http://www.epson.com), travanj 2012.
- [18] [www.memjet.com](http://www.memjet.com), svibanj 2012.
- [19] [www.rapidlabelssystem.com](http://www.rapidlabelssystem.com), svibanj 2012.
- [20] [www.nilpeter.com](http://www.nilpeter.com), svibanj 2012.
- [21] [www.paperrecycling.eu](http://www.paperrecycling.eu), lipanj 2012.
- [22] [www.durst.it](http://www.durst.it), lipanj 2012.
- [23] Zdelar J., Banić D., Advantages and characteristics of „small“ flexo printing machines in comparison to „big“ flexo printing machines, *Zbornik radova Blaž Baronić*, Zadar, 153 – 156, 2007.

### Kontakt autora:

Veleučilište u Varaždinu  
J. Križanića 33, Varaždin

### Antonio Zdelar

antonio.zdelar@velv.hr

### dr. sc. Marin Milković, dipl. ing.

marin.milkovic@velv.hr

### v. pred. Dean Valdec dipl. graf. ing.

dean.valdec@velv.hr



## VELEUČILIŠTE U VARAŽDINU SUVLASNIK MEDIJSKOG SVEUČILIŠTA



11. rujna 2012. godine u prostorijama Grada Koprivnice potpisan je Ugovor o poslovnoj suradnji čime su Grad Koprivnica i Veleučilište u Varaždinu, čiji je osnivač Grad Varaždin, postali partneri u realizaciji projekta Medijskog sveučilišta. Najnovije hrvatsko sveučilište izvodit će preddiplomske studijske programe: 'Novinarstvo', 'Medijski dizajn' i 'Menadžment i poslovanje u medijima' te diplomske studijske programe: 'Odnosi s javnostima' i 'Poslovna ekonomija' sa smjerovima 'Turizam' i 'Međunarodna trgovina'.

Prilikom potpisivanja ugovora dekan Veleučilišta i privremeni rektor Medijskog sveučilišta dr. sc. Marin Milković najavio je i pokretanja novih studija, a sve kako bi se omogućilo lokalnoj zajednici da dođe do većeg broja visokoobrazovanih kadrova, s ciljem da se privuku strane investicije i poboljša općenito slika razvoja i perspektive sjeverozapada Hrvatske.

## POTPISAN UGOVOR O SURADNJI SA SVEUČILIŠTEM U RIJECI



U srijedu, 24. listopada 2012. Sveučilište u Rijeci, Medijsko sveučilište i Veleučilište u Varaždinu potpisali su Ugovor o suradnji, mentorstvu i partnerstvu u izgradnji Medijskog sveučilišta. Ugovorom se predviđa pomoć u izgradnji Medijskog sveučilišta, na temeljima Veleučilišta u Varaždinu kao moderne ustanove temeljene na izvrsnosti i kvaliteti, a uz potporu Sveučilišta u Rijeci i njegovih sastavnica.

Uz suradnju u izvedbi zajedničkih akademskih, znanstvenih i stručnih programa i projekata, Sveučilište u Rijeci provodit će mentorske radnje te postupke izbora u nastavna, znanstvena i znanstveno-nastavna zvanja za potrebe Medijskog sveučilišta te će sustavno razmjenjivati studente i nastavnike, čime će promovirati europske vrijednosti multikulturalnosti i akademske mobilnosti odnosno surađivati na promicanju međunarodne, a posebno europske suradnje na poljima obrazovanja i znanosti.

## MARIO PERIŠA OSVOJIO PRVU NAGRADU



Predavač fotografskih kolegija na Veleučilištu u Varaždinu i slobodni fotograf Mario Periša osvojio je prvu nagradu na foto natječaju 'Treća mladost' kojeg su zajednički organizirali Zbor fotoreportera Hrvatskog novinarskog društva i Royalova zaklada za međugeneracijsku solidarnost.

Na natječaju je sudjelovalo 39 profesionalnih fotografa s ukupno 249 prijavljenih fotografija, a Periša je nagradu dobio za fotografiju Bake Ivke od milja zvane cura i njezinih nećakinja.

12pt

12pt

12pt

**NASLOV NA HRVATSKOM JEZIKU (Stil: Arial Narrow, 14pt, Bold, Verzal, Center)**

12pt

**NASLOV NA ENGLISKOM JEZIKU (Stil: Arial Narrow, 14pt, Verzal, Center)**

12pt

**Ivan Horvat, Thomas Johnson (Stil: Times, 12pt, Bold, Italic, Center)**

12pt

Kategorizacija članka

**Sažetak:** Sažetak članka na hrvatskom jeziku sa najviše 150 riječ pisan jezikom članka (obično hrvatski). Sažetak mora što vjernije odražavati sadržaj članka. U njemu se navode upotrijebljene metode i ističu ostvareni rezultati kao i doprinos članka. Časopis *TEHNIČKI GLASNIK / TECHNICAL JOURNAL* objavljuje znanstvene i stručne radove iz područja strojarstva, elektrotehnike, graditeljstva, multimedije, logistike .... a također i iz njihovih graničnih područja. Ovaj dokument se koristiti kao predložak za pisanje članka kako bi svi članci imali isti način prijeloma (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

**Cljučne riječi:** Abecedni popis ključnih riječi na hrvatskom jeziku (5-6 ključnih riječi). Ključne riječi u pravilu su iz naslova članka, a samo eventualno iz sažetka članka. (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

Categorization article

**Abstract:** Sažetak članka na engleskom jeziku (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

**Key words:** ključne riječi na engleskom jeziku (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

10pt

## 1. OBLIKOVANJE ČLANKA (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Verzal, Align Center)

10pt

Članak se piše latiničnim pismom, a za oznake se može koristiti i grčko pismo. Opseg članka u pravilu se ograničava na osam stranica A4 formata (sukladno predlošku s uključenim svim slikovnim priložima).

10pt

### 1.1. Osnovna uputstva (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Align Left)

10pt

(Uvlaka prvog reda 5mm) Dokument je formata A4 sa marginama 20 mm sa svake strane. Koristi se prijelom u dvije kolone međusobno udaljene 7 mm. Za tekući tekst se koristi vrsta pisma Times New Roman sa jedostруким proredom, veličina pisma 10 pt, obostrano poravnanje.

Naslov članka mora jasno odražavati problematiku članka (sadrži ne više od 15 riječi).

Tekst članka dijeli se na poglavlja, a po potrebi poglavlja se dijele na potpoglavlja. Poglavlja se označavaju rednim arapskim brojevima. Potpoglavlja, kao dijelovi poglavlja, označavaju se s dva redna arapska broja kao npr. 1.1, 1.2, 1.3, ... Potpoglavlje se može podijeliti na još manje cjeline koje se označavaju sa tri redna arapska broja, npr. 1.1.1, 1.1.2, ... Daljnja podjela nije poželjna.

Nazivi glavnih poglavlja se pišu velikim slovima (verzalom) i poravnavaju se u centar, a nazivi potpoglavlja (kao i manjih cjelina) pišu se malim slovima (kurentom) te se poravnavaju u lijevo. Ako tekst naziva potpoglavlja i manjih cjelina prelazi u više

redaka tada se definira viseća uvlaka (hanging intent) 0,5 mm.

10pt

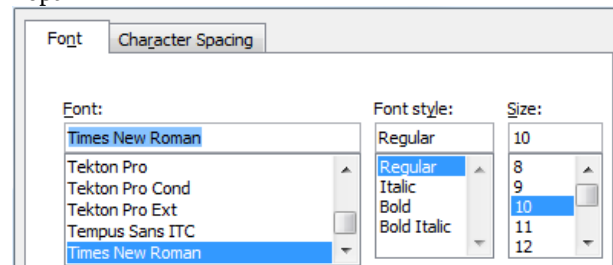
### 1.2. Oblikovanje slika, tabela i jednadžbi (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Align Left)

10pt

Slike (crteži, dijagrami, fotografije) koje čine sadržaj ugrađuju se u članak te poravnavaju se u centar. Kako bi slika uvijek zauzimala isto mjesto u odnosu na tekst prilikom uvoza moraju se definirati postavke Text wrapping / Inline with text.

Slike moraju biti pripremljene za grafičku reprodukciju sa minimalnom rezolucijom od 300dpi. Slike skinute s interneta sa 72dpi u veličini 1:1 nisu primjerene za reproduciranje u tisku zbog loše kvalitete.

10pt



**Slika 1.** Tekst ispod slike [1]

(Stil: Times New Roman, 10pt, Align Center)

10pt

Tisak knjižnog bloka je u crnoj boji stoga treba prilagoditi slike takvom načinu reproduciranja kako se svijetli tonovi (svijetle boje) ne bi izgubili u tisku ili tekst u slikama bio nečitljiv. Slike moraju ostati u koloru zbog

objavljivanja u elektronskom obliku. Slike se kroz čitavi članak numeriraju u slijedu arpskim brojkama.

10pt

**Tabela 1.** Naslov tabele poravnat u centar  
(Stil: Times New Roman, 10pt, Align Center)

|     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| ABC | ab | ab | ab | ab | ab | ab |
| DEF | cd | cd | cd | cd | cd | cd |
| GHI | ef | ef | ef | ef | ef | ef |

10 pt

Tekst i ostali podaci u tabelama oblikuju se kao Times New Roman, 8pt, Normal, Align Center.

Prilikom opisivanja slika i tabela fizikalne veličine i njihovi faktori ispisuju se kosim slovima latinične abecede ili grčkog alfabeta, dok se za mjerne jedinice i brojeke upotrebljavaju uspravni znakovi.

Jednadžbe u tekstu numeriraju se arapskim brojevima u okruglim zagradama uz desni rub teksta, a na njih se u tekstu poziva pomoću broja jednadžbe u okruglim zagradama, npr. “.... iz (5) slijedi ....”

10pt

Jednadžba 1 (1)

10pt

Jednadžba 2 (2)

10pt

10pt

## 2. UVODNE NAPOMENE

10pt

Ponudeni članak ne smije biti ranije objavljen, bilo u jednakom ili sličnom obliku, niti smije biti istodobno ponuđen drugom časopisu. Za sadržaj članka, autentičnost podataka i tvrdnji u njemu isključivo i u cijelosti odgovara autor ili autori.

Članci prihvaćeni za objavljivanje svrstavaju se u četiri kategorije: izvorni znanstveni članci (original scientific papers), prethodna priopćenja (preliminary communications), pregledni članci (subject reviews) i stručni članci (professional papers).

U **izvorne znanstvene članke** svrstavaju se radovi, koji po ocjeni recenzenata i Uredničkog odbora, sadrže originalne teorijske ili praktične rezultate istraživanja. Ovi članci trebaju biti napisani tako da se na osnovi danih informacija može ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate, odnosno autorova opažanja, teorijske izvode ili mjerenja.

**Prethodno priopćenje** sadrži jedan novi znanstveni podatak ili više njih, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućavale provjeru kao kod izvornih znanstvenih članaka. U prethodnom se priopćenju mogu dati rezultati eksperimentalnih istraživanja, rezultati kraćih istraživanja ili istraživanja u tijeku, kojih se objavljivanje procijeni korisnim.

**Pregledni članak** sadrži cjelovit prikaz stanja i tendencija određenog područja teorije, tehnologije ili primjene. Članci ove kategorije su preglednog karaktera s kritičkim osvrtom i ocjenom. Citirana literatura mora biti dovoljno cjelovita tako da omogućiti dobar uvid i uključivanje u prikazano područje.

**Stručni članak** može sadržavati prikaz originalnog rješenja nekog uređaja, sklopa ili instrumenta, prikaz važnijih praktičnih izvedbi i slično. Rad ne mora biti vezan uz originalna istraživanja, nego sadrži doprinos

primjeni poznatih znanstvenih rezultata i njihovoj prilagodbi potrebama prakse, pa je doprinos širenju znanja, itd.

Izvan navedene kategorizacije Urednički odbor časopisa pozdravit će i članke zanimljivog sadržaja za rubriku "Zanimljivosti". U ovim člancima daju se opisi praktičnih izvedbi i rješenja iz proizvodnje, iskustva iz primjene uređaja i slično.

10pt

10pt

## 3. PISANJE ČLANKA

10pt

Članak se piše hrvatskim jezikom te se metrološki i terminološki valja uskladiti sa zakonskim propisima, normama (ISO 80000 serija) i međunarodnim sustavom jedinica (SI). Materija u članku izlaže se u trećem licu jednine.

**Uvod** sadrži opis problema i prikaz važnijih rezultata radova opisanih u citiranoj literaturi. Navodi se način rješavanja problema, koji se opisuje u članku, kao i prednosti predloženog postupka.

**Središnji dio članka** može se sastojati od nekoliko dijelova. Treba izbjegavati matematičke izvode koji opterećuju praćenje izlaganja. Neizbježni matematički izvodi mogu se po potrebi, dati kao cjeline u obliku jednog priloga ili više njih. Preporuča se navođenje primjera kad je potrebno ilustrirati proceduru eksperimenta, postupak primjene rezultata rada u konkretnom slučaju ili algoritam predložene metode. Razmatranje treba u pravilu eksperimentalno potvrditi.

**Zaključak** u kojem se navode ostvareni rezultati i naglašava efikasnost korištenog postupka. Istaknuti treba eventualna ograničenja postupka kao i područja moguće primjene dobivenih rezultata.

10pt

10pt

## 4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

10pt

Gotovi članci pripremljeni u MS Word za Windows i prelomljeni prema ovom predlošku šalju se Uredništvu časopisa Tehnički Glasnik na slijedeću e-mail adresu: [zivko.kondic@velv.hr](mailto:zivko.kondic@velv.hr)

Urednički odbor zadržava pravo manjeg redakcijskog ispravka članka u okviru priprema za tisak. Članke, koji u bilo kojem pogledu ne zadovoljavaju naputak autorima, Urednički će odbor vratiti autoru. Radi eventualnih nejasnoća u svezi predloženog članka, Urednički se odbor obraća samo prvom autoru, ako ima nekoliko autora, i uvažava samo stavove koje iznese prvi autor.

10pt

10pt

## 5. LITERATURA

10pt

Literatura se navodi redoslijedom kojim se citira u članku. Pojedine literarne reference iz popisa literature u tekstu pozivaju se odgovarajućim brojem u uglatim zagradama, npr. “.... u [7] je pokazano ...”. U popisu literature svaka se jedinica označava brojem, a navodi se prema sljedećim primjerima (podnaslove iznad referenci izostaviti – dani su kao primjer izvora):

10pt

**knjige:**

- [1] Franklin, G. F.; Powel, J. D.; Workman, M. L.: Digital Control of Dynamic System, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1990
- [2] Kostrenčić, Z.: Teorija elastičnosti, Školska knjiga, Zagreb, 1982.

**članci u časopisima:**

- [3] Michel, A. N.; Farrell, J. A.: Associative Memories via Artificial Neural Networks, IEEE Control System Magazine, Vol. 10, No. 3 (1990) 6-17
- [4] Dong, P.; Pan, J.: Elastic-Plastic Analysis of Cracks in Pressure-Sensitive Materials, International Journal of Solids and Structures, Vol. 28, No. 5 (1991) 1113-1127
- [5] Kljajin, M.: Prijedlog poboljšanja proračuna parametara dodira na primjeru evolventnih bokova zubi, Tehnički vjesnik/Technical Gazette, Vol. 1, No. 1,2 (1994) 49-58

**članci u zbornicima znanstveno-stručnih skupova:**

- [6] Albertsen, N. C.; Balling, P.; Laursen, F.: New Low Gain S-Band Satellite Antenna with Suppressed Back Radiation, Proc. 6th European Microwave Conference, Rome, September 1976, 14-17
- [7] Kljajin, M.; Ergić, T.; Ivandić, Ž.: Izbor robota za zavarivanje uvjetovan konstrukcijom proizvoda, Zbornik radova - 3. međunarodno savjetovanje proizvodnoga strojarstva/3rd International Conference on Production Engineering CIM '95, Zagreb, November 1995, C-35 - C-41

**poveznice (linkovi):**

- [8] [http://www.sciencedaily.com/articles/w/wind\\_power.htm](http://www.sciencedaily.com/articles/w/wind_power.htm) (Dostupno:19.06.2012.)

10pt

10pt

**Kontakt autora:**

10pt

**Ime Prezime, titula**

Institucija, tvrtka

Adresa

Tel./Fax,e-mail