

# Tehnički Glasnik

Časopis Veleučilišta u Varaždinu

1-2/2010



ISSN 1846-6168  
Godina 4, Broj 1-2, Str. 1-122  
Varaždin, prosinac 2010.



# Tehnički Glasnik

---

**Časopis Veleučilišta u Varaždinu**

**1-2/2010**

Godište (Volume) 4.  
Broj (Number) 1-2  
Varaždin, prosinac 2010.  
ISSN 1846-6168

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

Veleučilište u Varaždinu

**Uredništvo (Editorial Office):**

J. Križanića 33, HR-42000 Varaždin, Hrvatska;  
Tel. ++385/ 42/ 493 328, Fax.++385/ 42/ 493 333  
a-mail: [caspis@velv.hr](mailto:caspis@velv.hr) ; URL <http://www.velv.hr>

**Glavni urednik (Editor-in-Chief):**

Živko Kondić

**Tajništvo (Secretary Office)**

Andreja Petrović

**Urednici rubrika (Contributing Editors):**

Elektrotehika – Ivan Šumiga  
Strojarstvo - Živko Kondić  
Multimedija - Damir Vusić  
Logistika – Marko Stoić  
Gradevina- Božo Soldo

**Urednički odbor (Editorial Board):**

**Veleučilište u Varaždinu:**

Ivan Šumiga, Živko Kondić, Damir Vusić, Marko Stoić, Božo Soldo

**VERN Zagreb:** Mijo Vrhovski

**Sveučilište u Zadru:** Stipe Belak

**Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb:**

Vedran Mudronja, Janez Indof, Mirko Husnjak, Biserka Runje

**Fakultet elektrotehnike i računarstva:** Stjepan Bogdan, Zdenko Kovačić

**UM FERI Maribor:** Boris Tovornik, Nenad Muškinja

**Grafički fakultet Zagreb:** Nikola Mrvac, Igor Zjakić

**Fakultet strojarstva u Slavonskom Brodu:**

Milan Kljajin, Franjo Mateiček, Ivan Samardižić, Leon Maglić

**Geotehnički fakultet u Varaždinu:** Mladen Božićević, Božo Soldo

**Institut Ruđer Bošković:** Tihomir Car

**Visoka tehnička škola Novi Sad:** Zoran Lovreković, Borislav Abramović

**Mašinski fakultet Sarajevo:** Marin Petrović

**JP Elektroprivreda HZHB d.d. Mostar:** Slobodan Bakula

**Grafički zavod Hrvatske:** Marin Milković

**Visoka tehnička škola u Bjelovaru:** Ante Čikić

**Lektori: (Linguistic Advisers):**

Ivana Grabar (za engleski jezik)

Ljiljana Šarac (za hrvatski jezik)

**Tehnički urednik (Technical Editor):**

Dean Valdec

**Tisk (Print):**

Web 2 tisk d.o.o. Zagreb

Časopis je besplatan i izlazi u dva broja godišnje \* Naklada: 150 primjeraka  
Časopis „Tehnički glasnik“ Veleučilišta u Varaždinu upisan je u Upisnik HGK o izdavanju i  
distribuciji tiska 18. listopada 2007. godine pod rednim brojem 825.

Rukopise, narudžbe oglasa, objave i drugo slati na adresu uredništva. Rukopisi se ne vraćaju.  
Upute autorima nalaze se na internetu.

**Uređenje zaključeno (Preparation ended):**

prosinac 2010.

## SADRŽAJ

Riječ glavnog urednika

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 1.  | <i>Špišić A., Pavlic V.</i><br>TEHNIČKE KARAKTERISTIKE GLAZURA, NOVA REGULATIVA I METODE ISPITIVANJA .....                                     | 5   |
| 2.  | <i>Orešković M., Ivandić K., Lebo Ž.</i><br>ZAŠTITA DUBOKE GRAĐEVINSKE JAME U SLOŽENIM UVJETIMA URBANE SREDINE .....                           | 10  |
| 3.  | <i>Blažok D.</i><br>PROSUPNI BETON ZA KOLNIKE .....  | 15  |
| 4.  | <i>Kaniški M., Ivandić K.</i><br>ANALIZA DEFORMACIJSKE ENERGIJE OBALNE KONSTRUKCIJE TEMELJENE NA PILOTIMA .                                    | 19  |
| 5.  | <i>Pavlic V., Špišić A.</i><br>OSIGURANJE I PRIVREMENA KONZERVACIJA URUŠENE CRKVE SV. JURJA NA BREGU .....                                     | 23  |
| 6.  | <i>Skvažna M., Botak Z.</i><br>ALATI ZA OBRADU KOD VISOKOBRZINSKIH OBRADA .....  | 32  |
| 7.  | <i>Piškor M., Kondić V.</i><br>LEAN PRODUCTION KAO JEDAN OD NAČINA POVEĆANJA KONKURENTNOSTI HRVATSKIH PODUZEĆA NA GLOBALNOM TRŽIŠTU .....      | 37  |
| 8.  | <i>Bernik A.</i><br>ANALIZA I TEHNIKE RENDERIRANJA .....   | 42  |
| 9.  | <i>Bernik A.</i><br>VRSTE I TEHNIKE 3D MODELIRANJA .....   | 45  |
| 10. | <i>Valdec D., Zjakić I., Klopotan I.</i><br>UTJECAJ LINIJATURE RASTERA NA PRIRAST RASTERTONSKIH VRIJEDNOSTI U FLEKSOTISKU .....                | 48  |
| 11. | <i>Šumiga I., Behin G.</i><br>DIGITALNI FREKVENCIMETAR .....   | 52  |
| 12. | <i>Hudek J., Srpk D.</i><br>NAPRAVE ZA POKAZIVANJE LENZOVOG PRAVILA POMOĆU NEODIMIJSKOG MAGNETA .....  | 59  |
| 13. | <i>Šumiga I., Novak S.</i><br>NISKOFREKVENTNI ELEKTROMAGNETSKI STIMULATOR.....   | 64  |
| 14. | <i>Varga M.</i><br>MODELIRANJE POSLOVNih POTPROCESA I ANALIZA PODATAKA RAČUNOVODSTVU .....   | 69  |
| 15. | <i>Taradi T., Kukec M.</i><br>UVOD U ZIGBEE PROTOKOL ZA BEŽIČNE MREŽE UPRAVLJANJA I NADZORA .....  | 75  |
| 16. | <i>Šumiga I., Horvat M.</i><br>ELEKTRONIČKI SUSTAVI U AUTOMOBILU .....   | 81  |
| 17. | <i>Srpak D., Stanković I., Hudek J.</i><br>MODERNIZACIJA POSTROJENJA UGRADNJOM FREKVENTNIH PRETVARAČA .....                                    | 88  |
| 18. | <i>Funda D.</i><br>SUSTAV UPRAVLJANJA KVALitetom U LOGISTICI .....   | 94  |
| 19. | <i>Katavić T., Tomiša M., Mrvac N.</i><br>LIDERSTVO SLUŽENjem .....  | 99  |
| 20. | <i>Petek Lončarić N., Loparić S.</i><br>WOLFRAM ALPHA – MATEMATIKA ZA SVE I SVAKOG .....   | 103 |
| 21. | <i>Keček D.</i><br>APROKSIMACIJA FUNKCIJE FOURIEROVIM I VALIĆNIM REDOM .....   | 107 |
| 22. | <i>Kondić V., Piškor M.</i><br>SUSTAV UPRAVLJANJA ZAŠTITOM OKOLIŠA PREMA NORMI ISO 14001 I RAZVOJ<br>METODOLOGIJE ZA NJENU IMPLEMENTACIJU..... | 111 |
|     | Završni radovi prvostupnika Veleučilišta u Varaždinu .....   | 119 |

## UVODNIK

Pred Vama je poštovani suradnici, studenti i nastavnici treći dvobroj našeg časopisa. Tri godine održavamo kontinuitet pored niza poteškoća i problema, pa možda i lutanja, no učinili smo što smo mogli.

Nastojali smo objaviti širok spektar članaka na području, strojarstva, elektrotehnike, graditeljstva i multimedije. To sigurno pokazuje i ovaj časopis koji je pred Vama, ali se još osjeća nedovoljan utjecaj svih naših zaposlenika i suradnika na njegovo oblikovanje, stručnu podršku dnevnom poslu i literaturi koja bi doprinijela razvoju struke. Moram reći da se pre malo piše o stvarnim i stručnim problemima iz prakse. Malo je članaka koji povezuju teoriju i praksu. Malo je članaka koji prikazuju neke inovacije ili tehnička unapređenja u realnom gospodarstvu. Kako se nalazimo u teškim gospodarskim uvjetima moramo se još više okrenuti i povezati s gospodarstvom. Prilika je to da se više radi na razvoju i novim projektima koji će moći u narednom razdoblju ugledati svjetlo dana. Pitanje energije i ekologije je svjetsko i hrvatsko pitanje broj jedan, odnosno dva. Tu moramo gledati naš interes i mogućnost doprinosa. Vrlo malo ili skoro uopće nemamo članaka koji se bave određenim analizama naših nastavnih procesa. Što je s kvalitetom izvedene nastave? Što se dobrog ili lošeg događa sa stručnom praksom? Kakva su nam iskustva sa završnim radovima? Kakvi su planovi i analize vezane za pokretanje specijalističkih studija? Gdje smo s međunarodnom suradnjom? Koliko i kako smo se povezali s drugim stručnim i znanstvenim institucijama? Mogli bi još puno toga nabrajati, ali nam to nije cilj, već želimo ukazati da se ima o čemu pisati što bi svakako zanimalo naše studente, zaposlenike i suradnike. Kao zaključak, moramo to reći da ima pre malo inicijative, pre malo se piše o stvarnim problemima. Kao da se osjeća nekakva nesigurnost i sumnja, premda za to nema razloga – zgodan su primjer kratki objavljeni članci nekolicine mentora sa svojim studentima, koji su u neposrednoj vezi s problemima koji nas zanimaju.

Mi ćemo i dalje nastojati održavati razinu kakvu smo dostigli dosad i za koju imamo podršku od najodgovornijih. No bojimo se samozadovoljstva: nedostaje nam Vaš glas – koji može biti pozitivan ili negativan. Ako niste sigurni ili ne znate što bi na sve ovo kazali, Vi napišite jedan članak iz područja gdje ste „najjači“ i gdje ste profesionalci i pošaljite ga uredništvu Tehničkog glasnika.

Na kraju želim se zahvaliti svim autorima članaka, tajnici, lektorima, tehničkom uredniku, recenzentima i Grafičkom zavodu Hrvatske bez čije pomoći i ovaj broj ne bi bio pred Vama.

Glavni urednik  
doc. dr. sc. Živko Kondić

# TEHNIČKE KARAKTERISTIKE GLAZURA, NOVA REGULATIVA I METODE ISPITIVANJA

Špišić A.<sup>1</sup>, Pavlic V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut IGH d.d. Zagreb, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Sadržaj: članak čitatelju donosi vrste glazura (estriha) te tehničke propise s popisom normi vezanih uz estrihe. Spomenute su metode ispitivanja kvalitete glazure, oznake prema evropskim normama. U članku se spominju i tehničke karakteristike glazura: čvrstoća na tlak i savojna čvrstoća koja se mora postići za određenu vrstu (klasu) glazure prema HRN EN normi, te ispitivanje ravnosti podloge i pripadajuće norme.

**Abstract:** In this paper, a range of technical details of floor glaze (screed) is offered, as well as the technical regulations with a list of standards related to the topic. In addition, the methods of testing the quality of glaze are provided together with enamel signs according to European standards. Technical characteristics are also mentioned in the paper: the strength of pressure and bending strength that must be achieved for a particular type (class) of glazes according to HRN EN standards and testing substrate flatness and related standards.

## 1. UVOD

NORME vezane uz glazure ili estrihe:

-EN 13813:2002, europska norma za „Estrichmoertel und Estrichmassen“ - ovu europsku normu prihvatio je i obradio 14. rujna 2002. tehnički komitet CEN/TC 303 „Estriche im Bauwesen“.

Na temelju članka 9. Zakona o normizaciji, Hrvatski zavod za norme prihvatio je sljedeće europske norme u izvorniku na engleskom jeziku kao hrvatske norme:

-HRN EN 13892-1:2003 Ispitne metode za materijale za in situ podove (estrihe)-1. dio: Uzorkovanje, izrada i njegovanje uzoraka za ispitivanje

-HRN EN 13892-2:2003 Ispitne metode za materijale za in situ podove (estrihe)-2. dio: Određivanje čvrstoće pri savijanju i tlačne čvrstoće

-HRN EN 13892-3:2003 Ispitne metode za materijale za in situ podove (estrihe)-3. dio: Određivanje otpornosti na habanje-Boehme

-HRN EN 13892-6:2003 Ispitne metode za materijale za in situ podove (estrihe)-6.dio: Određivanje površinske tvrdoće

-HRN EN 13892-8:2002 Ispitne metode za materijale za in situ podove (estrihe)-8. dio: Određivanje čvrstoće prianjanja

-HRN DIN 18201 tolerancije u graditeljstvu : Pojmovi, načela, primjena, ispitivanje (DIN 18201:1997). Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo DZNM na prijedlog

tehničkog odbora i provedene rasprave prihvatio je njemačku normu DIN 18201:1997 u izvorniku na njemačkom jeziku kao hrvatsku normu.

-HRN EN 13163, prvo izdanje u veljači 2002. : Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade – Tvornički izrađeni proizvodi od ekspandiranog polistirena (ESP)— Specifikacija (EN 13163:2001). Europska norma 13163:2001 ima status hrvatske norme.

Ispravak gore spomenute norme bio je u lipnju 2007. pod nazivom EN 13163/AC u izvorniku na engleskom jeziku koji je prihvacen kao hrvatska norma i objavljen u HZN glasilu (Hrvatski zavod za norme) 3/2007 od 30.6.2007.

-HRN EN 13164, prvo izdanje u veljači 2002. : Toplinsko-izolacijski proizvodi za zgrade- Tvornički izrađeni proizvodi od ekstrudirane polistirenske pjene (XPS) –Specifikacija (EN 13164:2001). Europska norma EN 13164:2001 ima status hrvatske norme.

Glazure se postavljaju na nosivu podlogu, a to može biti armirana betonska ploča ili druga podloga ili pak na slojeve toplinske, odnosno zvučne izolacije. Nakon očvršćivanja, glazura služi kao podloga za podove (parket, PVC, tekstil, daščani pod, keramičke pločice ili kamen) ili pak sama glazura služi kao završna hodna površina.

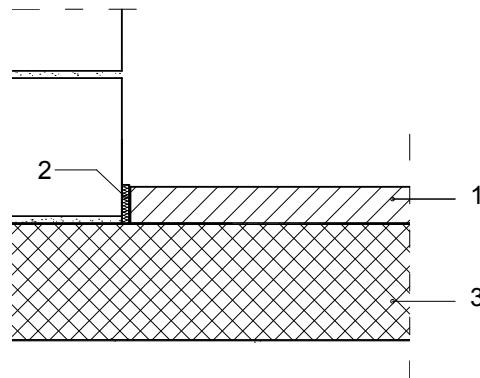
## 2. O PODJELAMA I VRSTAMA GLAZURA

Glazure se mogu podijeliti: prema načinu izvođenja, prema vrsti veziva i prema konzistenciji.

### 2.1. Glazure prema načinu izvođenja

Prema načinu izvođenja postoje 3 vrste glazura:

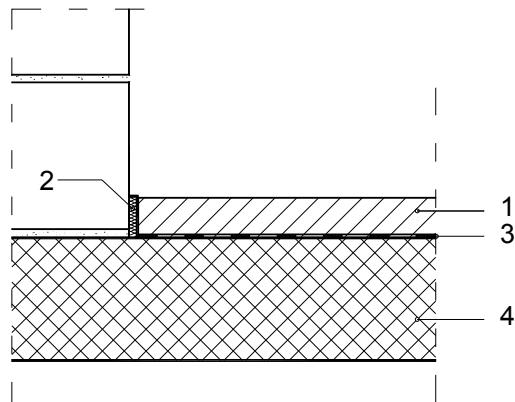
- **Glazura direktno postavljena na nosivu podlogu**



1. GLAZURA (ESTRIH)
2. RUBNA ELASTIFICIRANA TRAKA
3. NOSIVA STROPNA KONSTRUKCIJA

Slika 1 Glazura direktno postavljena na nosivu podlogu

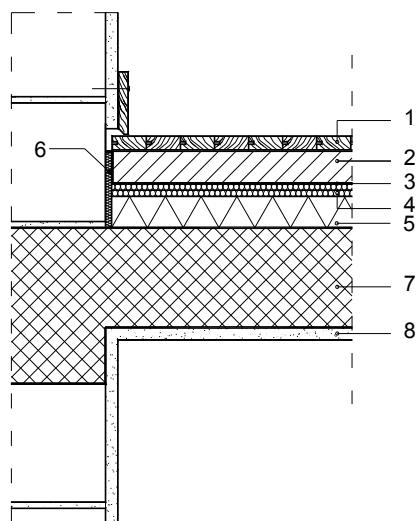
**- Glazura razdvojena od nosive podlage izolacijom, tzv. razdjelna glazura**



1. GLAZURA (ESTRIH)
2. RUBNA ELASTIFICIRANA TRAKA
3. RAZDJELNI SLOJ - PE ili BITUMENSKA FOLIJA
4. NOSIVA STROPNA KONSTRUKCIJA

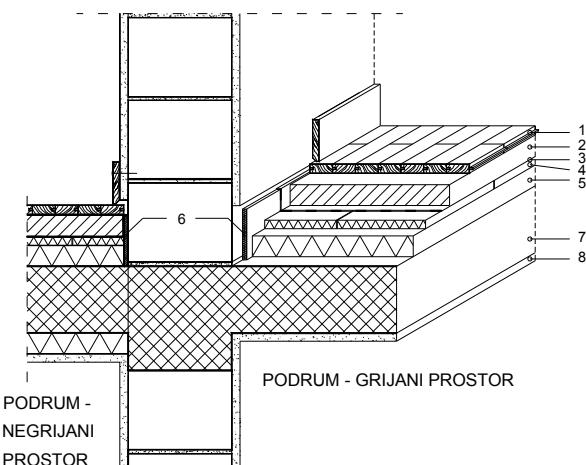
Slika 2 Glazura razdvojena od nosive podlage izolacijom, tzv. razdjelna glazura

**- Plivajuća glazura koja je toplinskom ili zvučnom izolacijom odvojena od nosive konstrukcije**



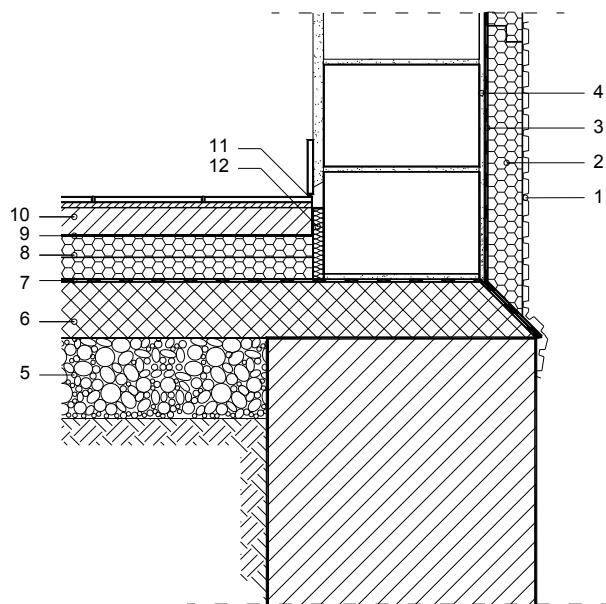
1. ZAVRŠNA PODNA OBLOGA - PARKET
2. GLAZURA (ESTRIH) - DEBLJINE min. 35 mm
3. PE FOLIJA 0.2 mm
4. ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN  
- ZVUČNA IZOLACIJA PROTIV UDARNOG ZVUKA  
U DVA SLOJA
5. TOPLINSKA IZOLACIJA  
- EPS ili MINERALNA VUNA
6. RUBNA ELASTIFICIRANA TRAKA
7. NOSIVA STROPNA KONSTRUKCIJA
8. ŽBUKA

Slika 3 Plivajuća glazura između etaža



1. ZAVRŠNA PODNA OBLOGA - PARKET
2. GLAZURA (ESTRIH) - DEBLJINE min. 35 mm
3. PE FOLIJA 0.2 mm
4. i 5. TOPLINSKA I ZVUČNA IZOLACIJA  
- EPS ili MINERALNA VUNA POLAGANA U DVA  
SLOJA U MEĐUSOBNO OKOMITOM SMJERU  
BEZ PREKLAPANJA SLJUBNICA
6. RUBNA ELASTIFICIRANA TRAKA
7. NOSIVA STROPNA KONSTRUKCIJA
8. ŽBUKA

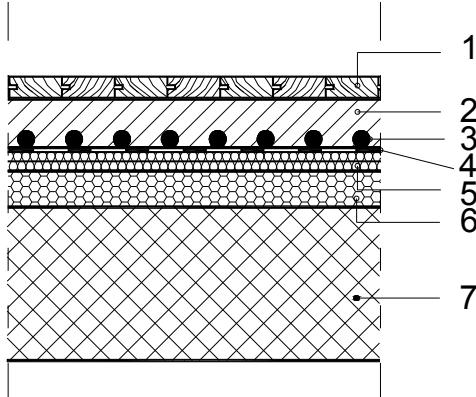
Slika 4 Plivajuća glazura iznad podrumskih prostorija



1. DRENAŽNA ZAŠTITNA FOLIJA
2. TOPLINSKA IZOLACIJA - XPS PLOČE
3. HIDROIZOLACIJA
4. ZAGLAĐENA POVRŠINA ZIDA
5. ŠLJUNČANI NASIP
6. ARMIRANOBOTONSKA PODNA PLOČA
7. HIDROIZOLACIJA
8. TOPLINSKA IZOLACIJA  
- EPS ili MINERALNA VUNA POLAGANA U DVA  
SLOJA U MEĐUSOBNO OKOMITOM SMJERU  
BEZ PREKLAPANJA SLJUBNICA
9. PE FOLIJA
10. GLAZURA - CEMENTNI ESTRIH
11. TRAJNOELASTIČNI KIT
12. RUBNA DILATACIJSKA TRAKA

Slika 5 Plivajuća glazura prostorija u nivou zemlje bez podruma (potrebna je uz toplinsku također i izolacija protiv vlage)

- Glazura za podna grijanja:



1. ZAVRŠNA PODNA OBLOGA - PARKET
2. GLAZURA (ESTRIH)
3. SPIRALNI RAZVOD CIJEVI ZA GRIJANJE
4. PE FOLIJA 0.2 mm
5. ELASTIFICIRANI EKSPANDIRANI POLISTIREN
- ZVUČNA ISOLACIJA PROTIV UDARNOG ZVUKA U DVA SLOJA
6. TOPLINSKA ISOLACIJA
- EPS ili MINERALNA VUNA
7. NOSIVA STROPNA KONSTRUKCIJA

Slika 6 Glazura za podna grijanja

## 2.2. Glazure prema vrsti veziva

Prema vrsti veziva postoje slijedeće glazure:

- Cementna glazura,
- Anhidrit glazura,
- Magnezitna glazura i
- Glazura od lijevanog asfalta - gusasfalt

**Cementna glazura** (oznaka CT prema europskim normama). Ova glazura se najčešće primjenjuje. Skoro svaka druga glazura je cementna glazura, što je povezano s dobrom kvalitetom. Ta glazura je vrlo čvrsta, nije osjetljiva na vlagu te se može postavljati u unutrašnjosti objekta kao i vani, a prilagodljiva je i za podna grijanja. Nedostatak ove glazure je taj što se može postaviti tek nakon 20-30 dana, pa se tada po njoj može i hodati. Ova glazura je mješavina vode, pijeska veličine zrna 0-8 ili 0-16 mm i cementa. Eventualno se može primijeniti i dodatak za brže učvršćenje. Za plivajuću glazuru kod izgradnje stanova dovoljno je primijeniti cementnu glazuru CT 20, što znači čvrstoću na tlak od 20 N/mm<sup>2</sup>. Zbog povećanih zahtjeva nosivosti, glazuri se mogu dodati tzv. OLYPROPILENSKA-POLYFIBER vlakna, tj. mreže armature razmaka šipki 15x15 cm ili mreže 50x50 mm promjera 2mm, odnosno 75x75 mm ili 100 x100 mm promjera 3 mm.

**Anhidrit glazura** (oznaka AE prema DIN-u) u posljednje se vrijeme često koristi. Ima vrlo kratko vrijeme u kojem se postiže maksimalna čvrstoća. Već nakon 7 dana može se opteretiti, može se hodati po njoj ili se može početi grijati ako je riječ o glazuri za podna grijanja, tj. o tekućem anhidrit estrihu. Taj estrih je vrlo lako postaviti. U gradnji stanova primjenjuje se glazura AE 20. Ovaj broj pokazuje čvrstoću u N/mm<sup>2</sup>. Nedostatak glazure je taj da se ne smije postaviti u

vanjskom prostoru jer je jako osjetljiva na vlagu. Prema tome, ne smije se postaviti ni u tzv. mokrim prostorijama (kupaonice ili WC-i) kao glazura bez gornje obloge. Anhidrit glazura se sastoјi od vode, pijeska veličine zrna 0-8 mm i anhydrit veziva.

**Magnezitna glazura** (oznaka MA prema europskim normama) ima veliku toplinsku i zvučnu izolaciju, ne razvija prašinu pa je za antistatik podove vrlo prilagodljiva. Ta glazura ne smije se upotrebljavati vani, a ni u mokrim prostorijama. Magnezitna glazura se sastoјi od magnezij-oksiklorida otopljenog u vodi, magnezija i dodataka (umjetni učvršćivači, papir-brašno od pluta, kvarcni pijesak, tekstilna vlakna). Ovu glazuru rade specijalne tvrtke, a proizvodi se u čvrstoći MA5 do MA 50, pri čemu je oznaka 5 minimalna tlačna čvrstoća, a minimalna savojna iznosi 3 N/mm<sup>2</sup>. Magnezitna glazura se primjenjuje kao industrijski pod te kao podloga za druge podove.

**Glazura od lijevanog asfalta** - gusasfalt (oznaka AS prema europskim normama). Ova glazura se može postavljati neovisno o vremenskim uvjetima. Već drugi dan može podnijeti opterećenje. Sastoјi se od bitumena, pijeska i dopune od kamenog brašna. Ta glazura ima vrlo dobru toplinsku i zvučnu izolaciju, nema miris, prašinu i vodu te je prilagodljiva za postavu i u mokrim prostorijama.

## 2.3. Glazura prema konzistenciji

**Tekuća glazura** - vrlo lako se ugrađuje i oblikuje. Najčešće se suha mješavina sa silosom odvozi na gradilište gdje se odgovarajućim dozatorima u nju dodaje voda. Tako pripremljena smjesa crijevima se otprema do mjesta ugradnje ili se na gradilište mikserima može dopremiti gotova smjesa. Kao tekuća glazura posebno je prikladna anhydrit glazura koja se vrlo lako ugrađuje. Tri čovjeka mogu dnevno ugraditi više od 1000 qm estriha.

**Suha glazura** je takva glazura kod koje se gotovi elementi (ploče) postavljaju na sudar pa se lijepe. Često su pojedini elementi sastavljeni od nekoliko ploča koje su međusobno zalijepljene, kao npr. gipsane kartonske ploče ili drvene ploče. Već prema izboru, te ploče mogu imati sloj toplinske izolacije koja je postavljena na donju podlogu ploče. Ovi sistemi su jednostavni za polaganje i odmah se mogu koristiti. Npr. suhi estrih kod knaufa, sistem F141, F142 ili F 146, odnosno kod rigipsa suhi estrih se zove RIGIPLAN ili ploče farmacell. Prednost ovih estriha je vrlo brza izvedba. Nije potrebno sušenje kao kod klasičnog estriha, ima malu težinu, dobru toplinsku izolaciju, poboljšanu zvučnu izolaciju do 19 decibela, kao i vatrootpornost od F30 do F90 minuta.

## 3. OSTALI RADOVI VEZANI UZ IZVOĐENJE GLAZURA

### 3.1. Zvučna izolacija između katova – etaža

Stropovi koji se postavljaju između etaža, bez obzira jesu li armirano-betonski, od fert gredica ili od nekog drugog

materijala, ne zadovoljavaju dopuštene vrijednosti razine udarnog zvuka – topota. U starijim zgradama s nedovoljnom zvučnom izolacijom stanovi su jako bučni, pa se čuje igra djece, koraci stanara, pad tvrdih predmeta, rad kućanskih aparata itd. U stambenim zgradama često se propušta izvedba dobre zaštite od udarnog zvuka, što jako nepovoljno utječe na ugodan boravak ljudi u tim stanovima. Dopuštene vrijednosti prijenosa buke kroz građevni element regulirane su tehničkim propisima i normama. Zvučna se energija uslijed udara širi vibracijama do njegove donje površine. Jedan dio energije se vraća u građevni element, a drugi dio pretvoren u zvučne valove prenosi u prostorije neugodan udarni zvuk. Za sniženje udarnog zvuka najpogodnije su plivajuće glazure kod kojih se umetanjem elastificiranog stiropora EPS-T niske vrijednosti dinamičke krutosti SD (15-20MN/m<sup>3</sup>) gornji sloj glazure odvaja od donjeg nosivog sloja (betonske ploče), a jednak tako i od svih vertikalnih ploha kao što su zidovi, dovratnici instalacije itd. Ovo odvajanje od vertikalnih ploha radi se rubnom elastificiranom trakom koja je za 2 cm viša od visine estriha, a debljine je 4 mm. Kod gusasfalt estriha ove vertikalne trake moraju biti debele 6 mm i moraju izdržati temperaturu 240-290°C. Da bi se izbjegao prijenos buke između dva stana, ili između stana i stepenica, izvodi se vertikalna fuga u širini dovratnika koja se popunjava elastičnim materijalom ili se postavlja tzv. profil za fuge. Zvučna izolacija se horizontalno odvaja od glazure polyethylenom folijom PE d = 0,1 do 0,2mm s preklopima od 20 cm, koja se podiže uz rubne trake vertikalno (slika 3.). Sukladno tehničkim propisima i hrvatskim normama za EPS-T, proizvođač je dužan priložiti izjavu o sukladnosti kojom se kupcu jamči kvaliteta proizvoda: vrijednost toplinske propustljivosti lambda λ (W/mK) kao i dopušteno opterećenje, normalna razina buke, dimenzije (debljina, širina dužina), količina u paketu i dinamička krutost. Debljina zvučne izolacije za plivajuću glazuru određena je elaboratom. Obično se EPS-T postavlja u dva sloja, s tim da se reške (fuge) gornjeg i donjeg sloja ne smiju poklapati.

### 3.2. Reške –fuge u glazuri

Reške u glazuri-estrihu trebaju se ostaviti tamo gdje su konstrukcijom objekta i predviđene. Pored ovih reški postavljaju se tzv. prividne fuge čija je dubina 1/3 do 1/2 debljine estriha, a služe zato da se izbjegnu risevi u estrihu uslijed naglog gubitka vode ili uslijed nepravilne izvedbe. Ove se reške prije postave podova zabrtve epoxidnom smolom. Prema propisima potrebno je postaviti na svakih 40 qm polja estriha jednu prividnu fugu. Ako je dužina stranice polja estriha duža od 8 m, iako je polje manje od 40 qm, potrebno je također postaviti fugu.

## 4. ISPITIVANJE KVALITETE ESTRIH (GLAZURE)

Budući da je elaboratom-projektom određena debljina glazure kao i toplinska, odnosno zvučna izolacija te nosivost glazure, potrebno je da izvođač radova predloži

na koji način će napraviti glazuru. Receptura mora sadržavati količinu veziva, količinu agregata po frakcijama, količinu vode te dodatke (eventualno polipropilenska vlakna i sl.) Uz to mora biti navedeno kako će se glazura izvoditi, hoće li to biti na gradilištu sa strojem „mixokret“, koji će biti način doziranja itd. Recepturu odobrava nadzorni organ, a investitor polaže glazuru.

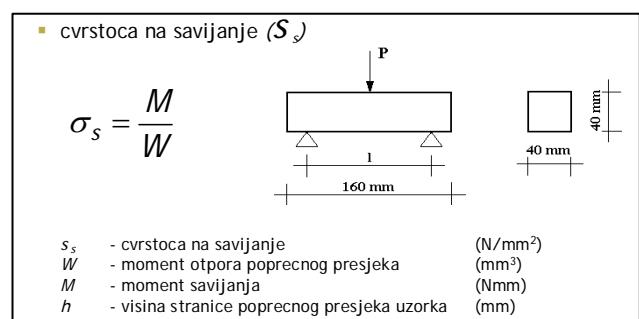
EN 13813, točka 6.3.3.1, kaže da se za kontrolu proizvodnje mora napraviti plan, a svi rezultati ispitivanja kvalitete moraju se protokolirati.

Ispitivanje glazure na gradilištu provodi se na svakih 1000 četvornih metara položene glazure, ako nije projektom drukčije predviđeno. Ispitivanje mogu obaviti za to akreditirani laboratorijski. Na gradilištu se mora dostaviti potvrda o akreditaciji koju izdaje HAA – Hrvatska akreditacijska agencija.

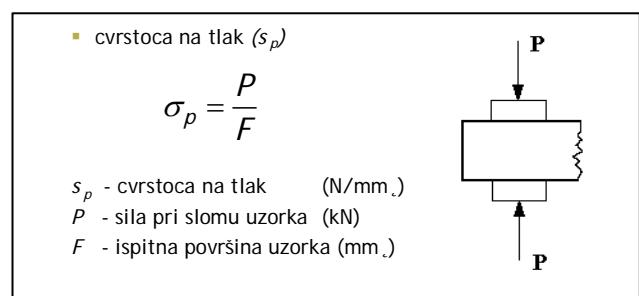
Svježa glazura se ispituje tako da se uzimaju 3 prizme dimenzija 4x4x16 cm (slika 7. i 10.). One se napune glazurom i drvenim čekićem se zbijanjem napune (npr. kod tekućeg estriha). Ovakve prizme se ispituju nakon 28 dana i to na savojnu čvrstoću (slika 8. i 10.) i čvrstoću na tlak (slika 9. i 10.).



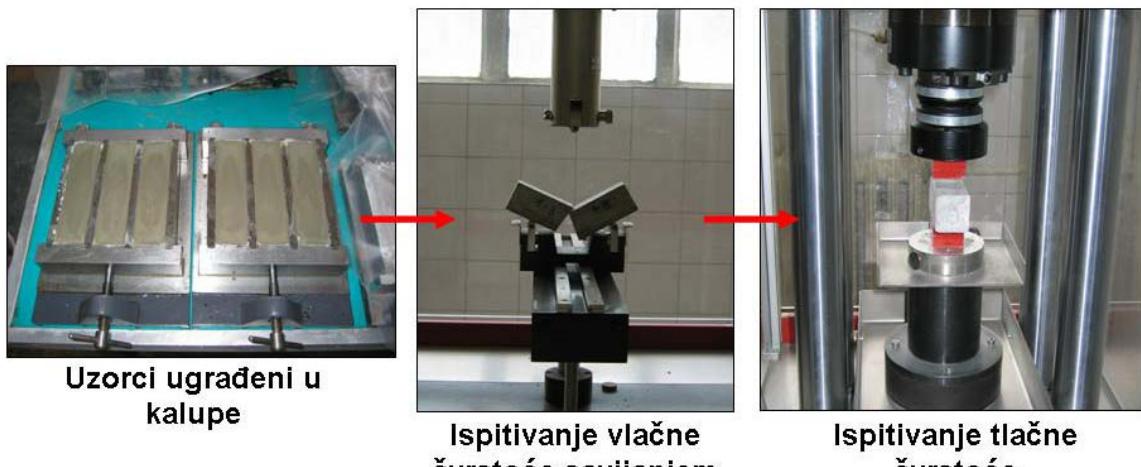
Slika 7. Trodijelni kalup dimenzija 4x4x16 cm za izradu uzorka glazure za ispitivanje tlačne i savojne čvrstoće



Slika 8 Izraz za izračun čvrstoće na savijanje



Slika 9 Izraz za izračun čvrstoće na savijanje



Slika 10 Prikaz laboratorijskih ispitavanja : uzorkovanje uzoraka, ispitivanje vlačne čvrstoće, te ispitivanje tlačne čvrstoće

Čvrstoća na tlak označuje se sa C ( Compression = Druck ), a izražava se u N/mm<sup>2</sup>, te prema EN 13813:2002 postoje klase od C5 do C80, tj: C5, C7, C12, C16,C20, C25, C30, C35,C40C50,C60,C70 i C80. Broj označava čvrstoću na tlak nakon 28 dana.

Savojna čvrstoća se označuje s F ( Flexural = Biege ), a izražava se u N/mm<sup>2</sup>, pri čemu postoje klase od F1 do F50, tj: F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F10, F15, F20 , F30, F40 i F50.

Ispituje se i otpornost na habanje koje se označuje s A (fuer Abrasion= Abrieb) u jedinicama cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup>, kao i zahtjev protiv kolotečina za cementne ili ostale glazure, a koji se označuje s RWA (fuer Rolling Wheel Abrasion =Abrieb durch Rollbeanspruchung) izražen u cm<sup>3</sup> .

Evo nekoliko oznaka glazura prema EN 13813:2002: Na primjer cementni estrih čvrstoće C30, i savojne čvrstoće F4 bit će označen: EN 13813 CT-C30-F4 ili magnezitni estrih čvrstoće 40 i savojne čvrstoće F 10 sa tvrdoćom gornje površine od SH150 ( SH 30,SH40, SH50, SH70, SH100, SH150 do SH200) bit će označen: EN 13813 MA -C40-F10-SH150.

Ako se iz bilo kojih razloga nisu uzele prizme za ispitivanje estriha, to se može učiniti naknadno, uzimanjem uzorka valjaka - minimum 3 valjka na mjestima koje odredi investitor ili nadzorni organ.

Pored ispitivanja glazure koja se odnose na njenu kvalitetu, na gradilištu (mjestu ugradnje) se prije polaganja podova ispituje vlažnost glazure kao i njena ravnost. Za ispitivanje vlažnosti koriste se uređaji od kojih se neki postave na površinu podloge čija se vlažnost ispituje, dok drugi iskazuju mjerne vrijednosti pomoću elektroda koje se postavljaju u konstrukciju. Rezultati mjerena se očituju na 3 načina: digitalno, na analognoj skali koja je numerirana i na mjernim skalama koje iskazuju suha, vlažna ili mokra područja

Tako je kod cementnih glazura za polaganje tekstilnih podova dopuštena vlažnost od 2,5%, a za polaganje PVC-a, linuleuma ili parketa 2%. Kod anhydrit estriha je

za tekstilne podove dopuštena vlažnost od 0,5 % i za PVC, linuleume i parkete također 0,5 %.

Ispitivanje isušivanja estriha kod podnog grijanja obavlja se kada radi podno grijanje, a prostorije u kojima je položen estrih su i dalje dobro prozračene. Ispituje se tako da se folija dimenzije 50 x 50 cm položi na estrih, a rub folije se zalijepi ljepljivom trakom. Ako se u roku od 24 sata nakon polaganja folije ne vide znakovi vlažnosti na unutarnjoj strani folije, znači da je estrih suh i može se temperatura podnog grijanja spustiti na 18° C. Za ispitivanje ostatka vlažnosti koristi se CM aparat i to na 200 qm, odnosno za jedan stan uzimaju se tri mesta za ispitivanje. Pri tome treba paziti da se kod probe ne oštete cijevi za podno grijanje.

Ispitivanja ravnosti glazura-podova obavlja se prema HRN DIN 18201:1997. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo na prijedlog tehničkog odbora prihvatio je njemačku normu DIN 18201:1997, u izvorniku na njemačkom jeziku, kao hrvatsku normu. Prema tabeli 3. postoji tolerancija za ravne površine: za gotove podove koji se koriste za hodanje, estrihe za preuzimanje podnih obloga, podovi od pločica, nalijepljeni podovi (tekstilni podovi) i asfaltni podovi. Određena je granica ispitivanja između dvije točke izražena u metrima i pripadajuća dopuštena tolerancija izražena u milimetrima.

## 5. LITERATURA

1. VOB, Verdinungsordnung fuer Bauleistungen
2. V. UKRAINCZYK: „ Poznavanje gradiva“ IGH, Zagreb, 2001.
3. W. SCHNELL „Pruefmethoden fuer Estriche“ Handbuch Industrieboeden Planung, Ausfuerung, Instandhaltung, Sanierung; Renningen-Malmsheim, Verlag, 1994.
4. Die Europaeische Norm EN 13813; Europaeisches Komitee fuer Normung, Management-Zentrum:rue de Stassart, B-1050 Bruessel, 2002.
5. Hrvatska norma, HRN DIN 18201 Tolerancije u graditeljstvu- pojmovi, načela, Primjena, ispitivanje (DIN 18201)- Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, 1997.

# ZAŠTITA DUBOKE GRAĐEVINSKE JAME U SLOŽENIM UVJETIMA URBANE SREDINE

Orešković M.<sup>1</sup>, Ivandić K.<sup>2</sup>, Lebo Ž.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

<sup>2</sup>Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin, Hrvatska

<sup>3</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

**Sažetak:** U radu je prikazan proces projektiranja i izvedbe duboke građevinske jame u složenim uvjetima urbane sredine. Zahvat je bio složen, jer je trebalo raditi u suhom, šljunkovitom tlu s kotom iskopa ispod razine podzemne vode, a sve u neposrednoj blizini susjednih, plitko temeljenih objekata. Prikazan je i tijek izvedbe zaštitne konstrukcije. Uz stecena iskustva, zaključeno je kako zaštiti duboke građevinske jame u određenim okolnostima.

**Ključne riječi:** duboke građevinske jame, geotehnička sidra, stupovi od mlazno injektiranog tla, vodo-propusnost, ispitivanje nosivosti, potporne konstrukcije

**Abstract:** The paper gives an overview of design and performance processes of deep construction pit in difficult conditions in urban areas. The complexity of the entire procedure is determined by the fact that it was necessary to ensure the dry work in the gravel soil with elevation of the excavation below the groundwater level, all in close adjacent, shallow-based facilities. The performance of protective structures during constructions is shown, with emphasis on the perceived problems and ways of their solving. Taking into consideration accumulated experience, the solution of the task of protecting the deep construction pit in specific circumstances is provided..

**Key words:** deep construction pit, geotechnical anchors, jet grouting columns, water permeability, bearing capacity testing, retaining structures

## 1. UVOD

Na varażdinskoj lokaciji, uz Zagrebačku i Supilovu ulicu tijekom 2007. i 2008. godine napravljena je privremena zaštita građevinske jame za Poslovnu građevinu Dilatacija "I". Spomenuti objekt je planiran s dvije podzemne etaže, dubine iskopa oko 8.5 metara.

Privremena konstrukcija zaštite građevinske jame imala je sljedeće fazame izvedbe:

1. stabilnost vertikalnog iskopa,
2. stvaranje vodonepropusne zaštitne barijere za rad u suhom,
3. ograničavanje pomaka zaštitne konstrukcije i susjednih objekata na prihvatljivu mjeru,
4. gospodarski kriterij izabranog rješenja,

S obzirom na to da je planirana dubina iskopa ispod razine podzemne vode u šljunkovitom, krupnozrnatom materijalu velike vodopropusnosti i s obzirom na blizinu objekata po cijelom tlocrtu građevinske jame, izvedba zaštitne konstrukcije bila je složen geotehnički zahvat.

Rad obuhvaća i okolnosti u kojima je projektirana i izvedena privremena zaštita građevinske jame. Spominju se iskustva dobivena tijekom izvedbe, a predlažu se i postupci za buduće lične zahvate.

Slika 1. prikazuje kopanje građevinske jame kako bi se napravila naglavna greda prvog reda sidara. Po cijelom tlocrtu građevinske jame su susjedni objekti.



Slika 1. Pogled na građevinsku jamu uz neposrednu blizinu susjednih objekata

## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE RJEŠENJA

Ovo poglavlje daje uvjete u kojima je projektirano osnovno rješenje, a prikazani su i osnovni elementi potporne konstrukcije i horizontalnog vodonepropusnog čepa.

### 2.1. Geotehnički uvjeti

Geotehnička istraživanja na predmetnoj lokaciji proveli su u više navrata različiti nosioci geotehničkih elaborata. U ranijoj fazi istražnih radova definiran je sljedeći raspored slojeva temeljnog tla:

- nasip 0.8 – 1.1 m od humusa i građevinskog otpada
- sitni zaglinjeni šljunak GC, dubina 1.5 – 2.0 m
- šljunak s povećanim sadržajem pijeska GS na 3.1 – 4.3 m
- do 15 m čisti do prašinasti dobro graduirani šljunak GW/GM, vrlo zbijen s maksimalnim poluzabiljenim zrnom do 6 cm.

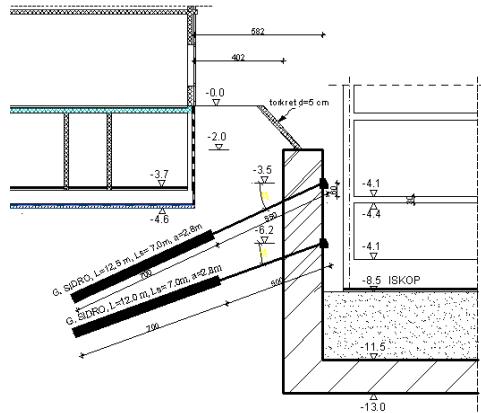
Raspored nabušenih slojeva sugerirao je da je sastav tla povoljan što se tiče upotrebe stupnjaka od mlazno injektiranog tla. Određena dvojba bila je kod količine sitnih čestica u sloju GW/GM. One bi bi eventualno mogle nepovoljno utjecati na ostvarenje projektiranih dimenzija i čvrstoće vertikalnih i stupnjaka na dijelu vodonepropusnog čepa. Geotehnički istražni radovi provedeni u kasnijim fazama ukazivali su na nezanemarivu količinu proslojaka sitnozrnatog tla po tlocrtnoj dispoziciji i po dubini građevinske jame. Rezultati istražnih radova nisu mijenjali osnovno rješenje, već su ojačali zaštitnu konstrukciju i vodonepropusni čep.

Za vrijeme terenskih radova u buštinama je nađena podzemna voda (PPV) na 5.8 m od kote terena. Najviša razina podzemne vode je na 167.27 m.n.m. i varirala je, prema elaboratu, oko 1m u promatranom razdoblju od 22 mjeseca.

### 2.2. Potpora konstrukcija

Vertikalna zaštita građevinske jame zamišljena je upotrebom mlazno injektiranih stupnjaka promjera  $d = 1.8$  m, s preklapanjem od  $r_p = 0.4$  m i dužinom  $l = 11$  m. Spomenuti je sustav ojačan s dva reda geotehničkih sidara velike nosivosti povezanih s naglavnom gredom u oba reda. Sidra su u horizontalnom smjeru na razmaku  $a = 2.8$  m. Gornje sidro  $l_u = l_{sl} + l_{sid} = 5.5 + 7.0 = 12.5$  m, pod kutem  $\alpha = 25^\circ$ , dok u donjem redu  $l_u = l_{sl} + l_{sid} = 5.0 + 7.0 = 12.0$  m, pod kutem u odnosu na horizontalu

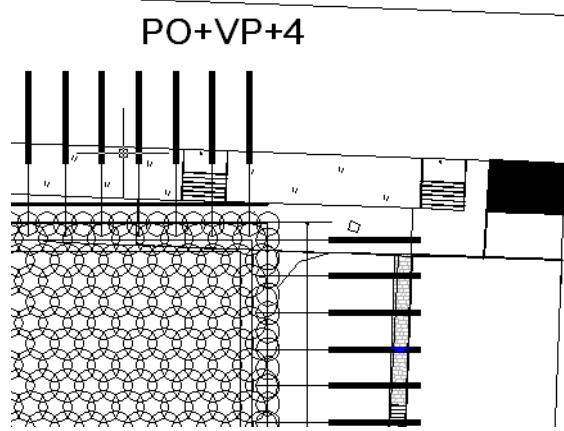
$\alpha = 20^\circ$ . Slika 2. prikazuje presjek potporne konstrukcije s vodonepropusnim čepom.



Slika 2. Presjek potporne konstrukcije

Veličina preklapanja od  $r_p = 0.4$  m definirana je dopuštenom tolerancijom izvedbe stupnjaka od 2.0 %. Za dužinu stupnjaka od 11 m, dopuštena greška je 0.22 cm, što daje dodatnih 18 cm osiguranja preklapanja.

Na slici 3. je tlocrtni prikaz jednog segmenta potporne konstrukcije. Vidljive su dimenzije stupnjaka te veličina njihova preklapanja na dijelu potporne konstrukcije i vodonepropusnog čepa.



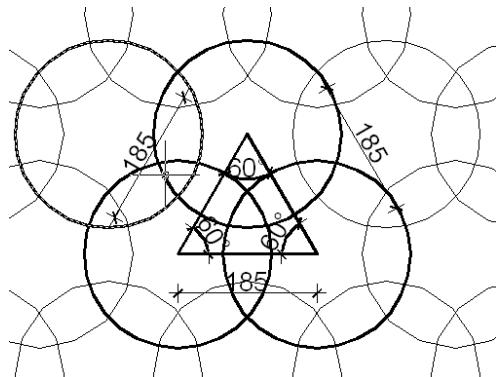
Slika 3. Prikaz dijela tlocrta građevinske jame



Slika 4. Prikaz dijela vertikalnih stupnjaka

Slika 4. Prikazuje dio vertikalne zaštitne konstrukcije na južnoj strani kod izrade gornje naglavne grede.

### 2.3. Vodonepropusni čep



Slika 5. Dimenzije i tlocrtni raspored stupnjaka da dijelu vodonepropusnog čepa

Na Slici 5. Su dimenzije projektiranih stupnjaka s tlocrtnim rasporedom preklapanja, koji tvore vodonepropusni čep. Postignuta geometrija i čvrstoća stupnjaka provjerena je izvedbom pokušnih stupnjaka. Geometrijska i mehanička svojstva pokušnih stupnjaka za vodonepropusni čep kontrolirana su njihovim otkopom na površinskom dijelu, bušenjem, uzimanjem uzoraka stupnjaka te ispitivanjem tehničkih uvjeta.

### 3. TIJEK RADOVA

Kod iskopavanja ispod drugog reda naglavne grede, na sjevernoj strani građevinske jame došlo je do provale materijala i vode u jamu. Količina materijala bila je oko  $3 \text{ m}^3$ . Na taj način razrahljeno je tlo između susjednih objekata i jame. Otvorila se kaverna, koja je predstavljala opasnost za one u blizini odrona.



Slika 6. Mjesto prodora vode nakon hitne sanacije istoga

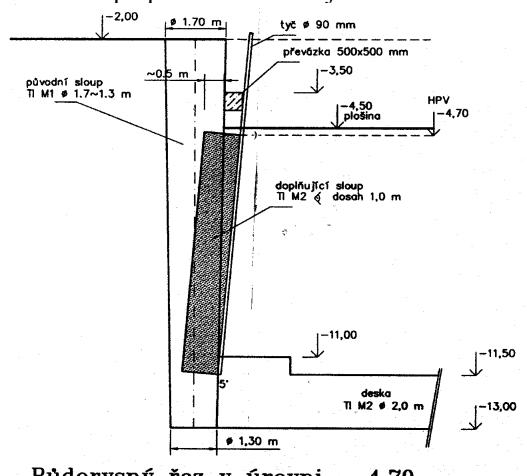
Dosizanjem konačne kote iskopa, voda je neprestano dotjecala u jamu pa se nije mogla graditi temeljna ploča. Slika 7. Prikazuje prodiranje vode u jamu.



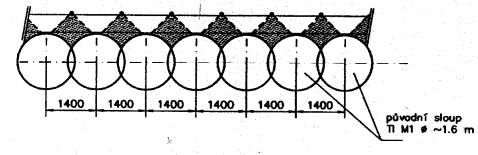
Slika 7. Dotok vode u jamu

### 4. KOREKCIJA OSNOVNOG RJEŠENJA

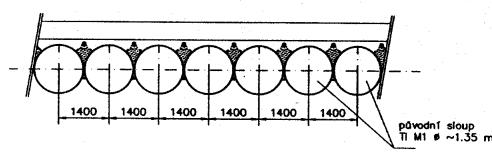
Na temelju zatečenog stanja zaključilo se da treba ojačati vertikalne stupnjake potporne konstrukcije prije svega zbog neplaniranih probaja vode i zemljjanog materijala (šljunka i prašinastog šljunka). To je ostvareno novim redom stupnjaka od mlazno injektiranog tla promjera 80 cm na kontaktima starih, već postojećih stupnjaka većih promjera. Injektiranje smjese bilo je usmjereno samo u prostor između postojećih stupnjaka, ciklički rotaciono s kutem do 120 stupnjeva. U smjesu se dodavala i određena količina aditiva za bubrenje, kako bi brtvljenje bilo što efikasnije. Slika 8. prikazuje na koji način je sanirana vertikalna potporna konstrukcija.



Půdorysný řez v úrovni -4,70



Půdorysný řez v úrovni -11,50



Slika 8. Rješenje sanacije usmjerenim mlaznim injektiranjem između postojećih stupnjaka

Da bi se stupnjaci korektno napravili, trebalo je izjednačiti porne tlakove s obje strane građevinske jame. Pojavili su se hidraulički gradjeni pa se nisu mogli napraviti stupnjaci određenih geometrijskih i mehaničkih svojstava. Zato je zaustavljen crpljenje vode (čime je jama potopljena), te je izведен nasip (berma) po obodu građevinske jame dovoljne širine za manipulaciju strojem. Nakon ojačanja vertikalne stijene od stupnjaka pristupilo se crpljenju vode i nastavku iskopavanja. Na slici 9. vidi se kontrolirano potopljena građevinska jama.



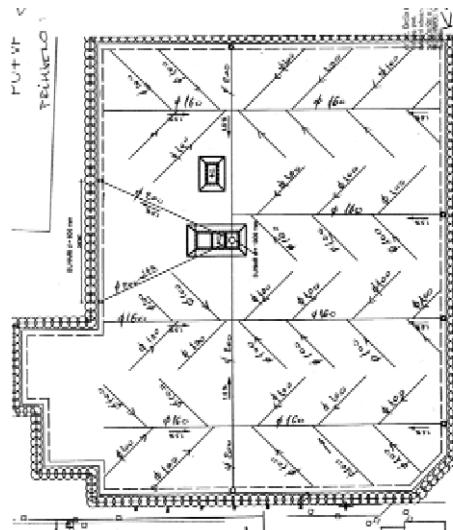
Slika 9. Kontrolirano potapanje jame

Slika 10. prikazuje izvedeni nasip uz obod građevinske jame potreban za gradnju dodatnih stupnjaka.



Slika 10. Potopljena jama prije sanacije stupnjaka

Budući da je vode bilo previše, a nije se mogla adekvatno crpiti, napravljen je gusti drenažni sustav za prikupljanje i crpljenje ove vode. Zbog manje propusnih sitnozrnih materijala (slojeva) nije bilo moguće postići stupnjake vododrživog horizontalnog čepa potrebnih volumena i čvrstoća. Problem je i u tome da nije moguć direktni uvid u izvedeni stupnjak. Svako ispitivanje postignute geometrije i kvalitete može biti samo posredno, preko odgovarajućih geofizičkih ispitivanja ili djelomično na ograničenom broju uzoraka. Na slici 11. vidi se naknadno izvedeni drenažni sustav.



Slika 11. Skica drenažnog sustava za prikupljanje i crpljenje procjedne vode

Izvedbom dodatnih stupnjaka nisu otklonjeni problemi oko vododrživosti i stabilnosti vertikalnih stupnjaka. Daljnjim iskopavanjem do konačne kote voda je i dalje povremeno prodirala. Na dijelu sjeverne strane jame, kada je izvedeno oko 4/5 temeljne ploče te veći dio zidova druge etaže, prilikom iskopavanja voda je curila istodobno na više mjesta. Ovi prodori se nisu mogli sanirati „standardnim“ metodama, odnosno umetanjem cijevi za naknadno injektiranje i brtvljenjem brzovezujućim sredstvima. Stoga se trebalo pristupiti učinkovitim rješenju da ne dođe do potapanja jame. Jedna od varijanti bila je izvedba dodatnog reda mlaznih stupnjaka s vanjske strane jame. Problem s ovom varijantom je bio taj što bi onda trebalo ponovno potopiti jamu, a što bi drastično povećalo troškove izgradnje. Stoga je sanacija obavljena zabijanjem dodatnih mini talpi neposredno uz vertikalne stupnjake te kampadnim dobetoniravanjem i injektiranjem brzovezujućom smjesom. Radovi su bili teški, jer se količina vode za crpljenje povećavala zbog ispiranja sitnih čestica na mjestima prodora, a tlak vode povećavao se daljnjim iskopavanjem. Na slici 12. vidi se primjena mini talpi da se sprječi prodor vode i tla na sjevernoj strani jame.



Slika 12. Korištenje mini talpi radi sprečavanja prodora vode i tla

## 5. ZAKLJUČAK

Zamjećuje se relativno velika osjetljivost mlazno injektiranih stupnjaka većih promjera ( $>1$  m) na točnost izvedbe i na kvalitetu ovisno o karakteristikama zatečenog tla. Stoga se predlaže upotreba stupnjaka manjih promjera u dva ili više redova. Neovisno o odabranom rješenju treba obratiti pozornost na vrsnoću izvedbe, a sve s ciljem poštivanja projektirane geometrije i mehaničkih svojstava stupnjaka. Korištenjem mlazno injektiranih stupnjaka za izvedbu vodonepropusnog čepa ne može se posve isključiti prodiranje vode. . Zato treba predvidjeti drenažu dna građevinske jame. Ako je tlo jako loše, međusobnim dogовором treba napraviti dodatne stupnjake, a promotriti i potpornu konstrukciju te susjedne objekte. U projektu se definiraju kriterijji dopuštenih pomaka, ali i količina vode koja se procjeđuje kroz dno i potpornu konstrukciju. U svim situacijama treba odgovorno djelovati.

## 6. LITERATURA

- [1] Tehnički propis za betonske konstrukcije, NN 139/09 i NN 14/10
- [2] HRN EN 1997-1:2008, Eurokod 7, Geotehničko projektiranje – 1. dio, Opća pravila (EN 1997-1:2004)
- [3] HRN EN 1997-2:2008, Eurokod 7, Geotehničko projektiranje – 2. dio, Eurocode 7, Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla, (EN 1997-2:2007)
- [4] Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, HRN 1990., Sl. List. 15/90
- [5] Execution of special geotechnical works – Jet grouting, European Standard, EN 12716, European Committee for Standardization, 2001.

# PROPUSNI BETON ZA KOLNIKE

Blažok D.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Ovaj članak donosi informacije o primjeni propusnog betona, o materijalima, svojstvima, doziranju smjese i ispitivanju. Pojam "propusni beton" obično opisuje betonsku mješavinu čije je slijeganje približno jednako nuli. To je otvoreno-granulirani materijal koji se sastoji od portland cementa, krupnog agregata, malo ili nimalo sitnog agregata, primjesa i vode.

**Ključne riječi:** odvodnja, propusnost, propusni betonski kolnik, oborinska voda, okoliš

**Abstract:** This article gives technical information on pervious concrete's application, materials, properties, mixture proportioning and testing. The term "pervious concrete" typically describes a batch with near-zero-slump. It is open-graded material consisting of portland cement, coarse aggregate, little or no fine aggregate, admixtures, and water.

**Key words:** drainage, permeability, pervious concrete pavement, storm water, environment

## 1. UVOD

Od 1939. do 1945. godine, razaranja Drugog svjetskog rata ostavila su Europu u ogromnim stambenim potrebama. To je potaknulo razvoj novih ili prethodno neiskorištenih metoda građenja. Među tim metodama bio je porozni beton. Njemačka se koristila metodom proizvodnje takvog betona zbog nestašice materijala i zbrinjavanja velikih količina građevinskog otpada (cigle, šute). Tako je počelo istraživanje svojstava poroznog betona. U SAD-u se porozni beton tek kasnije koristi kao površina za parkirališta i manje cestovne trake. Danas zbog nedostatka ispitnih metoda ASTM-ov (American Society for Testing and Materials) pododbor C09.49 razvija metode za porozni beton. Od 2008. godine razvija se pet probnih standardnih testova koji uključuju:

- gustoću svježeg betona i sadržaj pora
- tlačnu čvrstoću
- čvrstoću na savijanje
- propusnost
- gustoću očvrsnulog betona i poroznost

Propusni ili porozni beton sadrži malo ili gotovo ništa sitnih čestica, a sastoji se uglavnom od krupnog agregata i cementne paste. Rezultat takvog sastava je veća količina pora u rasponu od 15 do 35% volumena.

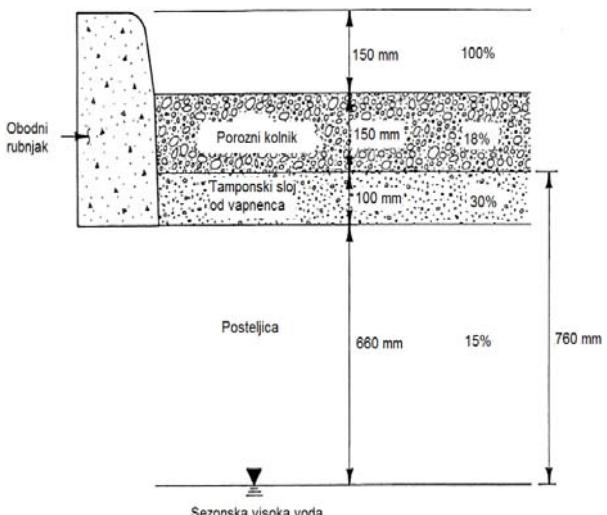
Propusni kolnik je kolnik s dovoljno kontinuiranim porama koje omogućuju da voda prođe s njegove površine do podložnih slojeva.

## 2. PRIMJENA

### 2.1. Primjena na kolnike

Inženjeri spominju propusni beton u kolnicima kao:

- površinski sloj – površina za parkirališta i manje cestovne trake
- propusne baze i rubne slivnike – za odvodnju vode koja bi se obično nakupljala ispod kolnika
- bankine – za smanjenje crpljenja ispod betonskog kolnika



Slika 1. Prikaz propusnog betonskog kolnika projektiranog za sustav zadržavanja oborinske vode

### 2.1. Ostale primjene

Slivnici od propusnog betona koriste se u vodnoj i energetskoj djelatnosti ispod hidrograđevinskih objekata za ublažavanje pritiska izdizanja te dopuštaju da se podzemne vode ispuštaju ispod kanalizacijskih cijevi.

U staklenicima se koristi za popločavanje podova da ne dođe do skupljanja vode na površini, da se eliminira rast korova, a ujedno je izdržljiva i tvrda površina za kretanje opreme. Može služiti kao skladišni prostor, ali i kao izmjenjivač topline za solarno grijani staklenik.

Kod teniskih terena propusne ploče omogućuju prodiranje vode, a zatim se voda izlučuje preko šljunčane baze do rubova ploče. U neke smjese uključen je lebdeći pepeo koji služi za povećanje obradivosti.

Bukobrani i zidovi zgrada od propusnog betona ponekad su konstruirani za smanjenje buke. Ova diskontinuirana struktura teži da apsorbira i raspršuje zvuk u materijalu - da ga reflektira na drugu lokaciju.

### 3. PREDNOSTI I NEDOSTACI

Prednosti propusnog betonskog kolnika nad konvencionalnim betonskim kolnicima uključuju:

- kontroliranje kišnih onečišćenja na izvoru
- održavanje parkirališta suhima, bez stajačih voda na površini (slika 2.)
- kontroliranje otjecanja oborinske vode
- smanjenje klizanja vozila na cestama i autocestama
- izrada dodatnih potisaka na zrakoplovu zbog hlađenja tijekom uzljetanja
- smanjuje odsjaj na cestovnim površinama, pogotovo noću na mokrim cestama
- smanjuje buku koja nastaje interakcijom između gume i pločnika
- uklanja ili smanjuje veličinu oborinskih kanalizacija
- omogućuje zraku i vodi da dopru do korijenja stabala

Potencijalni nedostaci i izazovi propusnog betona:

- ograničeno korištenje u područjima kretanja teških vozila
- specijalizirane konstrukcije
- produženo vrijeme sušenja
- osjetljivost na sadržaj vode i kontrolu u svježem betonu
- posebna skrb u dizajnu kod nekih tipova tla kao što su ekspanzivna tla i ona osjetljiva na mraz
- nedostatak standardiziranih metoda ispitivanja
- eventualno potrebna posebna pažnja kod izvedbe na području visokih podzemnih voda



Slika 2. Propusni betonski kolnik



Slika 3. Konvencionalni betonski kolnik

### 4. MATERIJALI

#### 4.1. Agregat

Krupniji agregat daje hidrološke prednosti zbog velikih pora i propusnosti. Dodavanje sitnog agregata može povećati tlačnu čvrstoću i gustoću, ali zato smanjuje brzinu protoka vode kroz masu propusnog betona. Najveće preporučene veličine čestica su oko 9,5 – 19 mm, što je dovoljno veliko kako bismo dobili otvorene pore i brzo prodiranje vode.

#### 4.2. Cementni materijali

Dodatni cementni materijali, kao što su leteći pepeo, mljeveno-granulirana metalurška šljaka i silikatna prašina, mogu se koristiti kao dodatak portland cementu. Preporuča se ispitivanje materijala u probnoj mješavini da se provjeri kompatibilnost cementne smjese i da vrijeme vezanja, stopa razvojne snage, poroznost i permeabilnosti dadu potrebne karakteristike za predviđeni prostor i svrhu korištenja.

#### 4.3. Dodaci

Dodaci koji se koriste u propusnom betonu:

- za smanjenje vode – koriste se ovisno o vodocementnom omjeru
- za usporavanje – koriste se za stabilizaciju i kontrolu hidratacije
- za ubrzavanje – mogu se koristiti kada se propusni betoni ugrađuju u hladnom vremenu
- primjese aeranata obično se ne koriste u propusnim betonima, ali mogu se koristiti u okruženjima osjetljivim na smrzavanje i odmrzavanje
- usporivači isparavanja – kada uvjeti sušenja u okolini stvaraju visoke stope isparavanja, što dovodi do raspuklina
- umjetna vlakna – za poboljšanje trajnosti u hladnim podnebljima

## 5. SVOJSTVA

### 5.1. Tlačna čvrstoća

Karakteristična tlačna čvrstoća propusnog betona kreće se od 2,8 do 28 MPa. Na tlačnu čvrstoću propusnog betona najviše utječe omjer smjese i napor uložen u zbijanje tijekom ugradnje. Posljedica povećanja veličine agregata je manja tlačna čvrstoća.

Otkriveno je da polimerni aditivi i mineralne primjese povećavaju tlačnu čvrstoću agregata za istu granulaciju. Ukupan sadržaj cementnih materijala smjese propusnog betona važan je za razvoj tlačne čvrstoće i strukture pora.

### 5.2. Čvrstoća na savijanje

Dodatak male količine pijeska (oko 5% po volumenu) povećava čvrstoću propusnog betona na savijanje. Čvrstoća na savijanje se povećala kada su se koristili polimerni aditivi. Savojna vlačna čvrstoća od približno 3 MPa utvrđena je za proporcionalirani propusni beton agregata od 6 do 10 mm i 25% poroznosti.

### 5.3. Gustoća i veličina pora

Gustoća pora uvelike ovisi o granulaciji agregata, o sadržaju cementnog materijala, vodocementnom omjeru i snazi zbijanja.

Dokazan je utjecaj veličine pora na vodopropusnost i na akustičnu apsorpciju. Za generiranje pora većih veličina preporučuje se agregat veće veličine. Preporučuju se pore većih veličina jer one mogu smanjiti začepljenje pora.

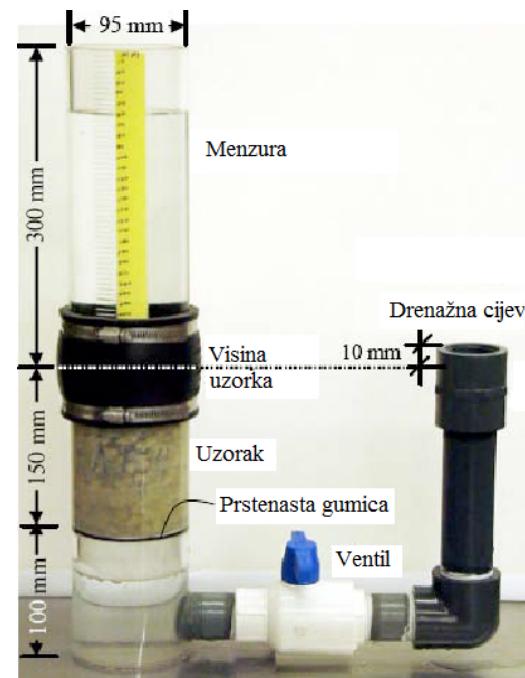
### 5.4. Brzina procjeđivanja

Brzina procjeđivanja propusnog betona izravno je vezana uz poroznost i veličinu pora. Ispitivanja su pokazala da je potrebna minimalna poroznost od 15% kako bi se postiglo značajnije procjeđivanje.

Propusnost propusnog betona može se mjeriti jednostavnim permeametrom promjenljivog potencijala kao što je prikazano na slici 3. U tom postupku uzorak je zatvoren u lateks membranu da se izbjegne tečenje vode s bočne strane uzorka. Sa zatvorenim ventilom menzura je ispunjena vodom. Zatim je ventil otvoren i mjeri se potrebno vrijeme  $t$  za pad vode od početne visine  $h_1$  do konačne visine  $h_2$ .

Uzorak mora omogućiti da voda izlazi kroz cijev sve dok razina u menzuri ne bude ista kao i na vrhu drenažne cijevi. To minimalizira zračne jastuke u uzorku i osigurava potpuno zasićenje uzorka.

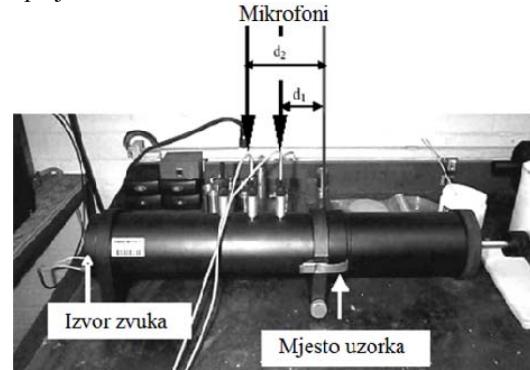
Za poroznosti od 20 do 25% koeficijent propusnosti je oko  $0,01 \text{ m/s}$ , dok druga studija kaže da je propusnost  $36 \text{ l/m}^2/\text{s}$ .



Slika 4. Permeametar promjenljivog potencijala

### 5.5. Apsorpcija zvuka

Zbog prisutnosti velikog volumena međusobno povezanih pora, propusni beton je vrlo učinkovit u apsorpciji zvuka.



Slika 5. Impedancijska cijev za mjerjenje karakteristika apsorpcije zvuka u propusnom betonu

Kako bi se procijenile karakteristike apsorpcije zvuka propusnog betona, može se koristiti impedancijska cijev kao što je prikazano na slici 4. Uzorak se stavlja unutar tankog, cilindričnog, teflonskog, cijevnog umetka u koji se uklapa i priljubljuje. Uzorak je smješten nasuprot krutog oslonca na jednom kraju impedancijske cijevi, koja je opremljena izvorom zvuka. Ravnina akustičnog vala generirana je izvorom zvuka i širi se duž osi cijevi. Mikrofoni postavljeni dužinom cijevi koriste se za otkrivanje tlaka zvučnog vala (prenosi se uzorkom) i dijela vala koji se reflektirao. Koeficijent refleksije tlaka ( $R$ ) je omjer tlaka reflektiranog vala s nadolazećim valom na određenoj frekvenciji. Koeficijent apsorpcije  $\alpha$  je mjera sposobnosti materijala da apsorbira zvuk. Materijal s koeficijentom apsorpcije 1,0 ukazuje na posve upijajući materijal, dok materijal s koeficijentom apsorpcije 0,0 označava materijal koji je potpuno reflektivan. Npr. normalni beton ima apsorpcijski

koeficijent od 0,03 do 0,05. Propusni beton obično ima apsorpcijski raspon od 0,1 (za slabo učinkovite mješavine) do gotovo 1 (za smjese s optimalnim volumenom i dimenzijama pora). Zbog ovisnosti koeficijenta apsorpcije o frekvenciji djelovanja zvučnih valova, važno je odabrat odgovarajuću debljinu propusnog betona kako bi se smanjili zvuci željene frekvencije.

## 6. OKOLIŠ I PROPUSNI BETON

Propusni beton je jedinstven i inovativan način upravljanja oborinskim vodama. Iz stajališta zaštite okoliša, njegova osnovna prednost je smanjenje ukupnog volumena otjecanja koje nosi onečišćujuće tvari u naše potoke, rijeke, jezera i oceane.

Ne samo da smanjuje količinu oborinske vode, propusni beton učinkovito ublažava zagadenje od prvog mlaza vode, kojim je oko 90% zagađivača odvedeno tijekom prvih 38 mm tipičnog kišnog događaja. Filracija osigurana matricom pora unutar propusnog betona zadržava najmanje 80% organskih onečišćujućih tvari. Također je poboljšan potencijal za skupljanje vode u različite svrhe.

Propusni beton upija i zadržava manje topline i zahtjeva manje noćne rasvjete od najčešće korištenih konvencionalnih pločnika. Ima potencijala za smanjenje utjecaja urbanog toplinskog otoka i za smanjenje ugljika redukcijom energije.

## 7. ZAKLJUČAK

Propusni kolnik upija i propušta vodu, smanjuje buku i zagrijavanje u gradovima, a može se čak i koristiti za pročišćavanje vode.

Zbog premale tlačne čvrstoće, ovaj tip betona ne može se koristiti za ceste opterećene prometom.

On brzo upija dosta vode i zbog toga bi ga bilo izvrsno primijeniti za nogostupe, prilaze i parkirališta. Povećanje korištenja propusnog kolnika pridonijelo bi ekologiji - čišćim vodama – te unapređenju održive gradnje.

## 8. LITERATURA

- [1] Report on Pervious Concrete : Reported by ACI Committee 522, 2010.
- [2] Bean, E.Z.; Hunt, W. F. Study on the Surface Infiltration of Permeable Pavements. Bidelsbach. D. A., 2004.
- [3] Akan, Osman A. Sizing Stormwater Infiltration Structures. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 128, 2002.
- [4] Delatte, N. Concrete Pavement Design : construction and performance. Taylor & Francis : London, 2008.
- [5] Portland Cement Pervious Concrete Pavement : Field Performance Investigation on Parking Lot and Roadway Pavements, Department of Civil & Environmental Engineering. Cleveland, 2007.
- [6] Erdogan M. Sener. Porous Concrete Pavement Construction : Opportunity for Alternative Drainage Methodology Emphasis in Construction Education. Purdue School of Engineering and Technology, 2007.
- [7] <http://www.epa.gov/>
- [8] <http://www.usgbc.org/>
- [9] <http://www.perviouspavement.org/>
- [10] [http://www.secpa.org/pervious\\_concrete.htm](http://www.secpa.org/pervious_concrete.htm)
- [11] <http://ecoconsulting.net/www/Leed.htm>

### Kontakt:

Danijel Blažok, dipl. ing. građ., dipl. ing. geot.  
e-mail: danijel.blazok@yahoo.com

# ANALIZA DEFORMACIJSKE ENERGIJE OBALNE KONSTRUKCIJE TEMELJENE NA PILOTIMA

**Kaniški M.<sup>1</sup>, Ivandić K.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>**Varaždin, Hrvatska**

<sup>2</sup>**Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin, Hrvatska**

**Sažetak:** U radu je predložen nov način proračuna horizontalno opterećenih obalnih konstrukcija temeljenih na vertikalnim pilotima u homogenom deformabilnom tlu. Piloti su modelirani kao polubeskonačne dužine u Winklerovom poluprostoru. Analizira se amortizacija kinetičke energije broda prilikom njegova pristajanja uz obalnu konstrukciju. U klasičnim rješenjima ukupnu kinetičku energiju preuzima elastičan odbojnik obalne konstrukcije. Uzimajući u obzir pretpostavku da kinetičku energiju udara broda amortiziraju elastični odbojnici, deformirana obalna konstrukcija i tlo na kojem se ona nalazi, pokazuje se da dolazi do značajne promjene u raspodjeli horizontalnih pomaka i unutarnjih sila u konstrukciji.

**Ključne riječi:** obalna konstrukcija, kinetička energija, ekvivalentna sila, deformacijska energija

**Abstract:** The paper presents a new way of analyzing horizontally loaded on-shore structures founded on vertical piles in homogeneous deformable soil. The piles are computed as of semi infinite length in the Winkler half-space. The analysis of the kinetic energy depreciation of a ship at its mooring along the shore construction is provided. Within the classical solutions, the total kinetic energy is taken over by an elastic buffer. Taking into account the assumption that the kinetic impact energy of the ship is depreciated along elastic bumpers, deformed coastal structures and the soil in which it is located, it shows that there are significant changes in distribution of the horizontal displacements and internal forces in the structure.

**Key words:** on-shore structure, kinetic energy, equivalent force, deformation energy

## 1. UVOD

Za obalne konstrukcije za pristanak brodova dubokog gaza i velike tonaze, temeljene na pilotima velikih promjera, karakteristična su vertikalna i horizontalna opterećenja. Vertikalna opterećenja nastaju od vlastite težine same konstrukcije, od dizalica i vozila, koja se kreću po obalnom platou, te od korisnog tereta. Horizontalna opterećenja nastaju od udara broda,

prilikom njegovog pristajanja, zbog pritiska broda ili vlačne sile na polere pod udarom vjetra na usidreni brod, zbog horizontalnih ubrzanja mase tijekom djelovanja potresa i dr.

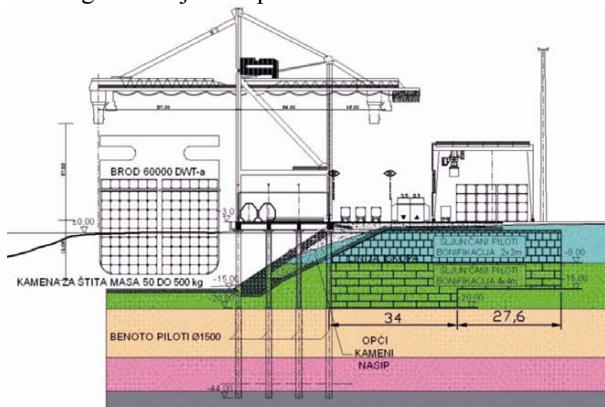
Teren ispod obalnih platoa je nagnut, a njime se savladava visinska razlika između razine terena u zaleđu iza obalne konstrukcije i razine dna mora neposredno ispred obalne konstrukcije. Ta se visinska razlika najčešće kreće od 12 do 20 m. Zbog nagnutog terena mijenja se i slobodna duljina pilota (od izlaska pilota iz tla do ulaska u naglavnu konstrukciju), što je potrebno uzeti u obzir kod proračuna prijenosa vanjskih horizontalnih djelovanja.

U poprečnom smjeru obalne konstrukcije su okviri s dvije, tri ili više vertikalnih pilota, koji najčešće sežu do iste dubine, ali s različitim slobodnim duljinama (slika 1.). Gornja konstrukcija koja vertikalne pilote povezuje u jedinstvenu cjelinu uvjetuje jednak horizontalni pomak pilota u promatranom poprečnom okviru. Iz tog razloga piloti manje slobodne duljine preuzimaju odgovarajući veći dio horizontalnog opterećenja u odnosu na pilote veće slobodne duljine, a istog poprečnog presjeka.

Kod prijenosa opterećenja u tlo dolazi do kontradiktornih zahtjeva u odnosu na spomenute dvije vrste opterećenja. Vertikalna opterećenja zahtijevaju da središnji piloti poprečnog okvira budu većeg promjera, jer se preko njih i prenose najveća opterećenja. Horizontalno opterećenje traži uskladljivanje odnosa promjera pilota i njegove slobodne duljine. Smanjenjem slobodne duljine pilota trebalo bi smanjivati i njihov promjer, kako bi svi piloti bili podjednako iskorišteni. Naime, kod horizontalnog pomaka od desetak centimetara u pilotima velike slobodne duljine aktivira se mali moment upetosti, dok kod pilota male slobodne duljine aktivirani moment savijanja može izazvati pucanje pilota. Naročito treba pripaziti na to da najveća horizontalna i vertikalna opterećenja ne djeluju istodobno.

U radu je analizirano ekvivalentno horizontalno opterećenje prilikom pristajanja broda, kada kinetička energija broda prilikom sraza s obalom mora biti poništena potencijalnom energijom deformiranih

odbojnika, obalne konstrukcije na vertikalnim pilotima, te samog tla u kojem se piloti nalaze.



Slika 1. Obalna konstrukcija na Luci Ploče

## 2. DJELOVANJE UDARA BRODA NA OBALNU KONSTRUKCIJU

Pri udaru broda na obalnu konstrukciju potrebno je izračunati kinetičku energiju njegova djelovanja. Izraz (1) pokazuje način određivanja vrijednosti kinetičke energije uslijed djelovanja broda na obalnu konstrukciju.

$$E_{kin} = \frac{mv^2}{2} \alpha_m \alpha_s \alpha_r \quad (1)$$

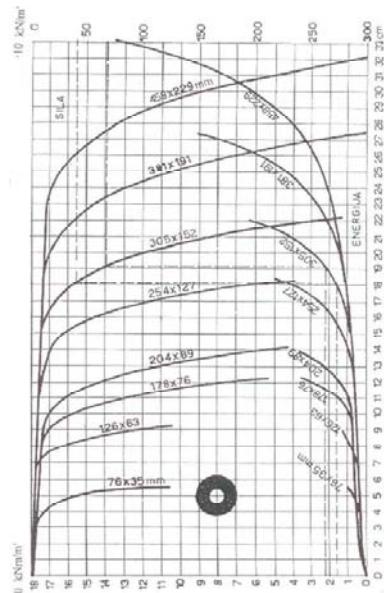
gdje su:

- $m$  - masa broda [kg],
- $v$  - brzina gibanja broda u trenutku udara na obalnu konstrukciju [m/s],
- $\alpha_m$  - koeficijent utjecaja turbulencije vode na kretanje broda,
- $\alpha_s$  - koeficijent utjecaja krutosti odbojnika,
- $\alpha_r$  - koeficijent udaljenosti težišta broda od točke kontakta s odbojnikom.

Za izračunatu vrijednost kinetičke energije broda određuje se ekvivalentna statička sila na koju će se dimenzionirati obalna konstrukcija. Spomenuta sila izračunava se na temelju karakteristika elastičnih odbojnika (dimenzije, materijali od kojih su izrađeni, vrijednosti dobivene ispitivanjima i dr.). Na slici 2. je primjer elastičnog šupljeg gumenog odbojnika.



Slika 2. Primjer primjene elastičnog šupljeg gumenog odbojnika



Slika 3. Dijagram energija-deformacija-ekvivalentna sila elastičnih odbojnika

Ulazni parametar je kinetička energija broda kojom brod djeluje na okvir. Jedan od mogućih načina rješavanja takvog problema je postavljanje elastičnog odbojnika na konstrukciju, koji će svojom deformiranim energijom amortizirati udar broda. Ukupnu kinetičku energiju broda u tom slučaju preuzima samo odbojnik, dok se konstrukcija tretira kao apsolutno kruta. Proizvođači odbojnika daju specifikacije odbojnika, tj. ekvivalentnu silu i deformaciju koji će dati energiju jednaku kinetičkoj. U spomenutoj analizi prepostavlja se apsolutna krutost ravninske konstrukcije u trenutku udara broda. Energetska ravnoteža postiže se izjednačavanjem kinetičke energije broda i deformirane energije elastičnog odbojnika.

## 3. ZNAČAJ ENERGIJE DEFORMIRANOG SUSTAVA

Kako bi se omogućilo racionalnije dimenzioniranje obalnih konstrukcija temeljenih na vertikalnim pilotima velikih promjera ( $\varnothing > 1.0 \text{ m}$ ), potrebno je uzeti u obzir i djelovanje deformirane energije nosivog sklopa. Važnost proračuna energije deformiranog statičkog sustava bit će prikazan na sljedećem primjeru.

Krucijalni parametar prilikom dimenzioniranja spomenutih konstrukcija jest jačina udara broda. U ovisnosti o veličini kinetičke energije broda i o odabranoj vrsti i dimenzijama elastičnog odbojnika, određuje se vrijednost ekvivalentne statičke sile koja je potrebna u daljnjoj statičkoj analizi ponašanja konstrukcije. Na slici 3. prikazan je odnos djelujuće kinetičke energije, deformacije te ekvivalentne sile za kružne elastične odbojnice različitih dimenzija.

Korištenjem dijagrama, kao na slici 3. ostvarena je energetska ravnoteža iz koje se dobiva vrijednost ekvivalentne statičke sile. Ako se u obzir uzme i deformacija same konstrukcije, može se postaviti nova jednadžba energetske ravnoteže. Osnovna ideja korištenja deformirane energije sastoji se u prepostavci

da ukupnu kinetičku energiju broda ne amortizira samo energija elastičnih odbojnika. U izraz za energetsku ravnotežu ulazi i deformirana energija obalne konstrukcije i tlo na kojem je ona temeljena. Deformirana energija obalne konstrukcije sastoji se od energije naglavne grede i pilota. Izraz za energetska ravnoteža može se pisati:

$$\begin{aligned} E_{kin} &= E_{pod} + E_{pkon} \\ &= E_{pod} + E_{png} + E_{pk} + E_{pp} + E_{pt} \end{aligned} \quad (2)$$

gdje su (sve u  $[kNm]$ ):

- $E_{kin}$  - kinetička energija broda
- $E_{pod}$  - def. energija odbojnika
- $E_{pkon}$  - def. energija konstrukcije
- $E_{png}$  - def. energija naglavne grede
- $E_{pk}$  - def. energ. pilota iznad razine terena
- $E_{pp}$  - def. energ. pilota ispod razine terena
- $E_{pt}$  - def. energija tla.

Vrijednost ekvivalentne staticke sile se u tom slučaju više ne traži za ukupnu kinetičku energiju, već za razliku kinetičke energije i dijela energije koja je ušla u obalnu konstrukciju i tlo. Na taj način ekvivalentna sila, ujedno i mjerodavna sila za dimenzioniranje konstrukcije, postaje manja, a energetska ravnoteža ostaje sačuvana.

Količina deformirane energije koja će ući u obalnu konstrukciju i tlo ovisi o sposobnosti deformacije statičkog sustava. Za manje krute konstrukcije količina energije će biti veća, no istodobno raste horizontalni pomak konstrukcije kao i mjerodavne rezne sile. Rješenje se vidi u pronalasku dimenzija pilota, koje će za zadano temeljno tlo dati zadovoljavajući pomak. Istodobno će preuzeti određeni, nezanemarivi dio kinetičke energije broda kako bi se smanjila ekvivalentna staticka sila.

### 3.1. Geotehnički uvjeti

Kada su poznate krutosti pilota, naglavne konstrukcije i tla, mogu se izračunati horizontalni pomak i unutarnje sile, te konačno odrediti vrijednosti pojedinih komponenti deformirane energije dijelova nosivog sustava i temeljnog tla.

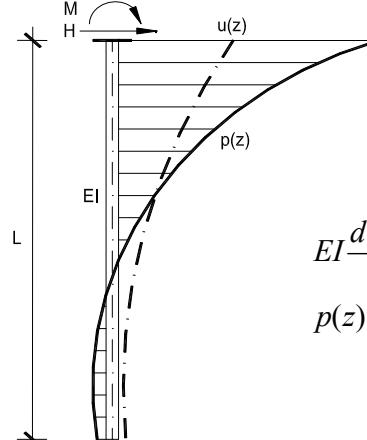
### 3.2. Deformirana energija pilota ispod razine terena te smog tla

Analizi horizontalno opterećenih obalnih konstrukcija temeljenih na pilotima pristupa se preko rješenja problema horizontalno opterećenih pilota u deformabilnom tlu. U ovisnosti o tlu (linearan, nelinearan model i dr.), o izboru parametara pojedinog modela te o načinu proračuna (analitički, numerički), dobiju se različita rješenja. U radu se dalje prikazuje deformirana energija pojedinih dijelova nosivog sklopa za Winklerov model tla.

Na slici 4. prikazan je vertikalni poprečno opterećeni pilot dužine  $L$  [ $m$ ], krutosti na savijanje  $EI$  [ $kNm^2$ ], opterećen horizontalnom silom  $H$  [ $kN$ ] i momentom  $M$  [ $kNm$ ]. Pilot je cijelom dužinom u tlu koja je iskazana koeficijentom reakcije tla u horizontalnom smjeru  $k$

$/kN/m^3$ . Diferencijalna jednadžba problema (izraz (4)) povezuje dvije nepoznate funkcije: horizontalni pomak  $u(z)$  [ $m$ ] i reaktivni pritisak  $p(z)$  [ $kN/m^2$ ]. Želi li se prikazani problem riješiti, treba pronaći dodatnu vezu između nepoznatih funkcija pomaka i reaktivnih pritiska. Dodatna veza između nepoznatih funkcija  $u(z)$  i  $p(z)$  (izraz (5)) predstavlja određeni model tla. U ovom slučaju veza je linerna preko koeficijenta reakcije tla  $k$  [ $kN/m^3$ ]. Rješenje sustava (4) i (5) za prikazane uvjete je sljedeća funkcija pomaka:

$$u(z) = -\frac{1}{2\lambda^3 EI} e^{-\lambda z} \left[ \left( M + \frac{H}{\lambda} \right) \cos \lambda z - M \sin \lambda z \right] \quad (3)$$



Slika 4. Poprečno opterećeni pilot

$$\text{Gdje je: } \lambda = \sqrt[4]{\frac{k \cdot d}{4 \cdot EI}} \left[ \frac{1}{m} \right] \quad (7)$$

Funkcija momenata savijanja:

$$M(z) = e^{-\lambda z} \left[ M_0 \cos \lambda z - \left( 2M_0 + \frac{T_0}{\lambda} \right) \sin \lambda z \right] \quad (8)$$

Ukupna deformirana energija pilota ispod razine terena može se dobiti iz izraza:

$$E_{pp} = \int_0^\infty \frac{M^2(z)}{2EI} dz \quad (9)$$

Nakon integracije energija pilota je jednaka:

$$E_{pp} = \frac{H^2 + 4MH\lambda + 6M^2\lambda^2}{16EI\lambda^3} \quad (10)$$

Deformirana energija dobiva se reaktivnim pritiskom na horizontalnim pomacima pilota polubeskonačne duljine.

$$E_{pp} = \int_0^\infty \frac{p(z)u(z)}{2} dz \quad (11)$$

Nakon integracije energija deformiranog tla iznosi:

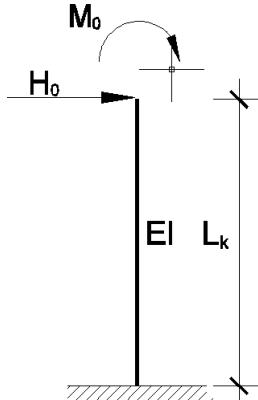
$$E_{pt} = \frac{3H^2 + 4MH\lambda + 2M^2\lambda^2}{16EI\lambda^3} \quad (12)$$

Tako je ukupna energija pilota u tlu i samog tla:

$$E_p = E_{pp} + E_{pt} = \frac{4H^2 + 8MH\lambda + 8M^2\lambda^2}{16EI\lambda^3} \quad (13)$$

### 3.3. Deformirana energija pilota iznad razine terena

Deformirana energija pilota iznad tla računa se za pilot opterećen horizontalnom silom  $H_0$  [kN] i momentom  $M_0$  [kNm] s krutošću savijanja  $EI$  [kNm<sup>2</sup>] (slika 5.).



Slika 5. Poprečno opterećeni pilot iznad razine terena

Funkcija momenta savijanja je

$$M(z) = M_0 - H_0 z \quad (14)$$

Deformirana energija dijela pilota iznad razine terena dobiva se prema izrazu:

$$E_{pk} = \int_0^{L_k} \frac{M^2(z)}{2EI} dz \quad (15)$$

Konačna deformirana energija konzolnog dijela pilota:

$$E_{pk} = \frac{1}{2EI} \left( \frac{1}{3} H_0^2 L_k^3 - H_0 M_0 L_k^2 + M_0^2 L_k \right) \quad (16)$$

## 4. NOVA ENERGETSKA RAVNOTEŽA

Iraz za ukupnu deformiranu energiju pilota u Winklerovom poluprostoru za polubeskonačni pilot (izrazi (13) i (16)):

$$E_{kin} = E_{pu} = E_p + E_{pk} \quad (17)$$

U izraz je (17) potrebno uvrstiti i deformiranu energiju naglavne konstrukcije u slučaju da se određuje njena deformacija, a ne samo translatori pomak absolutno krutog tijela. Princip proračuna je isti kao i kod pilota. Nakon određivanja raspodjele momenata savijanja duž naglavne konstrukcije, provodi se odgovarajuće integriranje sve dok se ne dobije konačni izraz za deformiranu energiju.

Deformirana energija sustava može se općenito iskazati i kao rad sile na pomaku, pa se piše  $E = H \times \delta/2$  [kNm]. U izrazu  $\delta = H \times K$  [m] je  $K$  [kNm] krutost sustava na djelovanje horizontalne sile. Izraz za energiju postaje  $E = P^2/2K$  [kNm]. To je kvadratna funkcija od  $H$  s konstantnom krutosti  $K$ . Vidi se da raspon vrijednosti deformiranih energija raste s kvadratom vrijednosti vanjske sile. Za absolutnu krutu podlogu veličina energije je najmanja, dok je količina energije za istu silu najveća kod najmanjeg modula tla. Analize različitih slučajeva obalnih konstrukcija pokazuju široki spektar

vrijednosti aktiviranja deformirane energije konstruktivnog sustava unutar deformabilnog tla. S obzirom na uobičajene dopuštene horizontalne pomake obalnih konstrukcija, vrijednosti deformiranih energija u ukupnoj ravnoteži daju ekvivalentne sile i do 25% manjih vrijednosti od slučaja kada cijelokupnu kinetičku energiju preuzima sam elastični odbojnik.

## 5. ZAKLJUČAK

Za uobičajene dimenzije pilota i elastičnih odbojnika ekvivalentna statička sila dobivena je iz jednakosti kinetičke energije broda i deformirane energije elastičnog odbojnika. Ona je zajedno s cijelim nosivim sklopom i tлом manja otprilike 25% u odnosu na cijelokupnu kinetičku energiju broda koju preuzima samo elastični odbojnik. Količina ukupne deformirane energije koja ulazi u pilot i tlo ne ovisi toliko o proračunskom modelu tla, ako je kriterij za odabir parametara pojedinog modela tla jednaki horizontalni pomak vrha pilota, odnosno krute naglavne konstrukcije. Raspodjela deformirane energije u pilot ispod razine terena i u tlo značajno ovisi o proračunskom modelu tla, tj. o odnosu krutosti pilota i tla, a time i o raspodjeli momenata savijanja po pilotu.

Uzimanjem u obzir deformabilnost podloge, tj. tlo u kojem je temeljena obalna konstrukcija, može se dobiti korektna raspodjela horizontalnih sila i pomaka na vrhu pilota. To odmah utječe i na veličinu deformirane energije svakog pilota i cijele konstrukcije. Razlike između različitih krutosti podloge mogu biti velike, pa to dovodi do nerealnih analiza i otkazivanja nosivosti pilota uslijed nepoznavanja stvarne raspodjele sila i pomaka u pilotima. Svako projektno rješenje, odnosno određivanje ekvivalentne sile, mora biti unutar dopuštenih granica za vrijednosti horizontalnih pomaka promatrane obalne konstrukcije.

## 6. Literatura

- Winkler, E. (1867.), *Die Lehre von Elasticität und Festigkeit*, Dominicus, Prague, pp. 182.
- Committee for Waterfront Structures 1986. *Recommendations of the Committee for Waterfront Structures EAU*. Ernst&Sohn.
- Hetyenyi, M. 1946. *Beams on elastic foundations*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Mindlin, R.D. 1936. Force at a point in the interior of a semi-infinite solid. *J. Appl. Physics* 7, No5:195-202.
- Poulos, H.G. & E.H. Davis 1980. *Pile foundation analysis and design*. New York: Wiley.
- Tomlinson, M.J. 1991. *Pile design and construction practice*. E. and F.N.SponTehnički propis za betonske konstrukcije, NN 139/09 i NN 14/10

### Kontakt:

Manuela KANIŠKI, dipl.ing.geot.

Varaždin

Dr.sc. Krešo Ivandić, dipl.ing.građ.

Geotehnički fakultet u Varaždinu, Sveučilište u Zagrebu  
Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin

# OSIGURANJE I PRIVREMENA KONZERVACIJA URUŠENE CRKVE SV. JURJA NA BREGU

Pavlic V.<sup>1</sup>, Špišić A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut IGH d.d., Zagreb, Hrvatska

**Sažetak:** Župna crkva svetog Jurja na Bregu smještena je u sjeverozapadnom dijelu Međimurske županije, a sa svojim okolnim cinktorom pripada najvrjednijim spomenicima kulture i barokne graditeljske baštine. Nakon urušavanja tornja sa zvonikom i dijela nosive konstrukcije, izvedeno je raščišćavanje i učvršćenje preostalih dijelova. U članku je prikazan niz tehničkih rješenja i detalja kojima su se osigurali i privremeno zaštitili ostali dijelovi nosive konstrukcije. Horizontalno su pridržani obodni zidovi svetišta, poduprt je trijumfalni luk, svi svodovi u crkvenoj ladi i svod pjevališta. Na mjestu srušenog krova iznad svetišta sagrađen je novi, uz zaštitu dijela krova iznad crkvenog broda i zabatnog završetka zida svetišta. Na taj način je zaštićen dio nosive konstrukcije od utjecaja atmosferilija do početka i za vrijeme rekonstrukcije crkve.

**Ključne riječi:** Cinktor, crkveni brod, dvostruka visulja, križno oblučilo, nosiva konstrukcija, osiguranje i privremena zaštita, pjevalište, privremeno podupiranje, prostorna cijevna skela, rekonstrukcija, sidreni priključak, svetište, svodovi, toranj sa zvonikom, trijumfalni luk, ukrižane grede, urušavanje, Župna crkva svetog Jurja na Bregu

**Abstract:** The parish church Sveti Juraj na Bregu is located in the northwest part of the Međimurje county. The church and its adjoining enclosure are considered to be one of the most valuable cultural monuments of baroque architectural inheritance. After the collapse of the bell-tower and parts of load-bearing structure, cleaning and securing works of its remaining parts were undertaken. In this article, a range of technical solutions is presented together with details which secured and temporarily protected the load bearing structure. The outer walls of the sanctuary are horizontally fixed; the triumphal arch, the remaining vaults of the church nave and choir gallery are supported. Instead of the collapsed roof there is a new one and the remaining part of the old roof above the church nave and the gable wall end is secured. In this way the remaining part of bearing construction is protected against atmospheric agents before the start and during the reconstruction of the church.

**Key words:** Enclosure, church nave, double hanging truss, cross timber rib, load-bearing structure, security and temporary protection, choir-gallery, temporary stiffening, tree-dimensional pipe scaffold, reconstruction, anchor connection, sanctuary, vaults, bell-tower,

*triumphal arch, cross beams, collapse, parish church Sveti Juraj na Bregu*

## 1. UVOD

Veliku pozornost izazvala je vijest da se srušio dio crkve i toranj sa zvonikom na župnoj crkvi u Svetom Jurju na Bregu. Dana 4. lipnja 2008. godine taj je događaj zapanjio sve mještane i one iz okolnih mjesta. Uvjerivši se u istinitost vijesti, ljudi su s tugom promatrali ruševinu dotadašnje arhitektonske ljepotice. Riječ je o jednoj od najljepših crkava u Međimurju kojom su se ponosili njeni stanovnici.

Urušavanjem tornja sa zvonikom (visine 41 m) došlo je i do rušenja krovne konstrukcije iznad svetišta, do rušenja svoda u svetištu i u polju uz trijumfalni luk. Srušio se i zid iznad trijumfalog luka, a ostala oštećenja nosive konstrukcije nastala su na obodnim zidovima i preostalim svodovima iznad pjevališta gdje se vide brojne pukotine. Toranj te crkve stare 260 godina (1747.-2008.), na nadmorskoj visini od 292 metra, mogli su vidjeti mještani međimurskog kraja i oni izvan Međimurja, jer je smještena u blizini najviše međimurske visinske kote Mohokosa (344 metara).



Slika 1. Izgled župne crkve sveti Juraj na Bregu prije urušavanja

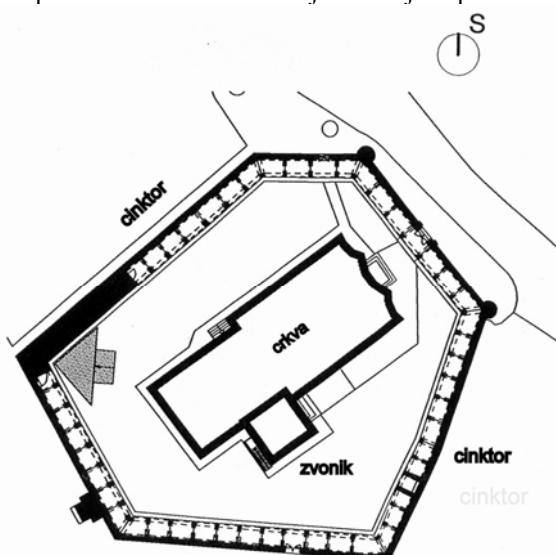


Slika 2. Prizor urušenja 4. lipnja 2008. godine

## 2. GLAVNI DIO

### 2.1. Povijest i arhitektura crkve

Župna crkva svetog Jurja na Bregu smještena je u sjeverozapadnom dijelu Međimurske županije, u istoimenoj općini, nedaleko od Čakovca. Crkva je građena, prema dostupnim povijesnim podacima, u 18. stoljeću. Na istoj lokaciji postojala je najprije stara kapela sv. Jurja, a «dvadesetak koraka» južnije od nje sagrađena je nova, velika kapela sv. Marije Lauretanske. Izgradnja nove kapele dogodila se zbog potpuno dotrajale stare kapele sv. Jurja. Kako se nova kapela spominje u vizitacijama iz 1747. i 1756. godine, može se pretpostaviti da je sagrađena sredinom 18. stoljeća. U opisu iz 1768. godine spominje se masivni i visoki zvonik kapele ispod kojega se nalazi sakristija s jugozapadne strane te cinktor koji okružuje kapelu.



Slika 3. Tlocrt crkve sa zvonikom i cinktorom

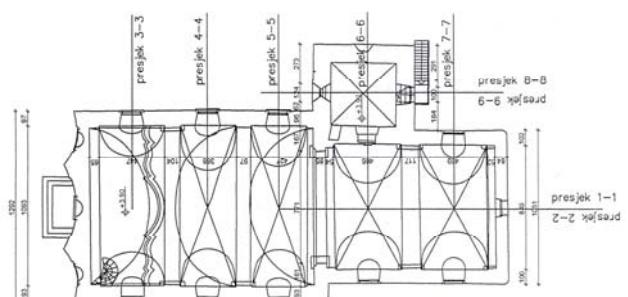


Slika 4. Pročelje crkve i dio cinktora s kamenim portalom

Crkva kao arhitektonska cjelina je jednobrodna građevina, gdje je široka lađa odijeljena od svetišta polukružno nadvijenim triumfalnim lukom. Tlocrt crkve pravokutne je osnove s bočnim zvonikom visokim 41 metar (27 m zidani dio i 14 m drveni dio - lukovica). Okolo crkve je rijedak primjer potpuno očuvanog cinktora s arkadama, s vitkim cilindričnim kulama, sa stožastim kupolama te reprezentativnim ulaznim kamenim portalom. Cinktor opsegao oko 150 m prati reljef okolnog terena i u potpunosti zatvara okolno dvorište (slika 3.). Na uličnom pročelju crkve ističu se niše s kipovima (slika 4.). Unutrašnjost krake freske, brojne zidne slike i barokni oltari (slika 5.). Župna crkva sv. Jurja s okolnim cinktorom i stari župni dvor upisani su u Registrar kulturnih dobara RH - Listu zaštićenih kulturnih dobara i najvrjedniji su spomenici kulture i biseri barokne graditeljske baštine u Općini sveti Juraj na Bregu i šire. Dimenzije tlocrta crkve su: duljina svetišta i dvorane s pjevalištem 30,5 m, prosječna širina 13 m, a ukupna je površina tlocrta 400 četvornih metara (slika 6.). Posebna je vrijednost ulaznog kamenog portala ugrađenog u cinktor s ulične strane u koji je ukomponirano nekoliko figura i kipova s dominantnim kipom Majke Božje s djetetom (slika 4.).

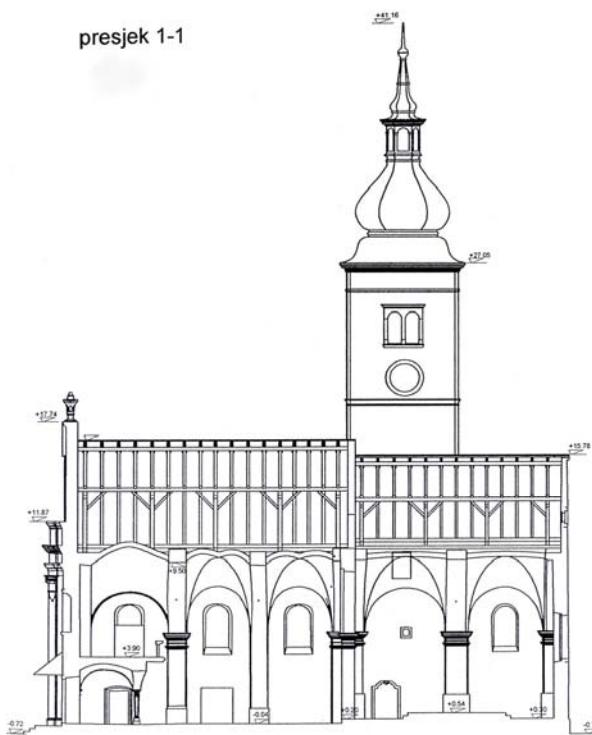


Slika 5. Unutrašnjost crkve s pogledom na svetište prije urušavanja



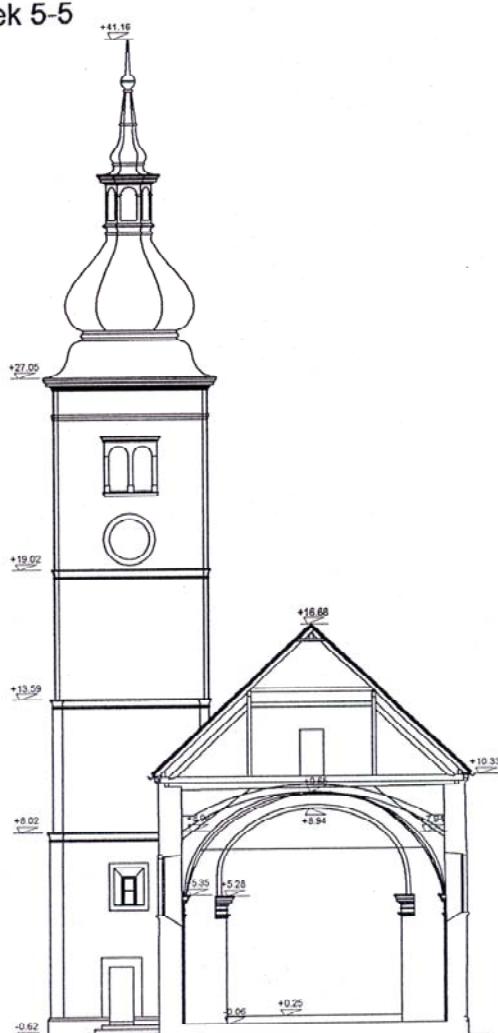
Slika 6/1. Tlocrt crkve

presjek 1-1



Slika 6/2. Poprečni presjek crkve

presjek 5-5



Slika 6/3. Uzdužni presjek crkve

## 2.2. Urušavanje župne crkvesveti Juraj na Bregu

Iako se nagadaju pravi razlozi urušavanja, činjenica je da je u tijeku bila zaštita temelja crkve i zvonika od vlage i površinskih voda. Temelji crkve teško su bili načeti vlagom i na mnogim mjestima fasade probijala je sol, otpadala je žbuka i ljuštila se boja. Kako se crkva nenadano urušila, radovi nisu završeni. Te negativne pojave se vide i danas duž cijelog opsega temelja, a naročito su izražene na sjevernoj i zapadnoj strani građevine gdje je žbuka otpala do visine sokla. Cinktor također znatno trpi vlagu. S vanjske strane obzidan je punim zidom koji je u dosta dobrom stanju. S unutrašnje strane njegovu stabilnost ugrožavaju dotrajali noseći kameni stupovi. Od ukupno 54 noseća stupa 30 ih je zbog dotrajalosti i opasnosti od rušenja obetonirano ili obzidano ciglom, 18 stupova je potrebno hitno zamijeniti, a šest ih se čišćenjem i demoduliranjem može restaurirati.

Dokumentaciju za izvođenje sustava zaštite temelja župne crkve sv. Jurja izradio je Božidar Magdalenić, dipl. ing. grad. iz Zagreba. Konzervatorski odjel u Varaždinu 26. lipnja 2007. godine izdao je Župnom uredu sveti Juraj na Bregu prethodno odobrenje za izvođenje radova. Radovi su počeli potkraj 2007., a nastavili su se u svibnju 2008. godine. Crkva sa zvonikom bila je tijekom radova opasana rovom potrebnim za izvedbu drenažne odvodnje oborinskih voda i sanacije temelja (slika 7.). Nakon rušenja, geomehaničkim istražnim radovima utvrđeno je da je tlo relativno dobre kvalitete, većinom nekoherentno (dominiraju pijesci, djelomično prašinasti i zaglinjeni) te je osjetljivo na promjenu vlažnosti. Kvalitetu tla na lokaciji potvrđuje i stabilnost iskopa uz zidove crkve koji su u gotovo punoj duljini bili znatno dulje otvoreni od zidova zvonika. Od tri zida zvonika (četvrti je zajednički sa svetištem) jedan nije diran, dok su preostala dva bila iskopana dan ranije. Prema preliminarnim analizama statičkog proračuna, naprezanja na kontaktu temelj - tlo ispod zvonika najizraženija su ispod temelja paralelnog sa zidom svetišta, gdje lokalna rubna naprezanja dosežu i do  $600 \text{ kN/m}^2$  (dopuštena su od 380 do  $470 \text{ kN/m}^2$  za minimalne faktore sigurnosti). Kao razlog povećanja lokalnih naprezanja procjenjuje se oslobođanje bočnog pritiska i spuštanje tla izvedenim iskopom. Nepridržanom horizontalnom silom došlo je do pucanja zatege trijumfальнog luka, čime je izazvan progresivan slom temeljnog tla i rušenje konstrukcije zvonika. Kada se tome pridoda etapna izgradnja i diferencijalna slijeganja zvonika u prošlosti crkve, jasno je da je zvonik prije iskopavanja bio u geostatički nepovoljnim uvjetima. O tome što je utjecalo na rušenje crkvenog tornja reći će radna grupa koju je imenovalo Ministarstvo kulture, kao i sudski vještak suda u Čakovcu.



Slika 7. Radovi koji su prethodili urušavanju

Do trenutka urušavanja tornja sa zvonikom koji je izazvao nestabilnost ostalih nosivih dijelova crkve, nije bilo nikakvih naznaka da će doći do ovakve iznenadne nesreće u kojoj je počinjena samo materijalna, a možemo reći i kulturološka šteta.



Slika 8. Urušena crkva bez tornja i dijela krovišta

Urušavanjem tornja sa zvonikom koji se nalazi bočno uz prostor svetišta glavne lađe, došlo je i do rušenja krova iznad svetišta, do rušenja svoda u svetištu i polju uz trijumfalni luk, kao i rušenje zida iznad trijumfalog luka. Spomenuti dijelovi nosive konstrukcije izgubili su oslonac samim urušavanjem tornja koji je imao zajednički nosivi zid sa svetištem. Dio tog zajedničkog zida se urušio, a samim prevrtanjem tornja izazvao je pomake zida. Tako su svodovi i lukovi izgubili uporište i urušili se zajedno s konstrukcijom krovišta (dvostruka visulja).

Trijumfalni luk pretrpio je oštećenja u obliku uzdužnih i poprečnih pukotina: jedna zatega se na istočnoj strani deaktivirala, a druga je puknula (na zapadnoj koja je bila jednim krajem sidrena u vanjski zid zvonika). Vidljivo je da je došlo do znatnih pomaka i deformacija, čime je trajno narušeno prvobitno stanje.



Slika 9. Urušena crkva u unutrašnjosti broda s pogledom na trijumfalni luk i svetište



Slika 10. Unutrašnjost crkve bez svoda svetišta i krovišta, dok zabatni zid stoji slobodno

Zbog gubitka stabilnosti nastala su mnoga oštećenja nosive konstrukcije, a vide se na obodnim zidovima i preostalim svodovima iznad pjevališta. Tu su nastale brojne pukotine. Samim urušavanjem tornja događalo i prevrtanje u južnom smjeru, čime je oštećen cinktor. Na tom mjestu kasnije je napravljen transportni put (slika 12).

### **2.3. Osiguranje i privremena konzervacija preostalih dijelova nosive konstrukcije – tehnički opis s uvjetima izvođenja radova**

Nakon urušavanja dijelova nosive konstrukcije i zvonika crkve sv. Jurja na Bregu, obavljeno je čišćenje i učvršćenje njenih preostalih dijelova kako bi se sprječilo daljnje propadanje. U suradnji s Varaždinskom biskupijom, sa župnikom, s Općinom sv. Juraj na Bregu, predstavnikom Radne grupe za procjenu stanja i s predstavnikom Instituta IGH d.d., donijet je plan raščišćavanja i stabilizacije preostalog dijela crkve i to u tri faze:

**I. faza** – odstranjanje urušenog materijala iz crkve i oko crkve, uz nužno osiguranje preostalih dijelova crkve radi sigurnog odvijanja radova. Izvođački radovi dodijeljeni su tvrtki „Čakovecstan“ d.o.o. iz Čakovca.

**II. faza** – horizontalno i vertikalno podupiranje svih nosivih zidova i svodova radi trajnog osiguranja prostorne stabilnosti do početka obnove i rekonstrukcije crkve. U ovoj fazi svi preostali dijelovi moraju se zaštititi od djelovanja atmosferilija.

**III. faza** – izrada tehničke dokumentacije obnove i rekonstrukcije crkve, nakon čega se pristupa rekonstrukciji crkve i njenog vraćanja u prvobitno stanje.

### 2.3.1. Prva faza

Prva faza je izvedena. Odstranjen je urušen materijal iz crkve kao i materijal izvan crkve (oko 1000 m<sup>3</sup>). Arhitektonska plastika - kipovi, raspela, profilacije pilastara, pojasci lukovi, trijumfalni luk i stupovi pjevališta s orguljama - pohranjena je na sigurno, a postojeće zidne slike su prema zahtjevu Zavoda za zaštitu spomenika kulture na licu mjesta osigurane od propadanja.

Prije samog čišćenja trebalo je porušiti nevezane i nestabilne dijelove oštećene konstrukcije na sigurnoj visini za odvijanje radova. (slika 11.). Za što jednostavnije odstranjivanje i odvoz materijala, napravljen je probor na dijelu cinktora koji je uslijed pada tornja i zvonika bio oštećen. Kroz taj probor ulazio je mali bager i demper koji je iznosio urušeni materijal na privremeni deponij. (slika 12.). Radovi su se oprezno odvijali, bez izazivanja vibracija jer bi one bile kobne za preostale zidove crkve i postojeće stupove cinktora. Ovaj privremeni otvor koristit će se i kod rekonstrukcije i obnove crkve.



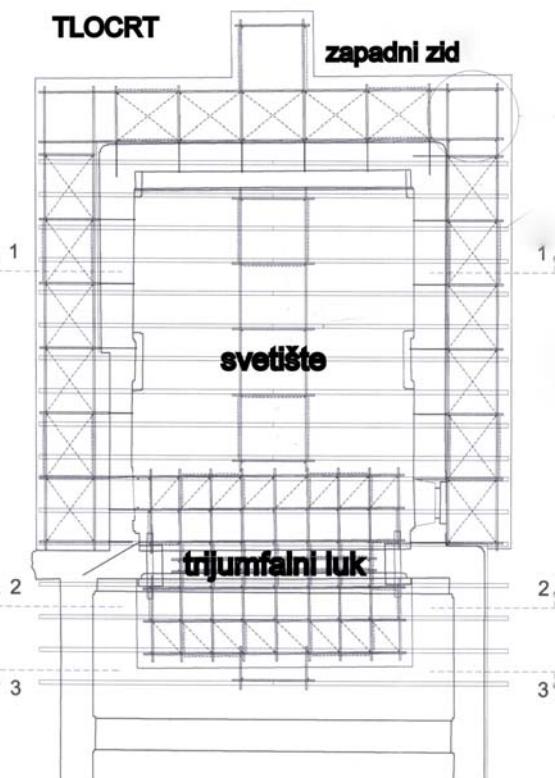
Slika 11. Rušenje oštećenih nevezanih dijelova iz sigurnosnih razloga



Slika 12. Mali bager i demper na odvozu urušenog materijala (oko 1000 m<sup>3</sup>) na privremeni deponij

### 2.3.2. Druga faza

Za drugu fazu tehničku dokumentaciju izradila je tvrtka LOKOŠEK PROJEKT d.o.o. iz Zagreba, a nadzor nad izvođenjem radova obavljao je «Institut IGH» d.d., također iz Zagreba.



Slika 13/1. Prostorno pridržanje zidova svetišta i podupiranje trijumfalog luka

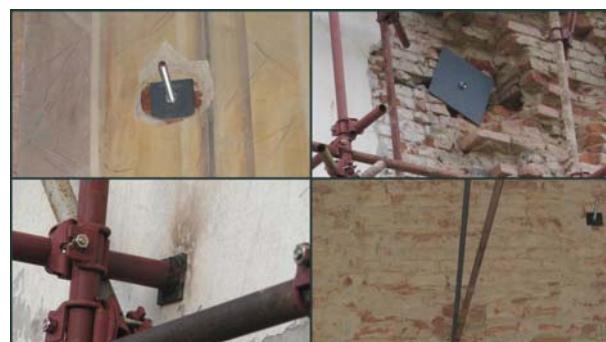


Slika 13/2. Prostorno pridržanje zidova svetišta i podupiranje trijumfalog luka

U ovoj fazi prvo je učvršćen zapadni zabatni zid i trijumfalni luk koji se prognuo 3 cm te je imao velike uzdužne i poprečne pukotine. Nakon toga pridržani su sjeverni i južni uzdužni zidovi. Stabilnost vanjskih nosivih zidova postignuta je izvedbom pridržanja prostornog modela horizontalnih rešetkastih nosača pomoću štapova cijevne skele  $\Phi 48,3$  mm, debljine stijenke 3 mm i 8 mm s tipskim detaljima koji su dio tehničke dokumentacije. Horizontalne rešetke su na

razmaku od 2,2 m po visini, a stupovi skele su na razmaku od 1,9 m. Na krajnjim čvorovima prostorne rešetke se preko štapnih sidara  $\varnothing$  14 mm,  $l = 100$  cm, sidre u uzdužne zidove. Rupe u zidu su  $\varnothing$  30 mm, a nakon postave i osiguranja središnjeg položaja u rupi, sve se injektiralo injekcijskom smjesom Masterflow 928. Na licu zida postavljene su kvadratne podložne pločice 80×80 mm, debljine  $t = 8$  mm, koje se pritezanjem matice priljubljuju uz zid (slika 14.). Priključak štapa rešetke na štapno sidro izveden je varenjem za podložnu pločicu varom prve klase  $a = 2.0$  mm po cijelom obodu cijevi.

Osim toga, zidovi se priključuju na rešetke na mjestima vertikalnih štapova preko sidrenih profila  $\varnothing$  14 mm, ali sada uz obostranu postavu podložnih pločica 80×80 mm debljine,  $t = 8$  mm, koje se pritezanjem matice priljubljuju uz zid. Rupa u zidu u ovom slučaju je  $\varnothing$  16 mm. Varenje cijevi izvedeno je istim varom, ali ne po cijelom obodu već na četiri nasuprotna mjesta dužine vara po 25 mm. Za nosive rešetkaste nosače, prostorno stabilizirane vertikalnim i dijagonalnim štapovima, izведенim na vanjskim stranama obodnih zidova, oslanjanje na tlu ostvareno je izvedbom 15 cm debele armirano-betonske ploče.

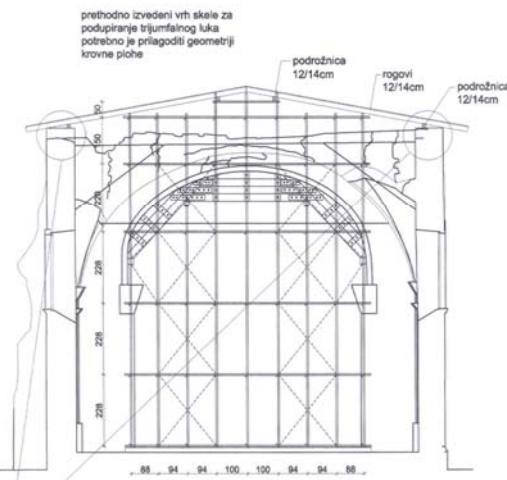


Slika 14. Izvedbeni detalji: pridržanje prostorne skele u čvorovima (lijevo); sidrenje nove zatege trijumfalnog luka (desno)

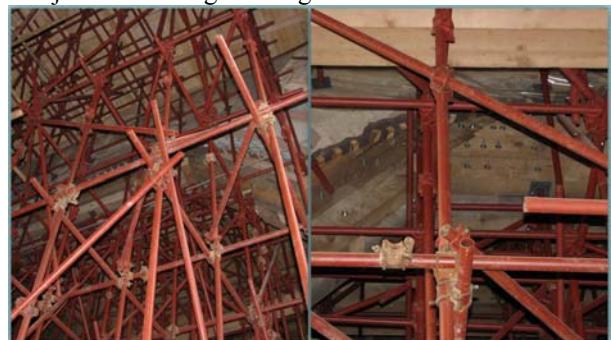
Podupiranje trijumfalnog luka izvedeno je drvenim oblučilom kojeg podupire prostorna cijevna skela dimenzionirana na prijenos njegove sveukupne težine (slika 15.). Svi dijelovi skele su od cijevi  $\varnothing$  48,3 mm, debljine stijenke od 3 mm. Radi zaštite postojećeg poda crkve, iznad zaštitne PVC folije napravljena je armirano-betonska ploča debljine 15 cm. Osim toga aktivirale su se postojeće zatege obje strane trijumfalnog luka kako bi se smanjilo horizontalno opterećenje na uzdužne zidove.

Tako je na istočnoj strani sanirana i aktivirana postojeća zatega, a na zapadnoj strani izvedena je nova zatega  $\varnothing$  20 mm na način da se sidrenje izvelo preko sidrenih čeličnih ploča na sjevernom i južnom zidu (dim. 300×300 mm, debljine  $t = 20$  mm) i pritezanjem matice s vanjske strane zida (slika 14.).

## PRESJEK 2-2



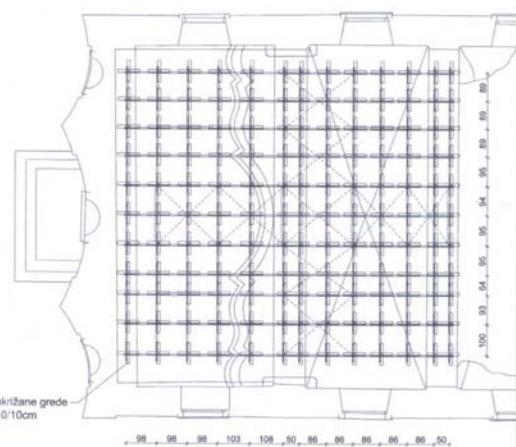
Slika 15/1. Projekt podupiranja trijumfalnog luka s detaljima izvedenog drvenog oblučila



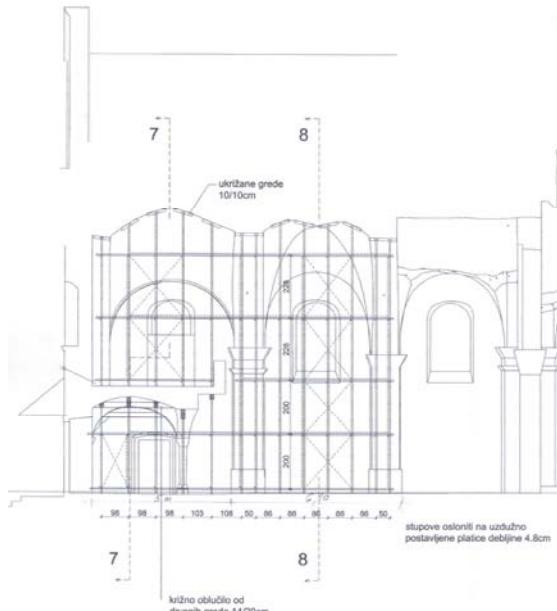
Slika 15/2. Projekt podupiranja trijumfalnog luka s detaljima izvedenog drvenog oblučila

Zbog oštećenja i pukotina na zidovima oko pjevališta i svodu iznad njega, napravljeno je njihovo podupiranje. Ono je obavljeno cijevnom skelom, najprije za svodove ispod pjevališta. U svakom polju bilo je predviđeno podupiranje na devet mesta. Jednim stupom poduprlo se križno oblučilo (slika 17.) koje slijedi krivulju svoda i postavljeno je u dva međusobno okomita smjera, tako da se formirao križ u tlocrtnoj projekciji.

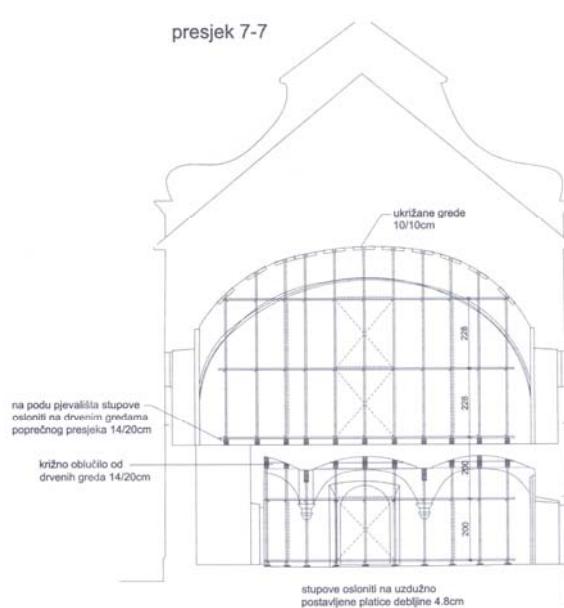
Dimenzije poprečnog presjeka greda su 14/20 cm. Preostali svodovi crkvenog broda, kao i pojascnice, poduprte su preko dvije ukrižane grede 10/10 cm, duljine oko 70 cm (slika 18.). Položaj vertikalnih oslonaca na pjevalištu odgovara osloncima ispod pjevališta. Svi vertikalni štapovi prostorno su ukrućeni dijagonalnim štapovima. Oslanjanje stupova na podu crkve i pjevališta obavilo se drvenim platicama. Osiguranje punog prijanjanja oblučila i svodnih ploha izvedeno je tipskim stopama s navojem za prednapinjanje. Na kontaktu križnih oblučila i ukrižanih greda s oslikanim svodovima i lukovima postavljen je netkani geotekstil da bi se izbjegla lokalna oštećenja (slika 17. i 18.).



Slika 16/1. Projekt podupiranja preostalih svodova crkvenog broda uključujući pjevalište



Slika 16/2. Projekt podupiranja preostalih svodova crkvenog broda uključujući pjevalište



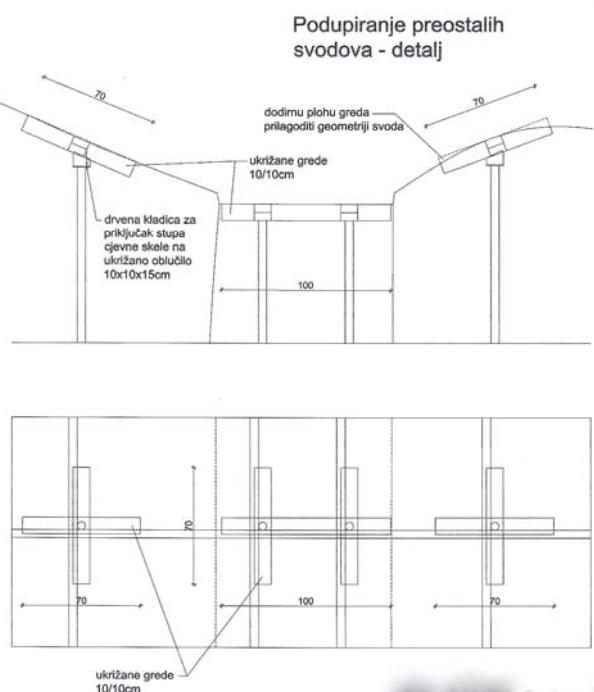
Slika 16/3. Projekt podupiranja preostalih svodova crkvenog broda uključujući pjevalište (dio crkve koji je dobio samo uzdužne i poprečne pukotine)



Slika 17. Kržno oblučilo za podupiranje pjevališta



Slika 18/1. Detalji podupiranja preostalih svodova i pojasnica s ukrižanim gredama



Slika 18/2. Detalji podupiranja preostalih svodova i pojasnica s ukrižanim gredama

Zaštita od atmosferilija izvela se pokrivanjem dijela crkve koji nije imao krov. Nove krovne plohe oslanjaju se na konstrukciju cijevnih skela na vanjskim stranama uzdužnih zidova. Na sredini tlocrta svetišta i dijela crkvenog broda izvela se dodatna cijevna skela širine 2 metra. Na izvedenim skelama postavile su se uzdužne drvene grede 12/14 cm oslonjene i obujmicama povezane za horizontalne cijevi skele. Na tako postavljenе i pričvršćene "podrožnice" postavili su se drveni rogovi poprečnog presjeka 12/14 cm, na razmaku od jednog metra, koji se vijcima za drvo bez matice međusobno povezuju (slika 19.). Preko tako postavljenih rogova polagale se drvene daske debljine 2.4 cm preko kojih je napravljen sloj hidroizolacije. Nagib ovih krovnih ploha je  $10^\circ$  i dovoljan je za odvodnju oborinskih voda. Dio krovnih ploha oslanja se na vanjske uzdužne zidove crkvenog broda, umjesto na cijevnoj skeli. Zbog toga je trebalo vrhove sjevernog i južnog zida dozidati, uklanjanjem oštećenih i nevezanih dijelova do konačne visine i na tako pripremljenu podlogu postaviti podrožnicu 12/14 cm. Ona će se na mjestima priključka rogova sidriti u zid štapnim sidrima  $\varnothing 14$  mm, dubinom sidrenja  $l = 60$  cm. Rupe u zidu su promjera  $\varnothing 30$  mm, a nakon postave sidra sve se injektira injekcijskom smjesom Masterflow 928. Preostali dio krovne konstrukcije iznad crkvenog broda završava prema trijumfalnom luku dvostrukom visuljom koja nije bila oštećena prilikom rušenja krova. Preko vezne grede, horizontalne razupore, kosnika i rogov na visulji, čavlima su postavljene drvene vertikale poprečnog presjeka 8/10 cm povezane za štapove visulje i za robove. Međusobni razmak tih vertikala je 1.15 cm. Na tako pripremljenu podlogu horizontalno su se postavljale drvene daske debljine 2.4 cm, preko kojih je napravljen sloj hidroizolacije.



Slika 19. Cijevna skela s privremenim dvostranim krovištem (na mjestu srušenog krova i svodova)

Zaštita istočnog lica zapadnog trokutastog zabata svetišta izvela se postavom drvene konstrukcije, kosim i horizontalnim štapovima poprečnog presjeka 8/10 cm, vijcima M 10 pričvršćenim za zid na razmaku od 50 cm. Preko tako pripremljene podlage, vertikalno se napravila daščana oplata kao podloga hidroizolacije. Na samom vrhu zida, po njegovim kosim ploham zaštita se izvela postavljanjem čeličnih kuka učvršćenih na upuštene drvene kladice te postavljanjem pocinčanog lima preko svega, uz odgovarajuće okapnice na oba kraja.

Horizontalni žlebovi postavljeni su na postojećim krovnim ploham iznad dijela crkvenog broda i na novim krovnim ploham. Priključak na vertikalni oluk izvest će se na mjestu spoja starih i novih krovnih ploha. Ispust vode iz oluka bit će u betonski rigol dug 3 metra od uzdužnih zidova crkve kako bi se oborinska voda odvela što dalje od crkvenog temelja.

Druga faza je izvedena tako da je unutarnji dio građevine potpuno zaštićen od atmosferilija, a tako i od daljnog propadanja. U ovakvom konzerviranom stanju građevina može čekati rekonstrukciju i obnovu.

### 2.3.3. Treća faza

Nakon uvida u oštećenja prilikom osiguranja i privremene zaštite preostalih dijelova nosive konstrukcije, rađena je projektna dokumentacija. Idejni i glavni projekt su gotovi te su, po predanim zahtjevima, dobivene potrebne dozvole. Tako se može pristupiti rekonstrukciji crkve i njenom vraćanju u prvobitno stanje.

## 3. ZAKLJUČAK:

Nakon urušavanja dijela nosive konstrukcije i tornja sa zvonikom župne crkve svetog Jurja na Bregu, izvedeno je raščišćavanje i učvršćenje njenih preostalih dijelova. U članku je prikazan niz tehničkih rješenja i detalja kojima su se osigurali i privremeno zaštitili dijelovi nosive konstrukcije. Budući da se odmah nije moglo pristupiti rekonstrukciji, a vlagu se počela uvlačiti u sve pore crkve i njenu arhitektonsku plastiku, trebalo je hitno krenuti sa zaštitom od utjecaja atmosferilija.

Rekonstrukcija crkve podrazumijeva ponovnu izgradnju srušenih dijelova na način i s materijalima koji u

potpunosti odgovaraju izvorniku. Stoga je tijekom raščišćavanja uskladišten građevinski materijal opeke kako bi se u fazi rekonstrukcije mogli obnoviti zidovi zvonika i svodovi u svetištu i crkvenom brodu. Uz nadomjestak nove cigle, ali starog formata, produžnim mortom i vapnenom žbukom spravljenom od gašenog i odležanog vapna te bijelog cementa, bit će povezana preostala i nova konstrukcija tradicionalnim zidarskim vezom. Osnovna postavka projekta je potpuno poštovanje izvornog stanja crkve, što se izvedbom mora i ostvariti.

Rušenjem zvonika prekinuta je zaštita temelja od vlage i odvodnje površinske vode, uz zatrpanjanje otkopanih rovova.

Završetkom projekta osiguranja i privremene konzervacije preostalih dijelova nosive konstrukcije župne crkve svetog Jurja na Bregu, postignuti su svi uvjeti za početak rekonstrukcije i obnovu ove znamenitosti.

#### **4. POPIS LITERATURE**

A. HORVAT: «Spomenici arhitekture i likovnih umjetnosti u Međimurju», Zagreb, 1956.

E. LOKOŠEK: «Izvedbeni projekt osiguranja i privremene zaštite preostalih dijelova nosive konstrukcije crkve Svetog Jurja na Bregu», «LOKOŠEK PROJEKT» d.o.o., Zagreb, 2008.

E. LOKOŠEK: «Idejni projekt rekonstrukcije crkve Sveti Juraj na Bregu», «LOKOŠEK PROJEKT» d.o.o., Zagreb, 2009.

V. ŠILHARD: «Geomehaničko izvješće i geostatičke analize», «Geoexpert GTB» d.o.o., Zagreb, 2008.

Fotografije i dijelovi tekstova preuzeti s internet stranica:  
URL:<http://www.svetijurajnabregu.com/>;  
[http://varazdin.hbk.hr/OLD/Aktualno/Aktualnosti\\_2008/Aktualno1510.htm](http://varazdin.hbk.hr/OLD/Aktualno/Aktualnosti_2008/Aktualno1510.htm) i od gosp. Mladena Trbušovića

#### **Kontakt:**

«Institut IGH» d.d., J. Rakuše 1, Zagreb

Velimir Pavlić, dipl. ing. grad.

Ana Špišić, dipl. ing. grad.

# ALATI ZA OBRADU KOD VISOKOBRZINSKIH OBRADA

Skvaža M.<sup>1</sup>, Botak Z.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Rastuća kompleksnost i smanjenje vijeka trajanja proizvoda karakteristični su za suvremenu proizvodnju. Proizvodnja treba biti brza i kvalitetna, uz što manje troškova. Kako bi se maksimalno iskoristili svi kapaciteti moderne tehnologije, razvoju strojeva mora slijediti i odgovarajući razvoj reznih alata. Pravilni izbor tehnološki i geometrijski pogodnog alata za obradu može bitno smanjiti ukupne troškove po jedinici proizvoda.

U radu su prikazane osnovne značajke materijala za izradu alata koji se koriste u suvremenoj proizvodnji.

**Ključne riječi:** visokobrzinska obrada, materijal alata, rezni materijal

**Abstract:** Growing complexity and shortening of a product's lifespan are characteristic of modern production. Production needs to be fast and of quality, with expenses reduced as much as possible. In order to use the maximum of all capacities of modern technology, the machine development needs to be followed by the adequate development of cutting tools. Total cost per product unit can be reduced by choosing the right tools technologically and geometrically suitable for processing.

This paper presents the basic characteristics of the material used for making of the tools used in modern production.

**Key words:** high-speed processing, tool material, cutting material

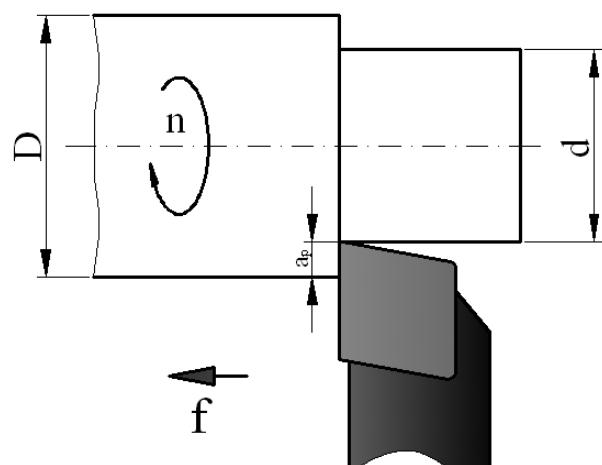
## 1. UVOD

Današnji trendovi razvitka traže povećanje konkurentnosti kroz kvalitetu proizvoda uz što manje troškove proizvodnje, a to se postiže boljom organizacijom, optimiranjem postojeće proizvodne tehnologije te primjenom novih tehnologija kao što je visokobrzinska obrada. Za praktičnu primjenu ove vrste obrade metala potrebna su određena konstrukcijska rješenja i prilagođavanje alatnog stroja, alata i procesa rezanja. Da bi rezultati obrade bili na željenoj razini, treba obratiti pozornost na sam alat; njegov oblik, materijal oštice, na reznu geometriju i držače. Primjenom novih materijala za izradu alata, poboljšanjem reznih svojstava i prilagođavanjem potrebama proizvodnje, oni su postali pristupačniji za širu upotrebu. Brojnim laboratorijskim ispitivanjima

određena je optimalna geometrija kao i osnovni parametri obrade kojih se treba pridržavati prilikom korištenja alata.

## 2. POVIJESNI RAZVOJ VISOKOBRZINSKE OBRADE

Zahvaljujući neprekidnom razvoju i poboljšanju alatnih strojeva, kao i materijala iz kojih se izrađuju alati, neprekidno se povećava i brzina rezanja. Od prvih alata izrađenih od visokougljičnih čelika pa do današnjih, super tvrdih alatnih materijala, brzine rezanja su se povećale gotovo 100 puta [1].



Slika 2.1. Tokarenje

Brzina rezanja se kod tokarenja (slika 2.1.) izračuna prema formuli:

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{60000} \quad (1)$$

gdje je:

$v_c$  [m/min] - brzina rezanja  
 $D$  [mm] - promjer obratka  
 $n$  [min<sup>-1</sup>] - broj okretaja obratka

Svaki materijal reznih alata ima odgovarajuću maksimalnu upotrebljivu brzinu rezanja, pa su tako maksimalne brzine rezanja  $v_{cmax}$  za:

- tvrdi metal  $v_{cmax} = 30-50$  m/min
- alatnu keramiku  $v_{cmax} = 200-300$  m/min

Prekoračenjem maksimalne brzine rezanja (rezni) materijal gubi svoja svojstva, a time i sposobnost rezanja. Ova zakonitost vrijedi za konvencionalne brzine rezanja za koje se primjenjuje Taylorova jednadžba postojanosti alata, a može se prikazati formulom [2]:

$$v_c \cdot T^m = C_v \quad (2)$$

gdje je:

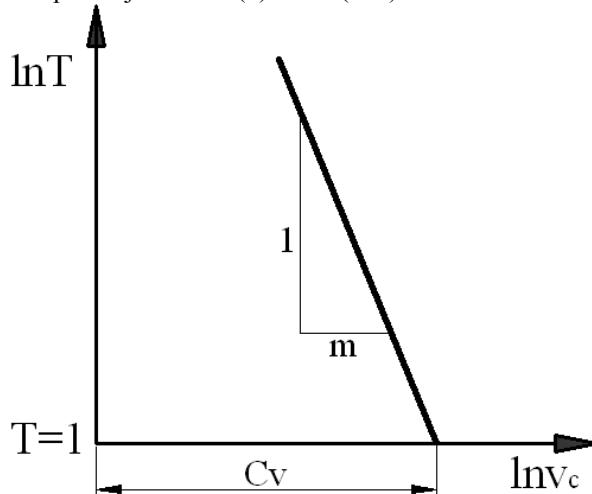
$v_c$  [m/min] – brzina rezanja

$C_v$  [ ] – Taylorova konstanta (ovisi o materijalu obratka i alata, posmaku i dubini rezanja)

$m$  [ ] – eksponent postojanosti

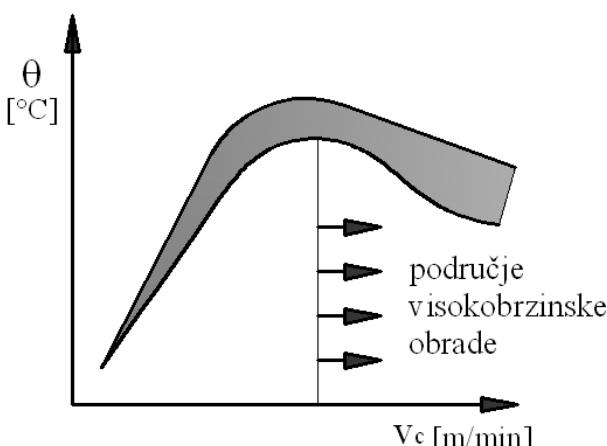
$T$  [min] – postojanost alata

Povećanjem brzine rezanja smanjuje se vijek trajanja alata prema jednadžbi (2) i slici (2.2.).



Slika 2.2. Ovisnost postojanosti alata o brzini rezanja

Ključni trenutak za razvoj visokobrzinske obrade je bila spoznaja da se temperatura obrade ne povećava proporcionalno s povećanjem brzine rezanja (slika 2.3.).



Slika 2.3. Ovisnost topline o brzini rezanja nastale rezanjem

Ova pojava je pobudila interes znanstvenika za daljnja istraživanja što se tiče povećanja brzine obrade.

Dvadesetih godina prošlog stoljeća njemački istraživač Carl J. Salamon ispitivao je primjenu velikih brzina rezanja kod glodanja fosforne bronce te je došao do ključnih spoznaja za daljnji razvoj visokobrzinske obrade. U svojem eksperimentu je obradivao fosfornu broncu brzinom rezanja  $v_c = 45$  m/min i posmičnom brzinom  $v_f = 228$  mm/min. Dobio je strugotinu plave boje, a samo glodal se vrlo brzo uništio. Povećanjem brzine rezanja na  $v_c = 1600$  m/min i posmaka na približno  $v_f = 2200$  mm/min, obradak i alat ostali su sasvim hladni.

Istraživanja su pokazala da se kod visokih brzina obrade postiže najbolja moguća obrađivana površina pri optimalnoj brzini rezanja za svaki materijal. Npr. za aluminijski materijal optimalna brzina rezanja kod visokobrzinske obrade iznosi približno 30500 m/min.

Kod prekoračenja kritične brzine rezanja, mehanizam nastajanja strugotine nije isti kao i kod konvencionalnih obrada.

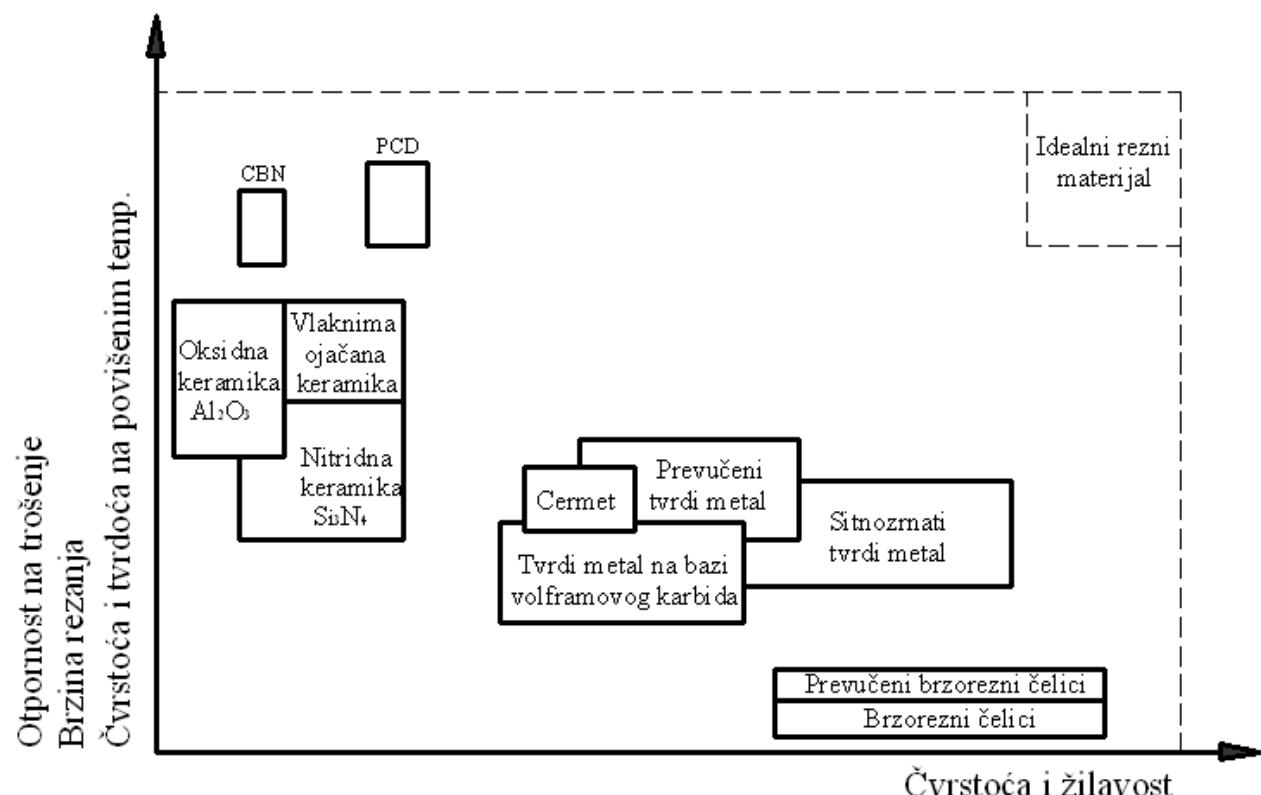
Umjesto uobičajenog plastičnog tečenja, dolazi do lokalnog smicanja i krtog loma materijala obratka, što iziskuje manje utrošenog rada na plastičnu deformaciju. Količina nastale topline u zoni rezanja je manja, a time se smanjuje i temperatura rezanja. Zbog visokih brzina rezanja, materijal obratka ne stigne teći pa je nastala količina topline puno manja. Mala količina nastale topline u zoni rezanja se najvećim dijelom (oko 90%) odvodi strugotinom. Pošto je dodir strugotine prednjom površinom reznog alata vrlo kratak, toplina „nema vremena“ prijeći sa strugotine na alat.

### 3. MATERIJALI ZA IZRADU ALATA

Do današnjeg dana još uvijek nije pronađen idealan materijal za izradu reznih alata koji bi zadovoljavao sve postavljene zahtjeve. Istodobno treba udovoljiti otpornosti na trošenje, velikim brzinama rezanja, otpornosti na povišene temperature, čvrstoći i tvrdoći, a ujedno mora materijal biti i dovoljno žilav kako ne bi došlo do loma prilikom uporabe.

Na slici 3.1. prikazana su svojstva materijala reznih alata u usporedbi s idealnim materijalom. Iz slike se vidi kako materijali s nekim izraženim dobrom svojstvom imaju slabija druga poželjna svojstva [4]. Tako na primjer super tvrdi materijali imaju veliku otpornost na trošenje i povišene temperature, veliku tvrdoću, no s druge strane su vrlo malo žilavi. Jednako vrijedi i obratno: materijali koji su žilavi nemaju dovoljnu tvrdoću, otpornost na trošenje, pri povišenim temperaturama gube svojstva i nisu pogodni za visokobrzinsku obradu.

Zbog toga se za izradu reznog alata koristi više različitih materijala, ovisno o namjeni, da se dobije što bolji omjer između tvrdoće, otpornosti na trošenje i žilavosti.



Slika 3.1. Svojstva materijala za izradu alata

U praksi se uglavnom mogu pronaći alati iz sljedećih materijala:

#### -Tehnička keramika

- Kubični bor – nitrid (CBN)
- Oksidna keramika
- Whisker
- Tvrdi metali
- Keramičke prevlake
- Polikristalni dijamant (PCD)

### 3.1. Tehnička keramika

Keramički materijali su anorganski materijali sastavljeni iz metalnih i nemetalnih elemenata spojenih ionskim i/ili kovalentnim vezama. Kemijski sastav se mijenja od jednostavnih spojeva pa do smjesa mnogih kompleksnih faza.

Postupak dobivanja tehničke keramike sličan je postupku dobivanja ostalih vrsta keramike kao što je porculan. Osnovna sirovina je prah koji mora biti visoke čistoće, a dobiva se primjenom sljedećih postupaka:

- Atomizacijom
- Mehaničkim drobljenjem
- Kemijskom redukcijom
- Elektrolitičkim taloženjem

Dobiveni prah se dalje prerađuje u gotovi keramički proizvod kroz četiri faze [3].

U prvoj fazi se priprema sirovina, utvrđuje se sastav pojedinih komponenata u smjesi i komponente se međusobno miješaju. U drugoj fazi se jednim od postupaka prešanja (suho, hladno izostatičko, injekcijsko) oblikuje sirovac. U trećoj fazi se izvodi sinteriranje, gdje uz visoku temperaturu i tlak dolazi do spajanja čestica praha reakcijama u čvrstom stanju.

Ovisno o temperaturi, djeluju adhezija te površinska i volumna difuzija. Konačan rezultat sinteriranja je postizanje maksimalno moguće gustoće (smanjenje poroznosti) i upotrebljivih mehaničkih svojstava keramičkog izratka. Završna obrada se izvodi nekim od postupaka fine obrade, brušenjem, honanjem, lepanjem ili poliranjem [5].

#### Prednosti upotrebe keramike :

- visoka tvrdoća, tlačna i savojna čvrstoća
- veća krutost od metalnih materijala
- niska toplinska i električna vodljivost
- veća otpornost na trošenje
- kemijска постојаност према различитим медijима
- niža toplinska rastezljivost u odnosu na metale
- dugoročnija i sigurnija opskrba sirovinama

#### Nedostaci upotrebe keramike:

- mala žilavost – visoka krtost
- niska otpornost na toplinski šok
- niska vlačna čvrstoća
- visoki troškovi sirovina i postupka oblikovanja

#### 3.1.1. Kubični bor nitrid – CBN

Bor-nitrid se može nalaziti u obliku heksagonalnih kristala kao grafit ili u obliku kubnih kristala kao dijamant. Tvrdoću ovog sinteriranog materijala premašuje jedino tvrdoća dijamanta. Otporan je na trošenje, na povišene temperature (više od 1000 °C) i ima prihvatljivu čvrstoću. Daljnjom obradom se dodavanjem volframovog karbida uz visoki pritisak i visoke temperature dobiva tzv. polikristalični kubični bor nitrid PCBN. O postotku osnovnog CBN ovisi upotrebljivost alata za pojedinu obradu.

Karakteristike primjene ovog materijala kod izrade reznog alata:

- pogodan je za visokobrzinsku obradu sinteriranih tvrdih materijala, kaljenog čelika, lijevanog željeza i aluminijevih super legura
  - smanjuje vrijeme izrade, a time i troškove jer je pogodan za visokobrzinsku obradu
  - postiže dobru kvalitetu površine nakon obrade pa nije potrebno brušenje
  - mogućnost obrade bez korištenja sredstava za hlađenje i podmazivanje
- Nedostaci :
- mala žilavost - velika krtost
  - mala otpornost na toplinski umor
  - visoki troškovi sirovina i postupka oblikovanja [6]

### 3.1.2. Oksidna keramika

Osnova je aluminij sa dodacima oksida titana, magnezija, cirkonija ili karbida silicija, koji matrici aluminija poboljšavaju svojstva. Oksidna veziva su relativno krhka pa obrada na alatnom stroju mora biti bez vibracija. Veća žilavost se postiže usitnjavanjem zrnaca praha i dodavanjem cirkonijevog oksida. Sinteriranje se odvija kod temperaturne  $1600^{\circ}\text{C}$  i pritiska 27 MPa. Ovim se postupkom dobiva dobra zbijenost (gustoća) čestica i velika tvrdoća.

Oksidna keramika se prije svega koristi za grubu i finu obradu kod tokarenja, za obradu sivog i nodularnog lijeva te kod kontinuirane i visokobrzinske obrade bez upotrebe sredstava za hlađenje.

Stabilna je na temperaturama većim od  $2200^{\circ}\text{C}$ , za razliku od karbida s metalnim vezivom koji gube svojstva na temperaturama većim od  $500^{\circ}\text{C}$ .

Vlačna čvrstoća se ovisno o sastavu kreće od 700 do 800 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.1.3. Whisker

„Whisker“ (engl. whisker – vlas, dlaka) su fino zrnati kristali silicij karbida koji se nalaze u armiranoj keramici. Naziv potječe iz oblika jer se, gledano mikroskopom, vide tanke niti kojima je armiran osnovni materijal.

Kristali silicij karbida su promjera jednog mikrometra i duljine do sto mikrometara, isprepleteni u aluminijskoj matrici. Jako su otporni na istezanje i uvelike doprinose otpornosti na lom, a vlačna čvrstoća doseže 800–900 N/mm<sup>2</sup> [6].

### 3.1.4. Tvrdi metali

Mogu se svrstati u skupinu neoksidne keramike, ali se zbog izraženih metalnih svojstava svrstavaju u zasebnu skupinu pod nazivom „tvrdi metali“. Sastoje se od visokog udjela karbida volframa (WC), titana (TiC) i tantala (TaC) koji su najčešće međusobno povezani kobaltom.

Karbidi su nositelji tvrdoće i otpornosti na trošenje, dok vezivni materijal osigurava žilavost. Dobivaju se vezivanjem volfram karbida na temperaturama od  $2500^{\circ}\text{C}$ , a zatim vezivanjem s kobaltom i sinteriranjem na temperaturama od oko  $1500^{\circ}\text{C}$ .

Dobra svojstva tvrdih metala:

- visoko talište
- visoka tvrdoća i otpornost na trošenje

- visoki modul elastičnosti, visoka tlačna čvrstoća i čvrstoća na povišenim temperaturama
- otpornost na toplinske šokove
- otpornost na koroziju
- visoka toplinska i električna vodljivost

Tvrdi metali iz kojih se izrađuju rezni alati podijeljeni su u tri skupine:

- tvrdi metali grupe K (90% WC, 0...4% TiC ili TaC, ostalo kobalt) prikladni za obradu materijala s kratkom strugotinom – lijevovi na bazi željeza, kamen, drvo i tvrdi polimerni materijali. Kod obrade čelika stvaraju se naljepci i izjedenost na oštrotici alata.
- tvrdi metali grupe M za obradu svih materijala (80...85% WC i do 10% TiC ili TaC, a ostalo kobalt), a kod obrade čelika upotrebljavaju se do srednjih brzina obrade.
- tvrdi metali grupe P imaju do 43% TiC i TaC. Prikladni su za obradu metala, pri čemu obično nastaje kontinuirana strugotina.

### 3.1.5. Keramičke prevlake

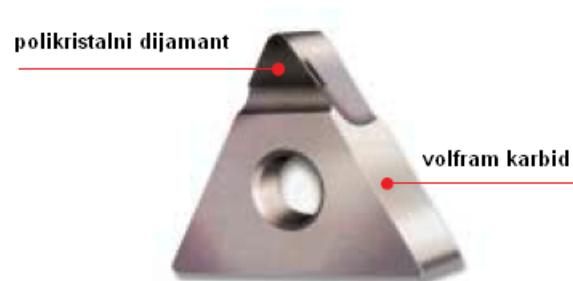
Kako bi se povećala otpornost na trošenje potrebna kod VBO, a istodobno postigla i dobra žilavost, na rezne bridove alata od tvrdog metala nanosi se tanki sloj TiC, titan nitrida (TiN), titan karbonitrida (TiCN), aluminij oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ili neke druge prevlake. Slojevi debljine 5 do 15  $\mu\text{m}$  se nanose kemijskom reakcijom iz plinovite faze CVD (Chemical Vapour Deposition) ili djelovanjem iona u elektrostatičkom polju PVD (Physical Vapour Deposition).

Iako se ispočetka činilo da će se ovom vrstom materijala uspjeti napraviti neka vrsta univerzalnog alata za obradu širokog spektra materijala, to se ipak nije dogodilo.

Praktična upotreba je pokazala da keramičke prevlake nisu pogodne za obradu nekih materijala kao što su aluminij, legure magnezija i titana te visokolegirane niklove legure.

## 3.2. Polikristalni dijamant – PCD

Polikristalni dijamant se razlikuje od prirodnog dijamanta po tome što je sastavljen iz nepravilno usmjerenih sitnih kristala i manje je tvrdoće od prirodnog. Proizvodi se sinteriranjem iz kalibriranih odabranih dijamantnih čestica koje su mikrometarske veličine. Sinteriranje se obavlja uz pomoć katalizatora (obično je to kobalt), pri temperaturama od  $1400^{\circ}\text{C}$  i vrlo visokim pritiscima. Postiže maksimalnu tvrdoću od 7000 do 10000 HV.



Slika 3.2. Rezna pločica iz PCD-a [5]

Alat izrađen od PCD-a pogodan je za obradu:

- aluminija i aluminijevih legura
  - magnezija i njegovih legura
  - bakra i njegovih legura
  - cinka i njegovih legura
  - plemenitih metala (zlato, srebro, platina)
  - titana i legura titana
  - nemetalnih materijala, tvrde gume, duromera, drva
- Nije pogodan za obradu čelika i lijevanog željeza.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iako je tehnologija dobivanja materijala na visokoj razini i postoje dobri materijali za izradu alata, još se uvijek nije približilo svojstvima idealnog reznog materijala. Iz tog razloga se nastoje što bolje iskoristiti dobra svojstva postojećeg materijala, a negativna svojstva se pokušavaju eliminirati ili se pokušava umanjiti njihov štetni utjecaj na postupak obrade.

Ovisno o vrsti obrađivanog materijala bira se i rezni alat. Za obradu čelika, željeznih lijevova, vrlo tvrdih legura i sličnih materijala koristi se alat izrađen od kubičnog bor nitrida ili keramičkih prevlaka, dok se npr. za obradu aluminija i njegovih legura, polimera i drva koristi alat izrađen od polikristalnog dijamanta. Uz pravilan izbor materijala dobra rezna svojstva nekog alata mogu se povećati i izborom pravilne geometrije rezne oštice. Kod obrade tvrdih materijala prvi će izbor biti alat s većim kutom klina, a sama pločica bez provrta da bi se osigurala dovoljna krutost i čvrstoća, a time spriječilo oštećenje alata. Kod obrade obojenih metala i njihovih legura kut vrha alata i kut klina su manji, a brzine rezanja su mnogo veće da se spriječi naljepljivanje materijala obratka na oštricu alata.

Sve dok se ne razviju novi načini obrade odvajanjem čestica ili sve dok se ne pronađu vrsniji materijali za izradu alata, preostaje mogućnost da se teškoće kod obrade smanje prije svega pravilnim izborom materijala i geometrije reznog alata, ovisno o materijalu obratka.

#### 5. LITERATURA

- [1] Bajić, D. Obrada visokim brzinama. Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje.
- [2] Čuš, F. Visokohitrostanje in posebni postopki obdelav. Univerza v Mariboru : Maribor, 2004.
- [3] Filetin, T.; Kovačiček, F.; Indof, J. Svojstva i primjena materijala. Fakultet strojarstva i brodogradnje : Zagreb, 2006.
- [4] Schmitz, T.; Davies, M. The Dynamics of High-Speed Machining : ASPE tutorial, listopad 2003.
- [5] <http://www.coromant.sandvik.com/hr>, listopad 2009.
- [6] <http://www.cutting-tool.americanmachinist.com>, listopad 2009.
- [7] Skvaža, M. Alati za obradu kod visokobrzinskih obrada ; završni rad. Veleučilište u Varaždinu, 2009.

Autori:

1. Marijan Skvaža, ing.
2. Zlatko Botak, dipl.ing.

Veleučilište u Varaždinu  
Križanićeva 33  
42000 Varaždin

# LEAN PRODUCTION KAO JEDAN OD NAČINA POVEĆANJA KONKURENTNOSTI HRVATSKIH PODUZEĆA NA GLOBALNOM TRŽIŠTU

Piškor M.<sup>1</sup>, Kondić V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Oprema-uredaji d.d., Ludbreg, Hrvatska

<sup>2</sup>Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** U radu su prikazana osnovna načela Lean-a, a da bi ga shvatili trebamo krenuti od njegove povijesti. Obradeni su osnovni oblici gubitaka koji se javljaju u svim procesima, od proizvodnje, logistike, razvoja proizvoda, kroz kontakte s kupcima proizvoda ili usluga, te su prikazani alati kojima se djeluje na Lean putovanju s ciljem otklanjanja gubitaka.

**Ključne riječi:** Lean (vitko), pull (povlačenje), vrijednost, tok vrijednosti, kontinuirani tok, Just-In-Time, waste (gubici), kanban, smed, poka yoke, kaizen, kaikaku, 5s, 5 zašto

**Abstract:** This paper presents basic principles of Lean. In order to grasp its meaning, it is necessary to start with its history. Basic forms of waste have been dealt with – they appear in all the processes from production, logistics, and product development, through the contacts with buyers of products or services; and finally the tools which are used on the Lean travel are presented with the goal of eliminating waste.

**Key words:** Lean, pull, value, value flow, continuous flow, Just-In-Time, waste, kanban, smed, poka yoke, kaizen, kaikaku, 5s, 5 whys

## 1. UVOD

Jedna od najvažnijih karakteristika današnjeg gospodarstva su iznimno brze promjene koje nameću najbogatije zemlje, a slabo razvijene zemlje ih „u stopu“ prate.

Globalne promjene tržišta, nove tehnologije na svim područjima, novi proizvođači i dobavljači, sve veći zahtjevi kupaca i korisnika, novi zahtjevi i ograničenja ciljnih tržišta uvjetuju novi stil upravljanja poslovnim sustavima, gdje uprave i menadžment moraju pronaći učinkovita i brza rješenja. Samo sustavi koji kontinuirano poboljšavaju svoje poslovanje i prethode konkurenčiju imaju šansu sačuvati status, popraviti poslovanje i tržišni položaj.

Cilj svake organizacije je vrlo jasan: živjeti i uspjeti, a to znači proizvoditi ono što tržište želi, uz visoku kvalitetu, pristupačnu-tržišnu cijenu i rokove isporuke koje

zahtijeva tržište, uz kontinuirano zadovoljavanje kupca i ostalih zainteresiranih strana (slika 1.).



Slika 1. Najvažniji čimbenici u izboru proizvoda i proizvođača

Globalizacija je „zatvorila vrata“ tržištu proizvođača i „okrenula je ploču“ prema tržištu kupaca.

U takvim uvjetima sljedeći odnos

$$\text{PRODAJNA CIJENA} = \text{TROŠKOVI PROIZVODNJE} + \text{DOBIT}$$

više ne funkcioniра.

Prodajnu cijenu diktira tržište. Organizacija koja želi opstati mora poslovati uz određenu dobit, pa su u takvim uvjetima troškovi proizvodnje jedini promjenljivi faktor. Tako vrijedi [1]:

$$\text{DOBIT} = \text{PRODAJNA CIJENA} - \text{TROŠKOVI PROIZVODNJE}$$

Potrebni su veliki naporci za stalno snižavanje troškova i to na razini cjelokupne organizacije. Upravo je Lean takav pristup koji otklanja sve gubitke u proizvodnji, ali ne samo u proizvodnji već i u cijelom procesu, od narudžbe do isporuke i korištenja proizvoda.

## 2. LEAN PROIZVODNJA

Vitka proizvodnja – VP (eng. Lean Manufacturing) je filozofija upravljanja poslovnim procesima koja svoje ishodište nalazi u Toyota Production Systemu (TPS) [2]. Poznata je po usmjeravanju ka smanjenju 7 vrsta gubitaka (7 wastes), a namjera joj je povećati vrijednosti što se tiče kupca ili svakog sljedećeg u lancu dodavanja vrijednosti.

Za mnoge je to samo set alata TPS koji nam pomažu kod identifikacije i kontinuiranog otklanjanja gubitaka, a posljedica toga je poboljšanje kvalitete proizvoda,

smanjenje vremena proizvodnje i sniženje troškova. Postoji također i alternativni pristup lean proizvodnji koji promiče Toyota, čija je namjera uspostaviti "protok" i kontinuiran tok rada kroz organizaciju rada, a koji se ne temelji na eliminaciji gubitaka. Razlika oba pristupa nije u ciljevima, već u načinu kako do njih doći. Prednost ovog drugog pristupa je u tome da zahtijeva cjelovit (sistemski) pristup, dok se kod prvog pristupa usredotočimo samo na jedan uski dio problema u proizvodnom procesu.

## 2.1. Što je Lean (vitko) ?

Lean je prema Womacku [3] vitko, jer nam govori o tome kako uraditi što više sa što manje napora. Pod pojmom manje smatra se manje ljudskog napora, manje opreme, manje vremena i prostora, s time da proizvod bude napravljen tako da potpuno zadovolji kupca.

Taiichi Ohno [4], otac TPS-a, definira vitkost i Toyotin pristup na sljedeći način: „Mi samo promatramo zbivanja u vremenu od trenutka, kad nam naručitelj izda narudžbu, do trenutka, kad dobijemo novac. To vrijeme smanjujemo s ukidanjem djelatnosti koje ne dodaju vrijednost proizvodu (gubici).“

Značenje riječi lean možemo sažeti u pet osnovnih načela:

- precizno definiranje *vrijednosti* proizvoda sa stajališta kupca
- prepoznavanje *toka vrijednosti* (value stream) za određenu vrstu proizvoda
- ujednačen i *kontinuiran tok* proizvodnje (tok materijala i informacija)
- *povlačenje* („pull“) proizvoda kroz cjelokupan proces proizvodnje
- težnja za *savršenstvom*

## 2.2. Definiranje vrijednosti

Vrijednost definira kupac za određeni proizvod ili uslugu. O njoj govorimo kao o osobini vezanoj uz određeni proizvod ili uslugu, koja ispunjava svoju osnovnu zadaću, a to je zadovoljenje potreba i želja kupaca ili klijenta. Tako definirana vrijednost je polazišna točka uspješne proizvodnje i poslovanja.

Posebno je važno odrediti vrijednosti za kupca. Ako proizvod ima kvalitetu koja kupcu ne predstavlja dodatnu vrijednost, kupac neće biti zainteresiran za proizvod. Treba analizirati potrebe kupaca i osobine proizvoda. Zatim treba odrediti koji procesi dodaju, a koji ne dodaju vrijednost proizvodu. Procese koji ne dodaju vrijednost treba dodatno ispitati i odrediti jesu li neophodni, a ako nisu eliminirati ih.

## 2.3. Tok vrijednosti

Potrebito je podijeliti ljudi u timove, objasniti ciljeve, obučiti ih i dati vremenski rok. Cilj u ovom dijelu implementacije je taj da se odrede grupe proizvoda i da se mapiraju tokovi vrijednosti sa što više detaljnih kvantitativnih informacija o procesu (proizvodnji). Kvantitativne informacije uključuju vrijeme trajanja

operacija, vrijeme potrebno za tehnološki ciklus, kapacitet strojeva, vrijeme trajanja rada, čekanje, pripremno-završno vrijeme, vrijeme transporta, tok informacija. Kada se informacije prikupe, treba napraviti mapu toka vrijednosti točno onakvu kakav je tok, sa svim nedostacima.

Analiza procesa poslovanja s aspekta dodavanja vrijednosti jasno ukazuje na tri vrste aktivnosti:

- ✓ aktivnosti koje dodaju vrijednost (VAT) – transformira ili oblikuje materijal ili informaciju ili ljudi, obavljena je bez greške, kupac ju je spreman platiti
- ✓ aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (NVAT) - NEOPHODAN GUBITAK – aktivnost se ne može eliminirati iz procesa i ne stvara vrijednost (postojeća tehnologija, poslovna politika i dr.)
- ✓ aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (WT) – ČISTI GUBITAK – aktivnosti koje troše resurse, ali ih kupac nije spreman platiti (čekanje, zalihe, preinake...).

## 2.4. Kontinuirani tok proizvodnje

Nakon mapiranja toka vrijednosti slijedi sagledavanje za svaku grupu proizvoda te analiziranje procesa. Zatim se odredi takt proizvodnje i na temelju njega projektira se kontinuirani tok. Kontinuirani tok treba što bolje zadovoljavati princip prelaska predmeta rada s operacije na operaciju, tako da eliminira vrijeme predmeta u procesu rada koje ne dodaje vrijednost proizvodu. Nakon toga je potrebno projektirati radne jedinice gdje god je to moguće, pridržavajući se pravila o kontinuiranom toku. Kada se napravi mapa budućeg neprekidnog toka, odmah se kreće s implementacijom. Taiichi Ohno je govorio da ništa nije savršeno, ali da treba jednostavno s nečim početi. To znači da čim se projektira kontinuirani tok, treba ga odmah implementirati, a eventualne propuste i novonastale probleme rješavati korak po korak.

Za postizanje protočnosti bitni su:

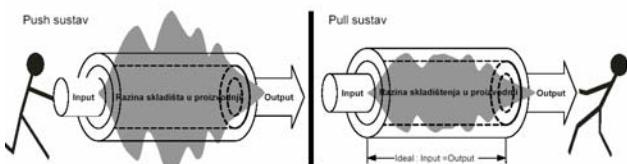
- ✓ razumijevanje vrste vremena u procesu
- ✓ kontrola odvijanja procesa
- ✓ eliminiranje uskih grla i zastoja
- ✓ eliminiranje neplanirane dorade

Smanjenje trajanja ciklusa postiže se uklanjanjem čekanja i smanjenjem vremena NVAT u procesu.

## 2.5. Povlačenje (pull) kroz proces proizvodnje

Povlačenje proizvodnje (eng. *pull*) je jedan od temeljnih principa Lean proizvodnje i poslovanja. Bitno je naglasiti da povlačenje proizvodnje počinje s kupcem (za razliku od „push“) i to kupnjom ili narudžbom proizvoda. Svaki proizvod prolazi kroz određene procese i pripadajuće specifične aktivnosti u poduzeću, a koje tvore lanac vrijednosti dotičnog proizvoda. Nakon što kupac izrazi potrebu za proizvodom, svaki korak u lancu vrijednosti prenosi informaciju na prethodni korak u procesu da postoji potreba za određenom količinom materijala, dijelova ili proizvoda. Na taj način informacija putuje duž lanca vrijednosti i pokreće proces u kojem se

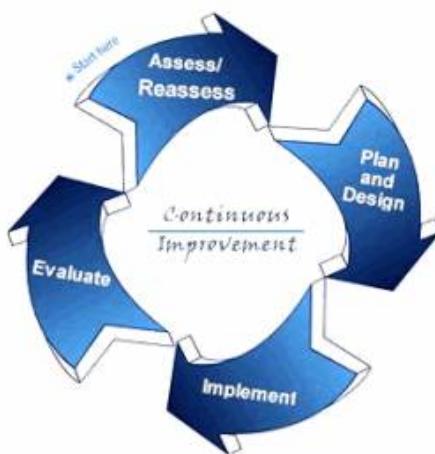
odvijaju sve specifične aktivnosti (one koje dodaju vrijednost i one koje ne dodaju vrijednost, ali su nužne za cijelokupno odvijanje procesa) potrebne da bi se od sirovina ili početnih materijala dobio gotov proizvod i isti isporučio kupcu. Na taj način se gubi potreba za planiranom proizvodnjom i sprečava se nepotrebno gomilanje zaliha. Poštivati princip povlačenja znači ne dopustiti da dođe do prekomjerne proizvodnje (slika 2.). Prekomjerna proizvodnja kao fundamentalni gubitak utječe na sve procese, pa se treba potruditi da se proizvede jedino dobivena narudžba.



Slika 2. Push vs. Pull sustav

## 2.6. Težnja za savršenstvom

Posljednji od pet temeljnih principa Leana je težnja za savršenstvom (slika 3.), koja je ustvari kontinuirano usavršavanje („kaizen“) svih procesa i aktivnosti u poduzeću. Ovaj proces ne smije stati jer nam osigurava prednost pred konkurenčijom. Također nam Lean nalaže da se konstantno održavaju kaizen radionice kako bi se usavršili razni procesi u poduzeću. U Leanu je odgovornost za savršenstvo usmjerena na sve zaposlene. Samo na taj način poduzeće će se doista kretati ka savršenstvu.



Slika 3. Konstantna težnja boljem vodi do savršenstva

## 3. POVIJEST LEAN PROIZVODNJE

Većina ciljeva Lean proizvodnje rezultat je „zdravog razuma“. Gubitke u načinu rada uočio je Frank Gilbreth kad je gledao rad zidara. Henry Ford je nastavio razvoj, fokusirajući se na gubitke kada je razvijao montažni sustav za masovnu proizvodnju T modela. Fordov sustav za masovnu proizvodnju nikad nije uspio uključiti načelo povlačenja, te je zbog toga trpio gubitke zbog prekomjerne proizvodnje. Međutim, mnogo elemenata Fordove proizvodnje primjenjivo je i danas. Loše uređenje radnih mesta, neprimjenjivanje „kaizena“ pri

radu, te rad iz navike i danas su glavni uzroci gubitaka u modernim proizvodnim procesima.

### 3.1. Toyota Production System (TPS)

Toyotin proizvodni sustav počeo se razvijati nakon Drugog svjetskog rata. Japan je tada bio nerazvijena zemlja s uništenom infrastrukturom, a sama Toyota je imala dug osam puta veći od vrijednosti kompanije. Da bi smanjila dug i povećala obrt kapitala, Toyota je morala kompletno promijeniti sustav poslovanja.

Odmah su postavljene teze koje su pokrenule sam TPS:

- sve što tokom proizvodnog procesa ne doprinosi vrijednosti gotovog proizvoda potrebno je ukloniti iz procesa
- smanjiti što više vrijeme proizvodnje i smanjiti troškove nezavršene proizvodnje, a pri tome povećati fleksibilnost sustava
- ne proizvoditi proizvode koje nemaju kupca. Kupcu napraviti proizvod kakav on želi u što kraćem roku

Da bi se postavljene teze mogle ostvariti, Toyotini menadžeri su morali otici u proizvodna postrojenja, vidjeti stanje i pokušati unaprijediti proizvodnju. Nakon posjeta Fordu, te prvotnim oduševljenjem njihove proizvodnje, uočili su mnoge nelogičnosti i probleme:

- mnogo kooperanata koji pridonose nepouzdanosti i smanjenoj kvaliteti
- svega 10% vremena koji predmet provede u procesu je zaista potrošeno na obradu
- mnogo neispravnih dijelova koji se kasnije ugrađuju u procesu
- velika količina nedovršene proizvodnje
- previše vremena potrošenog na promjenu alata, pa su to uska grla kod fleksibilnosti proizvodnje

Toyota Production System puno je više od skupa alata i metoda za rješavanje problema. TPS je sustav razmišljanja i filozofija koja govori o odgovornom ponašanju i vraćanju vrijednosti prema kupcima, zaposlenima, imovini i društvu, te je za uspješnu implementaciju potrebno razumjeti kako ljudi u Toyoti razmišljaju.

Toyota Production System nikada ne bi mogao funkcionirati bez vršnih ljudi. TPS predviđa da se problemi rješavaju na razini na kojoj i nastaju te da svatko može sudjelovati u njihovu rješavanju putem svojih ideja i prijedloga.

Danas je Toyota vodeći svjetski primjer uspješne Lean proizvodnje, odnosno Lean upravljanja uopće, što dokazuje njena dominantnost na svjetskom tržištu automobila, visoka kvaliteta kao i vodeća uloga u hibridnoj tehnologiji. I kako se Lean filozofija širi svijetom i dolazi u gotovo svaku državu svijeta, menadžeri i vlasnici kompanija usavršavaju znanja i tehnike Leana koja se počinju primjenjivati i izvan same proizvodnje: u uslužnim poduzećima, logistici, distribuciji, održavanju, zdravstvu pa čak i u vlasti, odnosno politici.

### 3.2. Just-In-Time (JIT)

„Just-in-time“ metoda ili koncept odnosi se na proizvodnju određene količine proizvoda. Daljnja razrada koncepta može se promatrati u okvirima potrebne količine proizvoda. Ako poduzeće promatramo s aspekta njegove vanjske okoline (tržište, konkurenčija, kupci), potrebnu količinu određuje sam klijent ili kupac, odnosno tržište. S druge strane, unutar poduzeća potrebnu količinu određuje proces tako da se proizvodi onoliko koliko je klijent naručio. Unutar samog poduzeća, JIT funkcioniра tako da svaki naredni proces određuje količinu prerađenog ili proizvedenog proizvoda na prethodnom. Na taj se način poduzeće rješava gubitaka, odnosno čekanja između pojedinih operacija u proizvodnom procesu. Da bi se izbjegla velika skladišta gotovih proizvoda i sirovina, potrebno je stvoriti kvalitetnu i učinkovitu mrežu klijenata i s njima izgraditi strogo poslovne odnose. Oni se moraju temeljiti na suradnji i obostranom zadovoljstvu. Kod nabave sirovina za potrebe vlastitog poduzeća potrebno je organizirati uspješan sustav upravljanja lancem dobave (supply chain management).

Drugim riječima, JIT se odnosi na proizvodnju onoga što je potrebno, kada je potrebno i koliko je potrebno.

U slučaju poduzeća Toyota, cilj koji se postavlja u skladu s opisanom JIT metodom je u što kraćem vremenu klijentu isporučiti naručeno vozilo.

Proces od narudžbe do isporuke izgleda ovako:

1. Nakon zaprimanja narudžbe za novo vozilo, naputak za proizvodnju mora biti izdan što prije kako bi počeo proces pripreme proizvodnje.
2. Montažna linija mora biti opskrbljena malom, ali dovoljnom količinom svih vrsta dijelova da bi se naručeno vozilo moglo sastaviti (osiguravanje fleksibilnosti proizvodnje).
3. Dijelovi utrošeni na montažnoj liniji moraju biti nadoknađeni istim brojem novih dijelova iz procesa proizvodnje dijelova, odnosno iz prethodnog procesa.
4. Prethodni proces mora biti opskrbljen malom količinom svih vrsta dijelova, a proizvoditi samo dijelove koji su upotrijebljeni ili iskorišteni u sljedećem procesu/operaciji.

### 4. 7+1 TIPOVA GUBITAKA („WASTE“) U PROIZVODNJI

Toyota je identificirala 7 glavnih tipova gubitaka (non-value-added waste) u poslovanju ili u proizvodnom procesu [1]. Te gubitke možemo primijeniti na razvoj proizvoda, primanje narudžbi i na ostale logističke poslove, a ne samo na proces proizvodnje.

**Transport** (nepotreban transport ili kretanje) – kretanje dijelova ili materijala u procesu (WIP – work in process) na veće daljine, neučinkovit transport materijala, dijelova ili konačnih proizvoda u skladištima ili iz skladišta, neučinkovit transfer informacija, gubitak podataka ili jednostavno nepouzdanost informacija.

**Prekomjerne zalihe** (Inventory), slika 4. – višak sirovina, poluproizvoda ili gotovih proizvoda koji

prouzrokuju veća protočna vremena, zastarjevanja robe, oštećenja robe, transportne troškove i troškove skladištenja i odlaganja. Prekomjerne zalihe prikrivaju probleme neuravnoteženosti procesa, kašnjenja dostave, greške, zastoje na strojevima ili dugo vrijeme zamjene alata.



Slika 4. Skladišta puna robe

**Nepotrebni pokreti** (Movement) – svaki nepotreban pokret koji u radu napravi zaposlenik: traženje, saginjanje, slaganje proizvoda i alata. Hodanje tijekom rada je također gubitak.

**Čekanje** (Waiting) – odnosi se na vrijeme kad radnici čekaju na radnom mjestu, a ne rade. To čekanje se odnosi na vrijeme promjene alata, na prazne zalihe, nespreman poluproizvod, odnosno na sva vremena koja proizvodu ne donose vrijednost.

**Prekomjerna ili nepotrebna obrada** (Overprocessing or Incorrect processing) – izvode se prekomjerni koraci u obradi proizvoda. Greške u obradi su zbog loših alata i neprimjerene konstrukcije pa to uzrokuje nepotrebna gibanja radnika ili greške na proizvodu. Gubici nastaju kad je kvaliteta proizvoda veća od one koju očekuje kupac pa on nije spremjan izdvojiti dodatni novac za tu kvalitetu.

**Prekomjerna proizvodnja** (Overproduction) – proizvodnja proizvoda za koje nema narudžbi, što rezultira gubicima zbog previše zaposlenih, te dodatne troškove skladištenja i troškove transporta zbog prevelikih skladišta. To se odnosi i na prekomjernu proizvodnju poluproizvoda unutar procesa proizvodnje.

**Greške** (Defects) – proizvodnja proizvoda s greškama i njihovo popravljanje. Otklanjanje grešaka na proizvodu ili poluproizvodu, škart, ponovna proizvodnja i naknadna kontrola znači gubitke prilikom manipulacije, u vremenu i radu.

Liker [4] je dodao još jednu, osmu, vrstu gubitaka:

**Neiskorištena kreativnost zaposlenika** (Unused employee creativity) – izgubljeno vrijeme, ideje, vještine, poboljšanja i mogućnosti za učenje zbog neuključivanja ili neslušanja zaposlenika.

Ohnov zaključak je da je osnovni gubitak prekomjerna proizvodnja jer ona prouzrokuje većinu ostalih gubitaka. Prekomjerna proizvodnja na pojedinim operacijama vodi do prekomjernih zaliha u dalnjim fazama proizvodnje.

## 5. ALATI ZA POSTIZANJE VITKE PROIZVODNJE

Današnja vitka proizvodnja zahtijeva transparentne i stalne protoke, kratka protočna vremena uz istodobno minimalne zalihe (filozofija JIT) uz maksimalnu prilagodljivost zahtjevima kupaca. Ljubić [5] tumači da vitku proizvodnju nije moguće uvesti samo na zahtjev uprave, već ona zahtijeva jedan dublji pristup svih djelatnika u organizaciji. Vitkost mora biti „filozofija življenja“ organizacije. Alati koji grade kuću vitke proizvodnje odnose se na *organizaciju i ljude, sveobuhvatnu kvalitetu, pripremu i održavanje, procese i tehnologiju te na protočnost materijala kroz proizvodnju* (tabela 1.).

| VITKA                  |   |
|------------------------|---|
| TOKOVI MATERIJALA      |   |
| KANBAN                 | KANBAN se temelji na stalnom praćenju stanja i nabavi materijala, a koja je regulirana potražnjom na tržištu.                                 |
| ONE-PIECE-FLOW         | Obradak prelazi na sljedeću operaciju odmah nakon što je operacija uspješno obavljena. Smanjuju se međufazne zalihe.                          |
| PROCESI I TEHNOLOGIJA  |   |
| PROIZVODNE JEDINICE    | Razmještaj strojeva i ljudi koji nam omogućuje smanjenje transporta i zaliha  |
| URAVNOTEŽENOST PROCESA | Vrijeme trajanja pojedinog posla mora biti jednak taktu proizvodnje.  |
| PRIPREMA I ODRŽAVANJE  |   |
| SMED                   | SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIES - zamjena alata u jednoj minuti  |
| TPM                    | Cjelovito produktivno i preventivno održavanje.   |
| SVEOBUHVATNA KVALITETA |   |
| 7+1W                   | 7+1 vrsta gubitaka.   |
| POKA YOKE              | Alat koji sprečava da dijelovi neprimjerene kvalitete napuste proces.   |
| ALATI Q                | Razumijevanje i prikazivanje procesa pomoću grafova, modeliranja procesa, dijagrama toka, histogrami, Pareto dijagrami, Ishikawa dijagrami... |
| ORGANIZACIJA I LJUDI   |   |
| KAIZEN I KAIKAKU       | Kaizen - kontinuirano postupno poboljšanje; Kaikaku - radikalne promjene vezane na strategiju poduzeća  |
| PREGLEDNA TVORNICA     | Govorimo o tvornici u kojoj su svi procesi definirani i jasno dostupni svima.   |
| 5 ZAŠTO                | Upitamo li se 5 puta zašto, doći ćemo do srži problema.   |
| SS                     | SORT (sortiranje)-STRAIGHTEN (urednost)-SHINE (čistoća)-STANDARDIZE (kreiraj standardna pravila)-SUSTAIN (samodisciplina)                     |

Tabela 1. Alati za postizanje vitkosti poduzeća

## 6. ZAKLJUČAK

Predmet analize ovog rada je Lean kao način za povećanje konkurentnosti u proizvodnim poduzećima. Lean se ne odnosi nužno na proizvodna poduzeća, već se lako prilagođava i na uslužne djelatnosti pa i u širi društveni kontekst. U radu su obrađena osnovna načela Leana, gubici koji se javljaju u procesima te alati za postizanje vitkosti.

Uspješna implementacija Leana ovisi o mnogo čimbenika koji se moraju poklopiti, a sve kreće od dobrog vodstva ili menadžmenta kompanije. Vrhovni menadžment je taj koji mora pokrenuti stvari i potaknuti druge na promjene. Dvije karakteristike Lean upravljanja su kontinuirano usavršavanje (kaizen) i ljudi, odnosno zaposlenici.

Lean je kontinuirani proces (slika 5.) i cijela filozofija poduzeća se mora prilagoditi konstantnom unapređenju procesa i eliminiranju gubitaka u poduzeću. Jedino na taj način će poduzeće imati dugoročne koristi od Leana.



Slika 5. Kontinuiranost u procesu usavršavanja

Jednom kada kompanija krene u Lean transformaciju, taj proces neprekidno traje i ne može se reći da je u jednom određenom trenutku završio baš kao i proces kontinuiranog usavršavanja u radu (kaizen). Također je važno naglasiti da ne postoji određena formula za uvođenje Leana, već je potrebno uočiti gubitke te ih uz određene alate otkloniti. Svatko tko želi raditi u tom smjeru prije svega mora razumjeti sve procese u poduzeću.

Lean filozofija u hrvatskim tvrtkama je nužna, pa je krajnje vrijeme za početni korak u borbi „za svojim mjestom pod suncem“ na globalno tržištu.

## 6. LITERATURA

- [1] Shingo, S. Nova japanska proizvodna filozofija. Biblioteka produktivnost i stabilizacija : Beograd, 1986.
- [2] Unterlechner, M. Inoviranje, kakovost in Lean Six Sigma v proizvodnem procesu. Fakulteta za management : Koper, 2009.
- [3] Womack, P.J. ; Jones, D.T. Lean thinking: banishwaste and createwealth in your corporation. Simon&Schuster : New York, 1996.
- [4] Liker, K. The Toyota Way Fieldbook. McGraw-Hill Professional, 2006.
- [5] Ljubić, T. Planiranje i nvođenje proizvodnje. Založba Moderna organizacija : Kranj, 2000.

### Kontakt:

Mario Piškor, dipl.ing., Koprivnička 23, Ludbreg  
Veljko Kondić, ing., Preloška 1a, Varaždin

# ANALIZA I TEHNIKE RENDERIRANJA

Bernik A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Renderiranje je proces kojim se interaktivni element 3D računalne grafike pretvara u statični 2D objekt, sliku. Zahjevi tržišta doveli su do razvoja dvije osnovne vrste renderiranja koje se biraju ovisno o završnom proizvodu. Svaki od osnovnih sustava renderiranja može se analizirati s obzirom na algoritme iscrtavanja koje koristi. Algoritmi podržavaju određeni skup osnovnih funkcija kojima se pokušavaju simulirati prirodni elementi poput osvjetljenja, sjena, loma zraka svjetlosti, fluida i sl. Kompleksnost matematičkih rješenja dovodi do punog opterećenja računalnih resursa koje se promatra kroz vrijeme potrebno za renderiranje jedne slike. Brzina je glavni faktor i najveći problem 3D računalne grafike. Razvojem računalne tehnologije proširuju se mogućnosti, otkrivaju se nove metode i vrijeme renderiranja potrebno za jednu fotorealističnu sliku.

**Ključne riječi:** Renderiranje, 3D model, algoritmi 3D računalne grafike, Raytracing, Scanline

**Abstract:** Rendering is the process by which the interactive element of 3D computer graphics becomes a static 2D object, a still image. Market demands have led to the development of two basic types of rendering the choice of which depends on the final product. Each of the primary rendering systems can be analyzed with regard to the rendering algorithms used. The algorithms support a set of core functions which tries to simulate natural elements such as lighting, shadow, refraction of light rays, fluids, etc. The complexity of mathematical solutions leads to a full load of computing resources that are seen through the time required for rendering an image. Speed is the main factor and the biggest problem of 3D computer graphics. The development of computer technology has lead to the expansion of opportunities, to the discovery of new methods, and to shortening the time required for rendering a photorealistic image.

**Key words:** Rendering, 3D model, 3D computer graphics algorithms, Raytracing, Scanline

## 1. UVOD

Završni proces pretvaranja 3D modela u dvodimenzionalnu sliku naziva se renderiranje. To je proces koji pretvara 3D model, kompletну scenu ili animaciju u 2D sliku simulirajući zrake svjetlosti. Obuhvaća široko područje primjene: arhitektura,

računalne igre, simulatori, filmska industrija i specijalni efekti. Svako ovo područje zahtjeva svoje algoritme, mogućnosti i tehnike prikaza. S obzirom na zahtjeve tržišta, razvijaju se različite varijante pogona (eng. engine) za renderiranje.

Neki od njih su implementirani u velike sustave namijenjene modeliranju i animiranju, dok je ostatak dostupan u vidu zasebnih aplikacija. Svaki sustav za sebe je složen skup funkcija temeljen na fizici svjetla, vizualnoj percepciji, matematici i programskoj podršci. Renderiranje u vidu 3D grafike može biti fotorealistično ili renderiranje u stvarnom vremenu. Korištena metoda ovisi o potrebama tržišta gdje se konačni proizvod koristi.

## 2. ALGORITMI RENDERIRANJA

Postoji mnogo primjenjivih algoritama renderiranja i u praksi se često kombinira nekoliko tehnika za dobivanje završnog proizvoda.

### Scanline renderiranje i rasterizacija

Scanline je preferirana metoda renderiranja u području računalne grafike. Ova tehnika postoji kod videoigara i podržava ih većina znanstveno inženjerskog softvera pomoću OpenGL-a (eng. Open Graphics Library). Scanline iscrtava sliku pomoću geometrijskih dijelova koji se nazivaju primitivima. Primitivi u računalnoj grafici su trokuti i poligoni. Svaka scena ili objekt koji se renderira prolazi fazu analiziranja. Algoritam pronalazi primitive i piksele koji se ponavljaju te ih renderira višestruko brže u odnosu na metodu koja renderira piksel po piksel. Trokuti ili poligoni koji su veličine jednog piksla nazivaju se mikro poligonima i predstavljaju najmanju veličinu poligona koji se treba renderirati. Horizontalnim analiziranjem slike i primitiva dobivamo horizontalne trake po kojima se algoritam kreće. Bilježe se informacije o pikselima i u završnoj se fazi renderiranja analiziranim pikselima dodaje boja i svi potrebni elementi. Postupak dodavanja boje izlaznim pikselima naziva se rasterizacija.

### Ray casting

Ray casting je algoritam koji se koristi tamo gdje je brzina iscrtavanja primarni element. Vrsnoća konačnog proizvoda nije naglašena i primjer ovog algoritma pronalazimo u simulacijama koje se izvode u stvarnom vremenu.

Geometrija se raščlanjuje piksel po piksel, redak po redak od točke gledišta prema van, na sličan način kao da se iz kamere isijava zrak do modela koji se raščlanjuje. Boja i ostale informacije se bilježe u trenutku dodira zrake i objekta. Postoji više metoda bilježenja boje, a najsofisticiranija je ona koja kalkulira boju na temelju faktora osvjetljenja.

### Radiosity

Radiosity je algoritam koji omogućuje direktno osvjetljenoj površini ponašanje kao indirektan izvor svjetlosti koji osvjetljuje druge površine. Algoritam stvara realističnije osvjetljenje i sjenčanje te se često koristi u interijerima. Trajanje simulacije ove tehnike varira o željenoj kvaliteti. Mnogo programa za renderiranje pristupa ovoj metodi i to tako da blagim intenzitetom osvjetli cijelu prostoriju faktorom koji se naziva ambijent.

Za što bolju sliku koriste se druge metode i zračenje. Jedna od njih je metoda kalkuliranja i praćenja zraka svjetlosti. Zraka svjetlosti ulazi u prostor i kod svakog odbijanja od obojene površine utjecaj boje se prenosi na sljedeću površinu. Broj odbijanja se unaprijed odredi i proporcionalan je dužini trajanja simulacije. Rezultat ove metode doprinosi iznimnom fotorealizmu, ali vrijeme generiranja jedne slike može trajati i nekoliko sati. Simulirane vrijednosti koje se dobiju prolaskom zraka kroz prostor se pohranjuju. Mogu se iskoristiti kasnije u ponovnim izračunima, čime se smanjuje vrijeme ponovne simulacije. Ako dode do male preraspodjele objekata u sceni, ranije pohranjeni podaci o simulaciji mogu biti iskorišteni bez velikog utjecaja na rezultat renderiranja. Iz spomenutih razloga radiosity algoritam je postao jedan od vodećih tehniki renderiranja u stvarnom vremenu te je u cijelosti korišten u mnogim 3D filmovima.

### Ray tracing

Ray tracing je dominantna metoda kada je riječ o izgledu scene. Za svaki piksel zaslona, zamišljene zrake kreću se iz kamere prema objektima. Analizira se presjek između zraka i objekata scene te se najbliži dio objekta do kamere iscrtava na ekranu. Ako je objekt reflektivan ili transparentan, osim prve zrake, isijavaju se dodatne zrake koje su orientirane rezultatu odsjaja ili refleksiji objekta. Treće zrake koje puštamo u prostor odnose se na smjer osvjetljenja zbog generiranja sjena na objektima.

Ray tracing je globalizacija ray casting algoritma te omogućuje fotorealistične rezultate koji linearno prođu u vrijeme renderiranja.

## 3. ANALIZA SUSTAVA ZA RENDERIRANJE

Svaka od spomenutih metoda ima i slabosti. Zbog nedostataka primjene samo jednog pristupa, praksa pokazuje korištenje dviju ili više metoda renderiranja. Time bi se smanjili ili potpuno otklonili nedostaci pojedinog algoritma.

### Prednosti Ray tracing algoritma

Omogućuje fotorealistične rezultate renderiranja podržane naprednim funkcijama odsjaja, svjetla i sjena. Koristi hijerarhijsko stablo za interakciju i detekciju objekata, čime se omogućuje vrlo brzi rad u velikim scenama. Podržava tehniku zamućivanja (eng. *motion blur*) i rad s različitim kamerama. Može imitirati optička svojstva leća, objektiva i posebnih distorzija.

### Prednosti Scanline algoritama

Renderiranje se izvodi brzo ako je konačan broj poligona u određenim vidljivim granicama algoritma. Scena se iscrtava bez prethodnih analiza geometrije i piksela. Podržava posebne materijale koji omogućuju generiranje detalja na grubo modeliranim poligonima. Manje opterećuje središnji i grafički procesor. Algoritam omogućuje razne dijagnostičke stilove i renderiranje u stvarnom vremenu čak i bez hardverske podrške.

### Nedostaci Ray tracing algoritma

Vrijeme renderiranja je vrlo dugo. Za svaki piksel iscrtavanog objekta isijavaju se tri zrake iz kamere. Svaka zraka se posebno prati i analizira te se cijeli proces računanja beskonačno ponavlja. Opterećenje je veliko i problem su zasićene brzine središnjih procesora koji upravljaju algoritmom.

### Nedostaci Scanline algoritama

Proces koji negativno utječe na vrijeme renderiranja je pretvaranje primitiva u poligone. Što je poligon veći treba više računanja za jedan piksel koji se pridjeljuje poligonu. Renderiranje je neselektivno i fotorealistična primjena je zanemariva.

## 4. ZAKLJUČAK

Renderiranje kao završna faza vizualizacije 3D modela veliko je područje interesa računalne grafike. Omogućuje razne prikaze i načine rada čime se zadovoljavaju zahtjevi tržišta. Svjetska filmska industrija i industrija računalnih igara ovise o tehnologijama i algoritmima renderiranja zbog brzine, kvalitete i cijene završnog proizvoda. Primjena se širi u područje gospodarstva i turizma gdje se izrađuju interaktivni virtualni prostori s mnogo informacija prikazanih korisniku na vrlo inovativan način.

Opisani algoritmi i tehnike renderiranja postižu odlične rezultate ovisno o njihovoj namjeni. Sam odabir algoritma se bazira na optimalnom utrošku resursa i potrebnom vremenu za postizanje željene slike. Problem je zasićenje hardverskih brzina i dugo vrijeme potrebno za generiranje finalnog proizvoda.

Kompleksnost renderiranja raste proporcionalno kako se u završni proizvod uključuje stvarno osvjetljenje, odsjaj, atmosfera, fluidi i drugi elementi koji doprinose realističnosti slike.

Može se reći da je renderiranje jedan od najzanimljivijih dijelova 3D računalne grafike koji se razvojem računalne tehnologije širi u sve aspekte ljudskog djelovanja.

## 5. LITERATURA

**Birn J.**, 3D Rendering, dostupno na:

<http://www.3drender.com/glossary/3drendering.htm>

**Carey B.**, Rendering Techniques, dostupno na:

[gimp-savvy.com/BOOK/index.html?node71.html](http://gimp-savvy.com/BOOK/index.html?node71.html)

**Daylon Graphics**, Rendering techniques, dostupno na:

[www.daylongraphics.com/products/leveller/render/questions.php](http://www.daylongraphics.com/products/leveller/render/questions.php)

**FuzzyPhoton**, What is Raytracing, dostupno na:

<http://fuzzyphoton.tripod.com/whatisrt.htm>

**Nettle P.**, Radiosity In English - The Basics, dostupno na:

[www.flipcode.com/archives/Radiosity\\_In\\_English-The\\_Basics.shtml](http://www.flipcode.com/archives/Radiosity_In_English-The_Basics.shtml)

**Permadi F.**, Ray Casting Tutorial, dostupno na:

<http://www.permadi.com/tutorial/raycast/index.html>

**Scott Owen G.**, HyperGraph, dostupno na:

[siggraph.org/education/materials/HyperGraph/toc.htm](http://siggraph.org/education/materials/HyperGraph/toc.htm)

## VRSTE I TEHNIKE 3D MODELIRANJA

Bernik A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Proces stvaranja 3D stvarnih ili imaginarnih objekata naziva se 3D modeliranje. Razvoj računalne tehnologije omogućuje korisniku odabir raznih metoda i tehnika kako bi se postigla optimalna učinkovitost. Odabir je vezan za klasično 3D modeliranje ili 3D skeniranje pomoću specijaliziranih programske i sklopovskih rješenja. 3D tehnikama modeliranja korisnik može izraditi 3D model na nekoliko načina: koristi poligone, krivulje ili hibrid dviju spomenutih tehnika pod nazivom subdivizijsko modeliranje. Odabir ne određuje kvalitetu finalnog proizvoda, ali može znatno utjecati na vrijeme stvaranja 3D modela. Svaka od ovih tehnika uključuje mnogo algoritama koji korisniku omogućuju izradu i manipuliranje osnovnih primitiva sve do razine složenih geometrijskih tijela.

**Ključne riječi:** 3D modeliranje, 3D model, poligon, krivulje, subdivizijsko modeliranje

**Abstract:** The process of creating 3D real or imaginary objects is called 3D modeling. The development of computer technology allows user to select different methods and techniques to achieve optimal performance. The choice is connected to conventional 3D modeling or 3D scanning using specialized hardware and software solutions. With 3D modeling techniques, users can create a 3D model in several ways - using polygons, curves, or a hybrid of the aforementioned techniques called subdivision modeling. The selection does not determine the quality of the final product, but can greatly affect the time required to create 3D models. Each of these techniques involves a large number of algorithms which allows users to create and manipulate basic primitives to the level of complex geometrical bodies.

**Key words:** 3D modeling, 3D model, polygon, curves, subdivision modeling

### 1. UVOD

3D modeliranje je proces kreiranja matematičke reprezentacije trodimenzionalnog objekta. Rezultat je 3D model koji se renderiranjem može prikazati kao 2D slika ili se može koristiti kao resurs u *real time* grafičkoj simulaciji.

Sadrži podatke o točkama 3D prostora i druge informacije koje računalo interpretira u virtualni objekt koji se iscrtava na zaslonu. Jedan od najkorištenijih načina za kreiranje 3D modela je korištenje 3D paketa

među kojima se posebno ističe 3ds Max i Maya. Osim spomenutog načina, model možemo generirati upotrebom raznih matematičkih algoritama pod nazivom proceduralno generiranje.

Alternativa koja se danas sve više koristi je 3D skeniranje stvarnog objekta i interpretiranje istog u formatu razumljivom računalu.

### 2. OSNOVNE VRSTE MODELIRANJA

#### Polygonalno modeliranje

Modele predstavlja nizom poligonalnih površina. Temeljna sastavnica je rubna točka 3D prostora (eng. vertex). Dvije povezane točke čine rub (eng. edge), dok tri točke generiraju trokut (eng. triangle) koji je ujedno i najjednostavniji poligon. Trostrani i četverostrani poligoni najčešći su elementi poligonalnog modeliranja. Grupa poligona povezanih zajedničkim rubnim točkama nazivaju se model (eng. mesh). Ovisno o području za koje se modeli rade, potrebno je obratiti pozornost na geometriju modela isto kao i na razne deformacije nastale uslijed modeliranja. Najčešće pogreške su dvije ili više rubnih točaka s istim koordinatnim vrijednostima i preklapanje poligona. Unutar programa za modeliranja, ovi problemi nisu posebno naglašeni i program neće reagirati na pogrešku čim je korisnik napravi. Rezultat mogu biti veliki problemi jednom kada se takav model primjenjuje u vojnim ili civilnim simulacijama u stvarnom vremenu ili kod visoko kvalitetnih laserskih ispisa gdje je vidljivo i najmanje odstupanje. Kako bi se pogreške minimizirale, korisnik koji stvara 3D model treba jako dobro poznavati alat koji koristi i područje primjene modela.

#### NURBS modeliranje

NURBS (Non-Uniform Rational Bezier Splines) je matematički izraz koji 3D modele prikazuje pomoću krivulja i površina. Rezultat je glatka površina bez nazubljenosti rubova neovisno o veličini monitora ili rezoluciji. Geometrija NURBS-a bazira se na Bézierovoj krivulji koju program automatski iscrtava između kontrolnih vrhova (eng. control vertex, CV). Svaka krivulja ima početak, kraj i zakrivljenost. Stupanj zakrivljenosti ovisi o kontrolnim vrhovima unutar krivulje. Dodavanjem vrhova u krivulju, dobivaju se nove točke za manipulaciju, pri čemu se ne narušava glatkoća niti zaobljenost. Površina NURBS-a definirana je krivuljom koja se naziva isoparma (eng. Isoparame). Isoparma je krivulja koja nastaje upotrebom CV-a.

Površina stvorena između isoparmi sastoji se od spanova (*eng. Spans*) koji prate zakrivljenost površine definiranu isoparmama.

Neki od najkorištenijih algoritama poligonalnog modeliranja prikazani su tablicom 1.

Tablica 1. Neki od algoritama poligonalnog modeliranja

|                |  |
|----------------|--|
| Combine        | Spajanja dva ili više poligona u jedan model     |
| Separate       | Algoritam rastavlja model na manje cjeline       |
| Smooth         | Algoritam zaglađivanja površina modela           |
| Reduce         | Algoritam simplificiranja poligona modela        |
| Cleanup        | Funkcija koja upozorava na pravilnu geometriju   |
| Triangulate    | Algoritam generiranja trostranih poligona        |
| Quadrangulate  | Algoritam generiranja četverostranih poligona    |
| Fill Hole      | Funkcija koja popunjava prazninu u modelu        |
| Make Hole      | Funkcija koja stvara prazninu u modelu           |
| Create Polygon | Funkcija koja omogućuje stvaranje poligona       |
| Extrude        | Algoritam izvlačenja poligona iz modela          |
| Cut Face       | Algoritam dijeljenja poligona                    |
| Displace       | Funkcija dodavanja detalja na površinu modela    |
| Morph          | Algoritam glatkih prijelaza između stanja modela |
| Merge          | Algoritam spajanja dvije ili više točaka u jednu |

### Subdivizijsko modeliranje

Subdivizijsko modeliranje površina predstavlja kombinaciju NURBS-a i poligona. Modeliranje najčešće počinje kao poligonalno, a zatim se koristi matematika NURBS-a kako bi se zagladili grubi rubovi modela. Subdivizijske površine su definirane rekurzivno. Proces počinje dobivenim poligonalnim mrežama koje se usavršavaju te se ponovno primjenjuju stvarajući nova lica i vrhove na 3D modelu. Proces podjele se teoretski može izvoditi u beskonačnost, ali u praksi je primjena ovoga algoritma ograničena.

Sheme prerade subdivizijske površine mogu se uglavnom podijeliti u dvije kategorije: interpoliranje i aproksimiranje. Interpolacijske sheme moraju odgovarati izvornom položaju vrhova u izvornoj mreži. Aproksimirajuće sheme ne moraju - one će prilagodavati pozicije prema potrebi. U pravilu, aproksimirajuće sheme imaju veću glatkoću, ali zahtijevaju veću optimizaciju koraka.

Način rada subdivizijskih površina ovisi o vrsti poligona na kojem se radi. Neke funkcije su primjenjive samo na četverostranim poligonima, dok druge rade samo na trokutima.

### 3. ANALIZA MODELERSKIH TEHNIKA

Jedan od glavnih problema poligona je taj što ne mogu dobro prikazati zakrivljene površine. Brzina procesiranja je duga pogotovo ako je riječ o scanline metodi renderiranja gdje se svaki poligon mora pretvoriti u primitiv. Manipulacija u velikim scenama, ako ne postoji hijerarhija, je gotovo nemoguća zbog potrošnje resursa. Prednost poligona je ta da može spojiti više modela u jednu cjelinu. Novonastali model se prilikom deformacije ne odvaja i ne puca od cjeline, koristi manje resursa prilikom klasičnih metoda renderiranja te omogućuje jednostavno modeliranje ortogonalnih modela, mehaničkih objekta i sl.

Modeliranje NURBS-ima bazira se na interpolaciji krivulja, čime se glatke površine i deformacije puno lakše i jednostavnije dobivaju upotrebo samih nekoliko kontrolnih vrhova. Ponašaju se kao vektori u 2D računalnoj grafici koji nisu ovisni o razini detalja površine. Olakšavaju teksturiranje zbog dvodimenzionalnog U i V koordinatnog sustava. NURBS-i se s lakoćom mogu pretvoriti u sve ostale metode modeliranja. Rad i manipulacija se bazira na točkama i krivuljama, čime se može otežati percepcija 3D modela. Jedan od većih nedostataka je nemogućnost jednostavnog povezivanja više NURBS modela u jednu cjelinu. Rezultat toga može biti odvajanje geometrije prilikom animiranja. Problemi također nastaju prilikom rada na velikim, teksturiranim scenama.

Subdivizijsko modeliranje omogućuju korisniku brzo stvaranje fino zaobljenih površina koje se baziraju na poligonalnom modeliranju. Modeli se ne deformiraju i ne odvajaju pa se tako omogućuje daljnja manipulacija zaobljenih površina. U procesu modeliranja korisnik se može kretati između poligonalnog u subdivizijski način rada. Pri tome se određuju razine detalja i provjerava se završni izgled 3D modela. Subdivizijsko modeliranje zahtijeva puno više računalnih resursa, a čuvanje modela u takvom obliku uzima puno memorije. Gotovo je uvek bolje konvertirati subdivizijske modele natrag u poligone ili u NURBS.

Usporedan prikaz osnovnih tehnika modeliranja prikazan je tablicom 2.

Tablica 2. Usporedni prikaz tehnika modeliranja

|                      | Poligon | NURBS    | Subdiv      |
|----------------------|---------|----------|-------------|
| Osnovni element      | poligon | krivulja | kombinacija |
| Zaobljenost površina | srednja | visoka   | visoka      |
| Intuitivnost rada    | visoka  | srednja  | visoka      |
| Potrošnja resursa    | mala    | srednja  | visoka      |
| Težina teksturiranja | mala    | srednja  | srednja     |

|                              |                             |                              |                        |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|
| Mogućnost animiranja         | visoka                      | niska                        | visoka                 |
| Vrijeme renderiranja         | kratko                      | srednje                      | srednje                |
| Utjecaj razlučivosti         | visok                       | niski                        | niski                  |
| Mogućnost povezivanja modela | visoka                      | niska                        | visoka                 |
| Preferirani objekti          | kruti objekti oštrih kutova | zaobljeni i organski objekti | kombinacija spomenutog |

## 4. ZAKLJUČAK

Tržišni zahtjevi postavljeni računalnoj grafici omogućili su razvoj alata za 3D vizualizaciju, modeliranje i animiranje stvarnih ili imaginarnih objekata. Ovisno o traženom rezultatu, korisnik može birati metode i tehnike 3D modeliranja s obzirom na vrijeme i kvalitetu finalnog 3D proizvoda. Svaka tehnika ima svoje prednosti i nedostatke te sam odabir tehnike ne utječe na vršnoću modela. Modeliranje krivuljama preferira se kod organskih objekata zbog glatkoće i Bezierove definicije gibanja između točaka, dok je poligonalno modeliranje usmjeren krućim objektima čvrste geometrije. Nazivi algoritama i funkcija u 3D alatima variraju zbog zatvorenosti i konkurentnosti samih sustava, ali logika koja se izvodi na nižoj razini od korisničke ostaje ista. Prelazak iz jedne tehnike u drugu lako je moguć bez gubitaka informacija o modelu. Poželjno je osigurati završni proizvod u jedinstvenom obliku zbog dalnjeg korištenja i mogućnosti manipulacije.

## 5. LITERATURA

**Asokan S.**, 3D Modeling A to Z – from concepts to techniques, raspoloživo na:  
<http://www.sajuonline.com/Pages/Articles/technical/grap-hics/3d-modeling-a-z/3d-modeling-A-Z-page1.php>

**McGregor N.**, What is 3D Polygon Modeling, raspoloživo na:  
[http://computersoftware.suite101.com/article.cfm/what\\_is\\_3d\\_polygon\\_modeling](http://computersoftware.suite101.com/article.cfm/what_is_3d_polygon_modeling)

**Bentley C.**, Rendering Cubic Bezier Patches, raspoloživo na:  
[http://web.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/surface/bez\\_surf.html](http://web.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/surface/bez_surf.html)

**Altmann M.**, About NURBS, raspoloživo na:  
<http://web.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/nurbs.html>

**Keller E.**, Polygon & Subdivision Surface Modeling in Maya: The Mouse Embryo, raspoloživo na:  
[www.molecularmovies.com/images/pdf.../MouseEmbryoModeling.pdf](http://www.molecularmovies.com/images/pdf.../MouseEmbryoModeling.pdf)

# UTJECAJ LINIJATURE RASTERA NA PRIRAST RASTERTONSKIH VRIJEDNOSTI U FLEKSOTISKU

**Valdec D.<sup>1</sup>, Zjakić I.<sup>2</sup>, Klopotan I.<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska**

**<sup>2</sup>Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska**

**<sup>3</sup>Finesa d.o.o., Varaždin, Hrvatska**

**Sažetak:** Fleksotisak je posljednjih godina u određenim poslovima dostigao vrsnu reprodukciju u offsetnom tisku. Prije svega to je zasluga razvoja i primjene novih tehnologija izrade flekso fotopolimernog klišea. Smanjuje se minimalna veličina rasterskog elementa koji se održava na klišeu. Stoga se proširuje reprodukcija i raspon najsvjetlijih tonova. Uvjet za povećanje kvalitete tiska bio je i povećanje linijature rastera.

Jedan od najvažnijih parametara vrsnoće tiska je definiranje prirasta RTV-a koji se mora uskladiti s postojećim standardima. U ovom radu bit će prikazan utjecaj linijature rastera i utjecaj tiskovne podloge na prirast RTV-a. Pomoću denzitometrijskih metoda izmjerit će se prirast RTV-a na otiscima tri različite linijature rastera (133lpi, 150lpi i 175lpi). Na temelju dobivenih rezultata izraditi će se krivulje prirasta te utvrditi i preporučiti linijaturu rastera u odnosu na vrstu tiskovne podloge.

**Ključne riječi:** fleksotisak, prirast RTV, linijatura rastera, fotopolimerni kliše

**Abstract:** In the last few years, the quality of reproduction in flexography has leveled with the quality in offset. Primarily, the credit goes to the development and application of new technologies in making flexo photopolymer clichés. The minimum size of screen element that lasts on cliché is becoming smaller. Thus the reproduction of the lightest tones and the tone value itself increase. The condition for making the printing quality higher was enlargement of plate line screen, too.

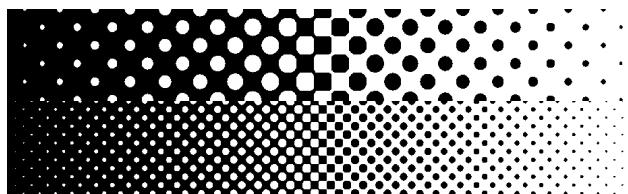
One of the most important parameters of printing quality is defining the increase of TVI, which has to be synchronized with current standards. This paper analyses the influence of plate line screen and printing base on TVI. By using methods of densitometry, the TVI is measured on prints with three different plate line screens (133lpi, 150lpi and 175lpi). Based on the obtained results, the increase curve is made and the plate line screen is recommended in relation to the type of printing base.

**Key words:** flexography, dot gain, TVI - tone value increase, plate line screen, photopolymer cliché

## 1. UVOD

Kvaliteta i vjernost rasterske reprodukcije u suvremenoj grafičkoj tehnologiji vezana je prije svega uz dobro reproduciranje rasterskih elemenata. Za vrijeme proizvodnog procesa dolazi do promjene u veličini rasterskog elementa koja može rezultirati pomacima u tonu i obojenju. Postoje različiti faktori koji utječu na prijenos rastertonskih vrijednosti i mogu uzrokovati deformaciju rasterskog elementa. Najjednostavniji način kontrole prijenosa je mjerjenje prirasta RTV-a na mjernim poljima testnog otiska. Prirast rasterskog elementa neizbjegljiva je pojava kod tiska koja se nastoji kompenzirati i standardizirati.

Promjena linijature rastera jako utječe na prirast rasterskog elementa, što će biti objašnjeno u ovom istraživanju. S obzirom na poznatu činjenicu da veća linijatura uzrokuje i veći prirast RTV-a, pomoću mjeranja će se utvrditi koje su granične vrijednosti prirasta RTV-a kod različitih tiskovnih podloga. Ova saznanja omogućit će određivanje pravilne linijature u pripremi poslova kako bi se prirast RTV-a održao u granicama postojećih standarda. [4]



Slika 1. Prijelazni raster od 100% do 0% reproduciran s dvije različite linijature [2]

## 2. TEORETSKI DIO

Fleksotisak je tehnika tiska koja najčešće koristi euclidian i okrugli oblik rasterskog elementa. Zato će se u dalnjem tekstu koristiti izraz rasterska točkica. [2] Povećanje stvarne pokrivenosti  $F_D$  u odnosu na teorijsku pokrivenost  $F_F$  naziva se prirast rasterskih elemenata (eng. Dot gain). Noviji naziv je povećanje rastertonske vrijednosti (eng. Tone Value Increase -TVI). [3]

Može se proračunati pomoću sljedeće formule:

$$DG (\%) = F_D (\%) - F_F (\%)$$

DG – prirast rastertonske vrijednosti

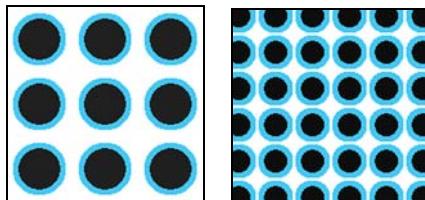
$F_D$  – stvarna pokrivenost (otisak)

$F_F$  – teorijska pokrivenost (original)

Obično se koristi jedna vrijednost kada je riječ o prirastu, a to je onda maksimalni prirast u tisku. Da bi dobro prezentirali karakteristike prirasta RTV-a u tiskovnom sistemu, moramo prikazati krivulje prirasta za svaku osnovnu boju tiska.

S obzirom na dosadašnja istraživanja može se reći da se povećanjem rastertonske vrijednosti povećava i prirast RTV-a. Opseg kod 50 % rasterske točke je najveći, stoga se očekuje da će i prirast rasterske točkice biti najveći. Dalnjim povećanjem vrijednosti RTV-a prema 100% prirast RTV-a se smanjuje.

Veće linijature rastera imaju više točkica na istom području u odnosu na manje linijature (slika 2.). Povećanjem broja točkica povećava se i prirast RTV-a zbog toga jer je sveukupni opseg rasterskih točkica veći.



Slika 2. Prirast RTV-a za 40%-tnu veličinu rasterske točkice kod dvije različite linijature rastera

### 3. EKSPERIMENTALNO

Zadatak eksperimentalnog dijela je ispitivanje utjecaja različite linijature fotopolimerne ploče (fotopolimerni kliše) na prirast rastertonskih vrijednosti. Uzorci za ispitivanje su otisnuti na tri vrste materijala:

- prenazani samoljepivi papir za etikete: HERMA extracoat (242) 80 g/m<sup>2</sup>, sjaj 30%, prozirnost 86%
- neprenazani samoljepivi papir za etikete: HERMA white (601) 72 g/m<sup>2</sup>, prozirnost 83%
- polipropilenska OPP folija: Treofan DECOR – LWD 38 µm, sjaj 65%, prozirnost 82%

#### 3.1. Metodologija

Prvo se pripremi testna forma za ispitivanje koja sadrži polja s vrijednostima rastera u koraku od 10%. Također su dodana polja za ispitivanje minimalne veličina teksta i minimalne debljine linija u pozitivu i u negativu. Sljedeći korak je izrada tiskovne forme, odnosno flekso fotopolimernog klišea s tri različite linijature rastera. Za ovaj eksperiment odabrane su tri najčešće linijature koje se koriste u fleksotisku, a svojom kvalitetom mogu konkurrirati offsetnom tisku. Testna forma sastoji se od tri istovjetna elementa koji su umnoženi po širini, a svaka od njih ima različitu linijaturu rastera, a to su 133lpi, 150lpi i 175lpi.

Testna forma je otisnuta tehnikom fleksotiska u definiranim uvjetima tiska samo u cijan boji, što je dovoljno da se provede zamišljeno istraživanje. Mjerena

se provode pomoću refleksionog denzitometra X-Rite 508. Rezultati mjerjenja bit će temelj za određivanje granične vrijednosti prirasta RTV-a za tri različite vrste tiskovne podloge. [6]



Slika 3. Dio otiska testne forme s prikazanim elementima za mjernu evaluaciju

Specifikacije tiskovne forme i uvjeti tiska:

- Flexo tiskovni stroj: Nilpeter FB4200
- Vrsta bojila: UV flexo bojila
- Širina role za tisk: 330mm
- Dužina otiska: 304,8 mm
- Vrsta rastera: konvencionalni AM, Euclidean oblik rasterskog elementa
- Debljina klišea: 1,14 mm
- Linijatura rastera: 133 lpi, 150lpi, 170lpi
- Linijatura anilox valjka: 405lpi
- Volumen čašica aniloxa: 3,1BCM

### 4. REZULTATI I RASPRAVA

Pojedinačni otisci iz serije tiska mogu se vrednovati neposredno nakon tiska jer se UV bojilo brzo osuši djelovanjem UV zračenja odgovarajuće valne duljine. Pomoću uređaja za mjerjenje, na određenim mernim poljima mjeri se karakteristike boja koje su relevantne za ovo istraživanje.

#### 4.1. Krivulja realne reprodukcije

Krivulja reprodukcije tonova prikazuje odnos RTV originala definiranih u digitalnom formatu i RTV izmjerjenih na otisku.

Tabela 1. RTV vrijednosti za prenazani papir

PRENAZANI - LINIJATURA / RTV OTISKA (%)

|         | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 133 lpi | 0 | 21 | 34 | 45 | 56 | 65 | 72 | 80 | 88 | 95 | 100 |
| 150 lpi | 0 | 24 | 37 | 48 | 58 | 69 | 76 | 83 | 89 | 96 | 100 |
| 175 lpi | 0 | 26 | 39 | 51 | 61 | 72 | 77 | 83 | 91 | 97 | 100 |

Tabela 2. RTV vrijednosti za neprenazani papir

NEPRENAZANI - LINIJATURA / RTV OTISKA (%)

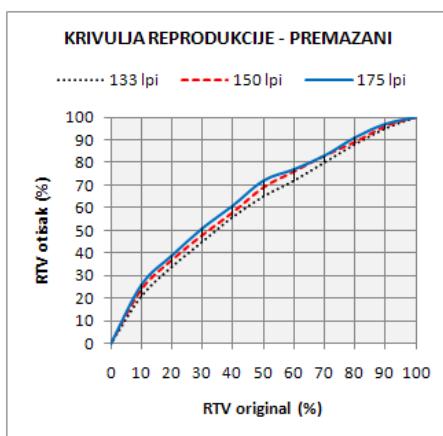
|         | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 133 lpi | 0 | 25 | 39 | 52 | 63 | 71 | 77 | 82 | 90 | 95 | 100 |
| 150 lpi | 0 | 28 | 43 | 56 | 66 | 74 | 80 | 86 | 92 | 96 | 100 |
| 175 lpi | 0 | 30 | 45 | 58 | 68 | 75 | 81 | 87 | 93 | 97 | 100 |

Tabela 3. RTV vrijednosti za polipropilensku foliju

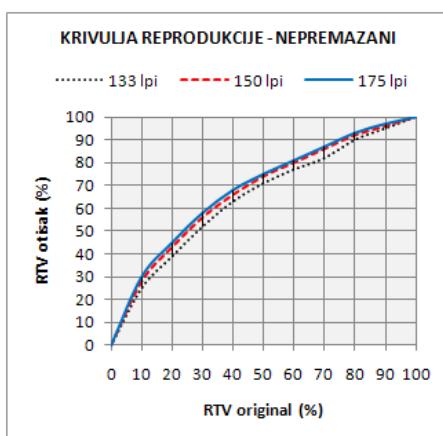
FILM - LINIJATURA / RTV OTISKA (%)

|         | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 133 lpi | 0 | 18 | 31 | 46 | 56 | 64 | 73 | 81 | 87 | 93 | 100 |
| 150 lpi | 0 | 22 | 34 | 48 | 59 | 68 | 77 | 84 | 89 | 95 | 100 |
| 175 lpi | 0 | 24 | 37 | 49 | 61 | 71 | 79 | 84 | 91 | 96 | 100 |

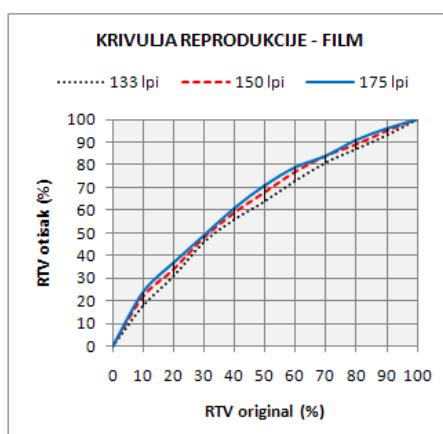
Na temelju izmjerena vrijednosti, konstruirane su krivulje stvarne reprodukcije. Krivulje reprodukcije za tri vrste tiskovne podloge vide se na slikama 3, 4 i 5, a one prikazuju karakteristike tiska u definiranim uvjetima. Idealna krivulja reprodukcije bila bi pravac- Zapravo, što krivulja više odstupa od tih vrijednosti, otisak je tamniji. Najveća odstupanja od idealne krivulje su nastala primjenom većih linijatura rastera i kod tiskovne podloge grube površine, tj. kod nepremazanih materijala.



Slika 4. Krivulje stvarne reprodukcije za premazani samoljepivi papir (na temelju podataka iz tabele 1.)



Slika 5. Krivulje stvarne reprodukcije za nepremazani samoljepivi papir (na temelju podataka iz tabele 2.)



Slika 6. Krivulje stvarne reprodukcije za polipropilensku foliju (na temelju podataka iz tabele 3.)

## 4.2. Krivulja prirasta RTV-a

Tabela 4. Vrijednosti prirasta RTV-a za premazani papir  
PREMAZANI - LINIJATURA / PRIRAST RTV (%)

|         | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 133 lpi | 0 | 11 | 14 | 15 | 16 | 15 | 12 | 10 | 8  | 5  | 0   |
| 150 lpi | 0 | 14 | 17 | 18 | 18 | 19 | 16 | 13 | 9  | 6  | 0   |
| 175 lpi | 0 | 16 | 19 | 21 | 21 | 22 | 17 | 13 | 11 | 7  | 0   |

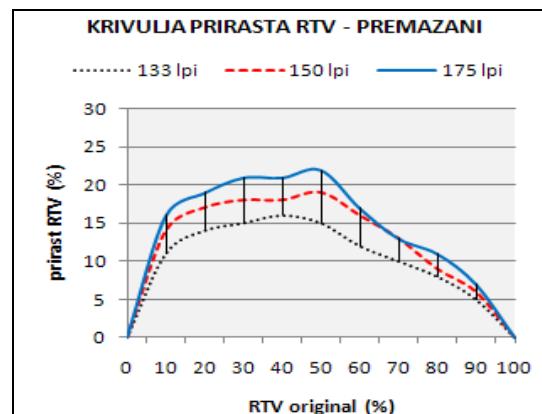
Tabela 5. Vrijednosti prirasta RTV-a za nepremazani papir  
NEPREMAZANI - LINIJATURA / PRIRAST RTV (%)

|         | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 133 lpi | 0 | 15 | 19 | 22 | 23 | 21 | 17 | 12 | 10 | 5  | 0   |
| 150 lpi | 0 | 18 | 23 | 26 | 26 | 24 | 20 | 16 | 12 | 6  | 0   |
| 175 lpi | 0 | 20 | 25 | 28 | 28 | 25 | 21 | 17 | 13 | 7  | 0   |

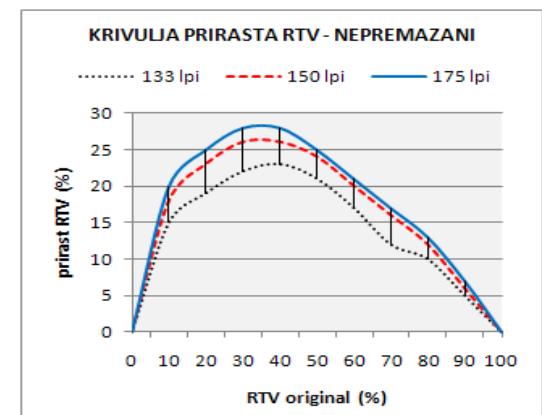
Tabela 6. Vrijednosti prirasta RTV-a za OPP foliju  
FILM - LINIJATURA / PRIRAST RTV (%)

|         | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 133 lpi | 0 | 8  | 11 | 16 | 16 | 14 | 13 | 11 | 7  | 3  | 0   |
| 150 lpi | 0 | 12 | 14 | 18 | 19 | 18 | 17 | 14 | 9  | 5  | 0   |
| 175 lpi | 0 | 14 | 17 | 19 | 21 | 21 | 19 | 14 | 11 | 6  | 0   |

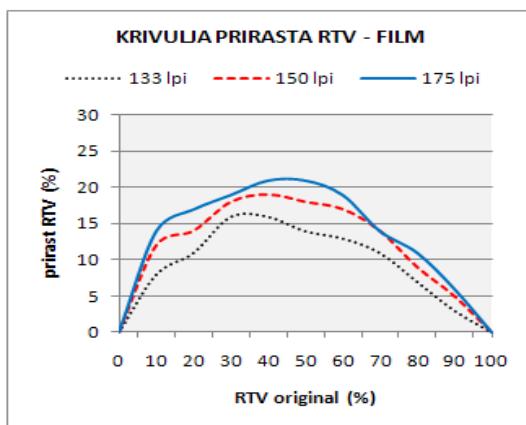
Na temelju izmjerena vrijednosti, konstruirane su krivulje prirasta RTV-a za sve tri linijature tiska (slike 7, 8 i 9). Vrijednosti prirasta RTV-a izmjerene na otisku uspoređuju se s vrijednostima definiranim standardom ISO 12647-6:2006 kako bi se utvrdilo odstupanje.



Slika 7. Krivulje prirasta RTV-a za premazani samoljepivi papir (na temelju podataka iz tabele 4.)



Slika 8. Krivulje prirasta RTV-a za nepremazani samoljepivi papir (na temelju podataka iz tabele 5.)



Slika 9. Krivulje prirasta RTV-a za polipropilensku foliju (na temelju podataka iz tabele 6.)

Kao što je i bilo pretpostavljeno, prirast RTV-a kod svih vrsta tiskovnih podloga je najveći kod linijature od 175lpi, zatim kod 150lpi, a najmanji je kod 133lpi. Prirast RTV-a je najveći kod nepremazanih materijala i smanjuje se kod premazanih materijala te kod folija. Krivulje prirasta RTV-a su pomaknute neznatno ulijevo, što je i karakteristika fleksotiska u odnosu na offsetni tisak. Najveći prirast RTV-a izmjerен je na polju od 40%. Na temelju graničnih vrijednosti prirasta RTV-a definiranih standardom ISO 12647-6, utvrđeno je da je prirast RTV-a u tisku prihvativ kod premazanog papira i OPP folije kod svih definiranih linijatura, te kod nepremazanog papira kod 133lpi. Prirast RTV-a je iznad dopuštenih vrijednosti kod nepremazanog papira kod 150lpi te kod 175lpi. Stoga se u ovim slučajevima mora primjeniti kompenzacijnska krivulja prirasta. [4]

Na osnovu rezultata mjerjenja i analize može se utvrditi koja je linijatura rastera optimalna za određene vrste tiskovne podloge kod definiranih uvjeta tiska.

## 5. ZAKLJUČAK

Fleksotisak je tehnika tiska koja omogućava tisak na različitim tiskovnim podlogama. Međutim, uvjete tiska treba prilagoditi tiskovnoj podlozi kako bi se kontrolirao prirast rasterskog elementa i kako bi otisak bio dosljedan i ponovljiv. Osnovni preduvjet vrsnog tiska je prilagoditi linijaturu rastera tiskovnoj podlozi, što je i bio temelj ovog istraživanja.

Prirast RTV-a je dobra ili loša pojava. To je problem koji se gotovo uvijek događa u tisku i može se riješiti tako da prvo ustanovimo stvarni prirast RTV-a, a zatim se određenim metodama predvodi i smanji prije i u toku tiska.

Na temelju analize istraživanja, može se reći da relativno mali ukupni prirast rastertonskih vrijednosti možemo dobiti korištenjem malih linijatura rastera, odnosno rasterski elementi su veći pa sam prirast nema velik utjecaj na ukupan doživljaj. Također se može reći da je prirast RTV-a relativno mali kod premazanih papira i folija. Korištenjem malih linijatura, kvaliteta reprodukcije pada pa se u ekstremnim slučajevima golim okom može vidjeti rasterska točkica.

Relativno veliki ukupni prirast rastertonskih vrijednosti nastaje kod korištenja rastera visoke linijature i na

nepremazanim, odnosno jako upojnim tiskovnim podlogama. Za ekstremno visoki prirast RTV-a smatra se povećanje rastertonske vrijednosti za 30% mjereno na polju od 50% RTV-a, a to je ujedno i granična vrijednost prirasta nekog reproducacijskog procesa.

Na osnovu rezultata istraživanja može se definirati i preporučiti linijatura tiska u odnosu na tiskovnu podlogu. Prema tome slijedi:

- za nepremazani papir: 133 lpi
- za premazani papir: 150 lpi i 175 lpi
- za OPP foliju: 150 lpi i 175 lpi

Korištenjem karti boja za njene mjerljive karakteristike, može se na jednostavan način određeni reproducacijski proces kontrolirati kako bismo dobili ujednačenu i ponovljivu kvalitetu otiska. Ljudski faktor često utječe na ostvarene rezultate, pa je važna stalna edukacija kadrova i adekvatna primjena određenih normi kvalitete. Ovo istraživanje je samo prvi korak u kontroliranju prirasta RTV-a. Za potpunu kontrolu potrebno je izraditi kompenzacijnske krivulje prirasta prema ISO specifikaciji.

## 6. LITERATURA

- [1] Creo Inc. (2005), *Advanced Prepress Technologies for Flexographic Printing*, 3700 Gilmore Way Burnaby, B.C., Canada.
- [2] Heidelberg, *An introduction to screening technology*, Heidelberger Druckmaschinen AG, 2002.
- [3] Heidelberg, *Colour & Quality*, Heidelberger Druckmaschinen AG, 1999.
- [4] International standard ISO 12647-6 (2006), *Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proofs and production prints — Part 6:Flexographic printing*.
- [5] Valdec D., Vusić D., Tomiša M., (2008), *Advanced Prepress Technologies for Flexographic Printing*, 12<sup>th</sup> International conference of printing, design and graphic communications Blaž Baromić, Split, 197-199.
- [6] Wimonrat Boonprasit, (2006), *A Study of Producing Smoother Gradients in the Flexographic Process on Oriented Polypropylene with UV Ink by Varying Screening Techniques, Gradient Lengths and the Surrounding*, School of Print Media in the College of Imaging Arts and Sciences of the Rochester Institute of Technology.

# DIGITALNI FREKVENCETAR

Šumiga I.<sup>1</sup>, Behin G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** U članku su u uvodnom dijelu opisani osnovni principi rada digitalnih frekvencetara i digitalnih mjeraca periode, te su spomenute tehničke karakteristike komercijalnih digitalnih frekvencetara. U drugom dijelu članka opisan je princip rada realiziranog digitalnog frekvencetra, upute za njegovo sastavljanje i rezultati mjerena.

**Ključne riječi:** mjerjenje frekvencije, točnost, logički sklopoli, vremenska baza, brojenje impulsa, 7-segmentni pokazivač

**Abstract:** In the introductory part of this paper, the basic functioning principles of digital frequency meters and digital period meters are described, and technical characteristics of commercial digital frequency meters are mentioned. In the second part of the paper, the functioning principle of an implemented digital frequency meter is described, together with its assembly instructions and measuring results.

**Key words:** measuring the frequency, precision, logical sets, time base, impulse counting, seven-segment indicator

## 1. UVOD

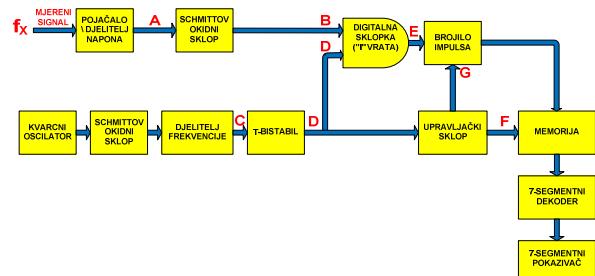
Digitalni frekvencetari su se počeli koristiti nakon digitalnih integriranih sklopova. Zbog svoje visoke točnosti, do danas su gotovo iz upotrebe potisnuli analogne frekvencmetre i mjerne mostove za mjerjenje frekvencije. Komercijalni digitalni frekvencetari su prilično skupi, pa je zbog toga u ovom članku opisan princip njihovog rada i dane su upute za sastavljanje jeftinog digitalnog frekvencetra, čije je mjerne područje od 1Hz do 10 MHz.

## 2. OSNOVNI PRINCIPI RADA DIGITALNIH FREKVENCETARA

Digitalni frekvencetar radi kao brojač impulsa dobivenih iz signala čiju frekvenciju mjeri, a broji ih u nekom zadanom vremenu (najčešće 1s ili 0,1s), pa mu i otuda engleski naziv frequency counter.

### 2.1. Princip rada digitalnih frekvencetara

Na slici 1. prikazana je principijelna blok shema digitalnog frekvencetra.



Slika 1. Principijelna blok shema digitalnog frekvencetra

Pojačalo i djelitelj napona na ulazu digitalnog frekvencetra služe za prilagođavanje veličine mjerene signalu u naponsko područje u kojem radi Shmittov okidni sklop. Prilagođeni mjereni signal bilo kojeg valnog oblika se Shmittovim okidnim sklopom pretvara u digitalni signal, tj. u slijed impulsa čija je frekvencija jednaka frekvenciji mjerene signalu. Ti impulsi se dovode na prvi ulaz digitalne sklopke. Na drugi ulaz digitalne sklopke se dovodi signal iz generatora vremenske baze. Generator vremenske baze se sastoji od kvarčnog oscilatora, Shmittovog okidnog sklopa, djelitelja frekvencije i T-bistabila. Kvarčni oscilator u generatoru vremenske baze služi kao izvor signala vrlo stabilne frekvencije. Taj njegov sinusni izlazni signal se ostalim sklopovima u generatoru vremenske baze oblikuje i dijeli mu se frekvencija tako da se dobije signal vremenske baze, čija širina impulsa traje 1s ili neki decimalni dio od 1s.

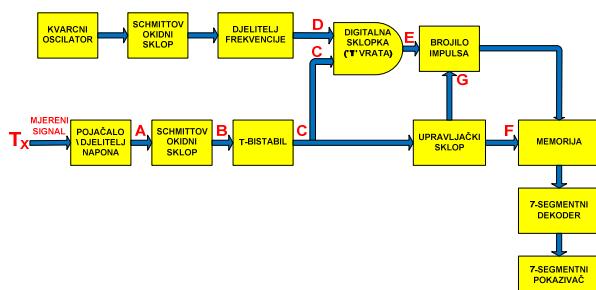
Signal vremenske baze upravlja otvaranjem i zatvaranjem digitalne sklopke. Dok se signal vremenske baze nalazi u logičkoj jedinici, digitalna sklopka propušta impulse dobivene iz mjerene signalu na ulaz brojila impulsa. Prema tome, vrijeme u kojem je digitalna sklopka otvorena i za vrijeme u kojem se broje impuls je konstanta i predstavlja vremenu bazu digitalnog frekvencetra. Ako vremenska baza traje 1s, onda je broj impulsu koje brojilo izbroji u tom vremenu vrijednost mjerene frekvencije izražena u Hz. Upravljački sklop služi za generiranje upravljačkih signala koji su potrebni za spremanje vrijednosti brojila u memoriju nakon prestanka brojenja, te za resetiranje brojila tako da ono u svakom mjernom ciklusu broji ispočetka. Vrijednost brojila koja je pohranjena u memoriju predstavlja vrijednost mjerene frekvencije i proslijeđuje se u 7-segmentni dekoder koji je prikazuje na 7-segmentnom pokazivaču.

Brojilo impulsa može detektirati samo cijele impulse, a osim toga ulazni impulsi nisu sinkronizirani s početkom brojenja kojeg predstavlja rastući brid signala vremenske baze. Zbog ta dva razloga, brojilo impulsa može pogriješiti najviše za 1 impuls. Ta pogreška je pogreška kvantizacije. Pogreška kvantizacije raste smanjenjem mjerene frekvencije, jer kod nižih frekvencija unutar vremenske baze brojilo izbroji manje impulsa. Ta pogreška od jednog impulsa ima sve veći postotni udio u ukupnoj pogrešci digitalnog frekvenometra.

Zbog toga je kod signala nižih frekvencija umjesto njihove frekvencije točnije mjeriti njihovu periodu.

## 2.2. Princip rada digitalnih mjerača periode

Na slici 2. prikazana je principijelna blok shema digitalnog mjerača periode.



Slika 2. Principijelna blok shema digitalnog mjerača periode

Iz slike 2. se vidi da digitalni mjerač frekvencije i digitalni mjerač periode imaju vrlo sličan princip rada. Glavna razlika je u tome što se kod digitalnog mjerača periode impulsi za brojenje dobivaju iz kvarcnog oscilatora. Zbog toga su ti impulsi za brojenje vrlo stabilne frekvencije i predstavljaju vremensku bazu digitalnog mjerača periode. Iz mjerene signala se dobiva signal koji upravlja otvaranjem i zatvaranjem digitalne sklopke. Kod digitalnog mjerača periode je vrijeme u kojem traje brojenje impulsa varijabilno i ono traje točno koliko i perioda mjerene signala.

Iz princka rada digitalnog mjerača periode se vidi da mu se točnost povećava smanjenjem frekvencije mjerene signala jer signali nižih frekvencija imaju duže periode, pa se za vrijeme dužih perioda izbroji više impulsa iz generatora vremenske baze. Zato pogreška kvantizacije ima sve manji udio u ukupnoj pogrešci digitalnog mjerača periode.

Digitalni mjerač periode u praksi obično nije izведен kao zasebni instrument. Komercijalni digitalni frekvenometri najčešće uz mjerene frekvencije imaju i funkciju mjerena perioda.

## 3. TEHNIČKE SPECIFIKACIJE DIGITALNIH FREKVENCETARA

Tehničke specifikacije digitalnog frekvenometra opisuju njegove zagarantirane tehničke karakteristike u nekom određenom temperaturnom rasponu radne okoline.

Tehničke specifikacije moraju biti tehnički precizne, primjenjive u praksi i provjerljive [3]. Tehničke specifikacije digitalnih frekvenometara su obično podijeljene na ulazne karakteristike, karakteristike načina rada i opće karakteristike.

### 3.1. Ulazne karakteristike digitalnih frekvenometara

Ulazne karakteristike digitalnih frekvenometara su:

1. Mjerno područje (eng. Range)
2. Ulazna impedancija
3. Osjetljivost (eng. Sensitivity)
4. Radni raspon mjerene signala (eng. Signal Operating Range)
5. Dinamički raspon mjerene signala (eng. Dynamic Range)
6. Okidni nivo (eng. Trigger Level)
7. Nivo kvara (eng. Damage Level)

### 3.2. Karakteristike načina rada digitalnih frekvenometara

Karakteristike načina rada digitalnih frekvenometara:

1. Mjerni opseg (eng. Range)
2. Najmanje značajna znamenka prikaza (eng. LSD Displayed)
3. Rezolucija (eng. Resolution)
4. Točnost (eng. Accuracy)

### 3.3. Opće karakteristike

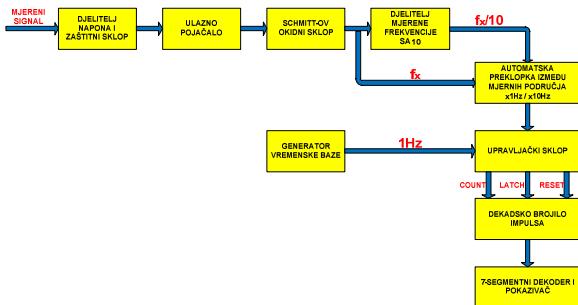
Opće karakteristike digitalnog frekvenometra opisuju izvedbu vremenske baze i osobitosti instrumenta kao što su vanjski ulazi i izlazi (npr. oznake, signalizacija LED diodama, zaštita na mernim ulazima, ulazi za vanjsku vremensku bazu i izlazi), ugrađen vlastiti kalibrator, brzina uzorkovanja i odabir vremenske baze.

## 4. PRINCIP RADA REALIZIRANOG DIGITALNOG FREKVENOMETRA

Realizirani digitalni frekvenometar ima sljedeće karakteristike:

- mjerene frekvencije signala u rasponu od 1Hz do 10MHz
- dva merna područja: mjerene frekvencije od 1Hz do 1MHz s rezolucijom od 1Hz i mjerene frekvencije od 1MHz do 10MHz s rezolucijom od 10Hz
- prikaz rezultata sa 6 znamenki
- automatska elektronička preklopka za odabir mernog područja
- mjerene frekvencije signala najmanjom amplitudom oko 0,2V
- zaštita od prevelikog napona mjerene signala
- napon napajanja 230V / 50Hz

Na temelju tih zadanih karakteristika, napravljena je blok shema digitalnog frekvenometra prikazana na slici 3.



Slika 3. Blok shema izrađenog digitalnog frekvencmetra

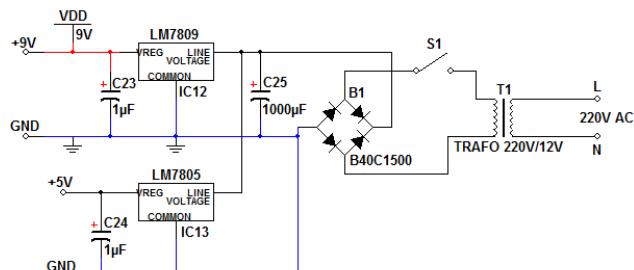
Na blok shemi izrađenog digitalnog frekvencmeta prikazano je od kojih se osnovnih elektroničkih sklopova (logičkih cijelina) on sastoji, kakva je njihova funkcija u radu instrumenta, tok signala kroz sklopove instrumenta i označeni su signali koji međusobno povezuju te sklopove u funkcionalnu cijelinu.

Na temelju blok sheme realiziranog frekvencmeta izrađena je njegova električna shema.

Način rada realiziranog digitalnog frekvencmeta će biti objašnjen zasebnim opisivanjem načina rada svakog sastavnog elektroničkog sklopa realiziranog digitalnog frekvencmeta.

#### 4.1. Napajanje

Električna shema napajanja izrađenog digitalnog frekvencmeta prikazana je na slici 4.

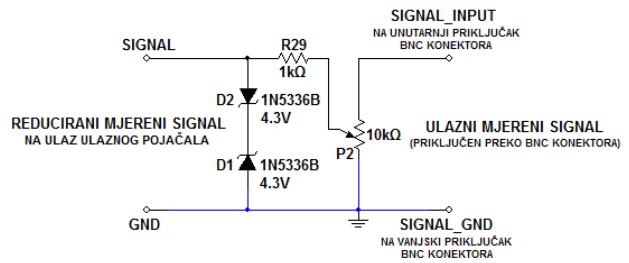


Slika 4. Napajanje

Digitalni frekvencmetar se napaja stabiliziranim istosmjernim naponom +9V. Za dobivanje stabiliziranog napona +9V služi integrirani regulator napona LM7809. Osim napona +9V, napajanje na svom izlazu daje i stabilizirani napon +5V. Naponom od +5V se ne napaja ni jedan sklop digitalnog frekvencmeta. On je predviđen za napajanje preskalera koji bi mogao biti ugrađen u kućište digitalnog frekvencmeta. Za dobivanje stabiliziranog napona +5V služi integrirani regulator napona LM7805.

#### 4.2. Djejitelj napona i zaštitni sklop

Na slici 5. prikazana je električna shema djejitelja napona i zaštitnog sklopa.



Slika 5. Djejitelj napona i zaštitni sklop

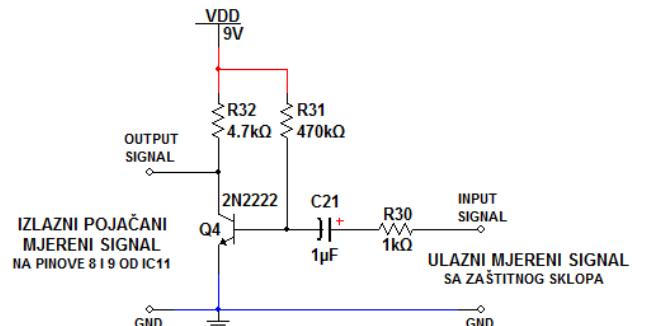
Ulagani mjereni signal dovodi se preko BNC konektora na fiksne izvore potenciometra P2. Potenciometar P2 služi kao djejitelj napona i njime se po potrebi može smanjiti preveliki ulagani signal.

Sa klizača potenciometra P2 mjereni signal se dovodi na zaštitni sklop, kojeg čine otpornik R29 i zener diode D1 i D2. Zaštitni sklop ima ulogu da ograniči amplitudu mjerene signala jer bi u protivnom preveliki ulagani signal mogao oštetići digitalni frekvencmetar. Zaštitni sklop pomoću zener dioda ograničava amplitudu mjerene signala na +5V i -5V.

S izlaza zaštitnog sklopa, reducirani mjereni signal se dovodi na ulaz ulaznog pojačala.

#### 4.3. Ulazno pojačalo

Električna shema ulaznog pojačala prikazana je na slici 6.



Slika 6. Ulazno pojačalo

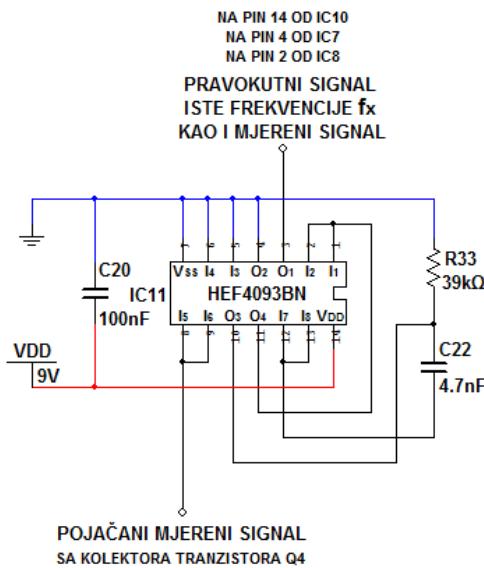
Ulazno pojačalo ima ulogu da pojača mjereni signal dovoljno da on prelazi obje okidne razine Shmittovog okidnog sklopa, odnosno da Shmittov okidni sklop takav pojačani signal može pretvoriti u pravokutne impulse (digitalni oblik).

Ulazno pojačalo je izvedeno kao pojačalo u spoju zajedničkog emitera.

S izlaza ulaznog pojačala, pojačani mjereni signal dolazi na ulaz Shmittovog okidnog sklopa.

#### 4.4. Schmittov okidni sklop

Električna shema Shmittovog okidnog sklopa prikazana je na slici 7.



Slika 7. Schmittov okidni sklop

Schmittov okidni sklop pretvara ulazni mjereni signal bilo kojeg valnog oblika u pravokutne impulse, čija je frekvencija jednaka frekvenciji mjerene signala.

Glavni dio Shmittovog okidnog sklopa je integrirani krug HEF4093BN. On u sebi sadrži četiri "NI" logička vrata s dva ulaza, koja na svakom ulazu imaju Shmittov okidni sklop. U spoju na slici 7. koriste se njegova 3 "NI" vrata u kombinaciji s otpornikom R33 i C22. Razlog takvom spoju je da se neovisno o valnom obliku mjerene signala uvijek dobiva dovoljno velika širina impulsa koja je potrebna da bi ih brojilo moglo brojiti.

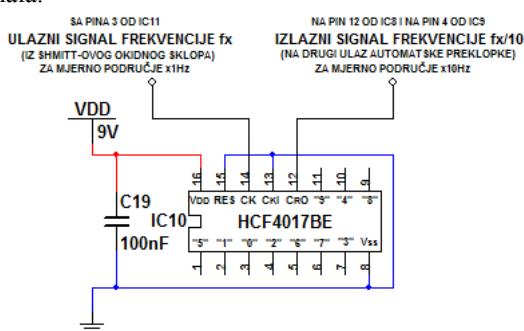
S izlaza Shmittovog okidnog sklopa pravokutni impulsi, čija je frekvencija jednaka frekvenciji mjerene signala  $f_x$ , dovode se na ulaz djelitelja mjerene frekvencije s 10 i na prvi ulaz automatske preklopke mjerog područja.

#### 4.5. Djelitelj mjerene frekvencije s 10

Za dobivanje impulsa frekvencije  $f_x/10$ , koji su potrebni za mjerne područje x10Hz, koristi se djelitelj mjerene frekvencije s 10, čija je električna shema prikazana na slici 8.

Kao djelitelj mjerene frekvencije s 10 koristi se integrirani krug HCF4017BE. On je zapravo Johnsonovo brojilo s 5 stupnjeva (sadrži 5 bistabila) koje ima 10 dekodiranih izlaza.

Signal frekvencije  $f_x/10$  dobiva se na CARRY OUTPUT izlazu (izlaz preljeva) integriranog kruga HCF4017BE. Perioda tog signala traje točno koliko 10 perioda ulaznog signala.

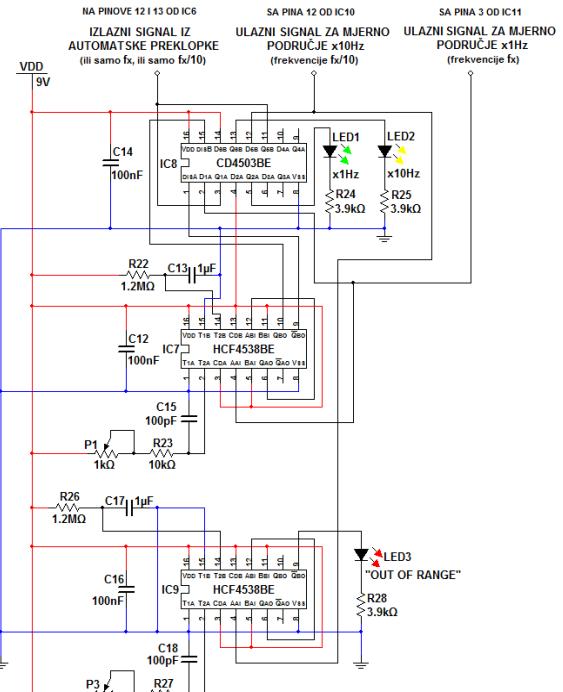


Slika 8. Djelitelj mjerene frekvencije s 10

S izlaza djelitelja mjerene frekvencije s 10, pravokutni impulsi frekvencije  $f_x/10$  dovode se na drugi ulaz automatske preklopke mjerog područja.

#### 4.6. Automatska preklopka između mjerih područja x1Hz i x10Hz

Električna shema automatske preklopke između mjerih područja x1Hz i x10Hz prikazana je na slici 9.



Slika 9. Automatska preklopka između mjerih područja x1Hz i x10Hz

U automatskoj preklopki mjerog područja su korištena dva integrirana kruga HCF4538BE i jedan integrirani krug CD4503BE.

Preklapanje iz jednog mjerog područja u drugo je izvedeno s IC7 i IC8, te njihovim vanjskim elementima. LED1 služi za indikaciju mjerog područja x1Hz, a LED2 služi za indikaciju mjerog područja x10Hz. Integrirani krug CD4503BE sadrži "buffere" s 3 stanja, pa je pomoću njih izvedena elektronička preklopka kojom upravlja integrirani krug IC7 HCF4538BE. On u sebi ima dva monostabila koji su u ovom spoju upotrijebljeni kao monostabili sa svojstvom ponovnog okidanja. Preklopna frekvencija automatske preklopke mjerog područja je namještena pomoću C15, R23 i P1, koje su vanjske komponente prvog monostabila od IC7.

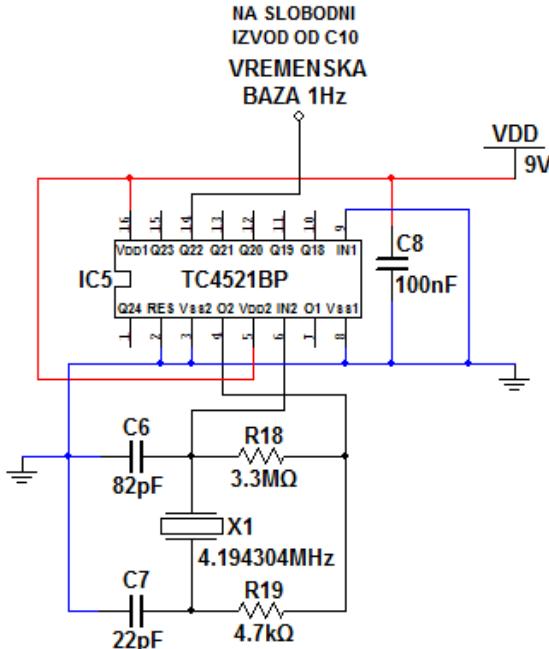
Za sklop indikatora previsoke mjerene frekvencije (iznad 10MHz) služi IC9 s pripadajućim vanjskim komponentama. LED3 služi za indikaciju previsoke mjerene frekvencije. IC9 je spojen na isti način kao i IC7. Frekvencija od 10MHz, čijim se prelaskom aktivira LED3, namještena je pomoću C18, R27 i P3 koje su vanjske komponente prvog monostabila od IC9.

S izlaza automatske preklopke mjerog područja između x1Hz i x10Hz, samo jedan od njena dva ulazna signala (signal frekvencije  $f_x$  za mjerne područje x1Hz ili signal

frekvencije  $f_x/10$  za mjerno područje x10Hz) dovodi se na jedan od ulaza upravljačkog sklopa. Na drugi ulaz upravljačkog sklopa dovodi se signal iz generatora vremenske baze.

#### 4.7. Generator vremenske baze

Električna shema generatora vremenske baze prikazana je na slici 10.



Slika 10. Generator vremenske baze

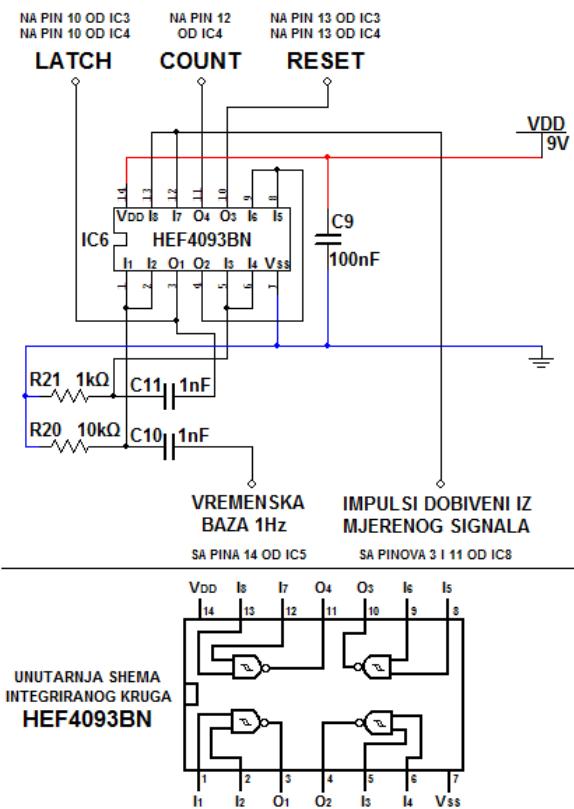
Glavni dio generatora vremenske baze je integrirani krug TC4521BP, a kondenzatori C6 i C7, otpornici R18 i R19 i kvarni kristal X1 su vanjski elementi koji su potrebni za rad unutarnjeg oscilatora u integriranom krugu TC4521BP. Integrirani krug TC4521BP je djelitelj frekvencije s 24 stupnja dijeljenja, koji se dobivaju kaskadnim spojem od 24 bistabila koji se u njemu nalaze. Frekvencija oscilatora integriranog kruga TC4521BP jednaka je nazivnoj frekvenciji kristala kvarca X1 i ona iznosi 4,194304MHz.

Generator vremenske baze na svom izlazu mora davati pravokutni signal frekvencije točno 1Hz, odnosno periodu točno 1s. Upravo zbog toga se koristi kvarni kristal nazivne frekvencije 4,194304MHz (4194304Hz), jer jedan od stupnjeva dijeljenja frekvencije integriranog kruga TC4521BP iznosi 4194304, odnosno  $2^{22}$ , i on se dobiva na njegovom izlazu Q22. Tako se dijeljenjem brojem 4194304 iz frekvencije kvarenog oscilatora od 4194304Hz na izlazu generatora vremenske baze (izlazu Q22 integriranog kruga TC4521BP) dobiju impulsi čija je frekvencija točno 1Hz (perioda 1s).

S izlaza generatora vremenske baze signal se dovodi na drugi ulaz upravljačkog sklopa.

#### 4.8. Upravljački sklop

Električna shema upravljačkog sklopa prikazana je na slici 11.



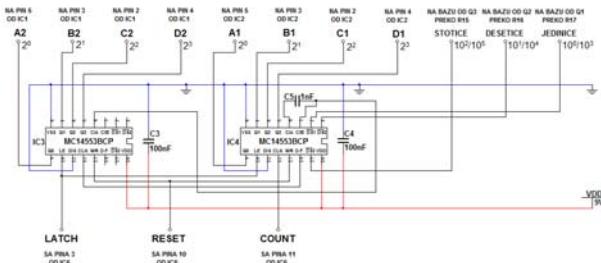
Slika 11. Upravljački sklop

Da bi brojilo impulsa brojilo impulse u vremenu od 1s (tolika je perioda signala iz generatora vremenske baze), i to brojenje ispočetka ponavljalo u sljedećoj periodi signala vremenske baze (jedna perioda signala vremenske baze ujedno čini jedan mjerni ciklus), potrebno je signal iz generatora vremenske baze i impulse za brojenje dobivene iz mjerenoj signala na brojilo impulsa dovesti preko upravljačkog sklopa. Na temelju signala vremenske baze i impulsa za brojenje dobivenih iz mjerenoj signala, upravljački sklop generira tri signala koja su potrebna za rad dekadskog brojila impulsa. To su signali: COUNT, LATCH i RESET. Signal COUNT se iz upravljačkog sklopa dovodi na ulaz za brojenje impulsa dekadskog brojila impulsa. Taj signal su zapravo impulsi dobiveni iz mjerenoj signala koji su prilagođeni brojilu impulsa. Signal LATCH služi za spremanje izbrojene vrijednosti u namijenjene registre brojila impulsa. Signal RESET služi za resetiranje dekadskog brojila impulsa, odnosno za postavljanje njegove vrijednosti na nulu, tako da u sljedećoj periodi signala vremenske baze dekadsko brojilo impulsa počinje ispočetka brojiti impulse.

Signali COUNT, LATCH i RESET koje daje upravljački sklop dovode se na odgovarajuće ulaze dekadskog brojila impulsa.

#### 4.9. Dekadsko brojilo impulsa

Električna shema dekadskog brojila impulsa prikazana je na slici 12.



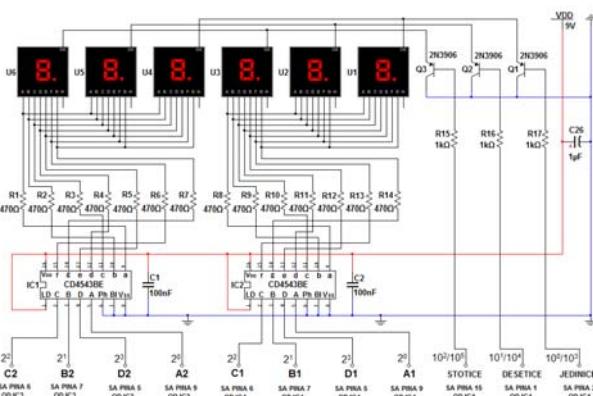
Slika 12. Dekadsko brojilo impulsa

Dekadsko brojilo impulsa sastoji se od dva kaskadno spojena integrirana kruga MC14553BCP. Integrirani krug MC14553BCP je dekadsko brojilo impulsa koji na svojim izlazima izbrojenu vrijednost prikazuje pomoću BCD koda i može maksimalno brojiti do 999. S obzirom na to da pokazivač izrađenog digitalnog frekvencmetra ima 6 znamenki i maksimalna vrijednost koja na njemu može biti prikazana iznosi 999999, za sklop dekadskog brojila impulsa koriste se dva kaskadno spojena integrirana kruga MC14553BCP. Pri tome IC3 broji svaki tisući ulazni impuls, pa je on zadužen za prikaz prve tri znamenke na pokazivaču, dok IC4 broji svaki impuls i zadužen je za prikaz druge tri znamenke na pokazivaču. Integrirani krug MC14553BCP ne može na svojem izlazu BCD kodom prikazati sve tri znamenke izmjerene vrijednosti odjednom, već samo jednu znamenku istodobno. Zbog toga integrirani krug MC14553BCP koristi multipleksiranje izlaza, pa redom i ciklički na svom izlazu prikazuje svoje "jedinice", "desetice" i "stotice". Oba integrirana kruga MC14553BCP su međusobno sinkronizirana tako da istodobno prikazuju odgovarajuće znamenke.

BCD izlazi dekadskog brojila impulsa od IC3 i IC4 dovode se na odgovarajuće ulaze 7-segmentnog dekodera. Izlazi za multipleksiranje znamenki pokazivača dovode se preko odgovarajućih otpornika na baze tranzistora Q1, Q2 i Q3.

#### 4.10. 7-segmentni dekoder i pokazivač

Na slici 13. prikazana je električna shema 7-segmentnog dekodera i pokazivača.



Slika 13. 7-segmentni dekoder i pokazivač

Za dekodiranje BCD vrijednosti koje su s izlaza dekadskog brojila impulsa dovedene na ulaz dekodera,

koriste se dva integrirana kruga CD4543BE. Integrirani krug CD4543BE je 7-segmentni dekoder koji pretvara BCD kod u 7-segmentni kod pomoću kojeg prikazuje znamenke na 7-segmentnom pokazivaču.

Svakim od ta dva dekodera upravlja odgovarajući integrirani krug dekadskog brojila impulsa (IC3 i IC4). Dekoder IC1 zadužen je za prikaz prve tri znamenke pokazivača (U6, U5 i U4), dok je dekoder IC2 zadužen za prikaz druge tri znamenke pokazivača (U3, U2 i U1). Za pokazivač instrumenta koriste se 7-segmentni pokazivači sa zajedničkom katodom.

Dekadsko brojilo impulsa preko tranzistora Q1, Q2 i Q3 upravlja multipleksiranjem pokazivača instrumenta. Prema tome se istodobno obavlja prikaz na samo dva 7-segmentna pokazivača od kojih se sastoje pokazivač instrumenta. Budući da se ta promjena aktivnih 7-segmentnih pokazivača odvija vrlo brzo, ljudsko oko zbog svoje tromosti vidi kao da su sve znamenke mjerene vrijednosti na pokazivaču instrumenta prikazane istovremeno.

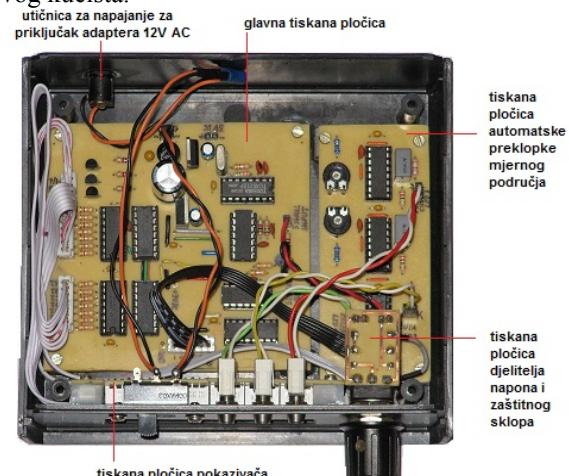
### 5. POSTUPAK IZRADE DIGITALNOG FREKVENCMETRA

Izrađeni digitalni frekvencmetar izведен je na 4 tiskane pločice, koje su međusobno povezane žicama preko odgovarajućih konektora. Digitalni frekvencmetar sastoji se od sljedećih tiskanih pločica:

- glavne tiskane pločice
- tiskane pločice pokazivača
- tiskane pločice automatske preklopke mjernog područja
- tiskane pločice djelitelja napona i zaštitnog sklopa

Tiskane pločice digitalnog frekvencmetra su jednostrane i izradene su fotopostupkom. Između pojedinih točaka na tiskanim pločicama potrebno je zalemiti žičane premosnice na mjestima gdje bi vodovi trebali prelaziti jedni iznad drugih. Nakon lemljenja premosnica, na tiskane pločice digitalnog frekvencmetra leme se elektronički elementi.

Na slici 14. prikazano je kako su tiskane pločice izrađenog digitalnog frekvencmetra razmještene unutar njegovog kućišta.



Slika 14. Raspored tiskanih pločica u kućištu digitalnog frekvencmetra



Slika 15. Izgled prednje ploče izrađenog digitalnog frekvencometra

## 6. REZULTATI MJERENJA DIGITALNIM FREKVENCOMETROM

Izrađenim digitalnim frekvencometrom izmjerene su frekvencije u rasponu od 1Hz do 2MHz. Za uspoređivanje točnosti izrađenog digitalnog frekvencometra korišten je digitalni osciloskop **TEKTRONIX TDS2014B**. Točnost mjerena frekvencije digitalnog osciloskopa **TEKTRONIX TDS2014B** iznosi  $\pm 0,01\%$ , a mjerenu frekvenciju prikazuje sa 6 znamenki.

U tablici 7.1. prikazana su maksimalna odstupanja vrijednosti frekvencije izmjerene digitalnim frekvencometrom od onih izmjerenih digitalnim osciloskopom **TEKTRONIX TDS2014B**. Svako odstupanje odnosi se na pripadajuće frekvencijsko područje.

| FREKVEVCIJSKO PODRUČJE | MAKSIMALNO ODSTUPANJE [%] |
|------------------------|---------------------------|
| 1Hz – 10Hz             | 31,796                    |
| 10Hz – 100Hz           | 6,553                     |
| 100Hz – 1kHz           | 0,251                     |
| 1kHz – 10kHz           | 0,066                     |
| 10kHz – 100kHz         | 0,017                     |
| 100kHz – 1MHz          | 0,019                     |
| 1MHz – 10MHz           | 0,022                     |

Tabela 1. Maksimalna odstupanja vrijednosti izmjerenih digitalnim frekvencometrom

Iz rezultata mjerena proizlazi da je izrađeni digitalni frekvencometar precizniji kod mjerena viših frekvencija, a točnost mu kao i svim digitalnim frekvencometrima opada sa smanjivanjem mjerene frekvencije.

Zbog njegove rezolucije koja iznosi  $\pm 1\text{Hz}$ , nije ga poželjno koristiti za mjereno vrlo niskih frekvencija.

Izrađeni digitalni frekvencometar je jako točan kod mjerena frekvencije iznad 1kHz, pa sve do 10MHz. Iako mu kod mjerena nižih frekvencija točnost opada zbog rezolucije, digitalni frekvencometar postiže i zadovoljavajuću točnost pri mjerenu frekvencijama od 100Hz do 1kHz. U tom frekvencijskom području maksimalno odstupanje iznosi 0,25%.

Opisani frekvencometar može koristiti za mjereno frekvencija većih od 100Hz.

## 7. ZAKLJUČAK

Za razliku od komercijalnih digitalnih frekvencometara čija je cijena najmanje 2000 kn, dijelovi potrebni za izradu ovakvog digitalnog frekvencometra stoe oko 300 kn. Digitalni frekvencometar pokriva relativno usko frekvencijsko područje u odnosu na puno skuplje komercijalne izvedbe.

Maksimalna frekvencija od 10MHz koju digitalni frekvencometar mjeri nije njegov nedostatak. Za njega se može izraditi odgovarajući preskaler i time mu se proširi mjerne područje na ono koje odgovara komercijalnim digitalnim frekvencometrima. Cijena dijelova za preskaler frekvencije je manja od cijene dijelova izrađenog digitalnog frekvencometra, pa je tako izrada ovog digitalnog frekvencometra i dalje isplativija nego kupnja nekog jeftinijeg komercijalnog digitalnog frekvencometra.

Zbog niske cijene i dobre točnosti, spomenuti digitalni frekvencometar može koristiti za mjereno audio-frekvencija (20Hz-20kHz) i za mjereno mrežne frekvencije. Također može poslužiti kao dodatak za mjereno frekvencije izlaznog signala starijim generatorima funkcija koji nemaju pokazivač za prikaz namještene frekvencije.

## 8. LITERATURA

- [1] Šulje, N. Elektrotehnička mjerena i instrumentacija. Zagreb, 2004.
- [2] Šantić, A.. Elektronička instrumentacija. Zagreb, 1982.
- [3] <http://www.leapsecond.com/pdf/an200-4.pdf>, ožujak 2010.
- [4] <http://members.shaw.ca/roma2/6-digit.pdf>, ožujak 2010.
- [5]<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/HEF4093BN.pdf>, ožujak 2010.
- [6][http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/320/85431\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/320/85431_DS.pdf), ožujak 2010.
- [7][http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/185/109493\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/185/109493_DS.pdf), ožujak 2010.
- [8][http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/320/85187\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/320/85187_DS.pdf), ožujak 2010.
- [9][http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/270/109616\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/270/109616_DS.pdf), ožujak 2010.
- [10]<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/toshiba/119.pdf>, ožujak 2010.
- [11]<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/b/0ftoyz1y3dkr5wciu1p1g7i6lzf.pdf>, ožujak 2010.
- [12][http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/270/109638\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/270/109638_DS.pdf), ožujak 2010.

Kontakt:

Mr. sc. Ivan Šumiga, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 098/467 761

e-mail: [ivan.sumiga@velv.hr](mailto:ivan.sumiga@velv.hr)  
[goran.behin@optinet.hr](mailto:goran.behin@optinet.hr)

# NAPRAVE ZA POKAZIVANJE LENZOVOG PRAVILA POMOĆU NEODIMIJSKOG MAGNETA

Huđek J.<sup>1</sup>, Srpak D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Smjer struje u prstenu kao i polaritet napona na priključnicama zavojnice pri promjeni magnetskog toka određen je Lenzovim pravilom. U članku je objašnjena izrada naprava za pokazivanje Lenzovog pravila koje prikazuju smjer inducirane struje i polaritet induciranog napona primjenom jakog neodimijskog magneta.

**Ključne riječi:** Lenzovo pravilo, naprava, inducirana struja, magnet, prsten

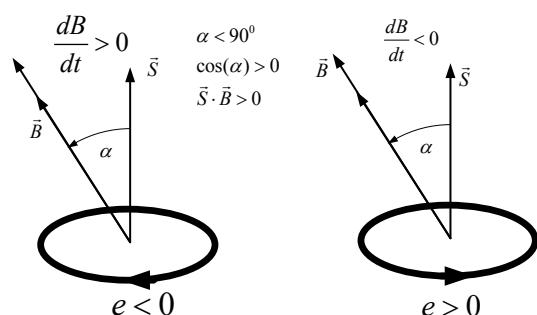
**Abstract:** The direction of current in the ring as well as the polarity of the voltage to the coil connectors when changing the magnetic flux is determined by Lenz's rule. The article explains the production of devices for indicating Lenz's rule, which clearly indicate the direction of induced current and polarity of the induced voltage by applying a strong neodymium magnet.

**Key words:** Lenz's rule, gadgets, induced current, magnet, ring

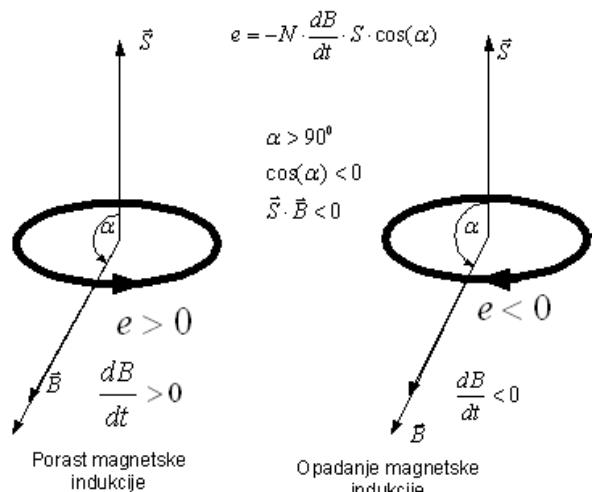
## 1. UVOD

Lenzovo pravilo je jedno od važnijih pravila u elektrotehnici, a objašnjava smjer inducirane struje i nastanak polariteta induciranog napona prilikom elektromagnetske indukcije. Pravilo glasi da je smjer inducirane struje koja je posljedica inducirane EMS u petlji uvijek takav da inducirani magnetski tok kojeg stvara ta struja nastoji spriječiti promjenu magnetskog toka, koji je uzrok inducirane EMS i struje.

Smjer inducirane EMS u zatvorenom prstenu objašnjavaju slike 1. i 2.

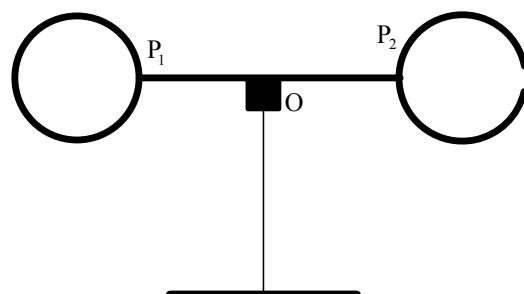


Slika 1. Određivanje smjera inducirane EMS u prstenu pri porastu i smanjenju magnetskog toka kada je  $\vec{S} \cdot \vec{B} > 0$  ( $\alpha < 90^\circ$ )



Slika 2. Određivanje smjera inducirane EMS u prstenu pri porastu i smanjenju magnetskog toka kada je  $\vec{S} \cdot \vec{B} < 0$  ( $\alpha < 90^\circ$ )

Primjenom jakih neodimijskih magneta NdFeB može se prezentirati Lenzovo pravilo napravom čija je skica prikazana na slici 3.



Slika 3. Skica naprave za pokazivanje Lenzovog pravila

Dva bakrena prstena spojena plastičnom polugom mogu se slobodno okretati oko okretišta O. Prsten P<sub>1</sub> je zatvoren (kratko spojen), a prsten P<sub>2</sub> je otvoren i njime ne može teći struja.

Pri pokusu se koristi neodimijski magnet N35/Ni D=20 mm, L=20 mm, B<sub>r</sub>=0,5 T

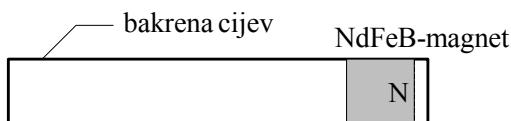
Zbog velike indukcije u odnosu na uobičajene magnete, trenje u okretištu nije poseban problem tako da se može izvesti kugličnim ležajem. Neodimijski magneti (NdFeB) najjači su magneti na Zemlji, poznati i kao magneti treće generacije. Izrađeni su od neodimija, jednog od rijetkih elemenata i jeftinog željeza, NdFeB. Neodimijski

magneti dostupni su u dvije izvedbe: kao sinterirani, s boljim magnetskim svojstvima, te kao metalizirani, sa slabijim magnetskim svojstvima, ali većim izborom veličina i oblika. Površinski mogu biti zaštićeni bakrom, cinkom i niklom.



Slika 4. Neodimijski magneti

Magnet koji je korišten pri napravi za pokazivanje Lenzovog pravila umetnut je u bakrenu cijev kao što prikazuje slika 5. Magnet je upušten u cijev oko 3 mm, čime je onemogućeno „lijepljjenje“ magneta za feromagnetike jer naglo privlačenje može mehanički oštetići magnet.



Slika 5. Neodimijski magnet umetnut u bakrenu cijev

Na taj način je magnet primijereniji za provedbu pokusa. Sam pokus je poznat u teoriji magnetizma, ali se primjenom neodimijskih magneta pokus može zornije prezentirati zbog velike magnetske indukcije. Ta promjena rezultira znatno većom induciranoj strujom u prstenu, a time i većom silom između magneta i prstena. Zato se okrećešte može ostvariti kugličnim ležajem, što daje stabilnost okretnom dijelu naprave. Stoga je cilj ovog članka prije svega pokazati konstrukcijsko rješenje naprava koje zorno predočuju Lenzovo pravilo primjenom vrlo jakog neodimijskog magneta.

### Inducirana EMS u prstenu

Za određivanje inducirane EMS u prstenu treba poznavati vremensku promjenu magnetskog toka unutar prstena. Zato je potrebno izmjeriti magnetsku indukciju T-metrom na osi i ravnini prstena. Mjerjenje je obavljeno tako da se u os i ravninu prstena postavi Hallova sonda T-metra, te se na jednakim udaljenostima neodimijskog magneta od prstena na intervalu (0-30) mm izmjeri magnetska indukcija. Ako se magnet izvlači jednolikom brzinom, svakoj udaljenosti na kojoj je obavljeno mjerjenje indukcije pripada određeno vrijeme.

| t(s) | 0    | 0,167 | 0,33 | 0,5  | 0,67 | 0,83 | 1    |
|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| B(T) | 0,51 | 0,44  | 0,26 | 0,16 | 0,11 | 0,07 | 0,05 |

Tablica 1.  $B = f(t)$  -udaljavanje magneta

Rezultati mjerena se mogu prikazati sljedećim polinomom: (Graphamatica)

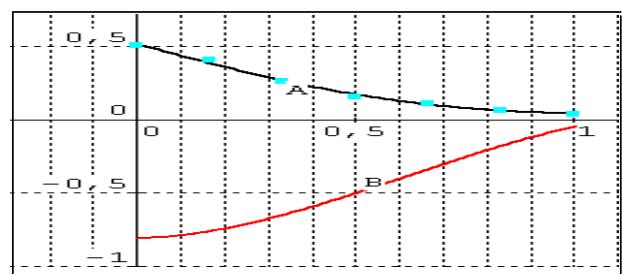
$$B(t) = -0,2031 \cdot t^4 + 0,5021 \cdot t^3 + 0,0321 \cdot t^2 - 0,8074 \cdot t + 0,5208 \quad (1)$$

U trenutku  $t_0 = 0$  magnet se nalazi u ravnini prstena i magnetska indukcija u prstenu iznosi  $B(0) = 0,5208$  T (približno rezultat mjerena).

Unutarnji promjer prstena je  $D_{pu} = 34$  mm, što znači da je površina prstena jednaka

$$S = \frac{D_{pu}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(30 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi}{4} = 7,0686 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Grafovi funkcija  $B(t)$  i  $\frac{dB}{dt}$



Slika 6. A)  $B(t)$ ; B)  $\frac{dB}{dt}$ -udaljavanje magneta od prstena

$$\frac{dB}{dt} = -0,8124 \cdot t^3 + 1,51 \cdot t^2 + 0,0642 \cdot t - 0,8074$$

Inducirani napon ili EMS se u svakom trenutku može odrediti prema izrazima:

$$u_{ind} = N \cdot S \cdot \frac{dB}{dt}; e = -N \cdot S \cdot \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

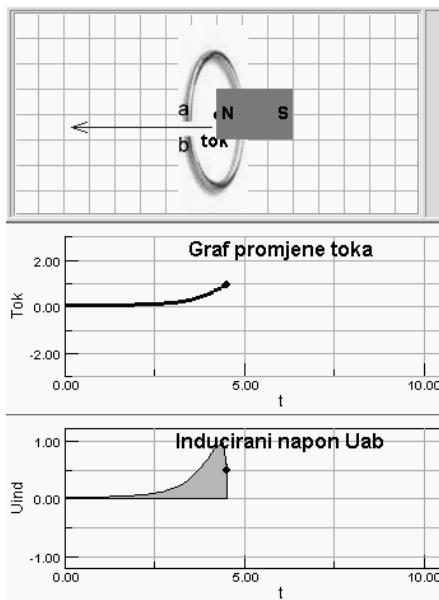
Za prsten vrijedi da je  $N = 1$ .

Tako je npr. u vremenu  $t = 0,1$  s iznos induciranog napona jednak:

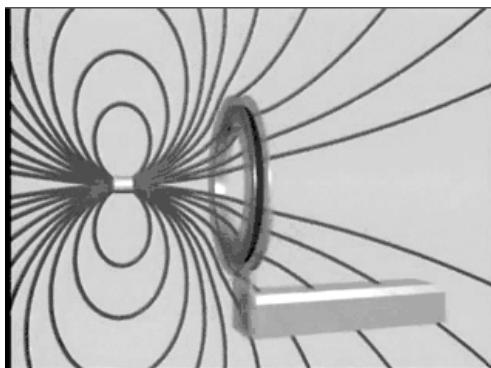
$$t=0.1; S=7.0686e-4;$$

$$U_{ind}=S*(-0.8124*t^3+1.51*t^2+0.0642*t-0.8074)$$

$$U_{ind}=-5.5608e-004 \text{ V}=-556 \mu\text{V}.$$



Slika 7. Promjena magnetskog toka i induciranih napona pri približavanju magneta prstenu



Slika 8. Magnetski tok unutar i izvan prstena

Iz slike je vidljivo da se približavanjem magneta prstenu sve veći broj silnica zatvara unutar prstena. To znači da se gibanjem magneta ostvaruje promjena magnetskog toka, a što ima za posljedicu inducirano EMS u prstenu.

To znači da prilikom uvlačenja magneta prstenu poteče struja kao posljedica inducirane EMS u prstenu. Iznos struje je znatan jer je otpor prstena mali. U našem slučaju iznosi:

$$R1=17e-3; R2=18e-3; ro=0.0175e-6; a=8e-3;$$

$$Rpr=ro*pi*(R1+R2)/(a*(R2-R1))$$

$$Rt=2*pi*ro/(a*log(R2/R1))$$

Otpor prstena računan po približnom i točnom izrazu  
Rpr = 2.4053e-004 ≈ 240 μΩ

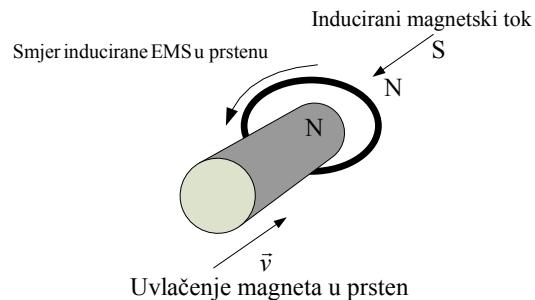
$$Rt = 2.4046e-004 ≈ 240 \mu\Omega$$

Na osi prstena i u ravnini prstena ta struja ostvari magnetsku indukciju

$$B_p = \frac{i \cdot \mu_0}{D_p} \quad (T) \quad (3)$$

$B_p$  je inducirana magnetska indukcija na osi i ravnini prstena, a vektor te magnetske indukcije je shodno Lenzovom pravilu suprotno orijentiran od vektora magnetske indukcije neodimijskog magneta kojim je

izazvana promjena magnetskog toka. Inducirani magnetski tok nastoji pri uvlačenju spriječiti promjenu (rast) magnetskog toka neodimijskog magneta.

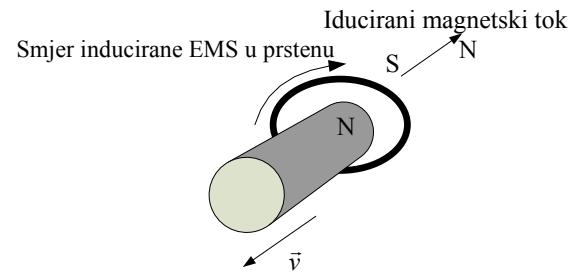


Slika 9. Inducirana EMS u prstenu pri uvlačenju magneta

Iz slike se vidi da se neodimijski magnet i prsten odbijaju (prsten „bjegi“ od neodimijskog magneta - istoimeni magnetski polovi se odbijaju).

Sada se može odrediti smjer inducirane EMS u prstenu. Ispruženi palac postavimo paralelno s induciranim magnetskim tokom tako da pokazuje njegovu orientaciju, a savijeni prsti pokazuju smjer inducirane EMS u prstenu.

U skladu s Lenzovim pravilom, pri izvlačenju magneta inducirani magnetski tok se opet suprotstavlja promjeni magnetskog toka neodimijskog magneta. Promjena toka sada nastupa zbog smanjivanja toka unutar prstena, pa inducirani tok ima istu orientaciju kao i tok neodimijskog magneta.



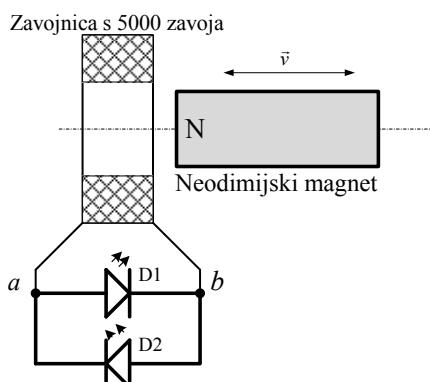
Izvlačenje magneta iz prstena

Slika 10. Inducirana EMS u prstenu pri izvlačenju magneta

Vidi se da je smjer inducirane EMS sada suprotno orijentiran u odnosu na stanje pri uvlačenju magneta. Kako se suprotni magnetski polovi privlače, prsten će pri izvlačenju neodimijskog magneta „ići“ za njim.

Ako se uvlačenje i izvlačenje magneta izvede razrezanim prstenom, opisanih efekata nema jer prstenu ne može poteći struja kao posljedica inducirane EMS pa nema ni induciranih toka. Zbog toga između neodimijskog magneta i prstena nema sile i prsten miruje pri uvlačenju i izvlačenju magneta. Polaritet induciranog napona na otvorenom prstenu se mijenja pri uvlačenju i izvlačenju magneta, opet u skladu s Lenzovim pravilom.

Mijenjanje polariteta pri uvlačenju i izvlačenju magneta može se provjeriti napravom 2 na sljedeći način.

**Naprava 2**

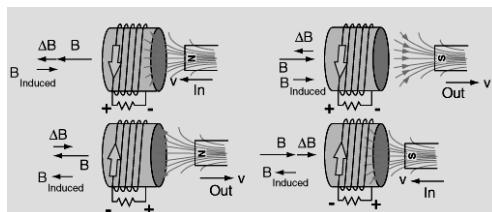
Slika 11. Naprava za određivanje polariteta induciranih napona

Ako se na zavojnicu s velikim brojem zavoja priključe dvije LED diode u antiparalelnom spoju kao što prikazuje slika, moguće je pokazati da se polaritet induciranih napona u zavojnici mijenja pri uvlačenju i izvlačenju magneta sukladno Lenzovom pravilu. Naime, pri uvlačenju magneta zasvjetli jedna dioda, a pri izvlačenju druga. Budući da dioda može zasvijetiti samo ako se na anodi pojavi + pol, proizlazi da se polaritet induciranih napona mijenja pri uvlačenju i izvlačenju magneta.

Pri promjeni magnetske indukcije od  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,5 \frac{T}{s}$  lako se može ostvariti inducirani napon oko 2 V u zavojnici koja ima promjer oko  $D = 30 \text{ mm}$  i 5000 zavoja. To je dovoljno da dioda intenzivno zasvijetli i na taj način definira polaritet induciranih napona.

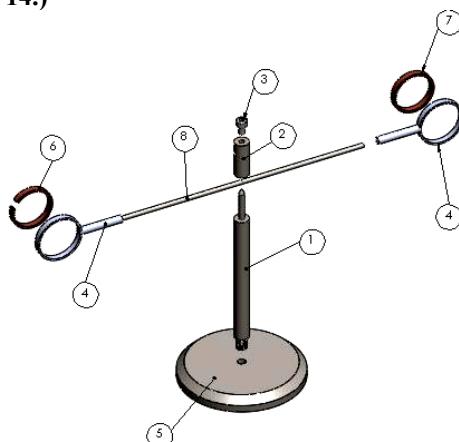


Slika 12. Naprava za određivanje polariteta induciranih napona



Slika 13. Formiranje polariteta kod približavanja i udaljavanja magneta

**Opis izrade naprave za pokazivanje Lenzovog pravila (slika 14.)**



Slika 14. Dijelovi naprave za pokazivanje Lenzovog pravila

Glavni dio naprave su dva bakrena prstena (6,7) od kojih je jedan „zatvoren“ (7), a drugi otvoren (6). Poluga (8) na koju su pričvršćeni prsteni je plastična tako da magnet na nju ne djeluje. Okretište (2) je izvedeno tako da se što više izbjegne trenje (vidi sliku 14.), iako zbog jakog neodinijskog magneta trenje nije kritično za funkcioniranje naprave. Nosač poluge (1) i samo postolje (5) je izrađeno od nehrđajućeg čelika. Postolje je izvedeno dosta masivno, što cijeloj napravi daje stabilnost. Nosač poluge i sama poluga su rastavljivi tako da se cijela naprava može rastaviti i spremiti u kutiju. To pokazuje slika 15.



Slika 15. Naprava u kutiji

Ovako izgleda sastavljena naprava



Slika 14. Izgled naprave pripremljene za pokus

**Izvedba okretišta naprave s kugličnim ležajem**



Slika 15. Izvedba naprave s kugličnim ležajem

**4. LITERATURA**

- [1] Kuzmanović, B. Osnove elektrotehnike I i II. Element : Zagreb, 2004.
- [2] Pinter, V. Osnove elektrotehnike I i II. Tehnička knjiga : Zagreb, 1994.
- [3] [www.artas.hr](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

**Kontakti:**

Josip Huđek, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 099/317 3218  
e-mail: [josip.hudjek@velv.hr](mailto:josip.hudjek@velv.hr)

Dunja Srpk, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 099/317 3218  
e-mail: [dunja.srpak@velv.hr](mailto:dunja.srpak@velv.hr)

# NISKOFREKVENTNI ELEKTROMAGNETSKI STIMULATOR

Šumiga I.<sup>1</sup>, Novak S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Poznata je učinkovitost magnetske stimulacije na organizam. Niskofrekventni magnetski valovi mogu iscjeliti oštećene stanice u organizmu, ukloniti bol i ukočenost, poboljšati cirkulaciju i metabolizam, reducirati upalne procese, stres, depresiju i dr. U članku su spomenuta osnovna načela niskofrekventne elektromagnetske terapije. Zatim je opisan elektromagnetski stimulator realiziran pretežno u analognoj tehnici korištenjem diskretnih komponenata.

**Ključne riječi:** magnetsko polje, magnetoterapija, magnetska indukcija, elektromagnetski stimulator

**Abstract:** The efficiency of magnetic stimulation on the body is well known. Low-frequency waves can heal damaged cells in the body, relieve pain and stiffness, improve circulation and metabolism, reduce inflammation, stress, depression, etc. The article presents the basic principles of low-frequency electromagnetic therapy. Also, electromagnetic stimulator realized mainly in analog technique using discrete components is described.

**Key words:** magnetic field, magnetic therapy, magnetic induction, electromagnetic stimulator

## 1. UVOD

Razvoj novih tehnologija utječe na sve segmente ljudske djelatnosti, pa tako i na medicinu. Da bi metode liječenja bile što djelotvornije, suvremena medicina, naročito fizikalna, koristi novu tehnologiju i to energoterapijska sredstva kao što su ultrazvuk, laser i magnetoterapija. Magnetoterapija kao fizikalnoterapijska metoda u posljednje vrijeme je vrlo raširena. Tome pridonosi sve bolje razumijevanje biofizikalnih zakonitosti na razini stanica, postignuti rezultati u liječenju, jednostavnost njene primjene bez neželjenih popratnih efekata, razmjerno niska cijena primjene te ograničene mogućnosti terapije lijekovima.

## 2. DJELOVANJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA NA ORGANIZAM

Biološko djelovanje magnetskog polja zasniva se na elektromagnetskoj indukciji. Svaka promjena magnetskog toka kojim neki magnet djeluje na vodič u svom magnetskom polju uzrokuje indukciju električne struje u vodiču. Taj efekt se može postići permanentnim

magnetom koji se mehanički pokreće u odnosu na vodič. U ovom slučaju to je tijelo pacijenta. Prikladnija metoda je promjena magnetskog toka elektronički kontroliranim regulacijom struje kojom se napaja elektromagnet. Tom metodom može se prema želji mijenjati učestalost promjena: frekvencija, tj. broj promjena u sekundi, njihov valni oblik (način rasta i opadanja, pozitivan i negativan smjer, kao i srednja vrijednost magnetske indukcije (teoretska sredina između najniže i najviše vrijednosti u tijeku jedne promjene).

Magnetsko polje koje nastaje oko zavojnice kojom protječe stalna struja može biti velike gustoće, a njegovi fiziološki efekti su isti kao kod trajnog magneta. Takvo nepromjenljivo magnetsko polje utječe na električne čestice u gibanju (tjelesne struje), ali ne djeluje na nepokretnе električne naboje. Pulsirajuća magnetska polja uslijed stalnih promjena magnetskog toka djeluju podjednako na električne čestice u gibanju i mirovanju, što je posebno važno za magnetoterapiju. Pravilnim izborom intenziteta, frekvencije i trajanja primijenjenog magnetskog polja mogu se postići optimalni terapijski rezultati. Vršne vrijednosti magnetske indukcije primijenjenog magnetskog polja kreću se između 0,5 i 10 mT (miliTesla). S nižim vrijednostima nisu utvrđeni nikakvi terapijski efekti (iznos magnetske indukcije magnetskog polja zemlje kojem je čovjek prirodno prilagođen prosječno je 0,05 mT). U biološkom smislu nema opasnosti ni od primjene polja znatno većeg intenziteta. U medicinskoj dijagnostici, metodom nuklearne magnetske rezonancije (NMR) postižu se polja i stotinjak puta većeg intenziteta (1-4 T).

Frekvencija primijenjenog magnetskog polja bitno utječe na mehanizam njihovog djelovanja na organizam. Kod tzv. visokofrekventne magnetske terapije trajanje pojedinačnih impulsa (frekvencije iznad 1000000 Hz), grupiranih u valne pakete koji se ponavljaju 5-800 puta u sekundi, toliko je kratko da uslijed tromosti odziva tkiva rezultira povišenjem njegove temperature (kratkovalna dijatermija). Da se izbjegne pregrijavanje tkiva, vrijeme potrebno za odvođenje proizvedene topline regulira se pauzama između impulsnih paketa, koje traju do 40 puta duže od pojedinih paketa.

Kod niskofrekventne elektromagnetske terapije koriste se pojedinačni impulsi (frekvencije do 100 Hz) ili impulsni paketi duljeg trajanja pojedinačnih impulsa, čime se eliminiraju termički, a postižu mnogi drugi poželjni efekti.

Biološke efekte niskofrekventne elektromagnetske terapije najbolje je objasniti djelovanjem na razini stanice organizma. Magnetski pobuđeni ioni u stanicama i oko stanica pokreću se u ritmu pulsiranja polja, prianjaju uz staničnu stijenkiju i njihova razmjena kroz stijenkiju se ubrzava. Time se pospešuje rad "ionske pumpe", tj. povećan je transport materije u stanicu i izvan nje. Magnetski inducirane mikrovibracije u lipoidnom sloju stijenke također pospešuju difuziju kisika u stanicu, što potiče proizvodnju energije u mitohondrijima. Raste energetski metabolizam stanice, mjerljiv količinom proizvedenog i utrošenog ATP (endonzin trifosfata).

Razlika električnog potencijala na stijenci zdrave stanice, podržana aktivnom razmjenom iona natrija ( $\text{Na}^+$ ), kalija ( $\text{K}^+$ ) i kalcija ( $\text{Ca}^{2+}$ ), iznosi 70-90 mV. Kod oštećenja stanica (infekcije, traume) elektropotencijal se snižava ispod 50 mV, a njihova funkcija slabi ili potpuno prestaje. Javljuju se rani simptomi oboljenja poput umora, različitih bolova i slično.

Primjenom pulsirajućih magnetskih polja kroz određeno vrijeme, transport iona se reaktivira i narušeni elektropotencijal stanica se normalizira.

Efekti magnetoterapije na razini stanica:

- povećana difuzija kisika u stanci zbog magnetski induciranih mikrovibracija lipoidnog sloja stanične stijenke
- porast energetskog metabolizma stanice mjerjen količinom utrošenog ATP
- ubrzana difuzija iona kroz staničnu stijenkiju i pospešena ukupna razmjena tvari stanice
- stabilizacija kalij/natrij pumpe i potencijala stanične membrane.

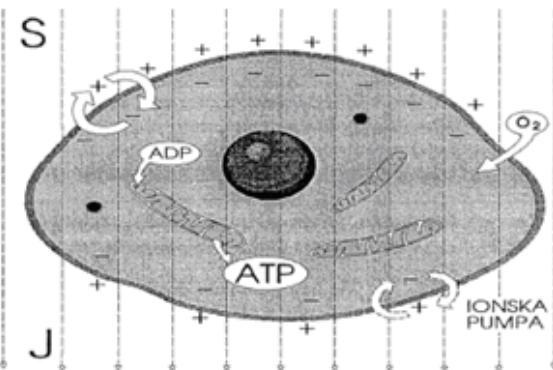
Brojna klinička i laboratorijska ispitivanja ukazuju i na druge efekte koji se iskazuju na razini pojedinih tjelesnih sustava ili organizma u cjelinii:

- antiupalno, analgetsko i antiedemsko djelovanje
- poboljšanje cirkulacije, tj. povećan arterijski i venski protok te prokrvljenost tkiva uz antikoagulantni učinak
- povećan parcijalni pritisak kisika u krvi
- djelovanje na središnji živčani sustav, direktno i refleksno, a očituje se u regulaciji endokrinskih funkcija i pojačanju imunološke obrane organizma
- povećanje sinteze DNA i kolagena u kulturama koštanog tkiva
- poboljšana resorpcija lijekova u tkivima.

### 3. NISKOFREKVENTNI ELEKTROMAGNETSKI STIMULATOR

To je generator unipolarnog niskofrekventnog pulsirajućeg magnetskog polja. Unipolarni naponski impulsi programiranog oblika, trajanja i frekvencije tjeraju struju kroz zavojnici, tj. Kroz elektromagnetske antene (EMA) oko kojih se formira sukladno magnetsko polje. Gustoća (intenzitet) magnetskog polja mijenja se ovisno o geometrijskim značajkama EMA (promjer, oblik, broj zavoja i udaljenost od zavojnici) i struje što teče zavojnicom. Osim magnetske gustoće (B) važna je i brzina njene promjene ( $\text{dB}/\text{dt}$ ). To je mjerila za indukciju napona u tkivima. Ocjenjuje se mjerjenjem napona induciranoj u kalibriranoj mjernoj zavojnici. Što je on

viši i indukcija u tkivima će biti veća. Kao i za intenzitet (B), vrijednosti induciranih napona mijenjaju se od točke do točke u prostoru, kako je prikazano slikom 1.



Slika 1. Djelovanje elektromagnetskog polja na stanicu

Indikacije za primjenu niskofrekventnog elektromagnetskog stimulatora postoje tamo gdje se bolest javlja kao posljedica poremećaja funkcije stanica. Terapija djeluje disperzno na opće poboljšanje metabolizma stanica. Budući da magnetsko polje prodire kroz sve dijelove ljudskog tijela, njegova primjena omogućuje postizanje dubinskih terapijskih efekata. To je prednost u odnosu na većinu srodnih (fizičkih) terapijskih postupaka. Tretman pozitivno utječe na oboljele i na zdrave, djelovanju polja simultano izložene dijelove tijela, pospešujući im regeneraciju i imunološku obranu. Najvažniji efekti terapije su poboljšanje prokrvljenosti i opskrbe tkiva kisikom.

Također djeluje protuupalno i ublažava bolove i edeme (otoke). Nisu poznate negativne popratne pojave niti je moguće predoziranje terapije. Lista indikacija za primjenu vrlo je široka. Klinička ispitivanja koja se provode u svijetu ukazuju da se pulsirajuća magnetska polja mogu vrlo uspješno koristiti u terapiji sljedećih indikacija:

- kod bolesti potpornog i pokretačkog sustava (degenerativna i upalna oboljenja zglobova i kralješnice, oboljenja kostiju i mekih tkiva)
- otežano zacjeljivanje ozljeda i prijeloma (postoperativna stanja, rane i opekatine)
- sportske ozljede (nagnjećenja, lezije ligamenata i mišića, teniski lakat)
- oboljenja središnjeg i perifernog živčanog sustava (neuralgije, glavobolje i migrene)
- oboljenja dišnih putova i sinusa (sinusitis, bronhitis, bronhijalna astma)

Elektromagnetska terapija najčešće nije zamjena, već nadopuna ostalih terapijskih metoda. Odlikuje je jednostavnost primjene bez nepoželjnih pratećih efekata i razmjerno niska cijena. Njena primjena nije ograničena samo na humanu medicinu. Vrlo dobri terapijski rezultati postižu se i u veterinarskoj praksi.

Pri upotrebi magnetskih polja, prema dosadašnjim iskustvima opisanim u literaturi, uglavnom nema opasnosti od prekoračenja propisanog doziranja ni apsolutnih kontraindikacija za njihovu primjenu.

Ipak se u nekim slučajevima preporuča odustati od terapije ili je provesti krajnje oprezno pod liječničkim nadzorom, ako je kod pacijenta prisutno sljedeće:

- pacemaker ili ozbiljni problemi sa srčanim ritmom
- trudnoća (posebno u području ploda)
- akutna tuberkuloza
- akutni i ozbiljni cirkulatorni poremećaji
- teška angina pektoris
- koronarna insuficijencija
- predinfarktna stanja
- unutarnja krvarenja ili sklonost krvarenju
- akutna psihička oboljenja
- pojačana funkcija štitnjače
- juvenilni dijabetes
- akutna febrilna stanja
- teški slučajevi gljivičnih oboljenja.

Također se preporuča izbjegavati dugotrajne tretmane u doba rasta jer djelovanje na rast još nije dovoljno razjašnjeno. Kroz cijelu terapiju ne preporuča se izlagati radijacijskoj terapiji ili rendgenskoj dijagnostici. Kod predisponiranih osoba terapija u večernjim satima (poslije 21 h) može prouzročiti smetnje u spavanju. Treba izbjegavati korištenje uređaja u blizini vrlo osjetljivih elektroničkih naprava ili magnetskih medija za pohranu podataka.

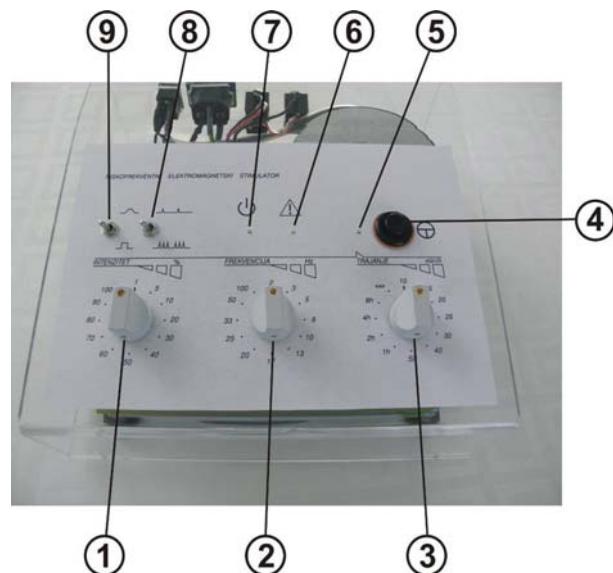
### 3.1. Opis uređaja

Niskofrekventni elektromagnetski stimulator prikladan je za korištenje u medicinskim ustanovama te kod kuće. Tretman je jednostavan, gotovo neosjetan i pravilno primjenjen bez neželjenih popratnih učinaka. Provodi se polaganjem antene na oboljelo mjesto i aktiviranjem uređaja u odabranom modu rada. Moguće su kombinacije s gotovo svim drugim, ne samo fizičkim terapijama. Dobri rezultati postižu se u kombinaciji s akupunkturom, ultrazvučnom, laserskom, ozonskom te krioterapijom. Zbog jednostavne i robusne konstrukcije uređaj zahtijeva minimalno održavanje. Jednostavan je za korištenje pa nema potrebe za specijalnom obukom i posebnom pripremom pacijenta. Terapija je moguća kroz odjeću, gips i povoje. Ne postoji opasnost od pojave opeketina. Nema fiziološkog djelovanja na rukovatelja. Metalni implantati i fragmenti u tijelu nisu kontraindikacija (kao kod visokofrekventne magnetoterapije).

Uredaj se sastoji od upravljačkog modula-generatora pobude za EMA i od elektromagnetske antene EMA (jedna ili dvije) - izvora elektromagnetskog polja.

#### Upravljački modul

Naponski impulsi koje generira modul su vršne vrijednosti 25V i trajanja (dužine) maksimalno 2 milisekunde. Promjena parametara impulsa direktno utječe na pobudu elektromagnetskih antena. Promjena intenziteta, frekvencije i impulsnog režima definira konačni oblik pravokutne naponske pobude. Promjena oblika pojedinačnog impulsa (pravokutni ili trapezni) ne utječe na te odnose. Primjenom trapeznog oblika impulsa ublažava se djelovanje izabranog tretmana.



Slika 2. Prednja ploča uređaja

Važni dijelovi označeni su brojevima:

- 1 Izbornik intenziteta – rotacijska preklopka
- 2 Izbornik frekvencija – rotacijska preklopka
- 3 Izbornik trajanja – rotacijska preklopka
- 4 Start/stop tretmana – tipkalo
- 5 Indikator tretmana – zelena LED dioda
- 6 Indikator greške – žuta LED dioda
- 7 Indikator spremnosti – zelena LED dioda
- 8 Izbornik pulsнog režima – dvopolozajni prekidač
- 9 Izbornik oblika impulsa – dvopolozajni prekidač

#### Elektromagnetske antene

Elektromagnetske antene su zavojnice izvedene u pojačanoj izolaciji, s dodatnim dvostrukim plaštem i završnim pjenastim slojem od prirodne gume. Realizirani uređaj sadrži dvije elektromagnetske antene: EMA1 i EMA2. EMA1 ima srednji promjer 250 mm i namotano je 125 zavoja žice promjera 1 mm. EMA2 ima srednji promjer 190 mm i namotano je 150 zavoja žice promjera 0,71 mm.



Slika 3. Elektromagnetske antene

### 3.2. Parametri tretmana

Parametri tretmana čine dvije funkcionalne grupe i zadaju se preko upravljačkih elemenata smještenih na prednjoj ploči upravljačkog modula (slika 2.). Elementi grupe za izbor valnih funkcija su izbornici 1, 2, 8 i 9. Elementi za programiranje trajanja tretmana su izbornik 3 i tipka 4.

#### Valne funkcije

Preklopkom 1 zadaje se intenzitet izražen u postocima. Stupnjevito zakretanje preklopke moguće je u oba smjera od uspravnog crticom označenog graničnog položaja. Raspoložive vrijednosti su izražene u postocima: 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100.

Rotacijska preklopka 1 određuje trajanje osnovnog naponskog impulsa kojim se pobuđuje EMA. Za stopostotni intenzitet to vrijeme je uviјek 2 milisekunde. Za niže intenzitete je linearno kraće. Intenzitetom je posredno određena maksimalna gustoća magnetskog polja ( $B_{\max}$ ) koje se može dostići u nekoj točki prostora. Analogno važi i za brzinu promjene magnetske gustoće ( $dB/dt$ ).

Preklopkom 2 zadaje se frekvencija izražena u hertzima. Stupnjevito zakretanje preklopke moguće je u oba smjera od uspravnog crticom označenog graničnog položaja. Raspoložive vrijednosti su izražene u Hz: 2, 3, 5, 8, 10, 13, 17, 20, 25, 33, 50, 100.

Povišenjem frekvencije povećava se srednja magnetska gustoća ( $B_{\text{sred}}$ ) i srednja vrijednost brzine njene promjene ( $dB/dt_{\text{sred}}$ ).

Dvopolozajnim prekidačem 9 zadaje se oblik pojedinačnog impulsa. Položaji su:

- gornji: trapezni oblik
- donji: pravokutni oblik

Izbor pravokutnih impulsa rezultira većom brzinom promjene gustoće magnetskog polja.

Dvopolozajnim prekidačem 8 zadaje se impulsni režim. Položaji su:

- gornji: uređaj reproducira frekvenciju izabranoj preklopkom 2
- donji: na osnovu frekvencije izabrane preklopkom 2 uređaj generira impulsne pakete frekvencije od 100 Hz. Budući da je trajanje pojedinog impulsa prema trajanju pauze kod nižih frekvencija vrlo kratko, ukupna energija koju uređaj emitira je mala ( $B_{\text{sred}}$  i  $dB/dt_{\text{sred}}$ ). Kod npr. 2Hz taj je odnos 2ms : 500ms. Ukoliko želimo pojačan

energetski izlaz, postoji mogućnost interpolacije dodatnih impulsa (impulsnih paketa koji se pojavljuju u taktu osnovne frekvencije)

Preklopkom 3 zadaje se ukupno trajanje tretmana.

Stupnjevito zakretanje preklopke moguće je u oba smjera od uspravnog crticom označenog graničnog položaja. Raspoložive vrijednosti su :

- minuta: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50

- sati: 1, 2, 4, 8

- neograničeno trajanje:  $\infty$

Pritiskom na tipku 4 pokreće se izvođenje programiranog tretmana. Kao indikacija trajanja tretmana pali se zelena LED dioda 5.

Po isteku programiranog trajanja uređaj odašilje kratki zvučni signal, indikator 5 se gasi i izvođenje tretmana se automatski prekida. Vremensko brojilo poprima nultu vrijednost omogućujući ponovno pokretanje programa.

#### Prisilno zaustavljanje

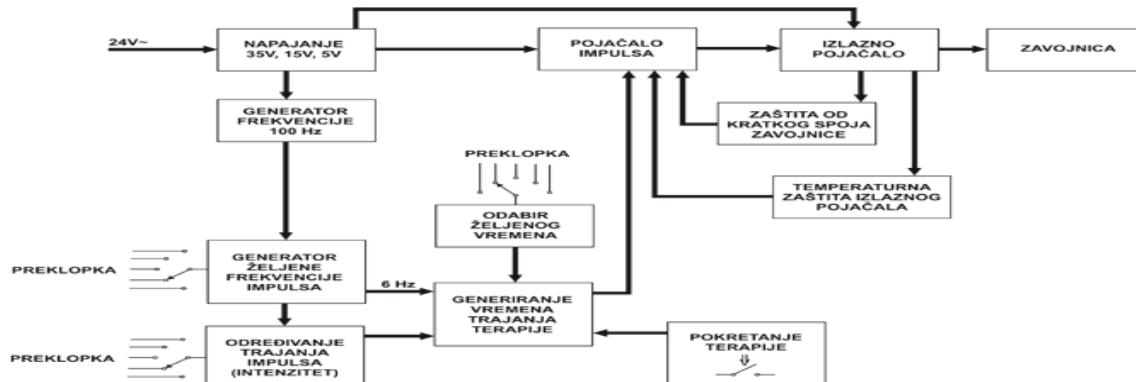
Program se može prekinuti ponovnim pritiskom na tipku 4. Uređaj odašilje kratki zvučni signal, indikator 5 se gasi i izvođenje tretmana se prekida. Vremensko brojilo poprima nultu vrijednost omogućujući ponovno pokretanje programa.

### 4. OPIS RADA UREĐAJA

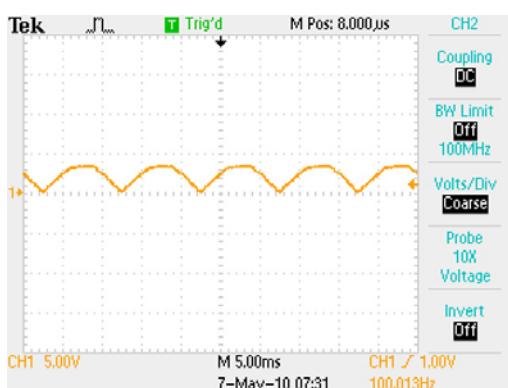
Blokovska shema ostvarenog niskofrekventnog elektromagnetskog stimulatora prikazana je na slici 4.

Uređaj se napaja preko toroidnog transformatora 230/24V snage 100W. Sekundar transformatora vodi se na Graetzov spoj, nakon kojeg se punovalni ispravljeni napon filtrira i prilagođava na vrijednosti potrebne za napajanje analognih i digitalnih sklopova uređaja i za generiranje impulsa frekvencije 100Hz maksimalne amplitude 35V.

Punovalno ispravljeni sinusni impulsi frekvencije 100Hz prolaskom kroz komparator s histerezom daju pravokutne impulse. Na taj način je dobiven generator frekvencije 100Hz sinkroniziran s mrežnim sinusnim naponom. Slika 5. prikazuje oblik impulsa na ulazu, a slika 6. sklop za formiranje impulsa 100Hz na izlazu. Taj signal se vodi na generator odabrane frekvencije tretmana (pomoću preklopke 2, slika 2.) Ovaj generator je realiziran pomoću 4-bitnih sinkronih binarnih brojila kojima se dijele osnovne frekvencije. Slika 7. prikazuje impulse frekvencije 33Hz.



Slika 4. Blokovska shema uređaja



Slika 5. Signal na ulazu sklopa za formiranje impulsa frekvencije od 100Hz



Slika 6. Signal na izlazu sklopa za formiranje impulsa

#### Trajanja impulsa

Intenzitet na određenoj frekvenciji se određuje promjenom širine signala i pauze unutar jedne periode. To se postiže dovođenjem izabrane frekvencije na ulaz monostabila kojemu se širina trajanja impulsa mijenja promjenom vrijednosti otpornika u RC kombinaciji za određivanje vremenske konstante monostabila. Spajanjem dodatnog kondenzatora na RC kombinaciju monostabila mogu se dobiti impulsi trapeznog oblika. Kombinacijom dva monostabila i potrebnih kombinacijskih logičkih sklopova može se birati rad s pojedinačnim ili paketima impulsa.

Za mjerjenje odabranog vremena trajanja tretmana signal frekvencije 6 Hz (dobiven pomoću sinkronih binarnih brojila) se dovodi na dekadsko brojilo/dijelitelj frekvencije. Ovisno o odabranom vremenu tretmana (rotacijska preklopka 3, slika 2.), izlaz dekadskog brojila koji generira impuls po isteku vremena proslijeduje se na sklop za prekid terapije.



#### Slika 7. Genereiranje impulsa frekvencije 33Hz

Kada se definiraju parametri - frekvencija, intenzitet i oblik impulsa; pojedinačni impulsi ili paket impulsa te vrijeme trajanja terapije - pokretanjem terapije (slika 2., tipko 4) oblikovani signal se dovodi na pojačalo impulsa izvedeno kao protutaktno pojačalo snage. Pojačani impulsi se zatim vode na izlazno pojačalo izvedeno u spoju zajedničkog kolektora (emiterško sljedilo). Za dobivanje dovoljno jake struje koja prolaskom kroz zavojnicu generira magnetsko polje za magnetoterapiju, koristi se paralelni spoj dva tranzistora u Darlingtonovu spoju.

Sklop je na izlazu zaštićen od kratkog spoja tako da se napon zavojnice uspoređuje s namještenim naponom pomoću komparatora. Ako kroz zavojnicu poteče prevelika struja, baze izlaznih tranzistora se prespajaju na masu i time odvoje izlaz pojačala od zavojnice. Budući da se izlazni tranzistori tijekom rada griju, na njihova hladila je spojen temperaturni senzor koji u slučaju pregrijavanja prespaja na masu bazu izlaznih tranzistora i signalizira neispravnost.

## 5. ZAKLJUČAK

Niskofrekventni elektromagnetski stimulator ostvaren je u skladu s potrebama današnje medicine. Razvoj magnetoterapije rezultirao je pojavom mnogih uređaja koji se primjenjuju u specifičnim uvjetima. Predmet ovog rada je stimulator niske frekvencije (2 – 100 Hz), što omogućuje podvrgavanje tretmanu i pacijenata koji posjeduju metalne implantante, a za koje visokofrekventna magnetska terapija nije primjenljiva zbog efekta kratkovalne dijatermije.

Uskladivanje svih parametara rada uređaja obavlja se putem višepoložajnih preklopki, a sve funkcije ostvarene su sklopovski. Prednost ovakve realizacije je pouzdanost uređaja i jednostavnost upotrebe. Time se od korisnika ne zahtijevaju nikakva posebna znanja ni vještine.

Testiranje opisanog uređaja je pokazalo da se mogu pouzdano i ispravno generirati zahtijevani valni oblici i paketi impulsa željene frekvencije. Uredaj je izведен tako da ne može ugroziti ljudski život i postoje svi preduvjeti za njegovu uporabu.

## 6. LITERATURA

- [1] Biljanović, P. Poluvodički elektronički elementi. Školska knjiga : Zagreb, 1996.
- [2] Biljanović, P. Elektronički sklopovi. Školska knjiga : Zagreb, 1997.
- [3] Lissens Mark A. Clinical Applications of Magnetic Transcranial Stimulation. Peeters Press : Leuven (Belgium), 1992.
- [4] [www.amoic.hr](http://www.amoic.hr)
- [5] [www.zdrav-zivot.com.hr](http://www.zdrav-zivot.com.hr)

#### Kontakt:

Mr. sc. Ivan Šumiga, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 098/467 761  
[ivan.sumiga@velv.hr](mailto:ivan.sumiga@velv.hr)

# MODELIRANJE POSLOVNIH POTPROCESA I ANALIZA PODATAKA U RAČUNOVODSTVU

Varga M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tehnička škola Čakovec, Čakovec, Hrvatska

**Sažetak:** Ovaj rad prikazuje dekompoziciju procesa računovodstvo, svi potprocesi koji ga čine, aktivnosti pojedinog potprocesa i njegovi modeli, te analiza finansijskih izvještaja promatrane tvrtke. Linijskim grafikonima bit će prikazani pokazatelji uspješnosti poslovanja tvrtke, zatim koeficijenti likvidnosti i aktivnosti tvrtke na temelju finansijskih izvještaja bilance i računa dobiti i gubitka SQL.

**Ključne riječi:** proces, potproses, aktivnost, finansijski izvještaji, analiza finansijskih izvještaja, pokazatelji uspješnosti poslovanja tvrtke, likvidnost, aktivnost, grafikoni, logički uvjeti, standardni strukturni jezik

**Abstract:** This paper presents the decomposition of a process of accounting, all sub-processes that make that process, activities of each sub-process, sub-process model, and financial reports analysis of the observed company. Line graphs will depict indicators of the company's business success, liquidity and company's activity coefficients based on financial balance reports, and profit and loss report SQL.

**Key words:** process, sub-process, activity, financial reports, analysis of financial reports, company's business success indicators, liquidity, activity, line graphs, logical conditions, Structured Query Language

## 1. UVOD

Proces je skup potprocesa koji su međusobno povezani prema određenom redoslijedu. Proces je pretvorba ulaznih podataka u izlazne. U tvrtki se istodobno može odvijati više procesa. Procesi prepoznati kao procesi koji se mogu kompjutorizirati, tj. automatizirati, oblikuju se u algoritme.[3] Potproces je skup aktivnosti. Aktivnost je najmanji dio procesa koji ima smisla modelirati i prikazati dijagramom. Aktivnost najčešće prikazuje relativno složen radni zadatak ili više radnih zadataka koje za potrebe izgradnje procesne arhitekture nije potrebno detaljnije razmatrati.[3] Aktivnosti se obavljaju prema određenom redoslijedu, a njihove aktivnosti u promatranim tvrtkama imaju također unaprijed određeni redoslijed. Izrađenim modelom procesa može se jednostavnije izraditi model podataka. Podaci su u bazi na nekom mediju ili dokumentu, a svaki dokument je rezultat djelovanja procesa, tj. output. Na temelju ulaza i izlaza procesa, lako se utvrđuje uspješnost procesa. Kako bi proces opstao, treba imati poznate unutarnje i/ili vanjske potrošače i dobavljače. Unaprjeđenje procesa u

svim tvrtkama je neizbjegljivo.[1] Svaka tvrtka teži unaprjeđenju procesa kako bi se ostvarili krajnji ciljevi tvrtke. Jedan od ciljeva svake tvrtke je ostvarenje što veće dobiti i naplaćivanje nepodmirenih dugovanja. Finansijski pokazatelji su mjerodavni.

## 2. MODEL PROCESA

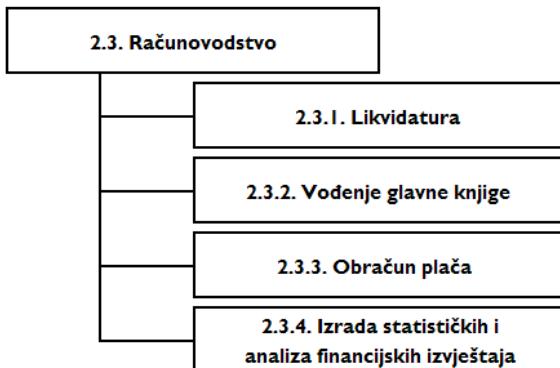
Model procesa opisuje dinamiku podataka informacijskog sustava i skup procesa kojima se mijenjaju podaci informacijskog sustava, a time i stanje sustava.[6] Procesi, potprocesi i aktivnosti mogu se odvijati istodobno. Oni troše različite resurse, a to ovisi o kakvoj je djelatnosti riječ. Procesi i potprocesi troše vrijeme i financije. Proces treba razlikovati od procedure. Kod modela procesa i potprocesa prikazan je tijek prema okolini i drugim podsustavima zajedno kao jedan, a tijek unutar podsustava računovodstvo je posebno prikazan prema određenom procesu. Za aktivnosti svakog potprocesa koriste se određene aplikacije, tj. određeni programski moduli kao potpora.

### 2.1. Svrha procesa računovodstvo

Svrha procesa **računovodstvo** u tvrtkama je bilježenje svih poslovnih događaja tvrtke u knjigovodstvene dokumente. U procesu **računovodstvo** u užem smislu odvijaju se aktivnosti: likvidatura, vodenje glavne knjige, obračun plaća, izrada statističkih i analiza finansijskih izvještaja. Proces **računovodstvo** obuhvaća različite metode i tehnike analiza, prognoza i planova. U proces **računovodstvo** ulaze dokumenti koje kreiraju poslovni događaji i transakcije. Proces **računovodstvo** kao i svi ostali procesi ima svoje outpute koji su rezultat procesa. Sudionici u spomenutom procesu su: voditelj računovodstva, glavni knjigovođa, knjigovođa, likvidator, operater obračuna plaća, djelatnici banke, blagajnice.

### 2.2. Dekompozicija procesa računovodstvo

Dijagramom raščlanjivanja (tzv. dekompozicijski dijagram) informacijski sustav se raščlanjuje na podsustave (funkcije), podsustavi (funkcije) na procese, procesi na potprocese, potprocesi na aktivnosti.[7] Aktivnosti se isto tako mogu raščlanjivati.



Slika 1. Dijagram razgradnje procesa računovodstvo

Slika1. [6] prikazuje potprocese procesa **računovodstvo**, a to su: likvidatura, vođenje glavne knjige, obračun plaća, izrada statističkih i analiza financijskih izvještaja. Potproces **likvidatura** sadrži sljedeće aktivnosti: kontroliranje forme knjigovodstvenih isprava, kontroliranje tekstualne ispravnosti i kontroliranje računske ispravnosti (financijskih vrijednosti). Drugi naziv koji se najčešće koristi za potproces **likvidatura** je **kontroliranje**. Nakon aktivnosti unutar potprocesa **likvidatura**, *isprave* se unose u *glavnu knjigu*. Potproces **likvidatura** obavlja zaposlenik na radnom mjestu likvidatora. Nakon izrade financijskih izvještaja, dobiju se određene informacije na temelju podataka koji se nalaze u *glavnoj knjizi*. Jedan od zadataka procesa **računovodstvo** je prikupljanje i obrada financijskih podataka iz *financijskih izvještaja*, te prezentiranje dobivenih informacija upravi tvrtke, nadzornom odboru, revizorima, vlasnicima tvrtke, sindikatima, bankama, javnosti, dobavljačima, kupcima, zaposlenicima i drugim zainteresiranim osobama. Temeljni godišnji financijski izvještaji kao što su *bilanca*, *RDG* i dodatni podaci šalju se FINI, obično do 31. ožujka tekuće godine.[4] *Izvještaj o rentabilnosti poslovanja i uporabe vlastitog kapitala i izvještaj o poslovima od značaja za likvidnost i rentabilnost* kreiraju se u potprocesu **izrada statističkih i analiza financijskih izvještaja** u promatranoj tvrtki. Nakon izrade *izvještaja*, *izvještaji* idu upravi društva s ograničenom odgovornošću. Upravu u analiziranom poduzeću čini samo direktor poduzeća. Direktorova obaveza prema ZTD-u je da izvještaje dobivene analizom pošalje nadzornom odboru ili skupštini društva s ograničenom odgovornošću.

### 2.3. Pokazatelji analize financijskih izvještaja

Pokazatelj je racionalni ili realni broj, što podrazumijeva da se jedna ekomska veličina stavlja u odnos s drugom ekonomskom veličinom. Nema smisla stavljati u vezu bilo koje ekomske veličine.[8] Analiza financijskih izvještaja je alat na temelju kojeg se može povećati kvaliteta informacija prikazana u financijskim izvještajima. Financijski pokazatelji su instrument koji pomaže u ocjeni i kvantifikaciji sigurnosti i uspješnosti poslovanja.[9] Pokazatelji analize financijskih izvještaja su: pokazatelji likvidnosti, zaduženosti, aktivnosti, ekonomičnosti, profitabilnosti i pokazatelji investiranja. U tvrtki se analiziraju financijski izvještaji i pomoću skupina pokazatelja.[8] Na temelju podataka iz *glavne*

*knjige* u procesu **vođenje glavne knjige** izrađuju se i temeljni financijski izvještaji kao što su *bilanca*, *RDG* (*račun dobiti i gubitka*), *izvještaj o novčanim tokovima*, *izvještaj o promjenama kapitala i ostale bilješke financijskih izvještaja*. U procesu **analize financijskih izvještaja** izračunavaju se pokazatelji analize financijskih izvještaja u MS Excelu 2007., te se prikazuju dobiveni rezultati i informacije pomoću grafikona za razdoblje od 2005. do 2009. godine. Analiziraju se *RGD*, *bilanca*, *izvještaj o novčanim tokovima*, *izvještaj o promjenama kapitala i ostale bilješke financijskih izvještaja*. Uz pomoć spomenutih *temeljnih financijskih izvještaja* možemo utvrditi posljedice proteklih poslovnih odluka na platnu sposobnost tvrtke i napraviti analizu.[2] *RDG* prikazuje prihode i rashode promatrane tvrtke. U njihovom *RDG-u* prikazani su poslovni i financijski prihodi te poslovni i financijski rashodi. Promatrana tvrtka u 2008. godini poslovni prihod je ostvarila od **prodaje** plina, proizvoda, usluga, naknada za priključenja, naplata od otpisa robe, od tužbe, prihod od naplaćene štete od osiguranja. Financijski prihodi promatrane tvrtke su ostvareni od kamata po računima, kamata po uplatnicama, naplaćenih kamata od tuženja potrošača. Rashodi tvrtke bili su troškovi sirovine i materijala, gubitak plina u mreži, trošak prodane robe, troškovi usluga, troškovi osoblja i ostali troškovi poslovanja. Financijski izvještaji puno pomažu tvrtki u donošenju odluka hoće li se proizvodni procesi odvijati na isti način kao do sada, ili će trebati napraviti reinženjering pojedinih poslovnih procesa.

#### 2.3.1. Pokazatelji likvidnosti

Pokazatelji likvidnosti mjere sposobnost poduzeća u kontekstu sposobnosti podmirenja kratkoročnih obaveza.[8]

Tablica 1. Prikaz formule za izračunavanje koeficijenta trenutačne i tekuće likvidnosti

| Naziv pokazatelja                  | Brojnik              | Nazivnik            |
|------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Koeficijent trenutačne likvidnosti | Novac                | Kratkoročne obaveze |
| Koeficijent tekuće likvidnosti     | Kratkotrajna imovina | Kratkoročne obaveze |

Tablica 1.[8] prikazuje dva pokazatelja likvidnosti. Prikazuje formulu za izračunavanje koeficijenta trenutačne likvidnosti i formulu za izračunavanje koeficijenta tekuće likvidnosti. Spomenuti pokazatelj računa se na temelju podataka iz financijskih izvještaja *bilanci*.

Tablica 2. Pokazatelji likvidnosti promatrane tvrtke (Naziv pokazatelja: Koeficijent trenutačne likvidnosti)

| OPIS                | Prethodna godina | Tekuća godina (Neto (2006)) | Tekuća godina (Neto (31.12.2007)) | Tekuća godina (Neto (31.12.2008)) |
|---------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Novac               | 13.842.637 kn    | 12.780.968 kn               | 7.892.772 kn                      | 1.734.743 kn                      |
| Kratkoročne obaveze | 15.435.783 kn    | 10.827.847 kn               | 11.750.078 kn                     | 14.714.106 kn                     |
| KTrL                | 0,896789         | 1,180379                    | 0,671720818                       | 0,117896595                       |

Tablica 2.[8] prikazuje koeficijent trenutačne likvidnosti.

Rezultati su dobiveni na temelju *bilance* na dan 31. prosinca za svaku godinu od 2005. do 2008. godine. Izračunati pokazatelji na temelju *bilance* promatrane tvrtke pokazuju tendenciju povećanja likvidnosti u tekućoj godini u odnosu na prethodnu godinu. Povećanje likvidnosti proizlazi iz povećanja ukupne kratkotrajne imovine (novac) i smanjenja kratkoročnih obaveza. U 2006. godini koeficijent trenutačne likvidnosti se povećao za 0,28359 u odnosu na 2005. godinu. U 2007. godini koeficijent trenutačne likvidnosti se smanjio za 0,50865 u odnosu na 2006. godinu. U 2008. godini koeficijent trenutačne likvidnosti se smanjio za 0,553824 u odnosu na 2007. godinu.

Tablica 3. Pokazatelji likvidnosti promatrane tvrtke (Naziv pokazatelja: Koeficijent tekuće likvidnosti)

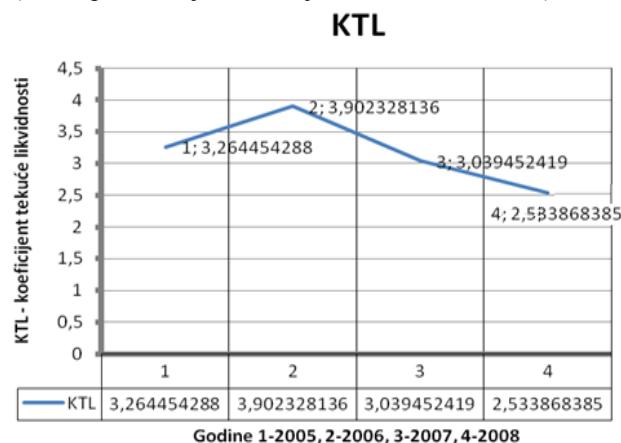
| OPIS                 | Prethodna godina (2005) | Tekuća godina (Neto (31.12.2006)) | Tekuća godina (Neto (31.12.2007)) | Tekuća godina (Neto (31.12.2008)) |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Kratkotrajna imovina | 50.389.408 kn           | 42.253.812 kn                     | 35.713.803,00 kn                  | 37.283.608,00 kn                  |
| Kratkoročne obaveze  | 15.435.783 kn           | 10.827.847 kn                     | 11.750.078,00 kn                  | 14.714.106,00 kn                  |
| KTL                  | 3,264454288             | 3,902328136                       | 3,039452419                       | 2,533868385                       |

Tablica 3.[8] pokazuje likvidnost promatrane tvrtke. Puni naziv pokazatelja likvidnosti je koeficijent tekuće likvidnosti. Koeficijent tekuće likvidnosti se izračunava na temelju formule kratkotrajna imovina kroz kratkoročne obaveze. Koeficijent tekuće likvidnosti bi trebao biti veći od 2.[9] U ovom slučaju je koeficijent tekuće likvidnosti veći od 2. Koeficijent tekuće likvidnosti je veći od 2 za svaku godinu. Tvrtka je održala tekuću likvidnost na normalnoj razini i izbjegla je nepravodobno plaćanje obaveza. Sve obaveze koje je trebala podmiriti bile su pravodobno podmirene. U 2006. godini koeficijent tekuće likvidnosti se povećao za 0,63784 u odnosu na 2005. godinu. U 2007. godini koeficijent tekuće likvidnosti se smanjio za 0,86288 u odnosu na 2006. godinu. U 2008. godini koeficijent tekuće likvidnosti se smanjio za 0,50558 u odnosu na 2007. godinu. Logički uvjet IF je korišten u MS Excelu 2007., kako bi sustav za analitičku obradu podataka dao odgovor na pitanje je li tvrtka poslovala likvidno ili nelikvidno kada je posrijedi koeficijent tekuće likvidnosti. Sintaksa za ispis likvidnosti u alatu za analitičku obradu podataka je IF (logical\_test,value\_if\_true,value\_if\_false).

Nakon unesenih vrijednosti, funkcija izgleda:=IF(B4<2;"Tvrtka je poslovala nelikvidno kada je posrijedi koeficijent tekuće likvidnosti";"Tvrtka je poslovala likvidno kada je posrijedi koeficijent tekuće likvidnosti"). Uvjet nije ispunjen jer je koeficijent tekuće likvidnosti u

celiji B4 manji od 2, pa će se ispisati da je tvrtka poslovala likvidno kada je posrijedi koeficijent tekuće likvidnosti.

Grafikon 1. Pokazatelj likvidnosti promatrane tvrtke (Naziv pokazatelja: Koeficijent tekuće likvidnosti)



Grafikon 1.[8] pokazuje likvidnosti promatrane tvrtke kroz četiri godine. Naziv pokazatelja je koeficijent tekuće likvidnosti. Prikazana je krivulja iz koje se vidi da je koeficijent tekuće likvidnosti bio najviši 2006. godine, a najniži 2008. godine.

### 2.3.2. Pokazatelji aktivnosti

Pokazatelji aktivnosti poznati su pod nazivom koeficijenti obrta, a računaju se na temelju odnosa prometa i prosječnog stanja. Upućuju na brzinu cirkulacije imovine u poslovnom procesu.[8]

Tablica 4. Prikaz formule za izračunavanje aktivnosti

| NAZIV POKAZATELJA                      | BROJNIK                | NAZIVNIK             |
|--|------------------------|----------------------|
| Koeficijent obrta ukupne imovine       | ukupni prihod(RDG)     | ukupna imovina       |
| Koeficijent obrta kratkotrajne imovine | ukupni prihod(RDG)     | kratkotrajna imovina |
| Koeficijent obrta potraživanja         | prihod od prodaje(RDG) | potraživanja         |

Tablica 4. prikazuje formule za izračunavanje aktivnosti, tj. koeficijent obrta ukupne imovine, koeficijent obrta kratkotrajne imovine, koeficijent obrta potraživanja. Koeficijent obrta ukupne imovine se izračunava na temelju dijeljenja ukupnih prihoda s ukupnom imovinom. Ukupni prihodi se gledaju iz RDG-a (*racuna dobiti i gubitka*). Koeficijent obrta kratkotrajne imovine se izračunava na temelju dijeljenja ukupnih prihoda s kratkotrajnom imovinom.

Koeficijent obrta potraživanja se izračunava na temelju dijeljenja prihoda od **prodaje** s potraživanjem. Prihod od **prodaje** se može vidjeti na *temeljnom financijskom izvještaju, računu dobiti i gubitka*. Tablica prikazuje i mjeru kako efikasno poduzeća upotrebljavaju svoje resurse.

Tablica 5. Prikaz koeficijenta obrta ukupne imovne

| OPIS           | Prethodna godina<br>(31.12.2005) | Tekuća godina<br>(31.12.2006) | Tekuća godina<br>(31.12.2007) | Tekuća godina<br>(31.12.2008) |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ukupni prihod  | 112.456.446 kn                   | 114.206.523 kn                | 99.405.753,16 kn              | 116.333.287,00 kn             |
| ukupna imovina | 191.261.888 kn                   | 187.666.332 kn                | 187.480.523,00 kn             | 191.608.207,00 kn             |
| KOui           | 0,587971013                      | 0,608561599                   | 0,530219095                   | 0,607141462                   |

Tablica 5 prikazuje koeficijent obrta ukupne imovine kroz 4 godine na dan 31. prosinca. Koeficijent obrta ukupne imovine se izračunava na temelju RDG-a (*računa dobiti i gubitka*). Koeficijent obrta ukupne imovine se izračunava tako da se ukupni prihodi podijele s ukupnom imovinom.

Na temelju iznosa koeficijenta vidi se da se koeficijent povećao 2006. godine u odnosu na 2005. godinu za 0,020590586. Na dan 31.12.2007. godine se koeficijent obrta ukupne imovine smanjio za -0,078342504, a 31.12.2008. godine je koeficijent za 0,076922368 veći u odnosu na koeficijent na dan 31.12.2007. godine.

Tablica 6. Prikaz koeficijenta obrta kratkotrajne imovne

| OPIS  | Prethodna godina<br>(31.12.2005) | Tekuća godina<br>(31.12.2006) | Tekuća godina<br>(31.12.2007) | Tekuća godina<br>(31.12.2008) |
|---|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Ukupni prihod                               | 112.456.446 kn                   | 114.206.523 kn                | 99.405.753,16 kn              | 116.333.287,00 kn             |
| Kratkotrajna imovina                        | 50.389.408 kn                    | 42.253.812 kn                 | 35.713.803,00 kn              | 37.283.608,00 kn              |
| Koeficijent obrta kratkotrajne imovine(KOK) | 2,231747712                      | 2,702869104                   | 2,783398709                   | 3,120226106                   |

Tablica 6.[8] prikazuje koeficijent obrta kratkotrajne imovine. Koeficijent obrta kratkotrajne imovine izračunava se dijeljenjem ukupnih prihoda s kratkotrajnom imovinom. Tablica prikazuje kretanje koeficijenta obrta kratkotrajne imovine. Koeficijent ima konstantnu tendenciju povećanja od 31.12.2005. godine do 31.12.2008. godine.

Tablica 7. Prikaz koeficijenta obrta potraživanja

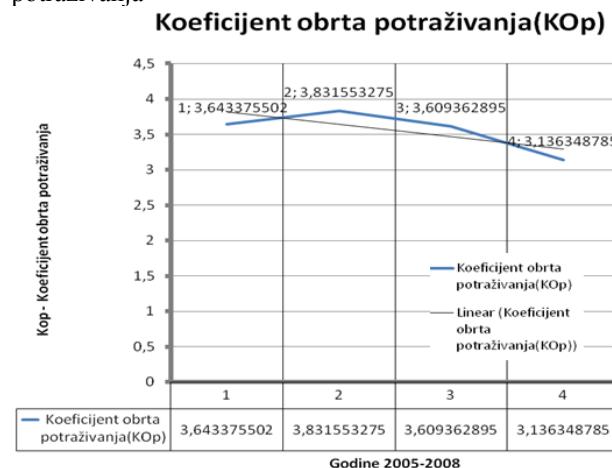
| Opis                                  | Prethodna godina<br>(31.12.2005) | Tekuća godina<br>(31.12.2006) | Tekuća godina<br>(31.12.2007) | Tekuća godina<br>(31.12.2008) |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Prihodi od prodaje                    | 108.698.599,75 kn                | 107.929.506,91 kn             | 96.254.385,00 kn              | 107.742.764,00 kn             |
| Potraživanja (Kl)                     | 29.834.586 kn                    | 28.168.604 kn                 | 26.667.971,00 kn              | 34.352.928,00 kn              |
| Koeficijent obrta potraživanja (KOpr) | 3,643375502                      | 3,831553275                   | 3,609362895                   | 3,136348785                   |

Tablica 7.[8] prikazuje koeficijent obrta potraživanja. Koeficijent obrta potraživanja izračunava se dijeljenjem iznosa prihoda od prodaje s iznosom potraživanja kod kratkotrajne imovine. Ovdje se može vidjeti da se koeficijent povećao 31.12.2006. godine u odnosu na

31.12.2005. godine, dok se nakon 31.12.2006. godine do 31.12.2008. godine koeficijent obrta potraživanja postepeno smanjivao.

Prvu promatranu godinu koeficijent obrta potraživanja iznosi je 3,643375502, drugu 3,609362895 na 3,831553275, treću godinu iznosi je 3,609362895, dok je četvrtu promatranu godinu bio 3,136348785. Kako se koeficijent povećava i smanjuje, tako raste i pada linijski grafikon na temelju kojeg je to najlakše uočiti.

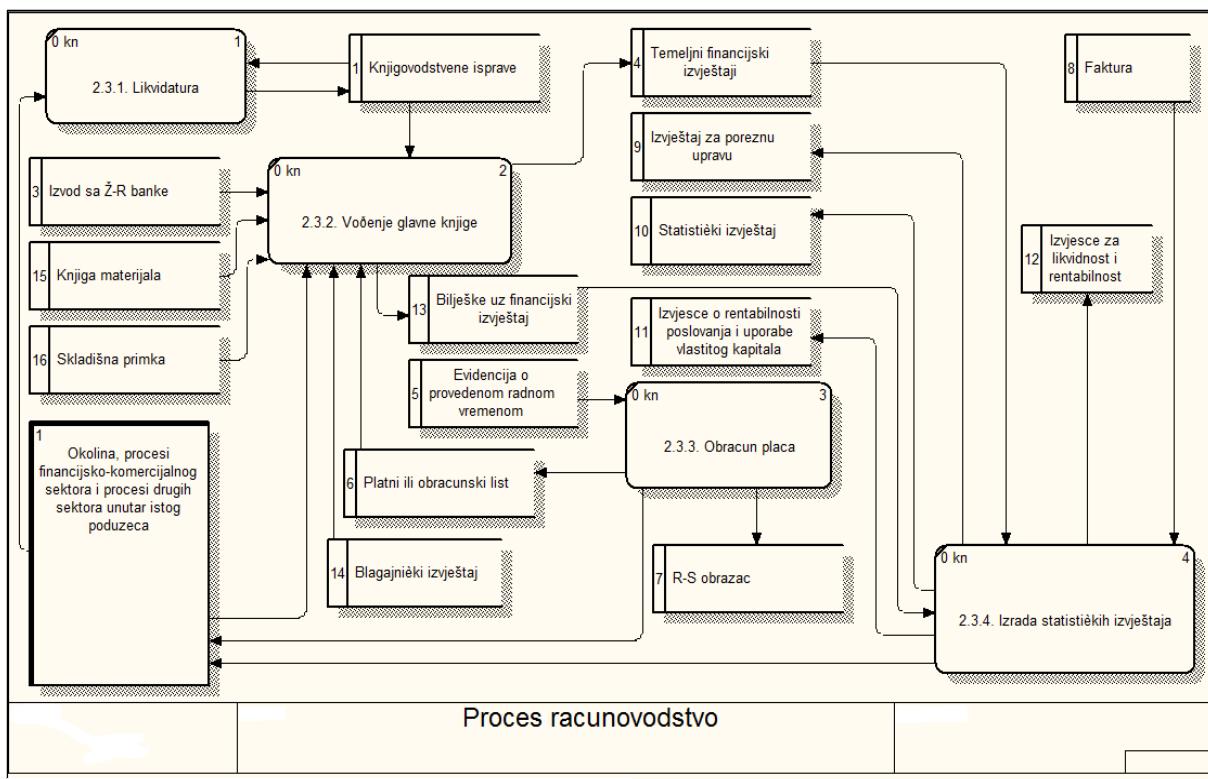
Grafikon 2. Pokazatelj krivulje za koeficijente obrta potraživanja



Grafikon 2.[8] pokazuje krivulju za koeficijente obrta potraživanja kroz četiri godine od 2005. do 2008. godine. Na Y osi su prikazani koeficijenti i ta os je podebljana, dok su na X osi prikazane godine i ona je isto podebljana radi preglednosti. Iz slike se može vidjeti da graf funkcije, tj. krivulja siječe graf linearne funkcije dva puta i to u razdoblju od 2007. i 2008. godine i u razdoblju od 2005. godine do 31.12.2006. godine.

#### 2.4. Dijagram tijeka podataka za proces računovodstvo

Dijagram tijeka podataka je sredstvo za prikaz modela informacijskog sustava. Takav dijagram sastoji se od tijeka podataka, spremišta podataka, procesa i vanjskog entiteta.[8] Dijagrami tijeka podataka su orientirani prema svim podacima i prema njihovom koljanju kroz promatrani podsustav. Da bi uspješno pratili tijek podataka i kako bi se prepoznali koraci u procesima, izrađuju se dijagrami tijeka podataka više i niže razine. Vanjski entitet predstavlja izvorište i odredište podataka. Bez vanjskog entiteta postojanje sustava, tj. tvrtke ne bi imalo smisla. Tvrta radi za vanjske entitete u koje se ubraju pravne i ili fizičke osobe. Dijagram tijeka podataka se izrađuje prema poslovnom pravilu.



Slika 2. Dijagram tijeka podataka prve razine

Slika 2. prikazuje dijagram tijeka podataka prve razine. On je detaljniji od dijagrama tijeka podataka nulte razine. Slika 2. prikazuje tijek podataka između potprocesa unutar procesa **računovodstvo** i između konkretnog potprocesa i okoline, unutar procesa **računovodstvo** ili drugih procesa (podsustava). Svaki potproces mora imati barem jedan ulaz i jedan izlaz, što se vidi iz slike 2. Vidi se da tijekovi podataka kod detaljnog DTP-a nisu neposredno povezani.

## 2.5. Primjeri jednostavnih SQL upita u Accessu 2007.

SQL je standardizirani upitni jezik koji koriste svi sustavi za upravljanje bazom podataka.<sup>[5]</sup> SQL je jezik za kreiranje, popunjavanje, pretraživanje i ažuriranje baze podataka. U današnje vrijeme on je opće prihvaćen. Pomoću njega se mogu, ovisno o formatu jedne ili više relacija, obavljati osnovne operacije relacijske algebre s podacima i atributima u relacijama. Primjeri jednostavnih upita i objašnjenja u SQL-u koji su kreirani u alatu MS Access 2007:

1. SELECT [Ekonomičnost poslovanja(prodaj)].OPIS, [Ekonomičnost poslovanja(prodaj)]. [Prethodna godina(2005)], [Ekonomičnost poslovanja(prodaj)]. [Tkuća godina(2006)] , [Ekonomičnost poslovanja (prodaj)].[Tkuća godina (31122007)], [Ekonomičnost poslovanja(prodaj)].[Tkuća godina (31122008)], [Ekonomičnost ukupnog poslovanja].OPIS, [Ekonomičnost ukupnog poslovanja]. [Prethodna godina(2005)], [Ekonomičnost ukupnog poslovanja]. [Tkuća godina(2006)], [Ekonomičnost ukupnog poslovanja]. [Tkuća godina (31122007)], [Ekonomičnost ukupnog poslovanja].[Tkuća godina

(31122008)] FROM [Ekonomičnost poslovanja(prodaj)] INNER JOIN [Ekonomičnost ukupnog poslovanja] ON [Ekonomičnost poslovanja (prodaj)]. ID = [Ekonomičnost ukupnog poslovanja].ID;

INNER JOIN predstavlja unutarnje spajanje relacija.

2. SELECT[Koeficijent tekuće likvidnosti].OPIS, [Koeficijent tekuće likvidnosti].[Prethodna godina(2005)], [Koeficijent tekuće likvidnosti].[Tekuća godina (Neto(31122006))], [Koeficijent tekuće likvidnosti].[Tekuća godina (Neto(31122007))], [Koeficijent tekuće likvidnosti].[Tekuća godina (Neto(31122008))], [Koeficijent trenutačne likvidnosti].OPIS, [Koeficijent trenutačne likvidnosti].[Prethodna godina], [Koeficijent trenutačne likvidnosti].[Tekuća godina(Neto(2006))], [Koeficijent trenutačne likvidnosti].[Tekuća godina (Neto(31122007))], [Koeficijent trenutačne likvidnosti].[Tekuća godina (Neto(31122008))], [Koeficijent ubrzane likvidnosti].OPIS, [Koeficijent ubrzane likvidnosti].[Prethodna godina], [Koeficijent ubrzane likvidnosti].[Tekuća godina((Neto)2006)], [Koeficijent ubrzane likvidnosti].[Tekuća godina(Neto(2007))], [Koeficijent ubrzane likvidnosti].[Tekuća godina(Neto(2008))]] FROM (([Koeficijent tekuće likvidnosti] INNER JOIN [Koeficijent trenutačne likvidnost] ON [Koeficijent tekuće likvidnosti].ID = [Koeficijent trenutačne likvidnost].ID) INNER JOIN [Koeficijent ubrzane likvidnosti] ON [Koeficijent tekuće likvidnosti].ID = [Koeficijent ubrzane likvidnosti].ID); .  
INNER JOIN kombinira zapise iz dviju relacija kada se u zajedničkom polju nalaze vrijednosti koje se podudaraju.

### 3. ZAKLJUČAK

Modeliranje poslovnih procesa je zahtjevan posao koji je povjeren informatičkim i inženjerskim stručnjacima, koji se godinama školuju za taj posao i koji iza sebe imaju mnogo iskustva u modeliranju procesa. Iz tog razloga se modeliranje poslovnih procesa mora raditi temeljito i detaljno. Modeliranje počinje razmatranjem i utvrđivanjem funkcija, procesa i potprocesa u samoj tvrtki. U radu je detaljno razmatran jedan proces, proces **računovodstvo** i potprocesi likvidatura, vođenje glavne knjige, obračun plaća, izrada statističkih i analiza finansijskih izvještaja. Nakon detaljizacije procesa, prelazi se na odabir potprocesa koji će se moći informatizirati. Najprije se izrađuje prikaz dekompozicije potprocesa kod procesa **računovodstvo**. Svi potprocesi mogu se raščlaniti na aktivnosti. Dijagrami tijeka podataka prikazuju tijek podataka unutar procesa **računovodstvo**, između potprocesa likvidatura, vođenje glavne knjige, obračun plaća, izrada statističkih i analiza finansijskih izvještaja, koji se nalaze u procesu **računovodstvo** i između potprocesa i okoline. Informatički stručnjaci koji se bave modeliranjem poslovnih sustava dobivaju dojam o tome kako zapravo radi promatrana tvrtka. Kada se stvori slika o tome kako tvrtka radi, može se napraviti model na nižoj razini i aplikacija, te se može izraditi baza podataka. Velika je vjerojatnost da pojedini modeli ne prikazuju sve potprocese i aktivnosti tvrtke, pogotovo ako su modeli rađeni na temelju poslovanja velikih tvrtki koji imaju mnogo veza.

### 4. LITERATURA

1. Bosilj-Vukušić, V.; Hernaus, T.; Kovačić, A. Upravljanje poslovnim procesima : organizacijski i informacijski pristup. Školska knjiga : Zagreb, 2008.
2. Novak, B.; Marković, B.; Matić, B. Financijska teorija i praksa. Sveučilište u Osijeku ; Ekonomski fakultet u Osijeku : Osijek, veljača 2006. Str. 95, 96.
3. Panian, Ž.; Čurko, K.; Vukšić-Bosilj, V.; Čerić, V.; Pejić-Bach, M.; Požgaj, Ž.; Spremić, M.; Strugar, I.; Varga, M. Poslovni informacijski sustavi. Element : Zagreb, 2010.
4. Rakijašić, J. Rokovi podnošenja godišnjih finansijskih i drugih izvještaja za 2009. godinu : časopis za tvrtke i banke, obrtnike, proračunske korisnike i proračune, neprofitne i ostale organizacije, broj 1. TEB : Zagreb, siječanj 2010.
5. Skočir, Z.; Matasić, I.; Vrdoljak, B. Organizacija obrade podataka. Izd. 1. Merkur A.B.D. ; FER, Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, 2007. Str. 35.
6. Strahonja, V.; Varga, M.; Pavlić, M. Projektiranje informacijskih sustava : metodološki priručnik. Zavod za informatičku djelatnost Hrvatske INA-INFO : Zagreb, 1992.
7. Varga, M.; Čurko, K.; Panian, Ž.; Čerić, V.; Vukšić-Bosilj, V.; Srića, V.; Požgaj, Ž.; Strugar, I.; Spremić, M.; Pejić-Bach, M.; Vlahović, N.; Jaković, B. Informatika u poslovanju. Sveučilište u Zagrebu ; Izgradnja IS-a : Zagreb, 2007.
8. Žager, K.; Žager, L. Analiza finansijskih izvještaja. MASMEDIA : Zagreb, lipanj 1999. Str. 172.
9. Žager, K.; Mamić-Saćer, I.; Sever, S.; Žager, L. Analiza finansijskih izvještaja. 2. prošireno izd. Masmedia d.o.o. : Zagreb, rujan 2008. Str. 40, 249.
10. <http://www.zpr.fer.hr/zpr/LinkClick.aspx?fileticket=dFJKU%2fhTaHw%3d&tabid=66&mid=494&language=hr-HR>, 14. lipnja 2009.
11. <http://narodne-novine.nn.hr/default.aspx> Zakon o trgovackom društvu. Obveze izvješćivanja. [NN br., 118/03, 107/07, 146/08, 137/09], 24. travnja 2010.

#### Kontakt:

Matija Varga, mag. inf., univ. spec. oec.  
Tehnička škola Čakovec  
Sportska 5, Čakovec  
E-mail: mavarga@foi.hr

# UVOD U ZIGBEE PROTOKOL ZA BEŽIČNE MREŽE UPRAVLJANJA I NADZORA

**Taradi T.<sup>1</sup>, Kukec M.<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska**

**Sažetak:** Ovaj rad uvodi nas u osnove bežične komunikacije putem ZigBee protokola, uz primjer ZigBee protokolnog stoga tvrtke Microchip. U njemu su opisani osnovni pojmovi vezani uz ZigBee protokol, slojevi protokolnog stoga, te je objašnjeno na koji se način šalju i primaju poruke. Na kraju je opisan hardver potreban za izradu Microchipovog ZigBee uređaja, čime je stvorena podloga za konkretnu primjenu ovog protokola, što je ujedno i cilj ovog rada.

**Ključne riječi:** Microchip PIC Mikrokontroler, bežični prijenos podataka, ZigBee

**Abstract:** This paper introduces us to the basics of wireless communication by using the ZigBee protocol, with the example of ZigBee protocol stack of the Microchip Company. Basic notions related to the ZigBee protocol together with the layers of protocol stack are described in the paper; the way of sending and receiving messages is explained. Towards the end of the paper, the hardware needed for the making of Microchip's ZigBee device is described, which created the background for the concrete application of this protocol, this being the aim of the work.

**Key words:** Microchip Pic Microcontroller, Wireless data transfer, ZigBee

## 1. UVOD

Namjera ovog rada je pokazati osnove samog protokola te objasniti način uspostavljanja komunikacije korištenjem implementacije ZigBee protokolnog stoga tvrtke Microchip. Protokol je nastao zbog potrebe umrežavanja velikog broja uređaja (moguće umrežavanje više od 65 000 čvorova). Između njih se prenosi malo podataka, a primjena zahtijeva veliku energetsku autonomiju uređaja i malu potrošnju. Tipični primjeri primjene su bežične mreže osjetila, kontrolne mreže, prikupljanje medicinskih podataka i slično. ZigBee standard razvila je organizacija ZigBee Alliance, udruga tvrtki osnovana 2002. godine. Cilj im je zajednička izrada javnog svjetskog standarda koji bi omogućio stvaranje pouzdanih, bežično povezanih elektroničkih proizvoda male potrošnje i male cijene.

ZigBee protokol se temelji na IEEE 802.15.4 standardu, ali se često ova dva pojma poistovjećuju. Komunikaciju putem ZigBee protokola moguće je ostvariti u tri pojasa frekvencije: prvi pojas je na frekvenciji od 868 MHz te sadrži kanal 0 i podržava prijenos podataka brzinom od 20 kbps. Drugi pojas je na frekvenciji 915 MHz s kanalima 1–10 i brzinom prijenosa od 40 kbps, dok je treći kanal na 2,4 GHz s kanalima 11–26, brzinom prijenosa od 250 kbps i širinom kanala od 5 MHz. U frekvencijskom opsegu na 2,4 GHz doseg deklariranog prometa na otvorenom iznosi 100 m, dok je u zatvorenom prostoru 30 m sa snagom odašiljanja od 1 mW.

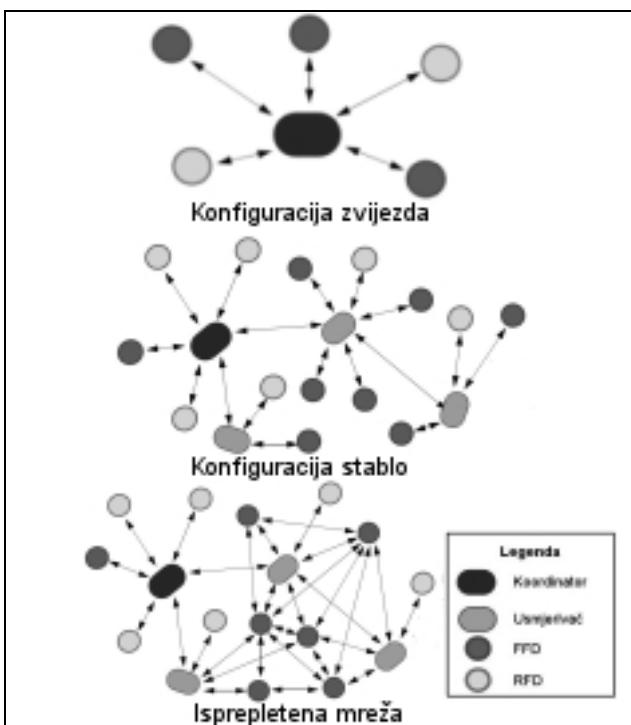
Drugi dio rada daje osnovne pojmove vezane uz komunikaciju putem ZigBee protokola. Treći dio objašnjava arhitekturu protokola po slojevima na koje je podijeljen. Opis protokolnog stoga tvrtke Microchip, kao i način komunikacije, nalaze se u četvrtom dijelu ovog rada. Hardver potreban za izradu uređaja temeljenog na implementaciji protokolnog stoga tvrtke Microchip opisan je u petom dijelu.

U radu se često puta koristi kratica ZigBee i sintagma ZigBee protokolni stog. Pri tome se uvijek misli ZigBee protokolni stog tvrtke Microchip.

## 2. OSNOVNI POJMOVI ZIGBEE KOMUNIKACIJE

Bežična komunikacija temeljena na ZigBee protokolnom stogu namijenjena je elektroničkim uređajima razmjerno malih dimenzija i male potrošnje energije. Kako bi se krenulo u objašnjavanje osnovnih principa rada protokola, treba prvo spomenuti podjelu uređaja koji sudjeluju u komunikaciji.

Protokolni stog ZigBee temelji se na IEEE standardu koji, po razini funkcionalnosti, definira dva razreda uređaja: uređaj s potpunom funkcionalnošću (eng. Fully Functional Device - FFD) i uređaj s ograničenom funkcionalnošću (eng. Reduced Functional Device - RFD). Uređaj tipa FFD je uglavnom spojen na neki stalni izvor napajanja, dok je RFD profil namijenjen energetski samostalnim uređajima. On ima neko vlastito autonomno napajanje te je kao takav ograničen u energetskom smislu i funkcijama u mreži.



Slika 1. Topologije ZigBee protokolnog stoga

Uređaji se dijele i prema ulozi u mreži. Tako imamo: koordinator (eng. coordinator), usmjerivač (eng. router) i krajnji uređaj (eng. end device). Uredaj tipa koordinator je po svojoj funkcionalnosti uvijek uređaj tipa FFD. Njegov zadatok je izvođenje inicijalnih akcija i uspostavljanje veze između ostalih čvorova u mreži. Koordinator može služiti i kao izlaz prema nekoj drugoj vrsti mreže (LAN, GSM). Pravilo koje ZigBee mreža mora slijediti je da u svakoj mreži može postojati samo jedan koordinator.

Uređaj tipa usmjerivač je također uvijek FFD uređaj. Njegova uloga u mreži je ta da povećava domet i broj mogućih čvorova u mreži. On može imati i nadzornu i ili upravljačku funkciju. Broj usmjerivača u mreži je proizvoljan.

Krajnji uređaj je uglavnom RFD, ali može biti i FFD uređaj. Na njemu su uglavnom smještena osjetila ili neke upravljačke jedinice.

Mrežne topologije koje se mogu postići upotrebom ZigBee protokola su zvijezda (eng. star network configuration), stablo (eng. cluster tree topology) i isprepletena mreža (eng. mesh network), a prikazane su na slici 1. Mrežna konfiguracija zvijezda sastoji se od jednog koordinatora i jednog ili više krajnjih uređaja. U zvijezdi svi krajnji uređaji komuniciraju samo s koordinatorom. Ukoliko krajnji uređaj želi poslati podatke drugom krajnjem uređaju, podaci se prvo šalju koordinatoru koji ih zatim proslijedi primatelju. Kod konfiguracije stabla krajnji uređaji se mogu spojiti na koordinator ili na usmjerivač. Dodavanjem usmjerivača u mrežu, krajnji uređaj ne mora biti u dometu koordinatora. Konfiguracija isprepletene mreže slična je konfiguraciji stabla. U konfiguraciji isprepletene mreže umjesto da se prati strukturu stabla FFD članovi mogu usmjeravati poruke direktno drugim FFD članovima. Poruke za RFD

članove ipak moraju ići kroz nadređeni uređaj RFD člana. Prednosti ove topologije su smanjenje kašnjenja poruka i povećanje otpornosti mreže od kvarova na čvorovima.

Uređaji u ZigBee mreži posjeduju jedinstvenu adresu širine 64 bita, a postavlja je proizvođač uređaja. Nakon što se uređaj prijavi koordinatoru, on ga upiše u tablicu u memoriji u kojoj se 64-bitnoj adresi pridružuje kratka, 16-bitna adresa. Na taj način uređaji unutar mreže mogu komunicirati pomoću 16-bitnih adresa. Koordinator omogućuje i komunikaciju uređaja iz mreža s različitim mrežnim identifikatorima, dakle komunikaciju između dvije neovisne ZigBee mreže. U tom se slučaju uređaji moraju adresirati pomoću jedinstvenih 64-bitnih adresa. Uređaj pristupa mediju prema CSMA-CA protokolu. Postoje dvije vrste mehanizma pristupa: mrežnim signalom (eng. beacon) i bez mrežnog signala (eng. non-beacon).

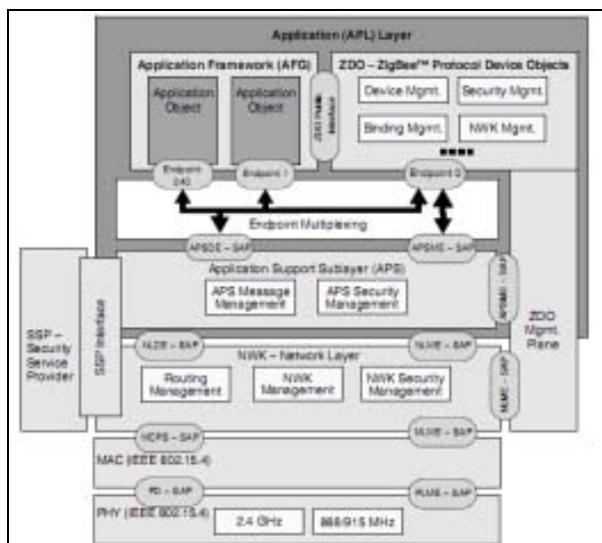
Za pristup mediju bez mrežnog signala upotrebljava se CSMA-CA bez vremenskih isječaka (eng. time slots). Nakon što se krajnji uređaji prijave koordinatoru i na taj se način uspostavi mreža, oni se "natječu" za korištenje prijenosnog medija prema protokolu CSMA-CA. Drugim riječima, koordinator čitavo vrijeme čeka hoće li krajnji uređaj od njega tražiti neku aktivnost. Zbog toga koordinator mora čitavo vrijeme biti aktivan i tako se štedi energija u krajnjim čvorovima. Ovakvo funkcioniranje mreže neprikladno je za uređaje čije aplikacije zahtijevaju brzo reagiranje, tj. zahtijevaju iznimno mala kašnjenja i veliku propusnost. Koordinator kod ovakvog tipa mreže nije napajan iz baterije, dok krajnji uređaji jesu. Problem se rješava kod načina rada s mrežnim signalom.

U mrežama s mrežnim signalom, čvorovima je omogućeno slanje poruka u prije određenim vremenskim isječcima. Koordinator periodično odašilje nadzorni okvir (eng. superframe) koji se identificira kao okvir mrežnog signala, te se svi čvorovi u mreži moraju sinkronizirati s tim okvirom. Svakom čvoru dodjeljuje se garantirani vremenski isječak (eng. Guaranteed Time Slot, GTS) unutar nadzornog okvira, tijekom kojega mu je dopušteno slanje i primanje svojih podataka. Nadzorni okvir također može sadržavati nedodijeljene isječke tijekom kojih se svi čvorovi natječu za pristup kanalu. Sama komunikacija u ZigBee mreži može se podijeliti na tri vrste prijenosa podataka: od krajnjeg uređaja prema koordinatoru, od koordinatora prema krajnjem uređaju i između dva krajnja uređaja.

Kod prijenosa podataka od krajnjeg uređaja prema koordinatoru, u mreži u kojoj se koristi mrežni signal, uređaj se CSMA-CA metodom redovito sinkronizira s koordinatorom. Potvrdu prijema koordinator šalje samo ako uređaj to traži. U mreži koja ne koristi mrežni signal, uređaj šalje podatke čim se oslobođi kanal. Potvrda prijema je također opcionalna.

Ukoliko koordinator mrežnom zrakom treba poslati podatke nekom krajnjem uređaju, on u sadržaju mrežne zrake obavještava uređaj da ima podatke za njega. Uredaj

tada koordinatoru šalje poruku sa zahtjevom za slanje podataka. Tako pokazuje da je aktivan i spremam za primanje podataka. Koordinator zatim potvrđuje primitak zahtjeva za slanjem podataka i šalje podatke uredaju. Opcionalno je slanje potvrde o primitku koju šalje uređaj. Kod slanja podataka od koordinatora prema krajnjem uredaju u mreži bez mrežne zrake, koordinator mora čekati da uređaj pošalje zahtjev za podacima. Ako uređaj zatraži podatke, a koordinator nema nikakve podatke za poslati tom uređaju, šalje mu poruku potvrde primitka u kojoj javlja da nema poruka za njega, ili šalje podatkovnu poruku bez korisnog sadržaja (eng. zero-length payload).



Slika 2. Arhitektura stoga ZigBee protokola

Kod prijenosa podataka između dva krajnja uređaja, svaki uređaj može komunicirati s bilo kojim drugim uređajem u mreži. Kako bi uređaji efikasno komunicirali, tijek podataka bi trebao biti kontinuiran ili se mora međusobno sinkronizirati. U prvom slučaju uređaj šalje podatke koristeći CSMA-CA bez vremenskih isječaka, a u drugom slučaju potrebno je postići sinkronizaciju, a te mjere nisu dio IEEE 802.15.4 standarda.

### 3. ARHITEKTURA STOGA ZIGBEE PROTOKOLA

Slika 2. prikazuje arhitekturu stoga ZigBee protokola. Stog je podijeljen u slojeve koji su međusobno povezani podatkovnim i upravljačkim servisnim pristupnim točkama (eng. Service Access Point – SAP), preko kojih komuniciraju primitivima.

Komunikacija između susjednih slojeva obavlja se ZigBee primitivima, koji svojim parametrima opisuju uslugu koju je potrebno pružiti. Svaki uslužni primitiv može imati proizvoljan broj parametara koji prenose informaciju potrebnu za pružanje usluge. Primitivi su podijeljeni u četiri vrste: zahtjev, indikacija, odgovor i potvrda. Primitivi zahtjeva prenose se od N-tog korisnika (aplikacijskog objekta) do N-tog sloja kao zahtjev za uključivanjem usluge. Primitivi indikacije prenosi se od N-tog sloja do N-tog korisnika kako bi ukazala na događaj u N-tom sloju važan za N-tog korisnika. Primitivi odgovora prenose se od N-tog korisnika N-tom

sloju kako bi se završila procedura pozvana primitivom indikacije. Primitivi potvrde prenose se od N-tog sloja N-tom korisniku kako bi se prenijeli rezultati jednog ili više povezanih prethodnih uslužnih zahtjeva.

Fizički sloj (eng. physical layer, PHY) odgovoran je za aktiviranje radija koji šalje ili prima pakete. Također bira frekvenciju kanala i provjerava da komunikacijski kanal nisu trenutačno zauzeli drugi uređaji u mreži.

Sloj za pristup mediju (MAC – Medium Access Layer) zadužen je za pristup fizičkom sloju, za generiranje i sinkroniziranje na mrežnu zraku, pokretanje koordinatora i za generiranje identifikatora osobne mreže (eng. Personal Area Network Identifier, PAN Id), za određivanje i izvršavanje GTS-a, korištenje CSMA-CA mehanizma za pristup kanalu te za uspostavljanje veze između MAC slojeva na različitim čvorovima. Tako bi se ostvarila pouzdana komunikacija između dva susjedna čvora u mreži. Funkcionalnost uređaja je definirana na ovom sloju.

Mrežni sloj (eng. network layer, NWK) je zadužen za pravilno formiranje mrežne topologije, za konfiguriranje uređaja, uključivanje i isključivanje čvora s mrežom, za dostavljanje poruke pravom odredištu, pravilno adresiranje, otkrivanje susjedstva i pravih putova između dva čvora, te za prosljeđivanje i primanje podataka od aplikacijskog i MAC sloja. Mrežni sloj podržava usmjeravanje poruka (eng. routing), odnosno formiranje optimalne mrežne topologije. Ove dvije funkcije su glavne značajke ZigBee protokola. Funkcija uređaja je definirana na mrežnom sloju.

Najviši sloj Zigbee protokolnog stoga sastoji se od aplikacijskog okvira (eng. Application Framework), objekta ZigBee uređaja (eng. ZigBee Device Object, ZDO) i podsloja aplikacijske podrške (eng. Application Support Sublayer, APS).

Aplikacijski okvir pruža okruženje za razvoj krajnje korisničke aplikacije te opisuje kako izraditi aplikacijski profil na ZigBee protokolnom stogu, kako bi se osiguralo da se profili mogu generirati na dosljedan način. Aplikacijski profili omogućavaju korisniku aplikacijskog koda da šalje naredbe i upite. Aplikacijski profil je skup opisa uređaja u mreži, sučelja i poruka koje se šalju među uređajima. Postoje dvije vrste profila: javni i privatni. Javni profil definira ZigBee Alliance te se koristi kako bi se osigurala interoperabilnost proizvoda koji su izrađeni po nekom javnom profilu, što znači da imaju zajednički komunikacijski mehanizam. Privatni profil definira pojedina tvrtka ili skupina tvrtki i namijenjen je za upotrebu u zatvorenom sustavu gdje interoperabilnost nije potrebna. Sastavni dio profila su atributi. To su podaci koji se šalju među uređajima kao što su npr. položaj sklopke ili očitanje mjernog uređaja. Unutar profila, svakom atributu je dodijeljen jedinstveni 16-bitni identifikator – Attribute ID. Atributi su grupirani u skupine atributa (eng. cluster). Svakoj skupini atributa je također dodijeljen jedinstveni 16-bitni identifikator – Cluster ID.

Aplikacijski objekt je softver u krajnjoj točki (eng. endpoint) koji upravlja ZigBee uređajem. Jedan ZigBee

čvor može imati i do 240 krajnjih točaka. Svaki aplikacijski objekt spojen je na jednu krajnju točku, od 1 do 240 (krajnja točka 0 rezervirana je za objekt ZigBee uređaja (ZDO)).

ZDO definira ulogu uređaja unutar mreže (koordinator, usmjerivač ili krajnji uređaj), pokreće i/ili odgovara na zahtjeve za vezanje ili otkrivanje mreže i uspostavlja sigurnu vezu između uređaja u mreži. Također pruža bogati set upravljačkih naredbi definiranih u profilu ZigBee uređaja. ZDO je uvijek u nultoj krajnjoj točki. ZDO upravljačka osnova (eng. ZDO Management Plane) potpomaže pri komunikaciji između APS I NWK slojeva sa ZDO. Omogućava ZDO-u da pomoći poruka iz profila ZigBee uređaja rješava zahtjeve aplikacija za pristupom mreži i zaštitom.

Podsloj aplikacijske podrške (APS) odgovoran je za pružanje podatkovnih usluga profilima aplikacija i ZigBee uređaja. Također pruža upravljačke usluge za održavanje veze i spremanje same tablice veza.

Zaštita je važan faktor u svim bežičnim mrežama pa tako i u ZigBee mrežama. U bežičnoj mreži poslane poruke mogu primati svi uređaji u dometu, uključujući i uljeza. Dva su glavna problema sigurnosti bežičnih mreža. Prvi je povjerljivost podataka. Uredaj uljez može priskrbiti osjetljive podatke jednostavno slušajući poslane poruke. Taj problem rješava enkripcija poruka. Algoritam enkripcije mijenja poruku koristeći se nizom bitova poznatih kao zaštitni ključ, te će samo uređaj kojemu je poruka namijenjena moći obnoviti originalnu poruku. IEEE 802.15.4 standard podržava standard napredne enkripcije (eng. Advanced Encryption Standard, AES) za enkripciju odlaznih poruka. Drugi problem sigurnosti je mogućnost uređaja uljeza da promijeni i ponovo pošalje neku od prijašnjih poruka, čak i ako su poruke kriptirane. Dodavanje koda cijelovitosti poruke (eng. message integrity code, MIC) svakom izlaznom okviru omogućuje primatelju spoznaju je li poruka promijenjena u tranzitu. Ovaj proces naziva se autentifikacija podataka. Dio stoga odgovoran za zaštitu naziva se pružatelj usluge zaštite (eng. Security Service provider, SSP) te se pokreće i usklađuje preko ZDO. Sadrži sigurnosne mehanizme za slojeve koji se koriste enkripcijom (NWK i APS).

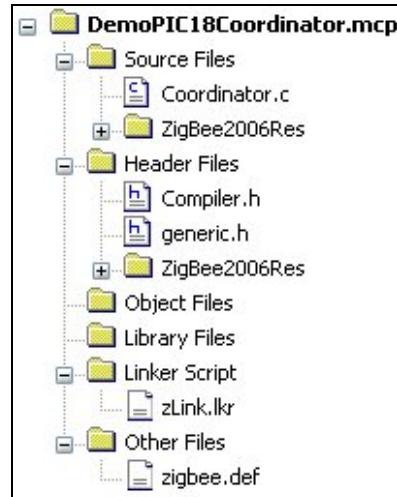
Vezivanje (eng. binding) je zadatak stvaranja logičkih veza između aplikacija koje su povezane. Na primjer, ZigBee uređaj spojen sa svjetiljkom je logički povezan s drugim ZigBee uređajem spojenim prekidačem koji upravlja svjetiljkom. Informacije o tim logičkim vezama pohranjene su u tablici veza (eng. binding table). ZigBee protokol pruža podupire stvaranje i održavanje tablice veza u aplikacijskom sloju. Uredaji logički vezani u tablici veza zovu se vezani uređaji (eng. bound devices).

#### 4. IMPLEMENTACIJA ZIGBEE PROTOKOLA TVRTKE MICROCHIP

Tvrtka Microchip je za komunikaciju ZigBee protokolom razvila protokolni stog koji je izrađen u Microchipovoj razvojnoj okolini MPLAB IDE u programskom jeziku C. Želi li se razvijati softver za mikrokontrolere s podrškom za ZigBee protokol, na računalu treba imati instaliranu razvojnu okolinu MPLAB IDE s odgovarajućim programskim prevoditeljem (eng. compiler). U ovom

radu korišten je prevoditelj C18. Kompletan izvorni kôd ZigBee stoga tvrtke Microchip dostupan je svima i slobodno se može skinuti na internet stranici tvrtke Microchip u obliku instalacijske datoteke. Verzija stoga korištena u ovom radu je v2.0-2.6.a.

Nakon instalacijskog procesa, na mjestu koje smo odabrali prilikom instalacije nalazi se direktorij "Microchip Solutions" s poddirektorijem "ZigBee2006Res", u kojem je instaliran i program ZENA. On služi za podešavanje postavki stoga i za analiziranje ZigBee mreža, za što je potreban dodatan hardver. Izvorišne datoteke stoga ZigBee protokola nalaze se u mapi "Microchip". Datoteke koje se nalaze u ovoj mapi ne smiju se mijenjati jer bi to utjecalo na pravilan rad samog stoga. U mapama čije ime počinje s "DemoPIC" nalaze se izvorišne datoteke za pokazne ZigBee uređaje (koordinator, usmjerivač, RFD). Broj 18 ili 24 u nazivu mape označava kojoj je porodici PIC mikrokontrolera namijenjen izvorišni kod koji se nalazi u njemu.



Slika 3. Izgled projekta koordinatora

Važno je spomenuti kako se ovim radom prikazuju samo osnove komunikacijske mogućnosti između dva ZigBee uređaja, koordinatora i RFD uređaja na PIC mikrokontroleru iz serije 18. Mikrokontroler koji se koristi je mikrokontroler tvrtke Microchip s oznakom 18F4620.

U mapama "DemoPIC18Coordinator" i "DemoPIC18RFD" nalaze se datoteke specifične za koordinatorski, odnosno RFD čvor, te datoteka projekta za svaki čvor napravljena u Microchipovoj MPLAB razvojnoj okolini, *DemoPIC18Coordinator.mcp* i *DemoPIC18RFD.mcp*. Otvaranjem datoteke otvara se projekt u MPLAB razvojnoj okolini kako je pokazano na slici 3. Mape u projektu nazvane "ZigBee2006Res" sadrže izvorišne datoteke i datoteke zaglavja stoga. Pozornost će se posvetiti glavnim izvorišnim datotekama *Coordinator.c*, odnosno *RFD.c*, koje su ujedno jedina razlika u sadržaju projekata koordinatora i RFD člana. U tim datotekama se postavlja hardver i softver, a tu je i glavna petlja. Inicijalizacija hardvera podrazumijeva inicijalizaciju SPI komunikacije i SPI pinova, određivanje smjerova komunikacije na svim korištenim nožicama mikrokontrolera i provjeru korištenog

primopredajnika. Softverska inicijalizacija podrazumijeva pokretanje samog protokolnog stoga pozivom funkcije *ZigBeeInit()*.

```
while (1) {
    CLRWDT();
    ZigBeeTasks( &currentPrimitive );
    ProcessZigBeePrimitives();
    ProcessNONZigBeeTasks();
}
```

Slika 4. Glavna petlja programa koji koristi ZigBee protokolni stog tvrtke Microchip

Nakon obavljenih početnih inicijalizacija, program ulazi u glavnu, beskonačnu petlju prikazanu na slici 4. U glavnoj petlji prvo se resetira brojac WDT funkcijom *CLRWDT()*. Funkcijom *ZigBeeTasks* pokreće se rad stoga koji obraduje prethodno odabran primitiv. Pri prvom prolasku kroz petlju nema primitiva za obradu, pa je trenutni primitiv (eng. current primitive) *NO\_PRIMITIVE*. Nakon završetka obrade primitiva, potrebno je za sljedeći primitiv odabrati *NO\_PRIMITIVE*, kako bi se izbjegla beskonačna petlja. *ProcessZigBeePrimitives()* funkcijom određuje se sljedeći primitiv koji stog treba obraditi. Pozivom funkcije *ProcessNONZigBeeTasks()* izvršavaju se zadaci koji nisu vezani uz sam ZigBee protokol.

```
if (zigBeeReady()) {
    ZigBeeBlockTx();
    TxBuffer[TxData++] = broj;
    params.APSDE_DATA_request.DstAddrMode
        = APS_ADDRESS_16_BIT;
    params.APSDE_DATA_request.DstAddress.ShortAddr.v[1] = 0x79;
    params.APSDE_DATA_request.DstAddress.ShortAddr.v[0] = 0x6F;
    ...
    currentPrimitive = APSDE_DATA_request;
}
```

Slika 5. Primjer slanja poruke

Proces formiranja ili spajanja na mrežu inicira se u *NO\_PRIMITIVE* rukovanju primitivama. Ako je uređaj koordinator koji nije formirao mrežu, on to pokušava slanjem *NLME\_NETWORK\_FORMATION\_request* primitiva. Ako uređaj nije koordinator i trenutačno nije u mreži, on se pokušava spojiti na mrežu. U slučaju da je uređaj već prije bio u mreži, pokušat će se spojiti tako da šalje *NLME\_JOIN\_request* s parametrom *RejoinNetwork* postavljenim na TRUE. Ukoliko ne uspije, ili ako uređaj nije bio prije u mreži, pokušat će se spojiti kao novi čvor. Prvo šalje *NLME\_NETWORK\_DISCOVERY\_request* da otkrije koje su mreže dostupne. Nakon toga aplikacijski kod odabire jednu od pronađenih mreža i pokušava se spojiti slanjem *NLME\_NETWORK\_JOIN\_request* primitive s parametrom *RejoinNetwork* postavljenim na FALSE.

ZigBee protokolni stog omogućava istodobno jednu izlaznu poruku u aplikacijskom sloju. Slika 5. prikazuje kôd kojim se šalje poruka:

1. Je li aplikacijski sloj spreman za novu izlaznu poruku provjerava se utvrđivanjem da li je povratna vrijednost funkcije *ZigBeeReady()* TRUE.

2. Zaključavanje sustava funkcijom *ZigBeeBlockTx()*, tako da daljnji pozivi funkcije *ZigBeeReady()* vraćaju vrijednost FALSE.
3. Spremanje sadržaja poruke u *TxBuffer* polje, koristeći *TxData* za indeksiranje kroz polje. Kada je spremanje završeno, *TxData* mora pokazivati na prvu lokaciju poslije poruke (tj. *TxData* jednak je dužini poruke).
4. Unošenje parametara *APSDE\_DATA\_request* primitiva.
5. Postavljanje *APSDE\_DATA\_request* kao trenutačnog primitiva i pozivanje funkcije *ZigBeeTasks()*.

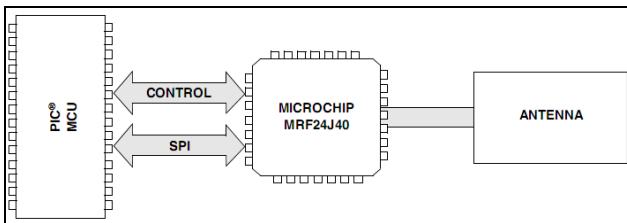
Poruke se šalju uobičajeno na jednom od dva mesta: u obradi *APSDE\_DATA\_indication* kao odgovor na primljenu poruku, ili u obradi *NO\_PRIMITIVE* kao odgovor na aplikacijski događaj. Status poslane poruke vraća se preko *APSDE\_DATA\_confirm* primitiva. Ako slanje poruke ne uspije, ono se ponavlja onoliko puta koliko je određeno parametrom *apscMaxFrameRetries*.

```
case APSDE_DATA_indication:
{
    switch(
        params.APSDE_DATA_indication.DstEndpoint){
        /**
         */
        case 33:
            stanje = APLGet;
            break;
        /**
         */
        APLDiscardRx();
    }
}
```

Slika 6. Primjer primanja poruke

Slika 6. prikazuje primjer primanja poruke. Stog obavještava aplikaciju o primljenoj poruci preko *APSDE\_DATA\_indication* primitiva. Aplikacija zatim provjerava kojoj je krajnjoj točki poruka namijenjena. U ovom primjeru provjeravamo krajnju točku 33. Ako je poruka namijenjena za krajnju točku 33, funkcijom za pribavljanje sljedećeg bajta poruke *APLGet* upisuje se poslana poruka u varijablu stanje. Ovdje je poslan samo jedan bajt, pa je cijela poruka primljena. Nakon obrade trenutačne poruke potrebno je pozvati funkciju *APLDiscard*, kojom se odbacuje primljena poruka.

Nakon završetka izrade programskega koda, treba prilagoditi postavke stoga za namjenu koju smo odredili uređaju. Postavke stoga zapisane su u datotekama *zigbee.def*, *myZigBEE.c* i *zLink.lkr*. Prilagođavanje postavki se radi stvaranjem novih datoteka pomoću alata za podešavanje postavki stoga (eng. Stack Configuration Tool). Alat se nalazi u sklopu programa za analizu bežičnih mreža ZENA (eng. ZENA Wireless Network Analyzer), koji je instaliran zajedno sa stogom i nalazi se u poddirektoriju "ZigBee2006Res". Tim programom se također može analizirati bežična mreža zasnovana na IEEE 802.15.4 standardu. Da bi se to ostvarilo, potreban je dodatan Microchipov sklop.

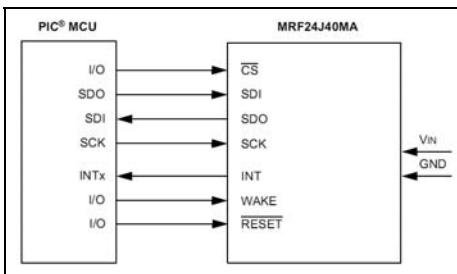


Slika 7. Povezivanje hardvera tipičnog ZigBee uređaja

## 5. HARDVER ZIGBEE UREĐAJA

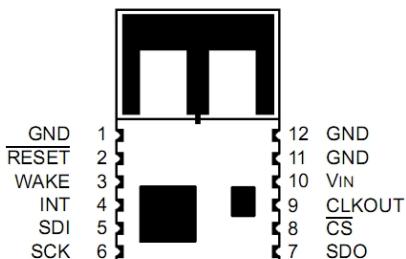
Za izradu tipičnog čvora ZigBee mreže pomoću stoga tvrtke Microchip potrebne su sljedeće komponente:

- Mikrokontroler tvrtke Microchip sa SPI sučeljem
- Microchipov primopredajnik MRF24J40 s potrebnim vanjskim komponentama
- PCB ili monopolna antena
- Vanjski serijski EEPROM (ukoliko memorija samog mikrokontrolera nije dovoljna)



Slika 8. Smjerovi komunikacije PIC-a i primopredajnika

Slika 7. prikazuje način na koji su međusobno povezane komponente. Mikrokontroler je spojen s MRF24J40 primopredajnikom putem SPI sabirnice i nekoliko diskretnih upravljačkih signala. U toj vezi mikrokontroler se ponaša kao SPI nadređeni (eng. master), a MRF24J40 kao SPI podređeni (eng. slave) uređaj. SPI veza i smjerovi prikazani su na slici 8.



Slika 9. Dijagram pinova MRF24J40MA

Osim samog MRF24J40 čipa može se koristiti i gotov modul MRF24J40MA, koji na sebi ima integrirani kristal, unutarnji regulator napona, MRF24J40 čip s pripadajućim strujnim krugom i PCB antenu. Modul radi u nelicenciranom frekvencijskom pojasu od 2.4 GHz-a. Za napajanje modula potreban je istosmjerni napon od 3.3V. Dijagram pinova modula prikazan je na slici 9.

## 6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad daje osnovne podatke o ZigBee protokolu pa su objašnjeni principi slanja i primanja poruka, kao i postupci koje je potrebno obaviti prilikom ostvarivanja ZigBee čvorova. Rad je podloga za daljnje proučavanje mogućnosti ZigBee protokola te njegove primjene u konkretnim uređajima.

Kako je primarna svrha rada uvod u prijenos podataka ZigBee mrežom, sigurnosni aspekti prijenosa podataka ZigBee nisu opisani. Isto tako, korištenje ZENA programskega alata za prilagođavanje postavki stoga nije detaljnije opisano, zbog toga jer detaljan opis prelazi okvire ovog rada. Potrebno je istaknuti kako ZENA programski alat tvrtke Microchip uz pomoć popratnog ZENA sklopa služi i za analizu mreža, što je, uz zaštitu podataka koji se prenose, vrlo važno u uspostavi kvalitetne i funkcionalne mreže.

## 7. LITERATURA

- [1] MICROCHIP: AN965, "Microchip Stack for the ZigBee™ Protocol", 2007.
- [2] Farahani S., "ZigBee Wireless Networks and Transceivers", Newnes, 2008.
- [3] MICROCHIP: "MRF24J40 Data Sheet", 2006.
- [4] MICROCHIP: "MRF24J40MA Data Sheet", 2008.
- [5] MICROCHIP: "ZigBee Quickstart Guide", 2008.
- [6] MICROCHIP: "ZENATM Wireless Network Analyzer User's Guide", 2008.

# ELEKTRONIČKI SUSTAVI U AUTOMOBILU

Šumiga I.<sup>1</sup>, Horvat M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Elektronika u automobilima je svakim danom sve složenija. Ovaj rad daje pregled osnovnih elektroničkih sustava automobila i njihovu međusobnu povezanost. Da bi prikaz bio što jednostavniji, pojedini elektronički sustavi u automobilu prikazani su pomoću blokova u obliku crnih kutija.

**Ključne riječi:** elektronika u automobilu, Motronic sustav, upravljačka jedinica (ECU), upravljanje motorom, senzori, dijagnostika

**Abstract:** Nowadays, electronics in cars is getting more complicated and complex. This paper provides an overview of basic electronic systems in cars and their interconnection. For a simpler presentation, some electronic systems in the car are presented with blocks in the form of black boxes.

**Key words:** electronics in the car, Motronic system, the control unit (ECU), engine control, sensors, diagnostics

## 1. UVOD

Na početku razvoja automobili su bili sastavljeni samo od mehaničkih dijelova. Prvi električni dijelovi koji su se upotrebljavali bili su niskonaponsko magnetsko paljenje 1897., visokonaponsko magnetsko paljenje te svjećice za paljenje. Nakon toga dolazi do razvoja elektroničkih dijelova: akumulatora, razdjelnika, startera, svjetala, trube, autoradija, pokazivača smjera i dr. Danas je u automobilu više elektroničkih dijelova nego mehaničkih. Tako postoji mnoštvo senzora (senzor brzine vrtnje, senzori temperature i dr.), klima uređaj, upravljačka jedinica (ECU – eng. Engine Control Unit), podizači stakala, alarm itd. Svakim danom tehnologija ide sve dalje i sve se više koriste složeniji sklopovi. Već odavno postoje tzv. „pametni“ automobili koji pripremaju vozača i putnike na moguću nesreću i donose odluke u kritičnim situacijama.

Razvoj automobila prošao je više faza, od mehaničkih sustava preko mehaničko-elektroničkih do današnjih elektroničkih sustava nadzora i upravljanja vozilom.

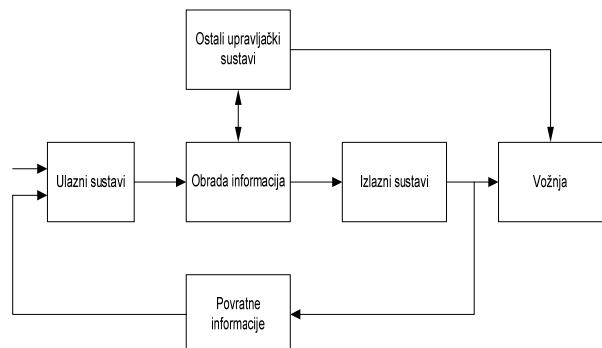
## 2. MODEL AUTOMOBILA

Općenito se automobil kao sustav može prikazati kao na slici 1.

Ulagani sustav služi za prikupljanje informacija bitnih za rad automobila (npr. položaj bregaste osovine, radilice,

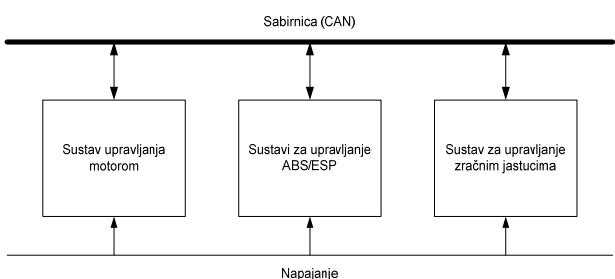
stanje spremnika za gorivo, ispravnost senzora), koje se zatim obrađuju u središnjoj mikroprocesorskoj jedinici za upravljanje (ECU). Ta središnja jedinica je povezana s drugim upravljačkim jedinicama, ako ih automobil posjeduje. Npr. za sustav protiv blokiranja kotača - ABS (njem. Antiblockiersysteme), elektronički program stabilnosti

- ESP (njem. Elektronisches Stabilitätsprogramm), alarm, centralno zaključavanje. Oni međusobno komuniciraju preko CAN (eng. Controller Area Network) sabirnice (slika 2.).



Slika 1. Model automoba

Preko CAN sabirnice komuniciraju svi povezani sustavi u automobilu i sve informacije se iz upravljačkih jedinica za pojedine dijelove (ABS, ESP, Airbag) šalju u sustav upravljanja motorom, u glavnu



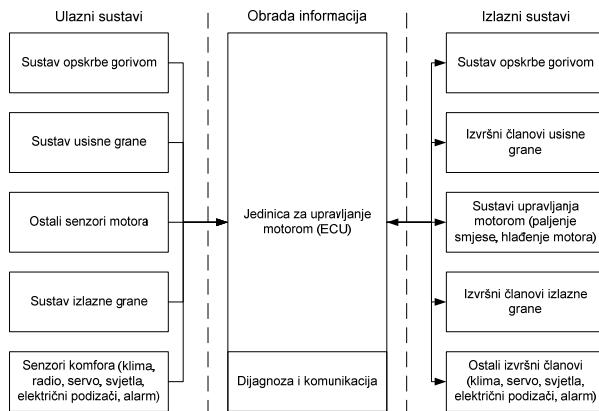
Slika 2. Povezanost sustava u automobilu preko CAN sabirnice

upravljačku jedinicu. Ona obrađuje te informacije i šalje povratne signale ostalim upravljačkim sustavima kao i izlaznim sustavima (aktuatorima – izvršnim članovima) koji omogućavaju pokretanje vozila i vožnju. Ti izvršni članovi šalju sa svojih senzora povratne informacije u upravljačke jedinice te tako daju informacije o izvršenim aktivnostima i radu automobila.

Za spomenute funkcije današnji automobili koriste Motronic sustav koji je primjenjiv ne samo na dizelske i benzinske motore, već i za plinske i motore s gorivim celijama, kao i kod hibridnih vozila. U budućnosti bi Motronic sustav trebao automatski prepoznati kvarove i tu informaciju poslati u servisnu radionicu.

### 3. SUSTAV UPRAVLJANJA MOTOROM

Sustav upravljanja motorom može se prikazati pomoću jednostavnog modela na slici 3.

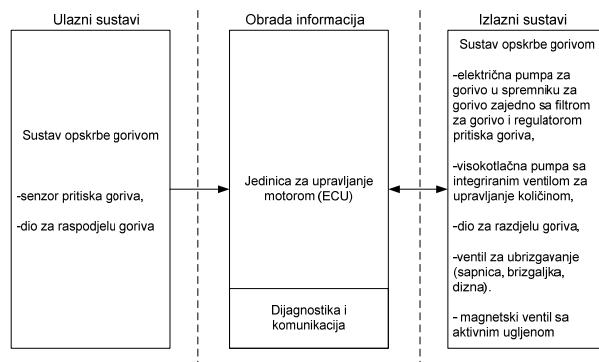


Slika 3. Sustav upravljanja motorom

Sastoji se od niza podsustava koji povezani daju funkcionalnu cjelinu. Potrebni ulazni signali najčešće dolaze iz senzora. Zatim odlaze u jedinicu za upravljanje motorom koja ih obrađuje prema definiranim parametrima i daje upravljačke signale za pojedine izvršne članove. Povećanje broja ulaznih signala povećava i složenost automobila, a samim tim povećava i učinkovitost (smanjenje potrošnje, smanjenje štetnih emisija plinova, povećanje udobnosti i sigurnosti vožnje i slično).

#### 3.1. Sustav opskrbe gorivom

Sustav opskrbe gorivom pripada najvažnijem sustavu kod automobila. Bez goriva i opskrbe motora gorivom nema pokretanja motora. Na slici 4. može se vidjeti shema tog sustava.



Slika 4. Sustav opskrbe gorivom

Postoje visokotlačni i niskotlačni sustavi za opskrbu gorivom, a sastoje se od nekoliko važnih dijelova.

Niskotlačni sustav:

- električna pumpa za gorivo zajedno s filtrom za gorivo
- magnetski ventil s aktivnim ugljenom
- regulator pritiska goriva
- ventili za ubrizgavanje goriva.

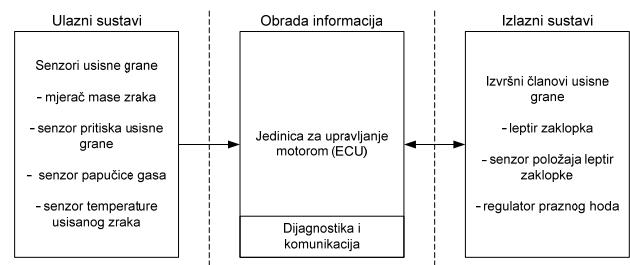
Visokotlačni sustav:

- visokotlačna pumpa s integriranim ventilom za upravljanje količinom
- visokotlačni sustav raspodjele goriva
- senzor pritiska goriva
- visokotlačni ventil za ubrizgavanje goriva.

Postoji više vrsta izvedbe sustava za gorivo. Kada automobil ne radi, nema kontakta, svi sustavi u njemu su isključeni. Prilikom prvog kontakta u autu počinje inicijalizacija i provjera. Jedinica za upravljanje (ECU) šalje signal za uključivanje releja pumpe za gorivo. Slijedi provjera signala iz senzora na motoru. Provjeravaju se signali s radilice i/ili bregaste osovine. Ako nema povratne informacije, tj. nema signala, znači da se motor ne vrti. Jedinica za upravljanje (ECU) daje signal za isključenje pumpe (releja pumpe). Ako signala ima i odgovara obliku i vrijednosti koja se nalazi u memoriji upravljačke jedinice, pumpa nastavi raditi (motor se vrti, tj. pokreće se motor). Gorivo tada dolazi doventila za ubrizgavanje. Neki visokotlačni sustavi posjeduju dio za raspodjelu goriva koji služe za njegovu ravnomernu raspodjelu na sve ventile za ubrizgavanje. Ventilom za ubrizgavanje tada upravlja upravljačka jedinica koja šalje u točno određenom trenutku signal za pojedini ventil, tj. za njegovo otvaranje i zatvaranje, odnosno ubrizgavanje goriva. Vrijeme ubrizgavanja i količinu goriva proračunava upravljačka jedinica. Regulator pritiska goriva služi kod sustava s povratom goriva za regulaciju pritiska između usisne grane i sustava za gorivo. Omogućava povrat goriva s ventila za ubrizgavanje natrag u spremnik za gorivo i tako održava konstantni pritisak na ventilima za ubrizgavanje.

#### 3.2. Sustav usisne grane

Usisna grana služi za opskrbu motora zrakom koji je potreban za izgaranje goriva u motoru. Omjer mješavine goriva i zraka označava se s  $\lambda$  (lambda).



Slika 5. Sustav usisne grane

Senzori usisne grane i izvršni članovi su:

- mjerač mase zraka
- senzor temperature usisanog zraka
- kućište zaklopke zajedno s električnom pedalom za gas (EGAS)
- senzor pritiska usisne grane

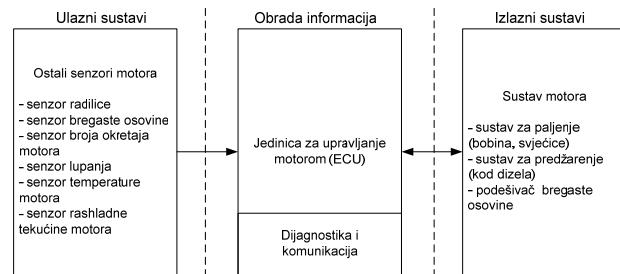
Na svakom ulazu usisne grane nalazi se najprije filter zraka. Najnoviji automobili imaju senzore koji kontroliraju istrošenost filtra i javljaju stanje jedinici za upravljanje (ECU) jer noviji motori su osjetljivi na čestice iz zraka. Nakon toga dolazi mjerač mase zraka. Nekada su se koristili mjerači količine zraka dok su danas rašireni mjerači mase zraka. Oni se često izvode zajedno sa senzorom za mjerjenje temperature zraka. Postoje dvije vrste mjerača mase zraka: s vrućim filmom i vrućom žicom. Mjerač mase zraka mjeri strujanje svježeg zraka u usisnoj grani. Uz pomoć te struje mase može se odrediti parcijalni pritisak zraka u usisnoj grani. Signal iz mjerača mase zraka odlazi u upravljačku jedinicu (ECU). Iz potpritska koji vlada u usisnoj cijevi, izmjerene temperature zraka i broja okretaja motora može se preračunati masa zraka koja stoji na raspolažanju za izgaranje u cilindru.

U sustavima s EGAS-om (EGAS - elektronička papučica za gas), kod elektroničkog upravljanja radom motora, elektronički uređaj za upravljanje upravlja leptir zaklopkom koja je sa svojim pogonom, jednim istosmjernim motorom i sa senzorom kuta leptir zaklopke učvršćena kao jedinstvena cjelina, označena kao uređaj leptir zaklopke (njem. Drosselvorrichtung). Potrebno otvaranje leptir zaklopke izračunava se u upravljačkoj jedinici motora (ECU) iz aktualnog stanja pogona motora (broj okretaja motora, temperatura motora, itd.) i signala koji dolaze s dva potenciometra pričvršćenih na papučicu za gas, odnosno senzora papučice za gas (njem. Fahrpedalsensor). Dobiveni signal služi za upravljanje leptir zaklopkom. Senzor kuta leptir zaklopke daje povratnu informaciju trenutačnog položaja leptir zaklopke i omogućuje točnije ugađanje njenog željenog položaja. Redundancijski dvostruki potenciometri na papučici i uređaju zaklopke su sastavni dijelovi EGAS nadzornog koncepta. U slučaju da računalo prepozna poremećaj u nekome od podsustava upravljanja motorom, leptir zaklopka preuzima čvrstu poziciju koja je definirana kao pogon u nuždi (njem. Notlauf). Kod Motronic sustava, upravljanje za EGAS je integrirano u samoj jedinici za upravljanje (ECU), kao i upravljanje paljenja, ubrizgavanja i druge dodatne funkcije. S EGAS-om se može postići bolja smjesa zraka i goriva, tako da odgovara sve strožim zahtjevima zakona o ispušnim plinovima.

Prazni hod motora i njegova regulacija su važni čimbenici kod ispravnog rada motora. Nakon što je motor pokrenut (motor radi), on se vrti u praznom hodu. Kod hladnog motora koristi se dodatni klizač za zrak koji omogućava dovod zraka preko premosnice do motora i tako omogućava povišeni broj okretaja motora. Preko podešavača okretaja praznog hoda jedinica za upravljanje upravlja elektromotorom koji određuje količinu zraka koja se propušta. Kod motora sa središnjim ubrizgavanjem uz dodatni klizač zraka koristi se i koračni motor. Regulacija praznog hoda može biti izvedena posebno ili zajedno sa zaklopkom u kućištu leptir zaklopke.

### 3.3. Ostali senzori sustava motora

Na slici 6. može se vidjeti što su ostali senzori motora koji su važni za ispravan rad.



Slika 6. Ostali senzori motora

Senzori motora imaju bitnu ulogu kod rada motora. Prilikom davanja prvog kontakta i provjere upravljačke jedinice (ECU) cijelog sustava motora radi pokretanja pumpu za gorivo, provjeravaju se signali iz senzora radilice motora i bregaste osovine. Ako se motor pokreće (start), tada se motor počinje vrtjeti i senzori daju signale (ovisno o načinu izvedbe i vrsti senzora). Za radilicu motora karakteristični su izmjenični signali (nepravilni sinusoidni signali), dok su za signal iz senzora bregaste osovine karakteristični pravokutni signali. Senzori bregaste osovine mogu biti induktivni senzori ili Hallovi davači. Signale senzora obrađuje upravljačka jedinica. Ako su oba signala jednaka predefiniranim vrijednostima koje su spremljene u memoriji, rad motora je ispravan. Sustav motora usko je povezan sa sustavom opskrbe gorivom i sustavom usisne grane, koji su potrebni za pravljenje mješavine zrak-gorivo. U motoru se mješavina zraka i goriva pali pomoću iskre koja se dobiva između elektroda svjećica za paljenje. Kod Otto motora pretežno se koriste induktivni uređaji (sklopovi) za paljenje koji u sebi pohranjuju električnu energiju u induksijskom svitku, bobini (njem. Zündspule) koja je potrebna kao iskra za paljenje. Ta energija određuje vrijeme kroz koje se, strujom protjecana bobina, mora isprazniti (kut zatvaranja). Prekid struje bobine kod nekog određenog kuta radilice (kut paljenja) dovodi do iskre koja pali mješavinu zraka i goriva. Sustavom za paljenje upravlja mikroprocesorska jedinica za upravljanje (ECU). Kut paljenja ima odlučujući utjecaj na pogon motora. On određuje okretni moment, emisiju ispušnih plinova i potrošnju goriva.

Kut paljenja za određeni moment nalazi se zapisan u memorijskoj mapi mikroprocesorske jedinice za upravljanje, a njegovim podešavanjem - mijenjanjem njegove vrijednosti - postiže se veća ili manja snaga motora.

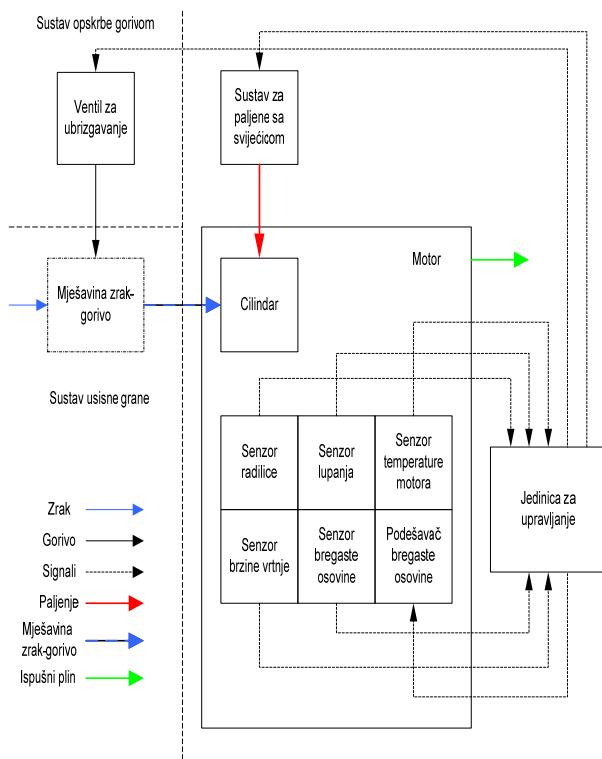
Senzor temperature motora i rashladne tekućine sprečavaju preveliko zagrijavanje motora. Kada motor dosegne kritičnu temperaturnu razinu, pokreće se predefinirani pogon u nuždi i motor se ograničava na jednu vrijednost broja okretaja i omogućuje kratkotrajnu vožnju. Nakon toga isključuje se i omogućuje hlađenje motora bez opterećenja. Senzor lupanja mjeri pomoću piezo-električnog efekta vibracije motora. Kod povećanih vibracija motora upravljačka jedinica javlja pojavu greške na motoru koja se treba otkloniti u servisu.

### 3.4. Senzori i sustavi izlazne grane

Podsustav izlazne grane je posljednji u koji se odnosi na samo upravljanje motorom. Senzori izlazne grane prije svega služe za smanjenje emisije štetnih (NOx) plinova, za bolje sagorijevanje smjese zrak-gorivo i za smanjenje potrošnje.

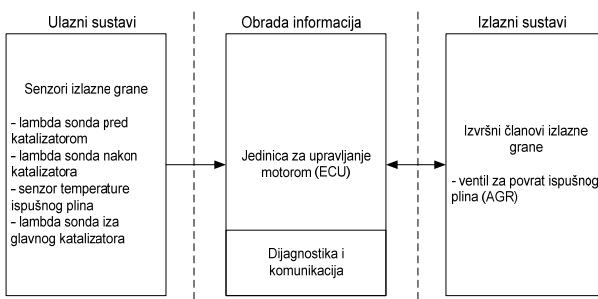
Izlazna grana se sastoji od senzora koji šalju povratne informacije:

- lambda sonda ispred katalizatora
- lambda sonda nakon katalizatora
- senzor temperature ispušnog plina
- lambda sonda iza glavnog katalizatora
- ventil povrata ispušnog plina (AGR).



Slika 7. Sustav motora sa senzorima

Kada se energija goriva prenese na cilindar i obavi se pretvorba energije, iz motora izlazi izgorjeli zrak. On u sebi ima čestice kisika koje se mogu ponovno vratiti i izgorjeti. To omogućuje ventil za povrat ispušnog plina (AGR – njem. Abgasrückführungsventil, EGR – eng. Exhaust Gas Recirculation) kojim upravlja upravljačka jedinica.



Slika 8. Sustav izlazne grane

On se koristi za reduciranje emisija NOx plinova i za smanjenje potrošnje goriva. Lambda sonda mjeri udio kisika u ispušnom plinu te tako pušta ostatke plina ponovno u motor radi ponovnog izgaranja mješavine zraka i goriva. Ovisno o sustavu, iza katalizatora može se ugraditi dodatna sonda za reguliranje s dvije sonde te za nadzor starenja katalizatora. Lambda sonda je jedini uređaj koji za izlazni signal ima naponsku vrijednost 0-1V, dok svi ostali senzori imaju 0-5V ili 0-12V.

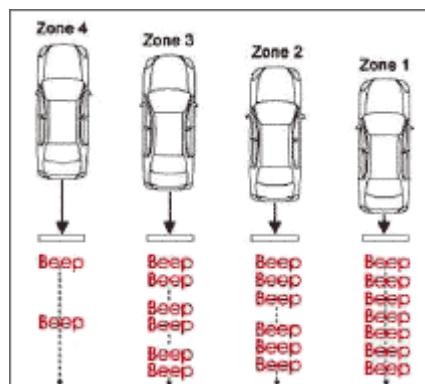
### 3.5. Senzori i sustavi komfora

To su podsustavi i senzori koji nisu vezani za sam rad motora, a služe za povećanje komfora. Neki od njih su:

- parkirni senzori
- senzori klima uredaj
- senzori auto-alarm
- tempomat
- lampica za signalizaciju greške
- elektronička blokada kretanja

#### Parkirni senzori

Prilikom uključenja iz senzora se emitira signal koji se odbija od prepreke. Kada dostigne prepreku, signal se odbija i vraća natrag u senzor te se u upravljačkoj jedinici parkirnih senzora izračunava udaljenost objekta od automobila koja je ovisna o vremenu potrebnom da se odaslan signal vrati do senzora.



Slika 9. Princip rada parking senzora sa zvučnom signalizacijom [10]

U novije vrijeme se u vozila više klase umjesto senzora ugrađuju kamere za vožnju unatrag koje se uključuju prilikom ubacivanja vozila u brzinu za vožnju unatrag.

#### Klima uredaj

Klima uredaji rade na principu komprimiranja plina, čime hlađe zrak i ispuštaju ga preko ventilatora u vozilo. Sadrži senzore za temperaturu preko kojih dobiva informacije o temperaturi izvan automobila. Na temelju tih informacija se kod automatskih klima uredaja regulira temperatura u unutrašnjosti automobila. Kod ručnih klima uredaja korisnik sam odabire željenu temperaturu na koju želi ohladiti unutrašnjost automobila. Jedinica za upravljanje obrađuje informacije iz senzora temperature te upravlja ventilatorima zaduženim za hlađenje.

Sustav klime u automobilu sadrži senzore temperature svježeg zraka, vanjskog zraka, temperature prostora za

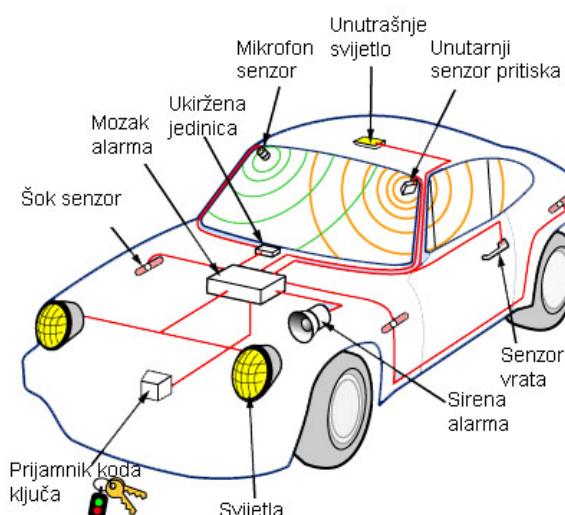
noge, izvršni član za temperaturnu klapnu, upravljačku jedinicu, senzor srednje temperature, releje i ventilatore za hlađenje.

### Auto-alarm

Danas je gotovo svaki drugi automobil opremljen sofisticiranim senzorima, sirenama upozorenja i sustavima za daljinsko upravljanje. Alarm je jedan ili više senzora povezanih na sirenu. Vrlo jednostavni alarmi bi trebali imati prekidače u vozačevim vratima i trebaju biti spojeni tako da se, kad netko otvoriti vrata, oglasi sirena. Moderni auto-alarmi sastoje se od:

- mreže senzora koje mogu uključivati prekidače, senzore pritiska i senzore pokreta
- sirene, često različitih zvukova radi lakšeg odabira i raspoznavanja sirene vlastitog automobila
- radio-prijamnika koji omogućava bežičnu kontrolu preko ključa
- pomoćnu bateriju tako da alarm može raditi kada je glavni akumulator odvojen
- računalnu kontrolnu jedinicu koja nadzire sve elemente i pokreće alarm.

Kontrolna jedinica je u naprednim sustavima zapravo malo računalo čiji je zadatak da zatvori prekidače koji aktiviraju alarm, trubu, svjetla ili instaliranu sirenu kada je određeni prekidač otvoren ili zatvoren. On se obično spaja na glavni akumulator, ali često ima i pomoćni izvor napajanja koje se uključuje kada netko prekine glavno napajanje.



Slika 10. Dijelovi auto-alarma [11]

Senzor vrata može se često povezati s unutrašnjim svjetlom. Prilikom otvaranja vrata, pali se svjetlo koje koristi prekidač u vratima. Spajanjem alarma u strujni krug unutrašnjeg svjetla, može se napraviti jednostavni alarm. Mikrofon senzor koristi se za detekciju zvuka (npr. lom stakla automobila). On mjeri strujanje i pritisak zraka te ga pretvara u određeni električni tok. Lom stakla ima svoju frekvenciju koju mikrofon detektira i šalje odgovarajući električni signal u računalnu jedinicu alarma. Drugi način detekcije otvaranja je mjerjenjem pritiska zraka u automobilu. Čak kad i nema razlike tlakova između unutrašnjosti automobila i okoline, prilikom otvaranja vrata stvara se mala promjena pritiska.

### Tempomat

Tempomat ili sustav za održavanje brzine je uređaj koji vozaču omogućava odabir željene brzine kretanja vozila, koju vozilo bez njegove intervencije održava neovisno o uvjetima vožnje (uspon, nizbrdica i sl.). Jednom kada vozač odabere brzinu kretanja, ovaj sustav kontrolirajući snagu motora, održava prije odabranu brzinu kretanja bez ikakvih intervencija vozača. Postoji više načina izvedbe tempomata. Neki automobili zbog sigurnosnih razloga isključuju uređaj automatski ukoliko vozač pritisne bilo koju pedalu (gas ili kočnica). Drugi način izvedbe je da kod pritiska na pedalu gasa automobil ubrza. Nakon puštanja automobil se vraća na brzinu definiranu tempomatom. Svim sustavima je zajedničko da se isključuju pritiskom na kočnicu. Uređaj se može isključiti i za to predviđenim gumbom smještenim uz upravljač, gdje ga se može i ponovno aktivirati i podesiti. Povezan je na glavnu upravljačku jedinicu vozila.

### Elektronička blokada kretanja

Elektronička blokada kretanja danas se nalazi kod svih novih vozila. To je mali sklop (modul) koji u sebi ima pohranjen kód ključa. Prilikom stavljanja ključa u kontakt bravu, iz njega se isčitava kód koji se zatim uspoređuje s kodom u sklopu za elektroničku blokadu (WFS – njem Wegfahrspere). Ako su kodovi jednaki, šalje se signal koji dopušta pokretanje automobila. Elektronička blokada kretanja može biti izvedena kao zaseban sklop ili kao sklop integriran u samoj upravljačkoj jedinici (ECU). Elektronska blokada radi na principu elektronskih, odnosno elektromagnetskih prekidača koji blokiraju određene sustave motora. Kod benzinskih motora se blokiraju dovod goriva i/ili paljenje. Kod dizelskih se najčešće blokira dovod goriva u visokotlačnu crpku. Ove su blokade za provalnike praktički nepremostiva prepreka jer se mogu otvoriti samo „pametnim ključem“ (smart key), elektronskim sklopom koji „čita“ elektronski kód i deblokira motor. Vrsne su blokade opremljene procesorima s desecima milijardi kombinacija i rotirajućim kodom, pa ih je nemoguće „probiti“.

## 4. OBRADA INFORMACIJA (ECU) I KOMUNIKACIJA

### 4.1. Uređaj za upravljanje

Mikroračunala otvaraju velike mogućnosti za upravljanje i nadzor elektroničkih sustava u osobnim vozilima. Mnoge utjecajne veličine se istodobno prikupljaju i paralelno obrađuju. Računalo dobiva elektroničke signale iz senzora, ocjeni ih i izračunava upravljačke signale za izvršne članove (aktuatore). Računalo Motronic obuhvaća sve algoritme za upravljanje i nadzor nad motorom (paljenje, pravljenje smjese zrak-gorivo, nadzor sigurnosti itd.).

Za računala u automobilima se postavljaju visoki zahtjevi prema opterećenjima i ekstremnim uvjetima.

Veće opterećenje određuju:

- ekstremne temperature okoline (u normalnom voznom pogonu od -40 do +65...+120 °C)
- jake promjene temperature
- pogonske tvari (ulje, gorivo itd.)
- utjecaj vlage
- mehanički utjecaji poput vibracija motora.

Računalo mora sigurno raditi kod pokretanja sa slabim akumulatorom (npr. kod hladnog starta) i kod povišenog napona (javljaju se granične promjene napona – oscilacije). Također se postavljaju visoki zahtjevi za neosjetljivošću na elektromagnetske smetnje i ograničavanje visoko-frekvencijskog zračenja signala smetnji.

## 4.2. Komunikacija

U automobilima postoji mnoštvo sustava koji su međusobno povezani i koji međusobno komuniciraju. Omogućavanje povezanosti i komunikacije dovelo je do razvoja posebnih mreža kojima se izmjenjuju podaci između raznih elektroničkih sustava i aplikacija koje se u njima vrte. U prošlosti su se komponente međusobno spajale žicama, što je postalo problem kako je rastao broj komponenata. Glavni problem je u povećanju mase vozila, u smanjenju pouzdanosti i zauzimanju sve više prostora. Tako je ožičenje postalo najsloženija i najskuplja komponenta u vozila. Današnje kontrolne i komunikacijske mreže se temelje na serijskim protokolima pa se time uklonio problem složenog ozičenja. Godine 1998. Motorola je razvila kompletну automobilsku kontrolnu i informacijsku mrežu temeljenu na LAN tehnologiji. Njena ugradnja u tada novu klasu BMW-a smanjila je težinu ukupnog ozičenja za 15 kilograma i povećala je učinkovitost.

Sredinom osamdesetih godina Bosch je razvio komunikacijsku i informacijsku mrežu za ugradnju u vozila po imenu CAN. CAN je danas najrasprostranjenija mreža s više od 100 milijuna komada ugrađenih u vozila u Americi 2000. godine. Automobil može imati dvije ili više CAN mreža kojima se prenose podaci različitim brzinama.

## 4.3. Dijagnostika

U današnje vrijeme sve veća složenost automobila i njihovih sustava zahtjeva komunikaciju s ostalim upravljačkim uređajima drugih sustava preko CAN sabirnice. Noviji automobili opremljeni su i On-Board dijagnostikom, tj. mogu sami provjeriti cijeli sustav vozila i javiti grešku ako je nađu, te o tome upozoriti vozača preko zaslona u vozilu.

# 5. OSTALI SIGURNOSNI SUSTAVI U AUTOMOBILU

## 5.1. ABS sustav

ABS (engl. Anti-lock Brake System, njem. Antiblockiersysteme) je elektronsko-hidraulički mehanizam koji sprečava blokiranje kotača prilikom kočenja te tako skraćuje zaustavni put i omogućuje potpunu upravljivost automobila prilikom kočenja.

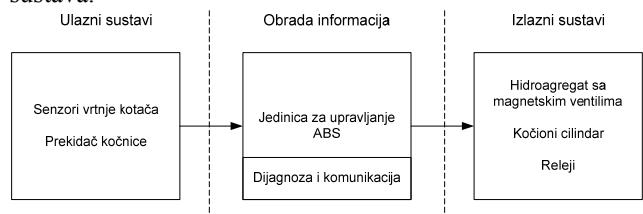
Temeljni princip rada odnosi se na brzo stiskanje i otpuštanje kočnica. Prvi takvi mehanički sustavi počeli su se ugrađivati 60-tih godina prošlog stoljeća u teretna vozila, dok su se u osobna radi masivnosti i neisplativosti počela ugrađivati posljednjih 20-ak godina. Svi današnji sustavi su elektronički upravlјivi. Moderna tehnologija omogućava brža i kompleksna upravljanja sustavom kočenja i munjevitno brzo reagiranje na sve signale broja okretaja kotača koji prikazuju tendenciju blokiranja. To omogućuje i na skliskoj cesti snažno kočenje bez zanošenja vozila i upravljivost istim.

Kod brzine vožnje ispod 8km/h upravljačka jedinica isključuje ABS radi omogućavanja zaustavljanja vozila. Novija rješenja integriraju regulaciju proklizavanja kotača ASR (njem. Antriebsschlupfregelung) s ABS sustavom.

ABS sustav sastoji se nekoliko važnijih dijelova. To su:

- upravljačka jedinica
- hidro-agregat s magnetskim ventilima
- kočioni cilindar
- senzori vrtnje kotača.

ABS sustav se može prikazati jednostavnim blokovskim prikazom (slika 11.). Sastoji se, kao i upravljanje motora, od ulaznog sustava, obrade informacija i izlaznog sustava.



Slika 11. ABS sustav

Većina ABS sustava regulira pritisak pojedine kočnice preko magnetskih ventila. Magnetski ventili se upravljuju preko ABS upravljačke jedinice i reagiraju vrlo brzo (više puta u sekundi) na promjene broja vrtnje motora. Pri tome se na pojedine kočnice kotača dovedeni pritisak zadržava, smanjuje ili povećava.

U većini slučajeva senzori broja okretaja sastoje se od jednog namota sa stalnim magnetom i rade na istom principu kao i generator. Signal koji daje je impulsnog oblika (obično je to sinusoidalan signal). Prilikom prolaska zubaca impulsnog kotačića između magnetskog polja, inducira se mali izmjenični napon. Inducirani napon je proporcionalan brzini vrtnje kotača.

## 5.2. Elektronički sustav stabilnosti (ESP/ESC)

ESP/ESC (njem. Elektronisches Stabilitätsprogramm/ eng Electronic Stability Control,) je elektronski sustav za poboljšanje dinamičke stabilnosti i upravljalivosti, koji kočenjem pojedinim kotačima sprečava zanošenje i ispravlja putanju već zanesenog automobila.

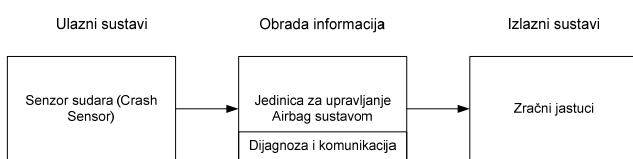
ESP uveo je revoluciju u postupak upravljanja. Mehanika upravljača i ovjesa te brojna elektronska logistika za sprečavanje blokiranja kočenih i otežavanje proklizavanja pogonskih kotača osiguravaju optimalne uvjete za upravljanje, ali ne mogu djelovati samostalno. ESP sustavom upravlja mikroračunalo na temelju informacija koje mijere odgovarajući senzori: zakrenutost upravljača, brzinu vrtnje svakog kotača, uzdužnu i bočnu brzinu automobila, uzdužno i bočno ubrzanje automobila, a najvažnija je brzina vrtnje automobila oko vertikalne osi (yaw rate). Na temelju tih informacija precizno se proračunava položaj vozila u odnosu na željenu putanju te se aktivira povremeno kočenje pojedinih kotača.

## 5.3. Zračni jastuci (Airbag sustav)

Početkom 80-tih godina sustav zračnih jastuka počeo se uvoditi kao dodatna oprema u luksuznim automobilima više klase i to u početku samo za vozača. Početkom 90-tih godina počinju se masovno ugrađivati u vozila.

U međuvremenu razvili su se i zračni jastuci za suvozača, bočni zračni jastuci, zračni jastuci za glavu (tzv. zračne zavjese) te jastuci za koljena. zajedno sa zračnim jastucima, razvijali su se i sigurnosni pojasevi. Rade na mehaničkom (preko opruge) ili na pirotehničkom (pomoću eksplozivne tvari) principu. Funkcija zračnih jastuka je prilikom udarca automobila spriječiti ozljđivanje vozača, suvozača i ostalih putnika (ovisno o broju i vrsti zračnih jastuka).

Sustav zračnih jastuka može se prikazati na jednostavan način prema slici 12.



Slika 12. Blok shema Airbag sustava

Sustav zračnih jastuka – Airbag – sastoji se od nekoliko dijelova. To su:

- senzor sudara
- jedinica za upravljanje
- generator plina
- zračni jastuci

## 6. ZAKLJUČAK

Složeni mikroelektronički sklopovi doprinose implementaciji elektronike u sve funkcije u automobilu, tako da udio elektronike u današnjim automobilima premašuje 20% ukupne proizvodne cijene. Procjenjuje se da je više od 80% inovacija u automobilskoj industriji bazirano na elektroničkim sustavima. Svrha ovog članka je dati pregled elektroničkih sustava u suvremenom automobilu.

## 7. LITERATURA

- [1] BOSCH – Ottomotor-Managment (2. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage), Plochingen 2003
- [2] BOSCH ESI[tronic] 2006/1, verzija programa 6.1.3.2
- [3] AutoData – Steuergeräte-Prüfwerte – London 1999, England
- [4] AutoData – ABS und ASR – London 1999, England
- [5] Anti-lock braking system - Wikipedia, the free encyclopedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-lock\\_braking\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-lock_braking_system)
- [6] Electronic Stability Control (ESC), [http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_Stability\\_Program](http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_Stability_Program)
- [7] Controller Area Network (CAN) Diagnostics [http://www.aalcar.com/library/can\\_systems.htm](http://www.aalcar.com/library/can_systems.htm)
- [8] Kako nastaje iskra za paljenje <http://www.oktani.com/akumulator.php>
- [9] Alternator and Generator Theory <http://www.rowand.net/Shop/Tech/AlternatorGeneratorTheory.htm>
- [10] Backtracker [http://www.pickupspecialties.com/Back\\_up\\_pal/backtracer\\_back\\_up\\_parking\\_sensor.htm](http://www.pickupspecialties.com/Back_up_pal/backtracer_back_up_parking_sensor.htm)
- [11] How Car Alarms Work <http://www.howstuffworks.com/car-alarm.htm>
- [12] Autodata – Klimaanlage – London, 2001, England

### Kontakt:

Mr. sc. Ivan Šumiga, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 098/467 761  
[ivan.sumiga@velv.hr](mailto:ivan.sumiga@velv.hr)

# MODERNIZACIJA POSTROJENJA UGRADNJOM FREKVENTNIH PRETVARAČA

Srpak D.<sup>1</sup>, Stanković I.<sup>1</sup> Huđek J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** U članku je opisan način rada postrojenja Aertecnica, predložene izmjene ugradnjom frekvencijskog pretvarača, te su opisane njegove karakteristike i prednosti. Na kraju su izračunati godišnji troškovi potrošnje električne energije za EMP bez ugrađenog frekvencijskog pretvarača, izračunati su troškovi ugradnje frekvencijskog pretvarača i ostalih potrebnih elemenata. Izračunat je i rok povrata sredstava kroz uštede na održavanju i štednji električne energije.

**Ključne riječi:** Elektromotorni pogon (EMP), frekventni pretvarač, zadavanje parametara

**Abstract:** The article describes how plant Aertecnica works, presents the changes proposed by installing the frequency inverter, and describes the characteristics and advantages of the drive. Finally, there is the calculation of annual cost of electricity consumption for the EMP without the built-in frequency inverter, the cost calculation of installation of the frequency inverter and other necessary elements, and the calculated time of the return of funds through savings on maintenance and conservation of electricity.

**Key words:** Electric motor drive (EMP), frequency inverter, making the parameters

## 1. UVOD

Razlog za rekonstrukciju starijih elektromotornih pogona često je njihova nemogućnost da zadovolje veće zahtjeve u proizvodnji, prestanak proizvodnje rezervnih dijelova, nepravilan rad, velika potrošnja el. energije i dr. No to nije razlog da industrijska postrojenja koja su već ugrađena u tvornicama starosti desetak, dvadeset i više godina treba nužno zamijeniti novima i modernijima. Njih se može modernizirati uz odgovarajuće statistike isplativosti u kojima su detaljno spomenuti troškovi ulaganja, te je izračunat rok povrata uloženih sredstava. Kod modernizacije starijih postrojenja potrebno je razmotriti koji način upravljanja je optimalan da bi se do bile potrebne funkcije, uz što manje izmjena. To je posebno važno ako je riječ o postrojenju koje treba modernizirati u što kraćem vremenu.

Konkretni slučaj na kojem će biti analizirana modernizacija postrojenja zamjenom direktnog pokretanja s pokretanjem i upravljanjem pomoću frekventnog pretvarača je elektromotorni pogon (EMP)

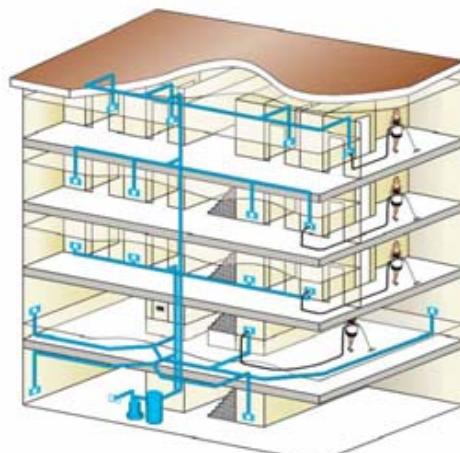
za proizvodnju kućnog vakuma za profesionalnu upotrebu u industriji, talijanskog proizvođača Aertecnica. On je proizveden 1998. godine i instaliran je u tvornici krutih lijekova Belupo d.d. Koprivnica.

## 2. OPIS POSTOJEĆEG SISTEMA I PREDVIĐENOZAHVATA MODERNIZACIJE

Sistem prikazan na slici 1. sastoji se od dva trifazna asinkrona motora od 7.5 kW koji pogone turbine za proizvodnju podtlaka u sustavu, spojenih prema shemi (slika 2.). Otvaranjem jedne od priključnica, uključuje se motor 1 koji zadovoljava proizvodnju vakuma za tri trošila, dok se priključenjem četvrtog uključuje drugi motor i oni u paralelnom radu zadovoljavaju proizvodnju vakuma za šest priključenih trošila.

Nalog za uključenje ili isključenje drugog motora proizlazi iz mjerjenja podtlaka u sustavu. S obzirom na to da su motori pokretani direktno (jednim sklopnikom), moguće je uključenje samo 50% ili 100% kapaciteta proizvodnje vakuuma. Za finiju regulaciju podtlaka koriste se rasteretni ventili.

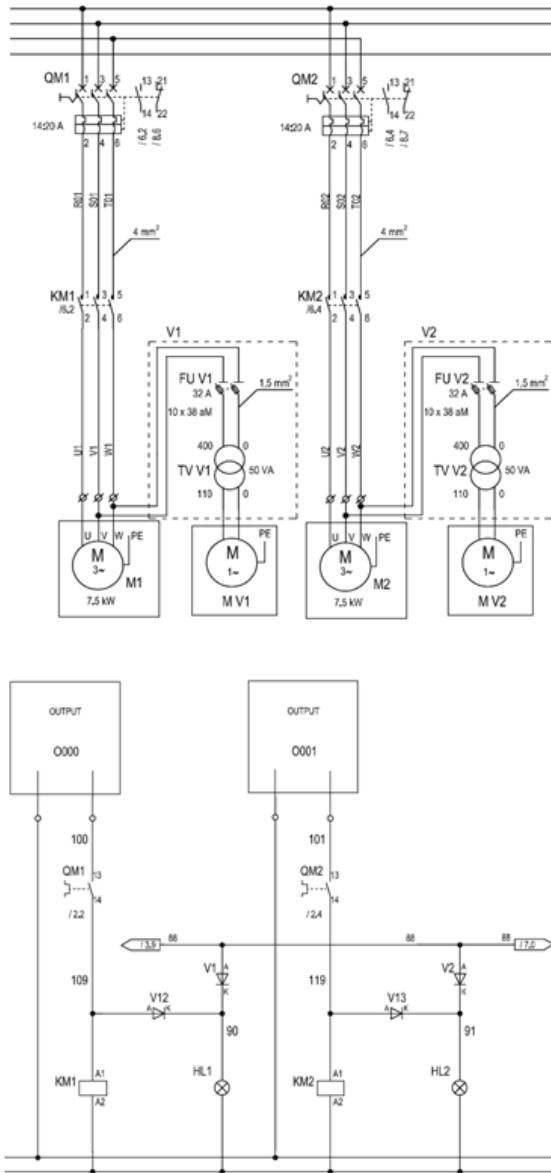
Nakon ugradnje frekventnih pretvarača mogla bi se promjenom frekvencije regulirati količina proizvedenog podtlaka i ne bi bilo gubitaka na rasteretnom ventilu. Ugradnja dva frekventna pretvarača s kontinuiranim promjenama frekvencije bila bi veća investicija. Sva potrebna oprema bila bi nova, pa bi trebalo i dulje vrijeme za povrat sredstava kroz uštede (u održavanju, električnoj energiji itd.).



Slika 1. Mreža cjevovoda s priključnicama i središnjim sistemom<sup>[4]</sup>

Ugradnjom jednog frekventnog pretvarača sa skokovitom promjenom frekvencije (shema na slici 3.), što se može ostvariti s manje zahvata u postojeći sistem upravljanja, mogu se postići značajne uštede.

Iz električnih shema na slici 2. vidi se da se sklopnići motora kompresora uključuju direktno nakon naredbe iz PLC-a, jedan ili oba, ovisno o mjerenu podtlaku u cjevovodu (ovisno o broju mesta na kojima su priključeni potrošači).



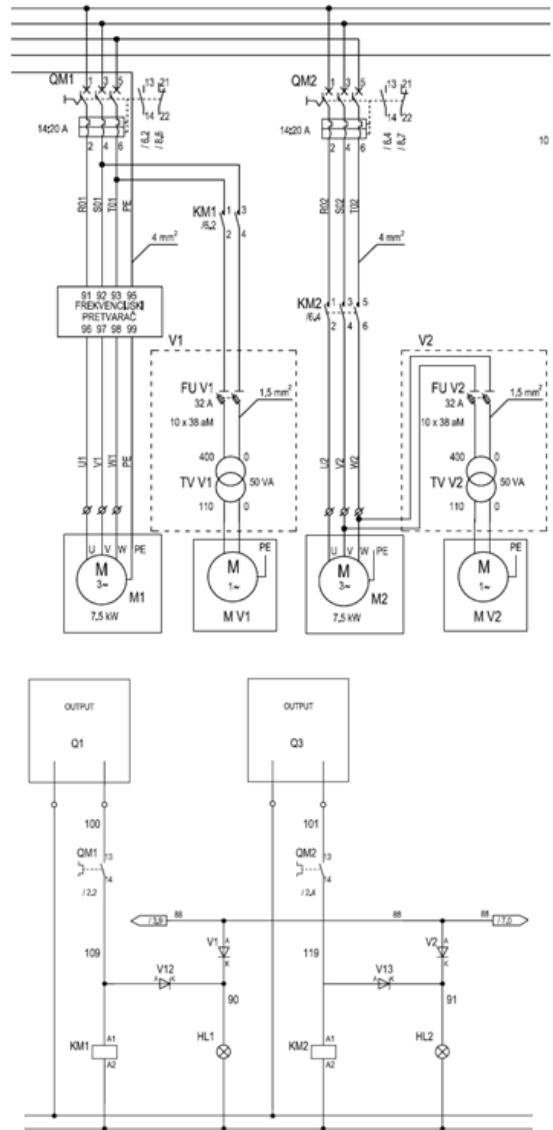
Slika 2. Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zrara i pripadajućih ventilatora – postojeće stanje [1]

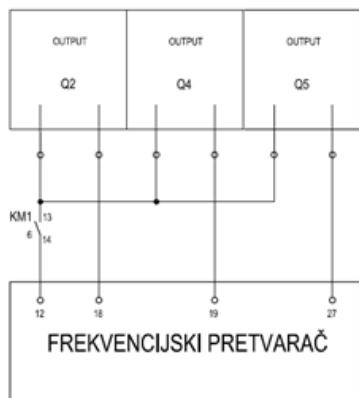
Prema prijedlogu novog rješenja upravljanja motorima kompresora, jedan motor bi i dalje ostao spojen za direktni start, dok bi se drugim upravljalo preko frekventnog pretvarača. Time bi uz pomoć tri izlaza iz PLC-a bilo ostvarivo 8 različitih stupnjeva ukupne snage, s tim da bi se kombinacijom programabilnih digitalnih ulaza frekvenčnog pretvarača realizirala četiri različita stupnja snage. Uz uključen ili isključen drugi motor ostvarila bi se još četiri stupnja snage (tablica 1.).

Tablica 1. Kombinacije vrijednosti izlaza iz PLC-a za dobivanje tražene snage motora

| Q1 | Q2 | Q4 | Q5 | Q3 | SNAGA                     |
|----|----|----|----|----|---------------------------|
| 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | $m_1 = 40\%$              |
| 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | $m_1 = 60\%$              |
| 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | $m_1 = 80\%$              |
| 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | $m_1 = 100\%$             |
| 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | $m_1 40\% + m_2 = 140\%$  |
| 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | $m_1 60\% + m_2 = 160\%$  |
| 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | $m_1 80\% + m_2 = 180\%$  |
| 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | $m_1 100\% + m_2 = 200\%$ |

Prednost predloženog rješenja je u tome što su zahvati u automatski minimalni, a mogu se izvesti uz zastoj od dandva. Izmjene u programu programabilnog logičkog upravljača (PLC-a) mogu se pripremiti unaprijed. Nakon izmjena u ožičenju stavio bi se i testirao novi program, čime bi se modernizirano (izmijenjeno) postrojenje pustilo u pogon u vrlo kratkom vremenu.





Slika 3. Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zrara i ventilatora – novo stanje

### 3. KARAKTERISTIKE FREKVENCIJSKIH PRETVARAČA

#### 3.1. Svrha frekvencijskih pretvarača

Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinkroni motor uzima iz mreže struju 5–7 puta veću od nazivne. Velika potezna struja uzrokuje propad napona na mreži koji može onemogućiti pravilan zalet i može ometati ostale potrošače na istoj mreži. Osim negativnog utjecaja na mrežu prilikom uklopa, potezna struja asinkronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota motora i to naročito kaveza rotora. To je i razlog zbog kojeg je broj zaleta (ili reverziranja) asinkronog motora direktno spojenog na mrežu ograničen u nekom vremenskom intervalu, jer u protivnom može doći do oštećenja motora.<sup>[5]</sup>

Potezna struja može se smanjiti na nekoliko načina: korištenjem preklopke zvijezda-trokat, korištenjem soft-start uređaja ili pretvarača napona i frekvencije.<sup>[5]</sup>

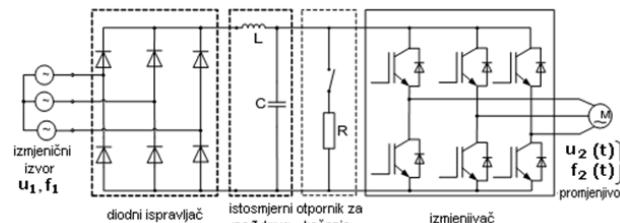
Osim potrebe za smanjenjem struje kod pokretanja, u elektromotornim pogonima često treba i mijenjati brzinu vrtnje elektromotora. Način promjene brzine vrtnje elektromotora određen je zahtjevima tehnološkog procesa. Za promjenu brzine vrtnje asinkronih elektromotora koriste se posebni uređaji energetske elektronike, tzv. frekvencijski pretvarači koji se spajaju između elektromotora i električne mreže. Frekvencijski pretvarači pretvaraju napon konstantnog iznosa i frekvenciju električne mreže u napon promjenjivog iznosa i frekvencije. On mijenja brzinu vrtnje asinkronog elektromotora na način koji zahtjeva tehnološki proces.

#### 3.2. Vrste i sastavni dijelovi frekvencijskih pretvarača

Frekvencijski pretvarači za usklajivanje brzine vrtnje asinkronih motora istodobnom promjenom frekvencije i napona mogu biti:

- izravni pretvarači (npr. ciklopretvarači, uglavnom za sporohodne EMP velikih snaga)
- neizravni pretvarači (sa strujnim ili naponskim ulazom u izmjenjivač).

Neizravni frekvencijski pretvarač sastavljen je od sljedećih sklopova (slika 4.):



Slika 4. Sklopovi frekvencijskog pretvarača

**Ispрављаč** (upravljeni ili neupravljeni) spaja izmjeničnu napojnu mrežu s istosmjernim međukrugom. Ulaz ispravljača priključuje se na jednofaznu ili trofaznu napojnu mrežu. Na izlazu ispravljača je pulzirajući valoviti istosmjerni napon. Ispрављаči koji se ugrađuju u frekvencijske pretvarače sastavljeni su najčešće od dioda, tiristora ili od kombinacije dioda i tiristora. Neupravljeni ispravljači sastavljeni su isključivo od dioda, upravljeni od tiristora, a tzv. poluupravljeni ispravljači od kombinacije tiristora i dioda.

**Istosmjerni međukrug** služi za pohranu električne energije. Iz njega motor uzima električnu energiju preko izmjenjivača. Ovisno o rješenju ispravljača, može biti ili strujni ili naponski. Strujni je samo s promjenjivom strujom, a naponski ili s promjenjivim naponom (pretvara približno konstantan izlazni napon ispravljača u promjenjivi ulazni napon izmjenjivača) ili s konstantnim naponom (izlazni napon ispravljača filtrira i stabilizira te dovodi izmjenjivaču).

**Otpornik za kočenje** ugrađen je u sustav radi preuzimanja viška energije kočenja u obliku topline. Prikључivanje kočionog otpornika omogućuje viši napon istosmjernog međukruga tijekom kočenja.

**Izmjenjivač** spaja istosmjerni međukrug s izmjeničnim trošilom - motorom.

Na izlazu izmjenjivača pojavljuje se jednofazni ili trofazni izmjenični napon. Svaka poluperioda izlaznoga izmjeničnog napona sastoji se od niza pravokutnih impulsa različite širine trajanja i različitih širina pauzi (ima tzv. češljasti valni oblik). Većina izmjenjivača pretvara konstantan ulazni napon u izmjenični napon, čiji je osnovni harmonik promjenjive amplitudu i frekvencije. Izmjenjivač određuje frekvenciju izlaznog napona, a amplituda izlaznog napona može se uskladiti izmjenjivačem ili istosmjernim međukrugom.

Frekvenciju izlaznog napona treba mijenjati tako da je omjer amplitude i frekvencije konstantan.

Upravljački elektronički sklop upravlja sklopovima frekvencijskog pretvarača, tj. dobiva informacije iz ispravljača, istosmjernog međukruga i izmjenjivača te u skladu s unaprijed utvrđenom zakonitošću mijenjanja omjera napona i frekvencije šalje upravljačke impulse za uklapanje i isklapanje poluvodičkih ventila.

Upotreba mikroprocesora znatno je proširila područje primjene izmjeničnih elektromotornih pogona. Upravljački sklopovi s mikroprocesorima postali su brži

jer se pohranjivanjem sklopnog rasporeda smanjio broj nužnih izračuna.

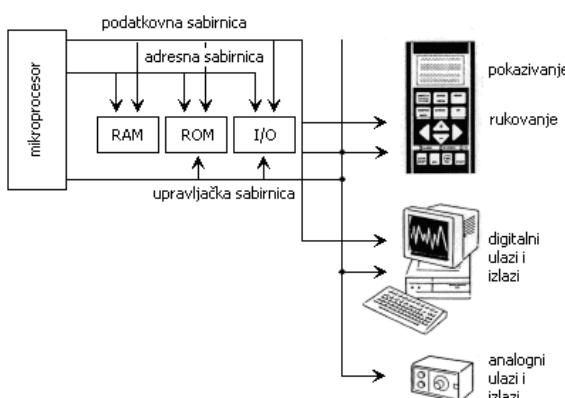
Omogućili su ugradnju procesorske jedinice u frekvencijski pretvarač i određivanje optimalnoga sklopnog rasporeda za svako radno stanje pogona, tj. omogućili su obradu puno veće količine podataka od analognih sklopova.

Računalo frekvencijskog pretvarača

Osim mikroprocesora, računalo se sastoji od tri osnovne jedinice:

- RAM (radna memorija)
- ROM (memorija za čitanje)
- I / O (ulazno-izlazna jedinica)

Svaka od tih triju jedinica ima posebnu zadaću (slika 5.).



Slika 5. Računalo frekvencijskog pretvarača [2]

Mikroprocesor je središnji dio računala koji u skladu s programom upravlja i drugim sklopovima. U memoriji računala (EPROM-u) pohranjeni su program i podaci.

RAM je memorija iz koje mikroprocesor očitava podatke i u koju upisuje podatke uz vrlo kratko vrijeme pristupa. RAM gubi podatke nakon nestanka napajanja. Nakon povratka napajanja informacijski je sadržaj nedefiniran. Ulazno-izlazna jedinica koja se označava kao I/O sadrži ulaze i izlaze koji su potrebni računalu za komunikaciju. To mogu biti priključci na upravljačku ploču, pisače ili koje druge elektroničke uređaje.

Sabirnice su paralelni vodiči koji spajaju jedinice u računalu.

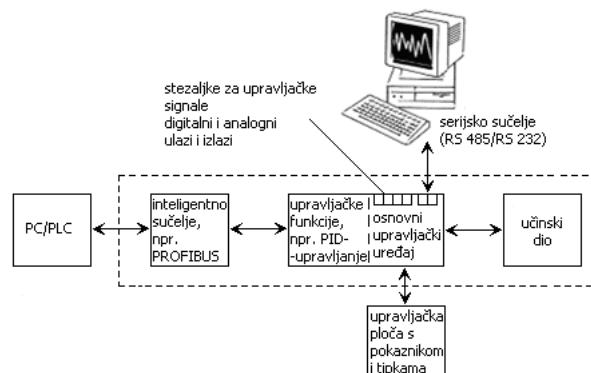
Podatkovna sabirница prenosi podatke između jedinica. Adresna sabirница adresom označuje odakle treba uzeti podatke i kamo ih spremiti.

Upravljačka sabirница nadzire redoslijed prijenosa podataka.

### 3.3. Vrste komunikacija frekvencijskih pretvarača

Digitalizirani frekvencijski pretvarači mogu razmjenjivati podatke s vanjskim uređajima upotrebom triju sučelja (slika 6.):

- standardnom upravljačkom priključnom letvicom s digitalnim i analognim ulazima i izlazima
- upravljačkom pločom s pokaznikom i tipkama
- serijskim sučeljem za uslužne, dijagnostičke i upravljačke funkcije



Slika 6. Osnovna konцепција комуникације код frekvencijskog pretvarača [2]

Ovisno o primjeni, komunikacija se može dopuniti inteligentnim serijskim sučeljem za uobičajene industrijske sabirnice, kao što je npr. PROFIBUS.

### 3.4. Način zadavanja brzine vrtnje frekvencijskih pretvarača

Upravljačka ploča s pokaznikom i tipkama ugrađena je u gotovo svaki digitalizirani frekvencijski pretvarač.

Kod upravljačkih stezaljki za n vezu s upravljačkom letvicom potrebno je najmanje n+1 podatkovnih vodiča. To znači da minimalni broj vodiča ovisi o željenom broju funkcija, a maksimalni o broju stezaljki. Pojedine stezaljke mogu se programirati za različite funkcije ili se mogu čak isključiti.

Upravljačka ploča omogućuje nadzor nad frekvencijskim pretvaračem, npr. za dijagnozu kvarova kao što je prekid žice ili nestanak upravljačkog signala.

Trenutak uključenja i željena (potrebna) vrijednost može se zadati na više načina:

- preko upravljačke ploče pokretanje start i stop tipkom, frekvencija (brzina) zadana tipkama
- preko upravljačkih stezaljki (letvica s programabilnim ulazima / izlazima) start i stop zadani su zatvaranjem kontakta spojenog na odgovarajuće stezaljke; frekvencija (brzina) analognim signalom; potenciometrom ili analognim signalom iz procesa, PLC-a ili direktno s mjeriča analogne vrijednosti
- preko komunikacijskog sučelja.

## 4. ODABIR I PROGRAMIRANJE FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA

Frekvencijski pretvarač za elektromotorni pogon za proizvodnju kućnog vakuma odabire se na temelju natpisne pločice asinkronog motora.

Nazivna snaga motora: 7,5 kW

Nazivna struja pri 3 x 400 V : 15.1 A

Stupanj zaštite: IP 20 / IP 54

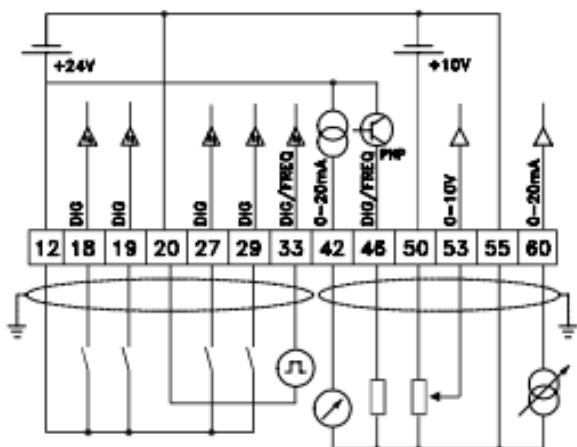
Regulacija: po brzini

Odabran je frekvencijski pretvarač proizvođača Danfoss, tvorničke oznake VLT 2875 ST (slika 7.).



Slika 7. Frekvencijski pretvarač VLT 2875 ST<sup>[6]</sup>

Korišteni parametri kod programiranja frekvencijskog pretvarača su digitalni ulazi 18 i 27, prema slici 8., a digitalni izlazi, odnosno kontakti releja 01-02 (normalno otvoreni kontakti) iskorišteni su za prikaz alarma u slučaju greške na frekvencijskom pretvaraču.



Slika 8. Priključnice za spajanje digitalnih i analognih ulaza<sup>[7]</sup>

Postepeno puštanje motora 1 u rad programirano je korištenjem kombinacije digitalnih ulaza 18 i 27, tako da je digitalni ulaz 18 parametar 302 namješten na vrijednost 23, fiksna referenca "msb", dok je digitalni ulaz 27, parametar 304 namješten na vrijednost 22, fiksna referenca "lsb" (prema literaturi 7), koje omogućuju odabir jedne od unaprijed prikladnih referenci. Kombinacija njihovih stanja 0 i 1 prema tablici 2. omogućuju rad motora na 40 %, 60 %, 80% i 100% radne snage.

Također je potrebno podešiti parametere 215 na 40 %, 216 na 60 %, 217 na 80 % i 218 na 100%, jer su oni čvrste reference 1, 2, 3 i 4.

Tablica 2. Kombinacije uključenosti ulaza za dobivanje namještenih referenci 1, 2, 3 i 4

| Fiksna ref.<br>msb | Fiksna ref.<br>lsb | Funkcija<br>(radna snaga)                            |
|--------------------|--------------------|--|
| 0                  | 0                  | Podešena<br>ref. 1 - <b>40 %</b><br>(parametar 215)  |
| 0                  | 1                  | Podešena<br>ref. 2 - <b>60 %</b><br>(parametar 216)  |
| 1                  | 0                  | Podešena<br>ref. 3 - <b>80 %</b><br>(parametar 217)  |
| 1                  | 1                  | Podešena<br>ref. 4 - <b>100 %</b><br>(parametar 218) |

## 5. PREDNOSTI UPRAVLJANJA POSTROJENJEM PREKO FREKVENCIJSKOG PRETVARAČA

### 5.1. Nadzor

Frekvencijski pretvarači mogu nadzirati proces kojim upravljaju i mogu intervenirati u slučaju poremećaja.

Nadzor se može podijeliti na tri kategorije:

- nadzor nad elektromotornim pogonom

- nadzor nad motorom

- nadzor nad frekvencijskim pretvaračem

Nadzor nad elektromotornim pogonom zasniva se na izlaznoj frekvenciji, izlaznoj struji i momentu tereta. Polazeći od tih veličina, može se postaviti niz ograničenja na upravljanje. Ta su ograničenja npr. najmanja dopuštena brzina vrtnje motora (ograničenje najmanje izlazne frekvencije), najveća dopuštena struja motora (ograničenje izlazne struje) ili najveći dopušteni moment motora (ograničenje momenta). Ako se prekorače ta ograničenja, pretvarač se može programirati tako da daje upozoravajući signal, da smanji brzinu vrtnje motora ili da zaustavi motor što je prije moguće.

Nadzor nad motorom zasniva se ili na proračunu zagrijavanja motora mijenjanjem strujnog opterećenja ili na mjerenu temperaturom motora putem ugrađenog termistora. Analogno termičkoj sklopki, frekvencijski pretvarač sprečava preopterećenje motora strujnim ograničenjem. Time je postignuto da motor s vlastitom ventilacijom (ventilator je na osovini motora) nije preopterećen pri malim brzinama vrtnje na kojima je hlađenje smanjeno. Ako mjeri temperaturu motora (ugađen senzor u motor), frekvencijski pretvarač strujnim ograničenjem štiti od preopterećenja i motore sa stranom ventilacijom (ventilator vrti poseban motor).

Nadzor nad frekvencijskim pretvaračem zasniva se na isključenju pretvarača u slučaju prevelike struje, ispada jedne faze, zemljospoja, oštećenja nekog elementa unutar pretvarača, previsokog ili preniskog napona istosmernog međukruga i dr. Neki frekvencijski pretvarači dopuštaju kratkotrajno strujno preopterećenje. Maksimalna moguća opteretivost pretvarača može se postići uporabom mikroprocesora koji računa ukupni učinak povećane struje motora s obzirom na trajanje i iznos tog povećanja.

## 5.2. Ušteda

Izračun godišnje potrošnje el. energije rađen je tako da su se kroz 30 radnih dana očitavali radni sati za svaki asinkroni motor zasebno s brojčanika postavljenih na vanjskoj strani elektroupravljačkog ormara. Na temelju tih podataka napravljen je najprije izračun potrošnje el. energije na mjesecnoj razini, a zatim i na godišnjoj.

Procjena godišnjeg utroška električne energije prema tome iznosi:

$$W_g = W_{mj} \cdot 12 = 1834.6 \cdot 12 = 22015.2 \text{ kWh}$$

Cijena 1 kWh električne energije za industriju (uzeto s internet stranica HEP-a) iznosi:  $p = 0.45 \text{ kn}$ .

Procjena godišnje potrošnje el. energije iznosi:

$$p_g = p \cdot W_g = 0.45 \cdot 22015.2 = 9906.84 \text{ kn}$$

Ukupna cijena elemenata za ugradnju je oko 7783 kn (bez PDV-a), a samu ugradnju i programiranje može obaviti osoblje pogonskog održavanja.

Frekvencijski pretvarači omogućuju uštedu električne energije tako da u svakom trenutku brzinu vrtnje motora prilagode zahtjevima elektromotornog pogona. To znači da u EMP-u za proizvodnju kućnog vakuma više neće proizvoditi „višak“ vakuma koji bi se preko rasteretnih ventila ispuštao izvan sistema. Pomoću frekvencijskog pretvarača proizvodit će se točno onoliko vakuma u sistemu koliko će za normalan rad zahtijevati priključeni broj potrošača na sistem.

Kako je anketom utvrđeno da u prosjeku sistem istodobno koristi 1 do 2 potrošača, procjena je da će u to vrijeme raditi samo motor 1 i to do 80 % snage, što je ušteda potrošnje električne energije u odnosu na sadašnju izvedbu EMP-a više od 50 %.

## 5.3. Ravnomjerniji rad motora

Frekvencijski pretvarači omogućuju tzv. meko pokretanje i zaustavljanje motora, čime se izbjegavaju nepotrebitni udari i utjecaji na mehaničke dijelove postrojenja. Prilikom uključenja jednog trošila na sustav uključuje se motor 1 s 40 % snage, zatim prema zahtjevu za većim vakuumom na 60 % i tako do 200 % snage s oba uključena motora. Kod postepenog isključenja potrošača postepeno pada i snaga motora na 180% i tako dalje do 40 % nazivne snage motora 1 i samog isključenja EMP-a. U sadašnjoj izvedbi motor 1 i motor 2 uključuju se i isključuju direktno s punom snagom od 7,5 kW.

## 5.4. Manji troškovi održavanja

Frekvencijski pretvarači traže minimalno održavanje. Produljuju životni vijek postrojenja. Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinkroni motor uzima iz mreže struju 5–7 puta veću od nazivne. Ta velika potezna struja uzrokuje propad napona na mreži koji može onemogućiti pravilan zalet i može ometati ostale potrošače na istoj mreži. Osim negativnog utjecaja na mrežu prilikom uklopa, jaka potezna struja asinkronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota

motora i to naročito kaveza rotora. To uvelike skraćuje vijek trajanja asinkronog motora, a time izaziva I velike troškove održavanja postrojenja.

Ugradnjom frekvencijskog pretvarača u EMP za proizvodnju kućnog vakuma u tvornicu krutih lijekova Belupo d.d. Koprivnica, postigle bi se dugoročne uštede u održavanju postrojenja, produljio bi se životni vijek postrojenja, a dodatnom kontrolom i zahvatima na postrojenju potrošnja električne energije mogla bi se smanjiti i više od 50 %.

To znači da bi novi smanjeni troškovi, u odnosu na dosadašnje (oko 9906.84 kn za potrošenu el. energiju godišnje, kao i veći troškovi održavanja i popravaka), mogli vratiti investiciju za približno 2 do 3 godine.

## 6. ZAKLJUČAK

Kroz opisani elektromotorni pogon za proizvodnju kućnog vakuma za profesionalnu upotrebu u industriji, gdje se kod postojećeg sustava asinkroni motor direktno uklapa na mrežu, spomenuti su nedostaci ovakvog pokretanja motora.

Uz opis rada frekvencijskih pretvarača i prednosti njihove ugradnje te novog načina upravljanja EMP-om, izračunat je mogući rok povrata uloženih sredstava u rekonstrukciju ovog postrojenja.

Proučavanjem rada spomenutog EMP-a koji naizgled radi ispravno, utvrđeno je da prosječno troši oko 50 % više električne energije nego što je potrebno. Stoga se analiziralo kako se rekonstrukcijom već ugrađenih, ali pomalo zastarjelih postrojenja mogu smanjiti gubici koje ona stvaraju. Njihovom modernizacijom, uz prethodnu analizu isplativosti, produžit će se vijek trajanja uz minimalna ulaganja, a rok povrata uloženih sredstava bit će kratak.

## 7. LITERATURA

- [1] Uputstvo za upotrebu i montažu opreme za proizvodnju kućnog vakuma za profesionalnu upotrebu u industriji. Aertecnica, 1998.
- [2] Benčić, Z. Najvažnije o frekvencijskim pretvaračima. Zagreb, 2009.
- [3] SIEMENS S7-200 i LOGO : materijali za učenje. Veleučilište u Varaždinu : Varaždin, 2007.
- [4] www.limovod.hr, veljača 2010.
- [5] www.fer.hr, veljača 2010.
- [6] www.danfoss.com, ožujak 2010.
- [7] Upute za rukovanje frekvencijskim pretvaračem serije VLT 2800, Danfoss 2003.
- [8] www.automation.siemens.com, ožujak 2010.
- [9] Siemens LOGO! Manual, Siemens AG, Germany, 2009.
- [10] www.hep.hr, ožujak 2010.

## Kontakt:

Dunja Srpk, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 098/821 891  
[dunja.srpak@velv.hr](mailto:dunja.srpak@velv.hr)  
[istankovic9@gmail.com](mailto:istankovic9@gmail.com), [josip.hudjek@velv.hr](mailto:josip.hudjek@velv.hr)

# SUSTAV UPRAVLJANJA KVALITETOM U LOGISTICI

Funda D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Visoka škola za poslovanje i upravljanje, s pravom javnosti „Baltazar Adam Krčelić“  
Zaprešić, Hrvatska

**Sažetak:** Zbog velike konkurenčije i sve većih zahtjeva potrošača kvaliteta je postala temeljni čimbenik opstanka na tržištu, ne samo pojedinih djelatnosti i organizacija već i cjelokupnoga državnog gospodarstva.

Sustav upravljanja kvalitetom podrazumijeva organizacijsku strukturu, odgovornosti, postupke, procese i resurse za ostvarenje upravljačkih ciljeva.

U suvremenim uvjetima logistika je poslovna funkcija koja koordinira kretanje materijala, kretanje proizvoda i robe u fizičkom, informacijskom i organizacijskom pogledu.

Menadžeri za logistiku upravljaju informacijama i materijalima, planiraju, upravljaju ili mijenjaju ukupni lanac stvaranja dodane vrijednosti organizacija. Učinkovito rješenje spomenutih poslova može biti sustav upravljanja kvalitetom.

**Ključne riječi:** kvaliteta, upravljanje kvalitetom, sustav upravljanja kvalitetom, sustav upravljanja kvalitetom u logistici

**Abstract:** Quality has become a fundamental factor for survival on the market, not only for specific activities and organizations, but also the entire country's economy in the conditions of strong competition and increasing demands of consumers.

The quality management system includes organizational structure, responsibilities, procedures, processes and resources for the achievement of management objectives.

In modern terms logistics means a business function that deals with the coordination of movement of materials, products and goods in the physical, informational and organizational aspects.

Managers of logistics manage information and materials, plan, manage or change the total chain of creating added value of organizations. Effective tool in addressing these tasks may be a quality management system.

**Key words:** quality, quality management, quality management system, quality management system in logistics

## 1. UVOD

Pojam kvalitete potječe od grčke riječi *qualitas* (svojstvo, vrsnoća, vrijednost, kakvoća, odlika, značajka, sposobnost). U najopćenitijem smislu, kvaliteta je svojstvo ili osobina koja označava određeni predmet ili pojavu i razlikuje ih od ostalih predmeta ili pojava.

Ne postoji jedna definicija kvalitete. Teško je definirati njenovo značenje (Kondić, 2004., str. 4.). Razlog je u tome što je sva kvaliteta zapravo «viđenje kvalitete». Ono što korisnik vidi kao kvalitetu, to jest kvaliteta (Kelly, 1997., str. 19.). Deming kaže da je kvaliteta predviđljiv omjer standardizacije i kustomizacije uz nisku cijenu i usmjerenost prema tržištu, a Juran kvalitetom smatra prikladnost potrebama (fitness for use) procijenjenu od strane korisnika.

Kvaliteta je «integralni dio ljudske spoznaje koja se kreće po beskonačnoj spirali napretka...nikada ne dostižući granicu» (Injac, 1999., str. 99.). Nema ljudske djelatnosti koja kvaliteti ne posvećuje pozornost. Kvaliteta procesa ili radnje, sustava ili osobe, kvaliteta organizacije ili njihove kombinacije samo su neka od tih područja. Ako kvalitetu analiziramo sa stajališta organizacije kao subjekta, neizostavno je pitanje kvalitete procesa (osnovni dio bilo kojeg sustava) i proizvoda (izlaz sustava) kao čimbenika potpune kvalitete.

Kvaliteta je stupanj izvrsnosti koji organizacija može postići u isporučivanju proizvoda ili usluga svojim korisnicima. Armstrong (2001., str. 64.) razlikuje tri vrste kvalitete: kvalitetu rješenja (projekta, dizajna), kvalitetu usklađenosti i kvalitetu kao zadovoljstvo korisnika. Za organizaciju je najvažnije zadovoljstvo korisnika. «Kvaliteta je razina zadovoljenja potreba i zahtjeva potrošača, odnosno usklađenost s njihovim sve većim zahtjevima i očekivanjima» (Avelini, 2000., str. 17.). Cilj je približiti proizvod/uslugu razini očekivanja korisnika.

Zbog velike konkurenčije i sve većih zahtjeva potrošača kvaliteta je postala temeljni čimbenik opstanka na tržištu, unesnosti i razvoja ne samo pojedinih djelatnosti i organizacija već i cjelokupnoga državnog gospodarstva. U razvijenim je zemljama kvaliteta nešto što se gradi, razvija i stalno unaprjeđuje.

Sustav normi ISO 9000 definira kvalitetu kao «stupanj do kojeg skupina postojećih svojstava ispunjava zahtjeve». Kvaliteta je prema tome stupanj na kojem određeni proizvodi i usluge zadovoljavaju ljudske potrebe, odnosno ukupnost osobina i značajka proizvoda ili usluga na kojima se temelji njihova sposobnost da zadovolje izričite želje ili očekivane zahtjeve.

Prema hrvatskom prijevodu norme ISO 8402, kvaliteta je «ukupnost svojstava kojeg *entiteta* (1.1) koja ga čine sposobnim da zadovolji izražene ili pretpostavljene potrebe» (HRN EN ISO 8402, 1995., str. 8.), pa je «ENTITET – ono što može biti pojedinačno opisano ili razmatrano.

NAPOMENA: Entitet može biti npr.:

- *radnja ili proces* (1.2)
- *proizvod* (1.4)
- *organizacija* (1.7), sustav ili osoba ili svaka njihova kombinacija» (HRN EN ISO 8402, 1995., str. 12.).

Iz ovih definicija proizlazi da je kvaliteta radnja, proces, proizvod, organizacija, sustav, osoba ili neka od njihovih kombinacija.

Pristupi kvaliteti mijenjali su se tijekom vremena, ovisno o tome tumači li se kvaliteta s filozofskog, ekološkog, proizvodnog, korisničkog ili nekog drugog stajališta.

Tumačimo li kvalitetu sa stajališta organizacije, njene bi značajke bile sljedeće (Gašparović, 1996., str. 91.):

- \* kvaliteta proizvoda;
- \* kvaliteta usluge u tijeku procesa potrošnje proizvoda;
- \* korektan odnos prema zaposlenicima;
- \* pošten odnos prema vlasti;
- \* poštivanje zakona, morala i običaja;
- \* zaštita okoliša i opća sigurnost u procesu proizvodnje i potrošnje proizvoda.

Kvaliteta je strateški cilj organizacije. Njena visoka razina i stalno poboljšavanje primarno je za sve poslovne procese i zaposlenike, što organizacijsko vodstvo stavlja pred nove izazove, ponajprije kako upravljati kvalitetom.

## 2. UPRAVLJANJE KVALITETOM

Da bi se ostvarili zahtjevi kvalitete, kvalitetom treba svjesno upravljati. Iz tvrdnje proizlazi da je upravljanje kvalitetom «sastavni dio funkcije upravljanja, čija je uloga ostvarivanje ciljeva kvalitete što se ogledaju ne samo u osiguravanju već i poboljšavanju kvalitete putem upravljanja aktivnostima koje proizlaze iz utvrđene politike i planova kvalitete, a ostvaruju se u okviru sustava kvalitete primjenom, uz ostalo, i odgovarajućeg praćenja kvalitete» (Skoko, 2000., str. 10.).

Upravljanje kvalitetom je dio upravljanja kojim se ostvaruju ciljevi kvalitete kroz planiranje, praćenje, osiguravanje i poboljšavanje kvalitete. U suvremenim uvjetima upravljanje kvalitetom postaje poslovna funkcija kao i bilo koja druga funkcija (npr. finansijska), s time što u njoj moraju sudjelovati ljudi svih specijalizacija i iz svih odjela u organizaciji.

Učinkovito upravljanje organizacijom ostvaruje se pomoću raznih modela. Jedan od njih je sustav upravljanja kvalitetom. Pod sustavom upravljanja kvalitetom podrazumijevaju se «ustrojstvo, postupci, procesi i druga potrebna sredstva za primjenu upravljanja kvalitetom» (HRN EN ISO 8402, 1995., str. 24.). Sustav upravljanja kvalitetom obuhvaća sve aktivnosti, procese i

strukture kojima se dolazi do nekih rezultata (Knoll, 2000., str. 65.).

Zadovoljavanje visokih zahtjeva za kvalitetom uvjet je poslovnog opstanka. Temeljna je relacija: veća kvaliteta = veća učinkovitost. Riječ je o suvremenome pristupu kvaliteti koji traži i uklanja greške u samome začetku, odnosno nastoji preventivnim aktivnostima spriječiti njihovo nastajanje (Skoko, 2000., str. 84.). Takva filozofija ugrađena je u niz normi ISO 9000. Kvaliteta je sredstvo za stalno i sustavno praćenje i unapredavanje načina poslovanja organizacije. Temeljna odrednica kvalitete jest kvaliteta poslovnog sustava, a nakon toga kvaliteta proizvoda.

Uključivanje svih članova organizacije približava nas potpunom upravljanju kvalitetom (Total Quality Management, TQM). TQM je sustav upravljanja usmjeren na stalno unapredavanje proizvoda kako bi se izgradila visoka razina zadovoljstva korisnika i njihova odanost organizaciji. Prema hrvatskome prijevodu norme ISO 8402, potpuno upravljanje kvalitetom je «način upravljanja organizacijom (1.7) usredotočen na kakvoću (2.1), utemeljen na sudjelovanju svih članova organizacije te koji zadovoljavanjem korisnika (1.9) teži za dugoročnim uspjehom i boljškom za sve članove organizacije i zajednice u cjelini» (HRN EN ISO 8402, 1995., str. 24. - 26.).

Potpuno upravljanje kvalitetom je sustav upravljanja koji osigurava «postizanje i održavanje željene kvalitete, povećanje fleksibilnosti, efikasnosti i efektivnosti poslovanja» (Avelini, 2000., str. 3.). TQM-om se korisniku nastoji pružiti ono što on želi. Većina korisnika potpunog upravljanja kvalitetom ističe da kvaliteta nije u proizvodu, već u njegovoj primjeni. U uspješnim organizacijama kvaliteta je svačiji posao. Njihov je krajnji cilj oduševiti korisnika kvalitetom proizvoda kao i stalnom brigom za njegove potrebe.

Prema postavkama tradicionalne filozofije, «kvaliteta je stanje proizvoda koje se ustanavljuje kontrolom na kraju procesa, kada je proizvod već gotov i kada je teško bilo što učiniti glede njihova poboljšanja» (Skoko, 2000., str. 84.). Temelj tradicionalnog pristupa čini kontrola proizvoda na kraju procesa. Za lošu kvalitetu krivi su kontrolori ili odjeli za kvalitetu.

Suvremeni pristup kvaliteti traži i uklanja greške u samome začetku, odnosno nastoji preventivnim aktivnostima spriječiti njihovo nastajanje. «Prema filozofiji kvalitete utemeljenoj na totalnosti, kvaliteta se ugrađuje u proizvod (Build it in) uklanjanjem svih uzroka pogrešaka, odnosno nedostataka već prije njihova nastanka, uz prihvatanje osnovnog cilja (mota) proizvodnje bez pogrešaka, odnosno nedostataka (Zero defect) ili, što je zapravo isto, izrade dobrih proizvoda iz prvog pokušaja (Make it right the first time). To, dakle, znači otpre izrađivati dobre proizvode, i to svaki put» (isto, str. 84.).

Kvaliteta se može promatrati sa stajališta:

- a) društva (razina do koje se proizvod potvrđio na tržištu)
- b) tržišta (razina do koje proizvod zadovoljava korisnike u odnosu na konkurenčiju i zakon ponude i potražnje)
- c) potrošača (razina do koje određena usluga zadovoljava potrebe korisnika)

«Kvaliteta je način razmišljanja, sustav vrijednosti, cijela filozofija poslovanja» (Deželjin, Vujić, 1995., str. 148). Što je razvoj društva na višoj razini to su i zahtjevi za kvalitetom stroži. Kvaliteta proizvoda proporcionalna je dostignutom društvenom i civilizacijskom stupnju razvoja. U razvijenim zemljama zahtjevi za kvalitetom su bitno drukčiji nego u nerazvijenim zemljama. Razvijene zemlje štite se od loše ili nedovoljne kvalitete normama (standardima) i propisima, represijom (npr. sudska zabrana), zatvaranjem tržišta, povlačenjem proizvoda s tržišta ili oduzimanjem prava pružanja usluga.

Cilj je svake organizacije postizanje uspjeha u poslovanju. Taj se uspjeh iskazuje, uz ostalo, u dokazanoj kvaliteti proizvoda. Međutim, kvaliteta je subjektivna kategorija i podložna je različitim shvaćanjima i kriterijima. Ono što korisnika u pogledu kvalitete zadovoljava danas, sutra može biti potpuno neprihvatljivo.

Norme za upravljanje kvalitetom pojavile su se kao nužnost kod pokušaja reguliranja ove problematike. Norme za upravljanje kvalitetom su elementi, upute, preporuke koje vrijede za sustav upravljanja kvalitetom pod kojim podrazumijevamo ustrojstvo, postupke, procese i druga potrebna sredstva za primjenu upravljanja kvalitetom.

### **3. SUSTAV UPRAVLJANJA KVALITETOM**

Norme za upravljanje sustavima kvalitete javile su se prije svega kao potreba jedinstvenog upravljanja velikim i potencijalno osjetljivim sustavima. Stoga su se sustavi, poput vojnih, prvi upustili u razvijanje norme.

Sljedeći kronološki slijed pokazuje neke ključne etape u razvoju norma koje nisu bile specifične za proizvod, već za sustav upravljanja:

- 1959: MIL Q-9858 (American Military Standard – US Military Specification)
- 1964. – 1975: CAN 3-Z 299.1 – 299.4
- 1970: AQAP (Allied Quality Assurance Publications)
- 1974: BS 4891, BS 5179 (UK Ministry of Defence Standards)
- 1979: BS 5750 (Parts 1, 2 & 3 Published)
- 1987: ISO 9000 (Series Published)
- 1994: ISO 9000 (First Revision of ISO 9000 Undertaken)
- 1996: HRN EN ISO
- 2000: ISO 9001 (Issue of Second Revision of ISO 9000)
- 2008: ISO 9001 (Issue of Third Revision of ISO 9000).

Sustav niza normi ISO 9000 službeno vrijedi od 1987. godine kao jedinstveni sustav za uporabu u cijelome svijetu radi potpune zaštite interesa korisnika proizvoda na tržištu. Nastanak tih normi smatra se važnim preokretom u pristupu kvaliteti na međunarodnoj razini.

Filosofija niza normi ISO 9000 odnosi se na stajalište da se ne može postići vrhunска kvaliteta bez kvalitetnog upravljanja, organizacije, sustava, utvrđenih nadležnosti, postupaka i uputa o radu, stalnog praćenja i vrednovanja kvalitete i njenog poboljšavanja. Sve spomenute etape koje treba poštivati u razvoju, proizvodnji i plasmanu proizvoda čine sustav kvalitete koji je dio poslovнog sustava organizacije.

Kao potvrda valjanosti uspostavljenog sustava upravljanja kvalitetom služi nezavisno vrednovanje, nakon čega se izdaje međunarodno priznati certifikat. Održavanje i unapređivanje dostignute kvalitete kontrolira se trogodišnjim ponovnim vrednovanjem te godišnjim kontrolnim pregledima elemenata sustava.

Temeljno je načelo niza normi ISO 9000 univerzalnost, bez obzira na područje uporabe. Od japanske doktrine preuzet je stav da je u središtu interesa poslovna sposobnost sustava kojim treba kvalitetno upravljati da bi rezultati bili dobri. Od američke doktrine preuzeto je načelo prema kojemu je ishodište odnosa između korisnika i organizacije ispunjavanje zahtjeva. Razvoj svakog novog proizvoda ili modifikacija postojećih temelji se na potrebama korisnika.

Namjena normi ISO 9000 (Skoko, 2000., str. 158.):

- 1) pri primjeni sustava radi povećanja konkurenčne sposobnosti organizacije;
- 2) kod zahtjeva korisnika da su određeni elementi i procesi kvalitete dio sustava kvalitete organizacije;
- 3) u vrednovanju sustava kvalitete organizacije od strane korisnika;
- 4) u vrednovanju sustava kvalitete organizacije od strane certifikacijske organizacije.

Zadaća je ove međunarodne norme (Fundu, 2008., str. 21.) specificirati zahtjeve za sustav upravljanja kvalitetom, ukoliko organizacija želi:

- a) pokazati sposobnosti da ima stalno osigurane proizvode koji udovoljavaju zahtjevima korisnika i zahtjevima primjene;
- b) povećati zadovoljstvo korisnika kroz učinkovitu primjenu sustava, uključujući proces za stalno unapređivanje sustava.

Uvođenje sustava upravljanja kvalitetom i njegovo nezavisno vrednovanje radi potvrđivanja sukladnosti s odabranom normom složen je proces koji se može podijeliti na četiri etape ili skupine aktivnosti:

1. Opredijeljenost uprave za kvalitetu
2. Izradu potrebne dokumentacije
3. Primjenu sustava upravljanja kvalitetom u praksi
4. Nezavisno vrednovanje sustava upravljanja kvalitetom.

Za uspješno uvođenje i kasnije održavanje sustava upravljanja kvalitetom važne su sve spomenute etape. Optimalno vrijeme potrebno za cijeli proces uvođenja je između četiri i šest mjeseci i ovisi ponajprije o sinergiji svih čimbenika uključenih u implementaciju sustava upravljanja kvalitetom.

#### **4. SUSTAV UPRAVLJANJA KVALITETOM U LOGISTICI**

Sustav upravljanja kvalitetom podrazumijeva organizacijsku strukturu, odgovornosti, postupke, procese i resurse za ostvarenje upravljačkih ciljeva. S obzirom na to da je riječ o upravljačkom poslovnom sustavu, možemo govoriti o sustavu upravljanja kvalitetom.

Sustav upravljanja kvalitetom oblikovan na temelju ovog koncepta postavlja istodobno korisniku i organizaciji dodatne zahtjeve. Od korisnika traži jasno specificiranje svojih potreba, a od organizacije dokaze učinkovitosti kao jamstvo postizanja ugovorene kvalitete.

Uspostavljeni sustav upravljanja kvalitetom može pomoći kod rješavanja većine problema. Ali treba znati da tek uvedeni sustav ne daje brze rezultate. S obzirom na to da je riječ o procesu koji traje, korist od sustava upravljanja kvalitetom ne treba očekivati odmah, pa čak ni kratkoročno.

Iako se korist od sustava upravljanja kvalitetom ne može generalizirati, mogu se izdvojiti neke zajedničke:

- a) duboko razumijevanje poslovanja, procesa, korisnika i njihovih potreba;
- b) usmjeravanje na preventivu i prepoznavanje problema unaprijed;
- c) uključivanje svakog pojedinog zaposlenika i podizanje razine organizacijske kulture.

Krajnji su rezultati:

- 1) smanjeni operativni i proizvodni troškovi;
- 2) bolja uporaba svih resursa;
- 3) stabilna kvaliteta proizvoda;
- 4) pouzdani rokovi isporuke;
- 5) zadovoljniji korisnik;
- 6) veći prihodi zbog povećanog zadovoljstva korisnika i povećanja opsega poslovanja.

U suvremenim uvjetima logistika označava poslovnu funkciju koja se bavi koordinacijom svih kretanja materijala, proizvoda i robe u fizičkom, informacijskom i organizacijskom pogledu.

Logistika je važan dio gospodarstva. Logistika razmatra probleme koji nastaju u protoku proizvoda i informacija u organizacijama i mreži organizacija.

Da se ostvari što veći profit, racionalni koncept i dobro upravljanje opskrbom postaje iznimno važno za uspjeh i jačanje kompetitivnih prednosti organizacija. Moderna logistika ima sve značajniju ulogu u podizanju razine

učinkovitosti. Organizacije koje ne ulažu u razvoj logistike sve više će gubiti bitku s konkurencijom.

Sustav upravljanja kvalitetom može doprinijeti optimizaciji i razvoju poslovanja organizacija koje se bave proizvodnjom, trgovačkom ili uslužnom djelatnošću, ali i državnog i javnog sektora. Osobito može biti učinkovit u području upravljanja sustavom nabave i opskrbe, prometa i kretanja, održavanja tehničkih sustava, održavanja objekata i infrastrukture, materijalno-finansijskog poslovanja itd.

Stručnjaci za logistiku u organizacijama upravljaju zaokruženim procesima počevši od nabave, proizvodnje i prodaje pa sve do potrošača. Područja rada su menadžment logistike, dispozicija skladišta, dispozicija transporta, menadžment špedicije, logistika unutar organizacije, Supply Chain Management, menadžment nabave itd.

Menadžeri za logistiku upravljaju informacijama i materijalima na razini organizacija. Uz to moraju znati planirati, upravljati ili mijenjati ukupni lanac stvaranja dodane vrijednosti.

Poznavanjem načela i metoda uspostave i održavanja sustava upravljanja kvalitetom, zatim metoda, tehnika, postupaka i alata u sustavu kontrole kvalitete proizvoda i usluga te vrednovanja sustava upravljanja kvalitetom, menadžeri dobivaju učinkoviti alat u planiranju, organizaciji i provedbi logističkog sustava.

#### **5. ZAKLJUČAK**

Danas se organizacije, bez obzira na veličinu, suočavaju sa zahtjevima unosnosti, kvalitete, tehnologije i održivog razvoja. Da bi stalni pritisak pretvorili u konkurenčke prednosti, organizacije trebaju sustavno održavati i unaprijeđivati svoje poslovanje.

Sustav upravljanja kvalitetom usmjeren je na stalno unaprijeđivanje proizvoda i/ili usluga kako bi se izgradila visoka razina zadovoljstva korisnika i njihova odanost organizaciji.

Primjena sustava upravljanja kvalitetom podrazumijeva ne samo ostvarenje vrhunske kvalitete u poslovanju već djelovanje na sve čimbenike: organizaciju, rukovođenje, međuljudske odnose, materijalne i ljudske resurse i dr.

Sustav upravljanja kvalitetom izvrstan je alat za kvalitetnije funkcioniranje logističkog sustava. U međusobnoj kombinaciji mogu znatno doprinijeti poslovnoj učinkovitosti organizacije i olakšati suočavanje s izazovima ubrzanoga svjetskog tržišta.

## 6. LITERATURA

1. Armstrong, M. Kompletna menadžerska znanja. Zagreb : M.E.P. Consult, 2001.
2. Avelini, H.I. Upravljanje potpunom kvalitetom (Total Quality Management). Zbornik «Integralni sustavi upravljanja potpunom kvalitetom». Opatija : Fakultet za turistički i hotelski menadžment, 2000. Str. 1.- 50.
3. Deželjin, J., Vujić, V. Vlasništvo, poduzetništvo, management. Zagreb : Alineja, 1995.
4. EN ISO 9001, Quality management systems – Requirements, Fourth edition, 2008.
5. Funda, D. Potpuno upravljanje kvalitetom u obrazovanju. Zagreb : Kigen, 2008.
6. Gašparović, V. Teorija rasta i upravljanja rastom poduzeća. Zagreb : Školska knjiga, 1996.
7. HRN EN ISO 8402 Upravljanje kakvoćom i osiguravanje kakvoće. Zagreb : Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo Republike Hrvatske, 1995..
8. HRN EN ISO 9001:2009 Sustavi upravljanja kvalitetom – Zahtjevi (ISO 9001:2008; EN ISO 9001:2008). Zagreb : Hrvatski zavod za norme, 2009.
9. Injac, N. Sustavi kvalitete 2000 : velika revizija normi ISO 9000. Zagreb : Oskar, 1999.
10. Kelly, J. M. Upravljanje ukupnom kvalitetom. Zagreb : Potecon, 1997.
11. Knoll, J. Razvoj kvalitete u obrazovanju odraslih i u visokim učilištima. Perspektive i tendencije obrazovanja odraslih u Europi (izbor tekstova). Zagreb : Hrvatska zajednica pučkih otvorenih sveučilišta, 2000. Str. 59.-67.
12. Kondić, Ž. Kvaliteta i ISO 9000 – primjena. Varaždin : Zrinski, 2004.
13. Skoko, H. Upravljanje kvalitetom. Zagreb : Sinergija d.o.o., 2000.

# LIDERSTVO SLUŽENJEM

Katavić T.<sup>1</sup>, Tomiša M.<sup>1</sup>, Mrvac N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

<sup>2</sup>Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

**Sažetak:** U ovom se radu obrađuje princip liderstva služenjem i odgovara se na nekoliko pitanja vezanih uz takav koncept vođenja. Kakvu ulogu ima lider u današnjem društvu, koja je razlika između menadžera i lidera, kakvi sve lideri mogu biti, koliko je koncept liderstva služenjem održiv i kakve karakteristike mora imati moderan vođa, to su sve pitanja na koja će ovaj rad odgovoriti. Razmatraju se i razni aspekti lidera i lidera koji služe. Također se ispituju prednosti i mane takvog pristupa, kao i njegove alternative.

**Ključne riječi:** liderstvo, služenje, lider, diktatura, demokracija

**Abstract:** This paper elaborates the principle of servant leadership and responds to several issues related to such concept of leadership. What is the leader's role in today's society? What is the difference between a manager and a leader? How many kinds of leaders are there? Is the concept of servant leadership sustainable? Which characteristics must a modern leader possess? The paper discusses the various aspects of a leader and a servant leader. It also examines the advantages and disadvantages of this kind of approach and its alternatives.

**Key words:** leadership, serving, leader, dictatorship, democracy

## 1. UVOD

Koncept liderstva ima dugu povijest. Iako ga je u današnjem obliku predstavio Robert Greenleaf 1970. godine, sama koncepcija liderstva služenjem pojavila se prije više tisuća godina. Negdje 600 godina p.n.e kineski mudrac Lao Tzu u svojoj knjizi „Tao Te Ching“ predstavio je stratešku raspravu o liderstvu služenjem. On naglašava: "Najveći lideri zaboravljaju na sebe i posvećuju se razvoju drugih. Dobri lideri podržavaju izvrsne zaposlenike. Veliki lideri podržavaju najgorih deset posto. Veliki lideri znaju da se "nebrušeni dijamanti uvijek pronalaze u neuglađenom stanju". [6]

Nešto kasnije, 300 godina prije Krista u Indiji, Chanakya, savjetnik cara Chandragupta, pisao je o liderstvu služenjem u svojoj knjizi „Arthashastra“ gdje navodi: "U sreći svojih podanika leži sreća kralja, u njihovoj dobrobiti, njegova dobrobit. On neće smatrati dobrim

ono što ga zadovoljava nego smatrati korisnim ono što zadovoljava njegove podanike". Isto tako smatra da je "kralj (lider) zapravo plaćeni sluga koji uživa državne resurse zajedno s drugim ljudima koji žive u kraljevstvu." [6] Pojavom Isusa Krista i njegovog naučavanja prikazanog u Evangeliju po Marku, nailazimo na "zapadnjački" pristup ideji liderstva služenjem - starješine moraju biti sluge: "Znate da oni koji se priznaju vladarima nad narodima okrutno postupaju s njima i da se njihovi velikaši služe svojom vlašću protiv njih. Ali tako neka ne bude među vama! Naprotiv, tko bi želio biti najveći među vama, neka bude vaš poslužnik! A tko bi želio biti prvi među vama, neka bude rob svima jer Sin Čovječji nije došao da mu služe, nego da on služi i da dadne život svoj kao otkup umjesto svih!" [1] U ovom radu pokušat ćemo pojasniti i analizirati ideju teorije liderstva služenjem, prikazati prednosti i mane tog pristupa te obrazložiti održivost teorije liderstva služenjem.

## 2. TEORIJA LIDERSTVA SLUŽENJEM

Moderni koncept liderstva služenjem nastao je 1970. godine kada je Robert Greenleaf (1904.-1990.) objavio svoj esej "Sluga kao lider". Njegova ideja liderstva služenjem prikazana je detaljnije u njegovim kasnijim radovima kao i u radovima drugih autora, koji su posebno aktivni posljednjih godina.

Teorija liderstva služenjem može se smatrati oblikom evolucije demokracije ili približavanje onome što bi demokracija trebala biti. Liderstvo služenjem može ispraviti glavne mane demokracije i kao takvo se smatra jedinom pravom opcijom za napredak civiliziranog svijeta i za bolju budućnost. Odgovori na pitanja Roberta K. Greenleafa trebaju podsjetiti na to što je zapravo liderstvo služenjem. "Da li se ljudi koje služimo razvijaju i rastu; postaju li, dok ih se služi, zdraviji, mudriji, slobodniji, samostalniji? I da li će jednoga dana oni sami služiti druge ljude? Koji su efekti vodstva na najmanje privilegirane članove društva; imaju li oni ikakve koristi ili ih se, u najmanju ruku, barem neće dalje uskraćivati?" [5] Greenleaf je, pokušavajući dati odgovore na ova pitanja, ponovno "oživio" teoriju liderstva služenjem prema kojoj lider služi ljudima koje vodi. To podrazumijeva da su oni sami po sebi cilj, a ne sredstvo za postizanje organizacijskog cilja ili konačnog rezultata.

Prema Greenleafu lideri koji služe [2]:

- posvećuju se služenju potreba članova organizacije
- usredotočuju se na zadovoljavanje potreba onih koje vode
- razvijaju zaposlenike, tako da dolazi do izražaja ono u čemu su oni najbolji
- podučavaju druge i potiču na izražavanje njihove darovitosti
- potiču tijek osobnog rasta i razvoja svih s kojima surađuju
- slušaju i grade zajednicu

Lideri koji služe smatraju se vrlo učinkovitim budući da brinu o zadovoljenju potreba svojih sljedbenika. Prednost ovakvog liderstva je u tome što ono smatra da lider treba više razmišljati kako poštivati i motivirati svoje podređene, a manje dominirati nad njima.

## 2.1. Prednosti i mane liderstva služenjem

Nužno je zapitati se ne bi li zamisao lidera i djelatnika kao partnera bila bolja od poimanja lidera kao sluge koji služi. Tretiranje djelatnika kao partnera je vrijedno poštovanja, dok služenje ljudima u zadovoljenju njihovih potreba stvara sliku "ropskog odnosa". U današnjoj modernoj privredi, prije zadovoljenja potreba djelatnika lideri trebaju zadovoljiti potrebe dioničara. Stoga je logičnije reći da lideri trebaju razmotriti potrebe djelatnika, a ne njima služiti. Pretvaranje lidera autokrata u lidera koji služi je prelazak iz jedne krajnosti u drugu. Načela liderstva služenjem su pohvalna, ali je slika sluge sa svojom "robovskom" konotacijom ta koja je problematična i obmanjujuća. [2] U liderstvu služenjem naglašava se nesebičnost i služenje djelatnicima, odnosno podređenima. Nesebičnost je dragocjena osobina, ali ne i osobina ekskluzivna liderstvu služenjem. Dobar primjer nesebičnosti je politički lider koji se bori za nepopularnu politiku zato što smatra da je to u interesu zemlje. Lider koji vodi kampanju temeljenu na populističkim porukama više je zainteresiran da bude izabran, a ne da čini ono što je najbolje za zemlju. Stoga se može zaključiti da on zapravo služi sebi, a ne drugima. Nesebičan lider je spremjan riskirati svoju vlastitu sudbinu da bi učinio pravu stvar. Ima puno profesionalaca koji su također nesebični, a da nisu lideri. To su humanitarni radnici i liječnici. Nisu samo lideri koji služe nesebični. Nesebičnost je moguća i bez toga da se nekome služi. Menadžeri bi mogli bolje motivirati zaposlenike ukoliko služe zadovoljavanju potreba svojih podređenih. Lideri stvaraju ciljeve, a menadžeri izvršavaju ciljeve. Kod stvaranja novih ciljeva često dolazi do individualnih istupanja koja mogu biti suprotna potrebama sljedbenika. Menadžersko izvršavanje ciljeva zahtijeva odgajanje podređenih, ali to nije vođenje. Lideri ne mogu biti sluge. Oni su suviše usredotočeni na postizanje ciljeva koje smatraju vrijednima bez obzira na potrebe njihovih sljedbenika. Lideri bi mogli odgajati i razvijati zaposlenike, ali to je samo sredstvo koje vodi cilju. Služenje ljudima je samo po sebi cilj, a ne način za postizanje drugih ciljeva. Ova kritika liderstva služenjem temelji se na potpunom odvajanju vođenja od

upravljanja. Lider mora promijeniti status quo i pretvoriti ga u nove prilike i izazove, a da ne služi. [2]

Prema McCrimmonu [2] lideri:

- se ističu u mnoštvu
- čine neočekivane poteze
- mijenjaju status quo u nove prilike i izazove
- nastoje pronaći nove ciljeve
- usredotočuju se na uspjeh - da prvi postignu nešto novo
- potpuno su zaokupljeni i posvećeni postizanju uspjeha
- odbijaju poznato i time često dovode druge u "neugodnu situaciju"

Na brzo rastućim tržištima gdje se redovito traže novi ciljevi, rukovoditelji ne mogu spriječiti da se ljudi katkada neugodno osjećaju. Oni se prije svega moraju fokusirati na potrebe sljedbenika. Ukoliko je cilj organizacije više ili manje određen, vođenje je potrebno u maloj mjeri ili uopće nije potrebno. Ono što se traži je uglavnom dobar menadžment. Isto tako McCrimmon smatra da puno toga što menadžeri rade nije uopće vođenje. To može biti upravljanje, obučavanje, motiviranje, razvijanje. Te aktivnosti ne sačinjavaju vođenje. Menadžeri koji služe mogu biti prihvaćeni. Ako su lideri donekle i buntovnici, kakav to uzor u razvijanju i rastu lidera pruža menadžer koji odgaja druge. Opasnost koncepta liderstva služenjem je ta što svatko može biti lider i bez osobina lidera koji služi. Isto tako, da bi postali lideri dovoljno je da budemo konkurentni uspješni pojedinci, odlučni u nakani da budemo bolji i da se razlikujemo od drugih. Osobine lidera koji služi i slaganje s ljudima nisu ono čime se liderstvo doista bavi.

## 3. ALTERNATIVE

Povijest je iznjedrila nekoliko vrsta liderstva, s prednostima i manama. Diktatura, monarhija, komunizam i demokracija su osnovni "modeli" koji su se razvijali, mijenjali i opstali do danas u nekom obliku. Zašto onda tvrditi da je liderstvo služenjem najbolje? Najprije se moraju promotriti "opći" modeli vođenja te se moraju razmotriti njihove prednosti i mane. Budući da je njih mnogo, u ovom radu obrađena su samo dva primjera: diktatura i demokracija.

### 3.1. Diktatura

Diktatura (lat. dictatura) je riječ latinskog porijekla koja znači punomoć, vlast ili vrijeme vladanja jednog diktatora. S vremenom taj se pojam pretvorio u sinonim za ničim ograničenju, nikakvim zakonima stegnutu vlast koja se oslanja na silu. To je oblik vladavine kojoj je glavno svojstvo da jedna osoba (diktator) ili skupina ljudi (npr. partija ili vojska) može vladati neograničenom moći. Važno je pri tome reći da diktatura nikada nije utemeljena na pravu, već na nasilju. Diktatura je vjerojatno najstariji oblik vladanja i svodi se na to da (naj)snažni(ji) nameću svoju volju drugima i vode onako kako oni misle da treba. Diktatori odluče, a ostali se moraju pokoriti tome. Diktatura ima jasnou prednost, a to

je njenja efikasnost kod donošenja i izvršavanja odluka. Zato je diktatura omiljen način upravljanja u vojskama svijeta. Diktatura ima i mnogo manja: veće šanse za pogreške; guši inicijativu, kreativnost i buduće lidere; ovisna je o jednoj osobi, nema mjera kontrole. Kod diktature neosporno je da absolutna poslušnost u izvršavanju naredbi i manjak diskutiranja oko odluka vodi do iznimne brzine i efikasnosti u lancu naredbi. Diktator donese odluku, nitko je ne ospori i ne propitkuje i ona se brzo izvrši. Najveća snaga diktature je ujedno i njena najveća slabost. Činjenica da se o odlukama ne raspravlja znači da se problem ne može potpuno sagledati. Nema timskog rada ni "brainstorminga" pa odluka ovisi o pojedinca, a kod pojedinca je veća šansa za pogrešku nego kod grupe. Kod diktature nema mesta improviziranju ili kreativnosti. To je "rezervirano" za diktatora, što znači da sljedbenici možda odlično izvršavaju naredbe, ali loše funkcioniраju neovisno jer je i kreativnost i inicijativa ugušena. Stara je izreka barona Actona: "Power corrupts; absolute power corrupts absolutely" [3]. Ona se pokazala istinitom mnogo puta pa zato i postoje razni mehanizmi kontrole kako bi se to spriječilo. Diktatura nema takvu kontrolu jer diktatora se ne bira. On vlast drži silom.

### 3.2. Demokracija

Pojam demokracija je definiran kao "pluralistički oblik vlasti u kojem sve odluke neke države donosi izravno ili neizravno većina njenih građana kroz izbore. Kad su ti uvjeti ispunjeni, vlast se može opisati kao demokratska. To vrijedi za razne sustave upravljanja, jer se ti pojmovi mogu kombinirati i s drugim vrstama vlasti. S vremenom se pojam i ideja demokracije razvijala i mijenjala. Demokracija je trenutačno najprihvatljiviji način vođenja, smatra se najboljim načinom vladanja te zamjenjuje ostale oblike u modernom društvu. Prvi oblik demokracije se pojavio u staroj Ateni u 5. stoljeću prije Krista. Atenska se država smatra prvim primjerom sustava koji odgovara nekim današnjim predodžbama o demokratskoj vlasti. To je zapravo bila protodemokracija jer je glasovanje bilo ograničeno. Samo je oko 16% ukupnog stanovništva imalo pravo glasa, pa je to bio jedan oblik elitizma.

Da bi odluke bile demokratske, moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti [4]:

1. ravnopravnost
2. sloboda
3. sloboda informacija
4. sloboda izražavanja
5. aktivno biračko pravo
6. alternativa

Winston Churchill je rekao: "Mnogi oblici vladavine bili su i bit će isprobani u ovom našem svijetu grijeha i jada. Nitko se ne zavarava da je demokracija savršena ili mudra. Štoviše, rečeno je da je demokracija najlošiji oblik državne vladavine izvan svih onih oblika koje su bili probani s vremenom." [3] Time je naglasio da nigdje ne postoji savršena demokracija. Usprkos svim sadašnjim kritikama, ona je najuspješniji postupak mirnog

rješavanja konfliktata. Mane demokracije su populizam, manipulacija masama te neobrazovanost većine. Političari koji su u politici zbog vlastitih interesa govore masama ono što one žele čuti kako bi dobili glasove. Lažna obećanja, manipuliranje medijima te razne političke igre stranaka sve su to boljke demokracije, a veliki problem je nedovoljno obrazovanje. U demokraciji vlada većina, a većina je masa koja često nije dovoljno obrazovana da bi mogla donijeti kvalitetnu odluku. Zbog toga demokratski izbori često postaju prazna retorika i natjecanje u popularnosti. Demokracija nije stanje, već permanentni zadatak. Njenom uspjehu pridonose institucije i postupci, ali prije svega angažman građana. U svijetu sve počinje odnosom između birača i izabranog, tj. odnosom koji funkcioniра. On je promjenjiv, tako da su grupe jedna drugoj potrebne. Problem je u tome da povremeno dolazi do toga da se izabrani ne pridržavaju zakona ili dogovora. Takvim ponašanjem razočarani su birači. Birači stječu dojam da nemaju nikakvog utjecaja na izabrane, a samim tim i nikakvog utjecaja na politiku, te da nema smisla sudjelovati u politici. Stoga je najveći problem demokracije apatija građana. Tako se može dogoditi da se dio stanovništva prestane zanimati za politiku, prestane ići na izbore i politički se angažirati. Demokracija ne može zadovoljavajuće funkcioniратi ako u njoj ne sudjeluju građani. Iz toga ne proizlaze samo problemi za izabrane zastupnike, nego i za birače, odnosno za one koji nisu sudjelovali na izborima. Institucije i pravila u demokraciji moraju biti postavljeni tako da se građanima i omogući i olakša sudjelovanje u politici, pa građani sami moraju iskoristiti tu mogućnost.

## 4. ZAKLJUČAK

Može li lider istodobno postavljati nove ciljeve i biti lider koji služi? Prvo treba razmisleti što znači služiti, odnosno biti sluga. Sluga naravno mora izvršavati svaku gospodarevu želju. Ukoliko njegov gospodar želi sebi činiti loše, dužnost sluge je da izvrši ono što gospodar zahtijeva, bez obzira na to što je to loše za njegova gospodara. Razmislimo o drugom pristupu, pristupu mentora ili trenera. On će pritisnati svoga štićenika i postavljati mu zahtjeve, testirat će njegove sposobnosti sve dok ga ne oblikuje onako kako želi, dok ne ostvari njegov potencijal. Koja od spomenutih osoba više odgovara ideji lidera? Ukoliko lider mora mijenjati status quo u nove prilike i izazove da bi bio lider, bilo bi nelogično zamisliti da mijenja i pojedince kako to čini i svaki dobar mentor. No, može li sluga mijenjati svoga gospodara? Ima li sluga moć suprotstaviti se svom gospodaru ili navesti ga da učini nešto što on ne želi? Ako ima, je li taj sluga još uvijek sluga? Ovdje je riječ o tome da čitava zamisao o lideru koji služi propada zbog sluge i gledišta koje povlači taj pojam. Pohvalna su načela liderstva služenjem da se djelatnika razvija i odgaja. Samo je "slika" sluge ta koja je pogrešna jer nije za očekivati da lideri služe svojim djelatnicima. Prihvatljiva je ideja liderstva odgajanjem ili mentorstvom. Velika je razlika između pokazivanja poštovanja prema potrebama djelatnika ili biti njihov sluga. Da bi lider bio dobar, on ne smije služiti volji

naroda već interesima naroda. Ako ignorira volju kako bi služio interesu, je li on stvarno lider koji služi? Problem je u tome da često volja naroda može biti u kratkoročnom interesu naroda, dok lider mora razmišljati i služiti dugoročnim interesima naroda. Takav lider mora ignorirati volju naroda i služiti svom pravom "gospodaru" - interesima naroda. Taj sukob interesa traje dok volja naroda ne prepozna dugoročni interes. To je jedina prava mana liderstva služenjem. Ideja je hvalevrijedna, ali je naziv nedovoljno jasan.

## 5. LITERATURA

1. Biblija - Evanđelje po Marku. Kršćanska sadašnjost : Zagreb, 1993.
2. Leaders Direct, <http://www.leadersdirect.com>, 2010.
3. The Quotations Page, <http://www.quotationspage.com>, 2010.
4. Wikipedia: Demokracija, <http://hr.wikipedia.org/wiki/Demokracija>, 2010.
5. Wikipedia: Robert K. Greenleaf, [http://en.wikipedia.org/wiki/Robert\\_K.\\_Greenleaf](http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_K._Greenleaf), 2010.
6. Wikipedija: Servant leadership, [http://en.wikipedia.org/wiki/Servant\\_leadership](http://en.wikipedia.org/wiki/Servant_leadership)

## WOLFRAM ALPHA – MATEMATIKA ZA SVE I SVAKOG

**Petek Lončarić N.<sup>1</sup> Loparić S.<sup>1</sup>**  
**<sup>1</sup>Tehnička škola Čakovec, Hrvatska**

**Sažetak:** U današnjem društvu gotovo da i nema profesije koja u svom svagdanjem radu ne koristi računala i internet. Suvremena tehnologija postala je dio naše svakodnevice. Postoje softveri za rješavanje određene vrste problema, te postoje ogromne baze podataka koje nam u svakom trenutku mogu pružiti različite informacije. No Wolfram Alpha pokušava sve to objediniti. Ovaj internet servis zamišljen je kao pomoć pri rješavanju različitih vrsta problema.

U članku je dano nekoliko primjera rješavanja matematičkih problema koristeći Wolfram Alphu.

**Ključne riječi:** Wolfram Alpha, matematika, matematički problemi

**Abstract:** In today's society, there is hardly a profession which does not use computers and the Internet in its everyday business. Modern technology has become part of our everyday life. There is software for solving specific problems and there are enormous databases which can offer us different information in any moment. However, Wolfram Alpha tries to consolidate all of these. This Internet engine is designed to help solving various types of problems.

Several examples of solving mathematical problems by using Wolfram Alpha are given in the paper.

**Key words:** Wolfram Alpha, mathematics, mathematical problems

„Matematika je u pozadini svega.“ Još jedna potvrdu ove sintagme dala je prošle godine strana tvrtka Wolfram Research. Naime, oni su u svibnju 2009. godine pokrenuli online servis pod nazivom Wolfram Alpha. Neki su taj servis uspoređivali s poznatim web tražilicama (VIDI, br.159/2009, str.23-25).

Te usporedbe ustvari nisu moguće jer je Wolfram Alpha nešto sasvim novo i drugačije. Wolfram Alpha na naš upit ne daje samo linkove web stranica kao Google i ne daje samo informacije o upisanom pojmu kao Wikipedija. Ona obrađuje upit, izračunava rezultate, crta dijagrame, interpretira dobivene rezultate te uz sve to dodaje reference i linkove vezane uz naš upit.

Pozadina Wolfram Alphe je programski paket Mathematica koji se razvio od kalkulatora do programskog paketa za simboličke proračune. Tako i Wolfram Alpha može služiti kao kalkulator, ali i kao baza znanja koja je sposobna povezivati pojmove.

Do sada je bilo mnogo kritika na račun Wolfram Alphe. One su uglavnom bile vezane uz upite iz društvenih znanosti, dok su odgovori vezane uz egzaktne znanosti (matematika, fizika) bili točni i smisleni. Time su matematičari najviše profitirali. Ne trebaju kupovati skupu Mathematicu jer je dobar dio nje dostupan potpuno besplatno online preko Wolfram Alphe.

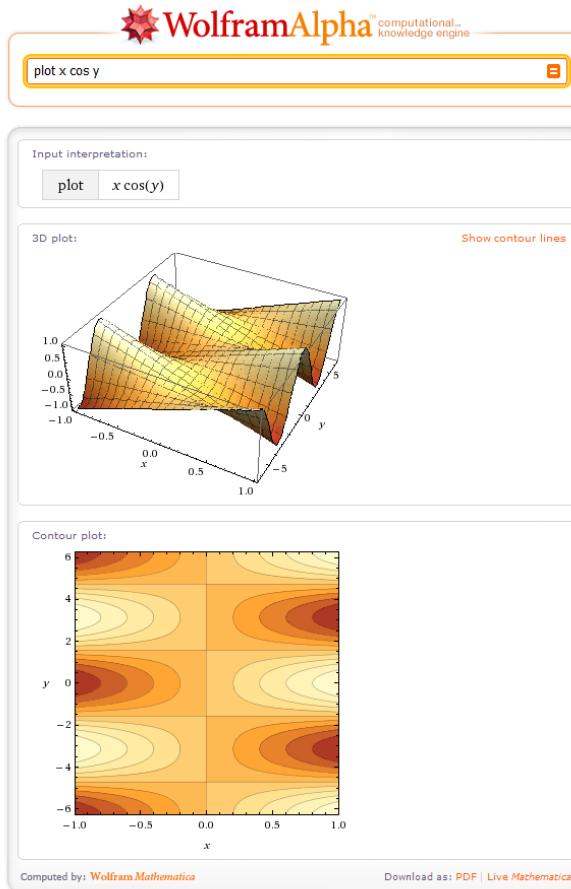
Iako je pojava Wolfram Alphe u informatičkom svijetu odjeknula kao revolucija, rijetko je koji informatičar koristi. A što je s matematičarima? Velika je korist ovog servisa u rješavanju matematičkih problema. Osim što može poslužiti za izračunavanja, provjeru i interpretaciju rezultata, u nekim situacijama pokazuje i predlaže postupak rješavanja. Stoga je Wolfram Alpha iznimno koristan instrumentarij svakom tko rješava matematičke zadatke.

Krenimo malo u istraživanje matematike u "aranžmanu" Wolfram Alphe. Uz malo vježbe korištenje ovog online servisa iznimno je jednostavno. Na početnoj stranici odaberemo traženu kategoriju (u ovom slučaju "Mathematics"), a potom odaberemo područje matematike koje nam treba bilo da je riječ o elementarnoj matematici, brojevima, geometriji, algebri, analizi, diskretnoj matematici ili nekoj drugoj matematičkoj domeni. Klikom na odabranu područje otvaraju nam se poddomene sve dok ne dođemo do konkretnog matematičkog problema.

Preporuka je svakako da se u početku koriste stranice s primjerima koje prepravljamo prema vlastitim potrebama, dok se kasnije upiti mogu pisati direktno na početnu stranu. Dakle, u okvir za upis pitanja sa znakom jednakosti na kraju upišemo zadatak i klikom na znak jednakosti za koji trenutak dobivamo odgovor. Wolfram Alpha na većinu će zadataka dati točno rješenje, različite zapise rješenja te još neke vrijednosti vezane uz taj zadatak. U nekim slučajevima će dati i prijedlog postupka te metodu rješavanja.

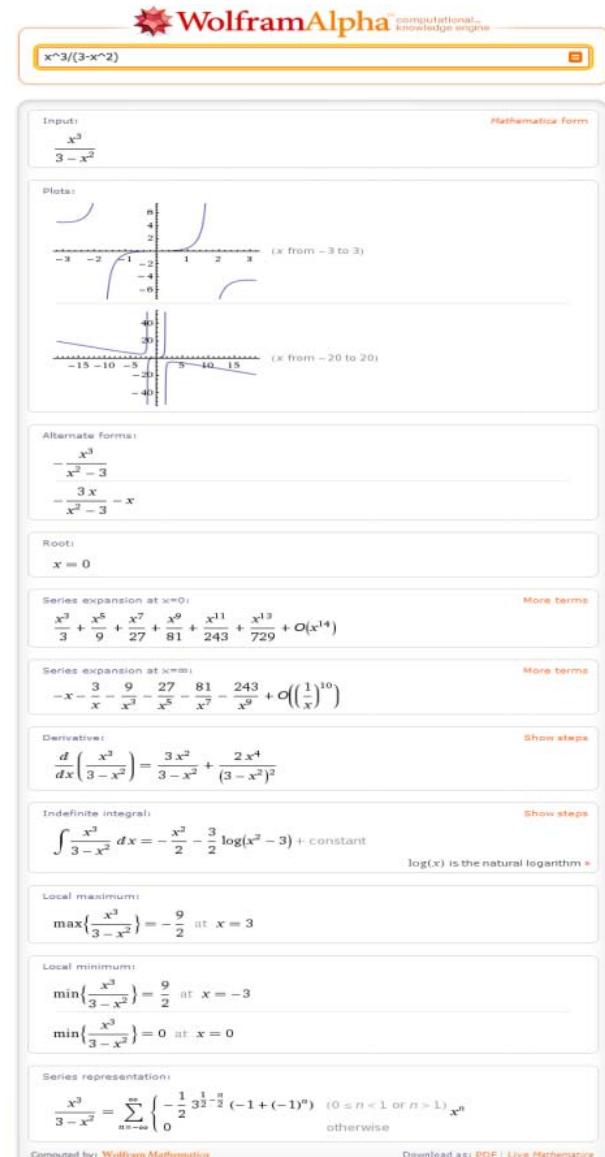
Na primjer, želimo li crtati grafove funkcija, koristimo jednostavnu naredbu "plot". Primjećujemo da funkcija može biti zadana i parametarski ili u polarnim koordinatama.

Ako želimo više grafova na jednoj slici, tada samo funkcije odvojimo zarezom. Isto postupamo s funkcijama dvije varijable, nakon čega nam se iscrta graf funkcije u 3D-u.



Slika 1. Crtanje grafa funkcije  $\cos y$

Želimo li osim grafa funkcije doznati i nešto više o toj funkciji, možemo funkciju bez ikakve naredbe upisati u predviđeni prozorčić, pa dobijemo uz graf i mnoge druge podatke o toj funkciji.



Slika 2. Funkcija  $x^3/(3-x^2)$

Ukoliko želimo odrediti derivaciju ili pak neodređeni integral neke funkcije, Wolfram Alpha će nam prvo ponuditi samo krajnje rješenje. Međutim, u gornjem desnom kutu pojavit će se ikonica "show steps" koja nam daje opciju cijelog postupka rješavanja, što je od velike koristi u uvježbavanju deriviranja i integriranja.

Indefinite integral:  
 $\int x \sin(3x) dx = \frac{1}{9} (\sin(3x) - 3x \cos(3x)) + \text{constant}$

Plots of the integral:

- (x from -2 to 2)
- (x from -10 to 10)

Alternate forms of the integral:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{9} \sin(3x) - \frac{1}{3} x \cos(3x) + \text{constant} \\ & -\frac{\sin^3(x)}{9} - \frac{1}{3} x \cos^3(x) + \frac{1}{3} \sin(x) \cos^2(x) + x \sin^2(x) \cos(x) + \text{constant} \\ & -\frac{1}{6} e^{-3ix} x - \frac{1}{6} e^{3ix} x + \frac{1}{18} i e^{-3ix} - \frac{1}{18} i e^{3ix} + \text{constant} \end{aligned}$$

Series expansion of the integral at x=0:

$$x^3 - \frac{9x^5}{10} + \frac{81x^7}{280} - \frac{27x^9}{560} + \frac{243x^{11}}{49280} - \frac{2187x^{13}}{6406400} + O(x^{14}) + \text{constant}$$

Definite integral:  
 $\int_0^{\pi/3} x \sin(3x) dx = \frac{\pi}{9} \approx 0.349066$

Computed by: Wolfram Mathematica      Download as: PDF | Live Mathematica

Slika 3. Integral funkcija xsin3x

Klikom na spomenuto ikonu otvorit će nam se jedan od mogućih načina rješavanja:

Indefinite integral:  
 $\int x \sin(3x) dx = \frac{1}{9} (\sin(3x) - 3x \cos(3x)) + \text{constant}$

Possible intermediate steps:

$$\int x \sin(3x) dx$$

For the integrand  $x \sin(3x)$ , integrate by parts,  $\int f dg = fg - \int g df$ , where  
 $f = x, \quad dg = \sin(3x)dx,$   
 $df = dx, \quad g = -\frac{1}{3} \cos(3x);$

$$= \frac{1}{3} \int \cos(3x) dx - \frac{1}{3} x \cos(3x)$$

For the integrand  $\cos(3x)$ , substitute  $u = 3x$  and  $du = 3dx$ ;  
 $= \frac{1}{9} \int \cos(u) du - \frac{1}{3} x \cos(3x)$

The integral of  $\cos(u)$  is  $\sin(u)$ ;  
 $= \frac{\sin(u)}{9} - \frac{1}{3} x \cos(3x) + \text{constant}$

Substitute back for  $u = 3x$ ;  
 $= \frac{1}{9} \sin(3x) - \frac{1}{3} x \cos(3x) + \text{constant}$

Which is equal to:  
 $= \frac{1}{9} (\sin(3x) - 3x \cos(3x)) + \text{constant}$

Slika 4. Postupak integriranja funkcije xsin3x

Krenemo li u područje algebre nude nam se opet mnogobrojne mogućnosti rješavanja jednadžbi, sustava jednadžbi, faktorizacije polinoma, računanja s vektorima, matricama i dr. Želimo li odrediti inverznu matricu, Wolfram Alpha nam osim točnog rješenja nudi i determinantu, trag, karakteristični polinom, svojstvene vrijednosti te svojstvene vektore polazne matrice.

Input:  
 $\text{inv } \{(1, 2, 3), (0, 1, 1), (2, 0, 1)\}$

Result:  
 $\begin{pmatrix} -1 & 2 & 1 \\ -2 & 5 & 1 \\ 2 & -4 & -1 \end{pmatrix}$

Dimensions:  
 $3 \times 3$  (rows) x  $3 \times 3$  (columns)

Matrix plot:

|   |    |    |
|---|----|----|
| 1 | 2  | 3  |
| 1 | 2  | 3  |
| 2 | -4 | -1 |

Determinant:  
 $-1$

Trace:  
 $3$

Characteristic polynomial:  
 $-x^3 + 3x^2 + 3x - 1$

Eigenvalues:  
 $\lambda_1 \approx 3.73205$   
 $\lambda_2 = -1$   
 $\lambda_3 \approx 0.267949$

Eigenvectors:  
 $v_1 \approx \{-0.366025, -1.36603, 1\}$   
 $v_2 \approx \{-2, -1, 2\}$   
 $v_3 \approx \{1.36603, 0.366025, 1\}$

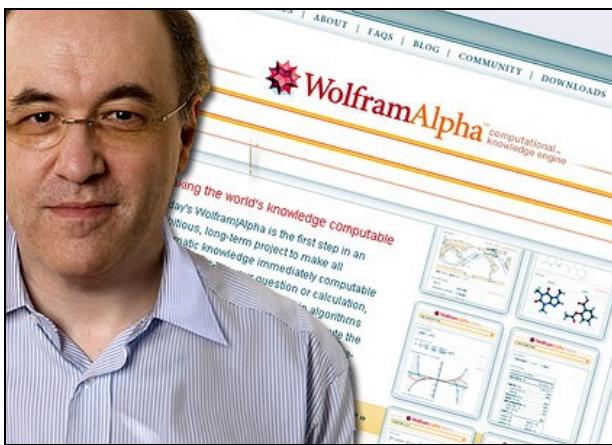
Condition number:  
 $48.$

Computed by: Wolfram Mathematica      Download as: PDF | Live Mathematica

Slika 5. Inverz matrice

Ovim smo primjerima samo zagrebljali po površini mnogobrojnih mogućnosti koje nam nudi Wolfram Alpha u rješavanju i interpretaciji matematičkih problema. To je dovoljno da svatko uvidi prednosti ovog alata i kreće u vlastito istraživanje u skladu svojih potreba i interesa.

Wolfram Alpha sposoban je odgovoriti na veoma visoke zahtjeve i on predstavlja naznaku budućnosti. Iako je do sada odraden impresivan posao, ostalo je još mnogo prostora za poboljšanja. Stephen Wolfram, tvorac ovog tehnološkog čuda, naglasio je da razvoj projekta Wolfram Alphe nikad neće biti završen, a ona će svoj puni potencijal doseći tek kada se baza dodatno popuni podacima.



Slika 6. Stephen Wolfram

Tvorac Wolfram Alphe, Stephen Wolfram rođen je 1959. godine u Londonu. Već s 13 godina dobio je stipendiju za Eton College, a u 15. godini napisao je članak iz fizike čestica. Doktorirao je teorijsku fiziku s 20 godina.

Godine 1986. počeo je razvijati računalni sustav Mathematica, a već iduće osnovao je tvrtku pod nazivom Wolfram Research. Od 1992. do 2002. godine radio je na svojoj knjizi New Kind of Science koja predstavlja empirijsko istraživanje vrlo jednostavnih računalnih sustava sposobnih da oblikuju kompleksna rješenja.

Wolfram zaključuje da je svemir u svojoj prirodi digitalan i radi na principu zakona koji se mogu opisati kao jednostavni programi. Mathematica i New Kind of Science u temeljima su Wolfram Alphe koju Stephen Wolfram opisuje kao svoj najveći i najambiciozniji projekt koji nikad neće biti dovršen.

## Literatura:

- [1] <http://www.wolframalpha.com/>. (20.08.2010.)
- [2] Wolfram, S. Wolfram|Alpha Is Launching : Made Possible by Mathematica.  
<http://blog.wolframalpha.com/2009/05/15/wolframalpha-is-launching-made-possible-by-mathematica/>. (20.08.2010.)
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wolfram\\_Alpha](http://en.wikipedia.org/wiki/Wolfram_Alpha). (20.08.2010.)
- [4] Singel, R. Wolfram|Alpha Fails the Cool Test.  
<http://www.wired.com/epicenter/2009/05/wolframalpha-fails-the-cool-test/>. (20.08.2010.)
- [5] Rudan, S. (2009). Wolfram Alpha. VIDI, 159/2009, str. 23-25.

## Kontakt:

Nataša Petek Lončarić, prof. matematike,  
Tehnička škola Čakovec,  
tel: 098522111,  
e-mail: [natasa.petek2@ck.t-com.hr](mailto:natasa.petek2@ck.t-com.hr)

Sanja Loparić, prof. matematike i informatike,  
Tehnička škola Čakovec,  
Tel: 0989357034,  
e-mail: [sanja.loparic@ck.t-com.hr](mailto:sanja.loparic@ck.t-com.hr)

# APROKSIMACIJA FUNKCIJE FOURIEROVIM I VALIĆNIM REDOM

Keček D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** U mnogim matematičkim primjenama potrebno je zadatu funkciju aproksimirati nekom drugom funkcijom. Za aproksimaciju periodičke funkcije koriste se trigonometrijski redovi. Ako se funkcija može aproksimirati trigonometrijskim redom, govori se o njenom razvoju u Fourierov red. Valići se ubrajaju u noviji dio matematike koji se intenzivno razvija. Valićnim redom se postiže točan prikaz funkcije s manjim brojem članova reda i bržim izračunom.

**Ključne riječi:** aproksimacija funkcije, Fourierov red, valićni red

**Abstract:** In many mathematical applications it is needed to approximate a given function with another function. Trigonometric series are used for the approximation of periodic function. If the function can be approximated by a trigonometric series, it is talked about expanding a function in a Fourier series. Wavelets represent the newer part of mathematics which is extensively developing. With wavelet series, the accurate representation of the function is achieved with fewer terms and faster calculation.

**Key words:** approximation of function, Fourier series, wavelet series

## 1. UVOD

Proizvoljna periodička funkcija se može aproksimirati trigonometrijskim redom, tj. može se prikazati kao zbroj sinusoida i kosinusoida različitih amplituda i frekvencija. Prednost ovakve aproksimacije funkcija je u tome što su svojstva sinus i kosinus funkcija dobro poznata pa se takvom aproksimacijom jednostavno računa.

Valići (engl. wavelet) su funkcije koje zadovoljavaju određene matematičke zahtjeve i koriste se u prezentiranju podataka i funkcija. Valićne funkcije omogućuju lokalizaciju u vremenu kroz translacije i lokalizaciju u frekvenciji kroz dilatacije. Sinus i kosinus funkcije Fourierovog reda osiguravaju lokalizaciju frekvencije dok je vremenska komponenta izgubljena. Za aproksimaciju funkcija koje imaju prekide kao i funkcija sa šiljcima, potrebno je znatno manje članova valićnog reda nego članova Fourierovog reda.

Valići se koriste za sažimanje podataka. Pomoću valića je riješen problem kompresije digitalnih otisaka prstiju. FBI baza otisaka prstiju sadrži oko 200 milijuna kartica otisaka, dok svaka kartica sadrži oko 10 megabajta podataka. Pretraživanje baze i uspoređivanje takvih kartica može trajati i po nekoliko sati. Primjenom valića kartice se komprimiraju na 500 kilabajta, a otisci ostaju u izvornom obliku.

## 2. FOURIEROV RED

Neka je  $f$  periodička funkcija s periodom  $T = 2L$  definirana na segmentu  $[-L, L]$ . Nadalje, neka je  $L^2[-L, L]$  prostor kvadratno integrabilnih funkcija na segmentu  $[-L, L]$ , tj.

$$L^2[-L, L] = \{f : [-L, L] \rightarrow \mathbb{R} ; \int_{-L}^L |f(x)|^2 dx < \infty\}.$$

Na prostoru  $L^2[-L, L]$  definira se skalarni produkt formulom

$$\langle f, g \rangle = \int_{-L}^L f(x)g(x)dx.$$

Funkcije  $f, g \in L^2[-L, L]$  su ortogonalne ako vrijedi

$$\int_{-L}^L f(x)g(x)dx = 0.$$

Za aproksimaciju periodičkih funkcija koriste se trigonometrijski redovi oblika:

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right). \quad (1)$$

Ako se neka periodička funkcija može prikazati redom (1) onda je riječ o njenom razvoju u Fourierov red, odnosno o razvoju funkcije  $f$  po neprekidnim funkcijama

$$\frac{1}{2}, \cos \frac{\pi x}{L}, \sin \frac{\pi x}{L}, \dots, \cos \frac{n\pi x}{L}, \sin \frac{n\pi x}{L}, \dots \quad (2)$$

koje pripadaju prostoru  $L^2[-L, L]$ . Najvažnije svojstvo niza funkcija (2) je ortogonalnost funkcija na segmentu  $[-L, L]$ .

Može se pokazati da je skalarni produkt dviju različitih funkcija niza (2) jednak nuli, pa niz funkcija (2) čini ortogonalan skup funkcija na  $[-L, L]$ .

Na svojstvu ortogonalnosti sinus i kosinus funkcija temelji se određivanje koeficijenata  $a_0$ ,  $a_n$  i  $b_n$  trigonometrijskog reda (1). Brojevi  $a_0$ ,  $a_n$  i  $b_n$  računaju se po sljedećim formulama:

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx,$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx$$

i

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx,$$

za svaki  $n = 1, 2, \dots$  i zovu se Fourierovi koeficijenti funkcije  $f$ . Trigonometrijski red (1) s tako izračunatim koeficijentima zove se Fourierov red funkcije  $f$  i označava se na sljedeći način

$$f(x) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right).$$

### 3. VALIĆNI RED

Multirezolucijska analiza je alat za konstruktivni opis valića. Neka je  $L^2(\mathbb{R})$  prostor realnih, kvadratno integrabilnih funkcija. Multirezolucijska analiza ili aproksimacija prostora  $L^2(\mathbb{R})$  se definira kao niz zatvorenih potprostora

$$\cdots \subset V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \cdots \subset L^2(\mathbb{R})$$

koji zadovoljavaju sljedeće uvjete:

- (i)  $\overline{\bigcup_{j \in \mathbb{Z}} V_j} = L^2(\mathbb{R})$ ,
- (ii)  $\bigcap_{j \in \mathbb{Z}} V_j = \{0\}$ ,
- (iii)  $f(x) \in V_j \Leftrightarrow f(2^j x) \in V_0$
- (iv) postoji funkcija  $\phi \in V_0$  takva da je skup  $\{\phi_{0,k}(x) := \phi(x - k) : k \in \mathbb{Z}\}$  ortonormirana baza prostora  $V_0$ .

Za  $j, k \in \mathbb{Z}$  definirane su funkcije  $\phi_{j,k}$  relacijom

$$\phi_{j,k}(x) = 2^{\frac{j}{2}} \phi(2^j x - k).$$

Korištenjem svojstava (iii) i (iv) slijedi da je  $\{\phi_{j,k} : k \in \mathbb{Z}\}$  ortonormirana baza prostora  $V_j$  za svaki  $j$ . Funkcija  $\phi$  se naziva skalirajuća funkcija.

Nadalje, za svaki  $j \in \mathbb{Z}$  definira se potprostor  $W_j$  kao ortogonalni komplement od  $V_j$  u prostoru  $V_{j+1}$ , odnosno  $V_{j+1} = V_j \bigoplus W_j$ , gdje  $\bigoplus$  označava direktnu sumu međusobno ortogonalnih potprostora.

Dekompozicijom prostora  $V_j$ ,  $V_{j-1}$ ,  $V_{j-2}$ , ... dobivamo

$$V_j = V_{j-1} \bigoplus W_{j-1} = V_{j-2} \bigoplus W_{j-2} \bigoplus W_{j-1} = \\ V_{j-3} \bigoplus W_{j-3} \bigoplus W_{j-2} \bigoplus W_{j-1} = \cdots = \\ V_0 \bigoplus W_0 \bigoplus W_1 \bigoplus \cdots \bigoplus W_{j-1}.$$

S obzirom na dekompoziciju prostora  $V_j$  i uvjete (i) i (ii), prostor  $L^2(\mathbb{R})$  se rastavlja na beskonačan niz međusobno ortogonalnih potprostora, tj.

$$L^2(\mathbb{R}) = \bigoplus_{j \in \mathbb{Z}} W_j. \quad (3)$$

Prostori  $W_j$  preuzimaju svojstvo (iii) prostora  $V_j$ , tj.

$$f(x) \in W_j \Leftrightarrow f(2^j x) \in W_0. \quad (4)$$

Tada postoji funkcija  $\psi \in W_0$  takva da je  $\{\psi_{j,k} : k \in \mathbb{Z}\}$  ortonormirana baza od  $W_j$  za svaki  $j \in \mathbb{Z}$  te  $\{\psi_{j,k} : j, k \in \mathbb{Z}\}$  ortonormirana baza od  $L^2(\mathbb{R})$ , gdje su funkcije  $\psi_{j,k}$  definirane relacijom

$$\psi_{j,k} = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j x - k).$$

Funkcija  $\psi$  se zove ortonormirani valič.

S obzirom na ortonormiranu bazu prostora  $L^2(\mathbb{R})$  bilo koja funkcija u tom prostoru se može prikazati pomoću valičnog reda oblika

$$f(x) = \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} w_{j,k} \psi_{j,k}(x), \quad (5)$$

gdje su  $w_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_{j,k}(x) dx$  valični koeficijenti.

Ako se valični red (5) odsiječe za  $j = \widehat{j}$ , dobiva se ortogonalna projekcija  $P$  funkcije  $f$  na potprostor  $V_{\widehat{j}}$ . Valični red se tada može izraziti preko skalirajućih funkcija kao

$$Pf(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} s_{\widehat{j},k} \phi_{\widehat{j},k}(x) \quad (6)$$

gdje su  $s_{\widehat{j},k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \phi_{\widehat{j},k}(x) dx$  skalirajući koeficijenti.

Zainteresirani čitatelj može u spomenutoj literaturi pročitati više o ovoj problematiki.

Jedan od mogućih izbora funkcije  $\phi$  je Haarova skalirajuća funkcija

$$\phi(x) = \phi_{0,0}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 1, \\ 0, & \text{inače.} \end{cases}$$

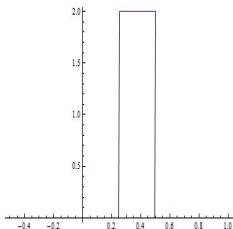
Haarova baza je najjednostavnija valična baza prostora  $L^2(\mathbb{R})$ . Definirana je Haarovom valičnom funkcijom

$$\psi(x) = \psi_{0,0}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < \frac{1}{2}, \\ -1, & \frac{1}{2} \leq x < 1, \\ 0, & \text{inače,} \end{cases}$$

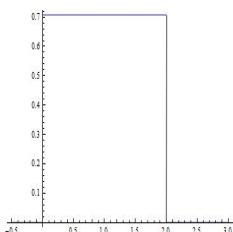
odnosno  $\psi_{j,k} = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j x - k)$ .

Ono što valiče čini jedinstvenim je mogućnost njihovog micanja, rastezanje ili stezanja. Na sljedećim

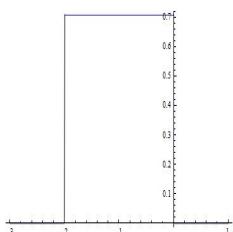
slikama ilustrirana je skalirajuća funkcija  $\phi_{j,k}$  za različite  $j$  i  $k$  vrijednosti. Funkcija  $\phi_{j,k}$  na intervalu  $[2^{-j}k, 2^{-j}(k+1)]$  poprima vrijednost  $2^{j/2}$ , dok je izvan tog intervala vrijednost funkcije jednaka nuli. Graf funkcije  $\phi_{j,k}$  dobiva se translacijom grafa funkcije  $\phi(x)$  duž osi  $x$  za  $2^{-j}k$ .



Slika 1. Funkcija  $\phi_{2,1}$



Slika 2. Funkcija  $\phi_{-1,0}$



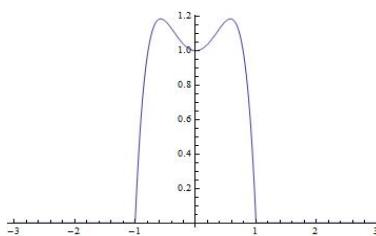
Slika 3. Funkcija  $\phi_{-1,-1}$

#### 4. APROKSIMACIJA FUNKCIJE FOURIEROVIM I VALIĆNIM REDOM

Cilj ovog rada je vidjeti koji od redova, Fourierov ili valični, bolje aproksimira zadatu funkciju. U tu svrhu promatrana je periodička funkcija  $F(x)$  s periodom  $T = 8$  na segmentu  $[-4, 4]$  definirana na sljedeći način

$$F(x) = \begin{cases} -x^6 - x^4 + x^2 + 1, & -1 \leq x \leq 1, \\ 0, & 1 < |x| < 4. \end{cases}$$

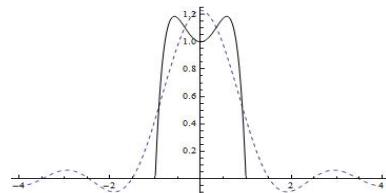
Prikazana je na slici 4.



Slika 4. Funkcija  $F(x)$

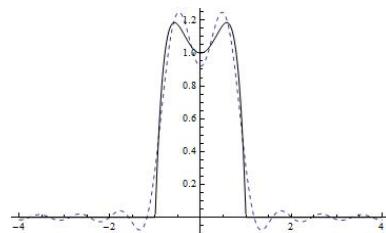
Pomoću programa Wolfram Mathematica 7 izračunato je nekoliko konačnih suma Fourierovog reda.

Na slici 5. grafički je prikazana funkcija  $F$  i aproksimacija funkcije s prva 3 člana pripadnog Fourierovog reda.

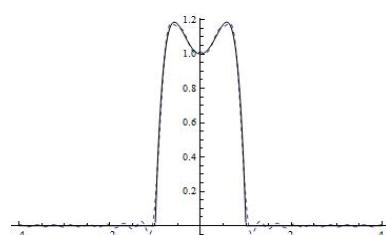


Slika 5. Funkcija  $F(x)$  i aproksimacija funkcije s 3 člana pripadnog Fourierovog reda (isprekidana linija)

Može se primijetiti da na dijelu gdje funkcija poprima vrijednost nula aproksimacija ima "repove". Da bi se "repovi" smanjili, potrebno je povećati broj članova u redu. Na slikama 6. i 7. prikazana je funkcija  $F(x)$  i aproksimacija funkcije s 8, odnosno 30 članova.



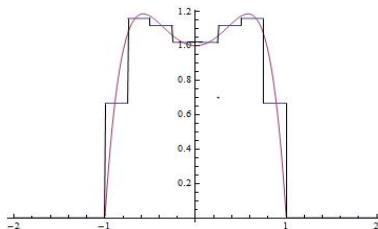
Slika 6. Funkcija  $F(x)$  i aproksimacija funkcije s 8 članova pripadnog Fourierovog reda (isprekidana linija)



Slika 7. Funkcija  $F(x)$  i aproksimacija funkcije s 30 članova pripadnog Fourierovog reda (isprekidana linija)

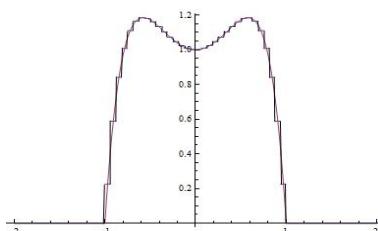
Dodavanjem većeg broja članova reda dobiva se graf koji je očigledno dobra aproksimacija polazne funkcije.

U nastavku je promatrana aproksimacija funkcije  $F(x)$  valičnim redom pomoću skalirajućih funkcija, odnosno redom (6). Na promatranom intervalu  $[-4, 4]$  za fiksnu vrijednost  $\hat{j} = 3$  sumira se po svim  $k$  vrijednostima takvima da je  $-2^{\hat{j}} \leq k \leq 2^{\hat{j}} - 1$ . U tom slučaju se funkcija aproksimira sa 16 članova reda (6).



Slika 8. Funkcija  $F(x)$  i aproksimacija funkcije s 16 članova pripadnog valičnog reda

Za vrijednost  $\hat{j} = 4$  funkcija se aproksimira s 32 člana valičnog reda, što je grafički prikazano na slici 9.



Slika 9. Funkcija  $F(x)$  i aproksimacija funkcije s 32 člana pripadnog valičnog reda

## 5. ZAKLJUČAK

Za aproksimaciju funkcije uzima se suma prvih nekoliko članova reda. Na konkretnom primjeru funkcije  $F$  može se vidjeti da je vrijednost aproksimacije funkcije bliža stvarnoj vrijednosti funkcije ukoliko je broj članova reda veći. Više članova Fourierovog reda zahtjeva više vremena za njihov izračun i više memorije za pohranu podataka za razliku od valičnog reda što valični red čini korisnijim u primjeni.

## 6. LITERATURA

- [1] I. DAUBECHIES, "Ten Lectures on Wavelets", Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1992.
- [2] N. G. ROLAND, "Fourier and wavelet representations of functions", Electronic Journal of Undergraduate Mathematics (2000) 7. str. 1-12.
- [3] J. S. WALKER, "Fourier analysis and wavelet analysis", Notices of the AMS (1997) 6. str. 658-670.
- [4] M. VETTERLI, J. KOVAČEVIĆ, "Wavelets and Subband Coding", Prentice Hall, New Jersey, 1995.

Kontakt:

Damira Keček, dipl. ing. mat.  
J. Križanića, Varaždin  
damira.kecek@velv.hr

# SUSTAV UPRAVLJANJA ZAŠTITOM OKOLIŠA PREMA NORMI ISO 14001 I RAZVOJ METODOLOGIJE ZA NJENU IMPLEMENTACIJU

Kondić V.<sup>1</sup> Piškor M.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Varaždin, Hrvatska

<sup>2</sup>Oprema-uredaji d.d., Ludbreg, Hrvatska

**Sažetak:** Članak prikazuje sustav upravljanja zaštitom okoliša prema načelima međunarodne norme ISO 14001. Osim opisa norme i njene važnosti, autori se zadržavaju na postupku i primjeni metodologije za njenu implementaciju u realnim poslovnim sustavima.

**Ključne riječi:** Sustav upravljanja zaštitom okoliša, norma ISO 14001; aspekti okoliša, utjecaj na okoliš.

**Abstract:** The paper presents the system of environmental management according to the principles of the international standard ISO 14001. In addition to describing the standard and its importance, the authors dwell on the procedure and application of methodology for its implementation in real business systems.

**Key words:** System of environmental management, standard ISO 14001; environmental aspects, impact on the environment.

## 1. UVOD

Zaštita okoliša određuje granice raznih vrsta zagađenja, predlaže zakonsku regulativu, uvodi preventivne i korektivne mjere u slučaju nesukladnosti ili bilo kakvog incidenta u okolišu. Održava i potrebnu kvalitetu zraka, vode i tla. Prema [1], u nadležnost zaštite okoliša ulaze: mjere za smanjenje buke, kontrola pitke vode, poticaji za smanjivanje štetnih ispušnih plinova iz industrijskih postrojenja i prometa, zabrana proizvodnje spojeva koji oštećuju ozonski omotač ili nepovratno kontaminiraju eko sustave, prijedlozi za provedbu osmišljenog prostornog uređenja, nadzor nad zbrinjavanjem otpada, poticaj za primjenu štedljivih tehnologija, uporaba obnovljivih izvora energije, provedba ostvarenja trajno održivog razvijatka. Zaštita okoliša se u ekološkom leksikonu [1] definira kao društveni ili politički pokret kojemu je cilj educirati javnost o problemima onečišćenja okoliša i poticati na rješavanje tih problema. Premda zahtjeva razumijevanje određenih ekoloških principa, zaštita okoliša se ne bavi znanstvenim istraživanjima i nije jedna od grana ekologije. Polazeći od definicije okoliša kao prirodnog okruženja - voda, zrak, tlo, klima i živa bića u zajedničkom djelovanju -

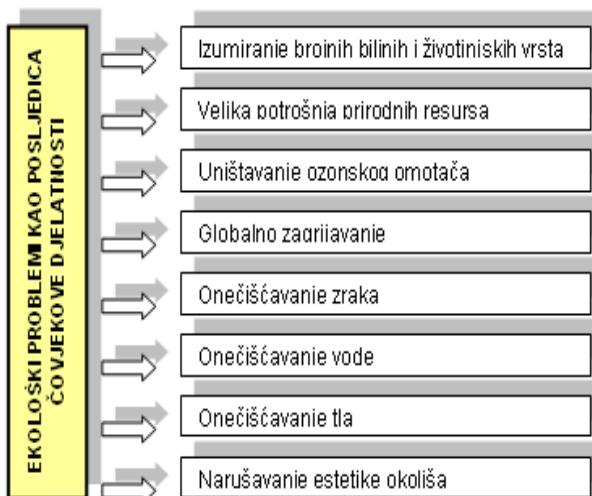
pod zaštitom okoliša podrazumijeva se zaštita svih ovih faktora i njihovih veza.

Zahtjevi za očuvanjem nepromijenjenih uvjeta okoliša su relativno novijeg datuma, a posljedica su spoznaje da brzi tehnološki napredak ima i negativnu stranu koja ugrožava čovjeka i njegov okoliš [2]. Poznata razglednica iz Chicaga s početka dvadesetog stoljeća, na kojoj se vidi kako gusti crni dim izbjiga iz brojnih tvorničkih dimnjaka, nekad je služila za ponosno pokazivanje prosperiteta grada i države. Danas je ova razglednica primjer zagadivača zraka i teško da bi se našla tiskara koja bi je tiskala. Kad su se šezdesetih godina prošlog stoljeća u svijetu pojavile prve ekološke grupe sa zahtjevima „zelenih“, posvećivalo im se malo pozornosti jer se zahtjevi nisu razumjeli. Njihovi javni nastupi imali su prizvuk romantičnog zanosa obojenog ideologijom „djece cvijeća“ i sličnih buntovnika protiv filozofije potrošačkog društva, protiv posljedica tehnološkog razvoja i velikog gomiljanja naoružanja. Ekologija i zaštita okoliša danas su postali predmet nacionalne, internacionalne i globalne razvojne regulative koja obavezuje vodstvo organizacija da primijene ekološke principe kod proizvodnje i prometa roba, kako se ne bi ugrozila čovjekova životna sredina. Danas su ti principi sastavni dio nacionalnih i internacionalnih normi koje se primjenjuju u gospodarstvu, te su temelj pravilnog ponašanja svih građana.

Bit aktivnosti vezanih uz zaštitu okoliša, a koje su se počele poduzimati u razvijenim državama tijekom osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoljeća, leži u spoznaji da između gospodarstva i zdravog okoliša postoji uzročno-posljedična veza. Svijet je uvidio da se ugrožavanje okoliša ne može uspješno rješavati samo deklaracijama i rezolucijama donesenim na međunarodnim konferencijama. Primjena deklaracija i rezolucija bila je upitna i različita u pojedinim državama i članicama UN-a, a nadzor nad njihovim provođenjem nije ni postojao. Bio je to jedan od glavnih razloga da se na konferenciji u Rio de Janeiru 1992. godine pokrene inicijativa za formiranje radne skupine koja će izraditi normu za upravljanje okolišem. Rezultat te inicijative bilo je formiranje Tehničkog komiteta ISO/TC 207 pod nazivom „Upravljanje okolišem“ pri Međunarodnoj organizaciji za norme.

## 2. POJAVA NORME ISO 14001

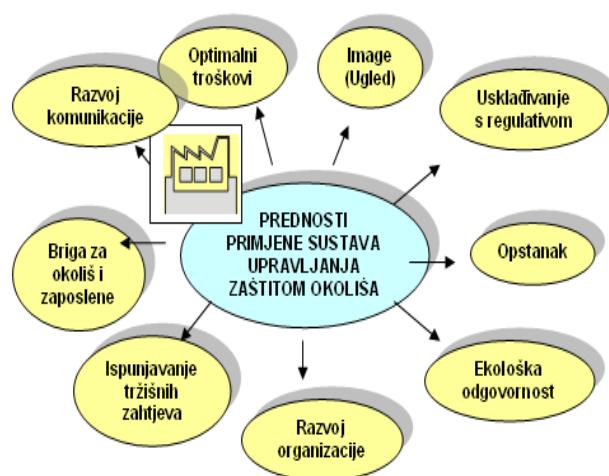
Danas se može reći da je nastupilo razdoblje eko kvalitete prepoznatljivo po nizu normi ISO 14000. To znači da se zahtjevi suvremenog tržišta i dalje „zaoštravaju“. Osim vrsnoće u fizičkom smislu, faktor konkurentnosti na tržištu razvijenih zemalja postaju ekološki parametri. Zelena nit prožima sve, od dobavljača do organizacije, pa sve do korisnika. Sve se više izražavaju ekološki zahtjevi što se tiče tehnologije proizvodnje, ambalaže, recikliranja i sl. Zahtjevi tržišta su dio općeg procesa poboljšanja kvalitete življenja u trajanju od nekoliko desetljeća, koji je međunarodna organizacija za normizaciju „ozakonila“ i internacionalizirala usvajanjem niza normi ISO 14000. Norme niza ISO 14000 ne bave se stručnim pitanjima fiziološke, populacijske, biocenozne, krajobrazne ili globalne ekologije, već pitanjima zaštite okoliša (engl. „environmental protection“). To je zapravo strukovno područje kojem je zadaća očuvanje zdravog životnog okruženja. Prema [2], ekološki problemi kao posljedica čovjekove djelatnosti danas su veoma izraženi i poprimaju zastrašujuće razmjere (slika 1.). Ukoliko se ne primjeni sustavni pristup zaštiti okoliša, ostvarit će se sve „crne“ prognoze.



Slika 1. Najveći ekološki problemi kao posljedica djelovanja čovjeka [2]

Potrebno je izraditi norme koje će pomoći svim vrstama organizacija kod implementacije i upravljanja sustavom zaštite okoliša, a istodobno će štititi interes organizacije i sredine koja je okružuje. Primjena sustava upravljanja zaštitom okoliša rezultira nizom prednosti (slika 2.) kao što su:

- ❖ Efikasnija zaštita životne sredine
- ❖ Racionalnije upravljanje resursima
- ❖ Izgradnja kulture odnosa prema okolišu
- ❖ Povećanje ugleda organizacije
- ❖ Poboljšanje komunikacije (interne i eksterne)
- ❖ Efikasnije poslovanje
- ❖ Usklađivanje s međunarodnim, nacionalnim i lokalnim zakonima što se tiče zaštite okoliša
- ❖ Primjenjivost u svim državama



Slika 2. Prednosti primjene sustava upravljanja zaštitom okoliša [2]

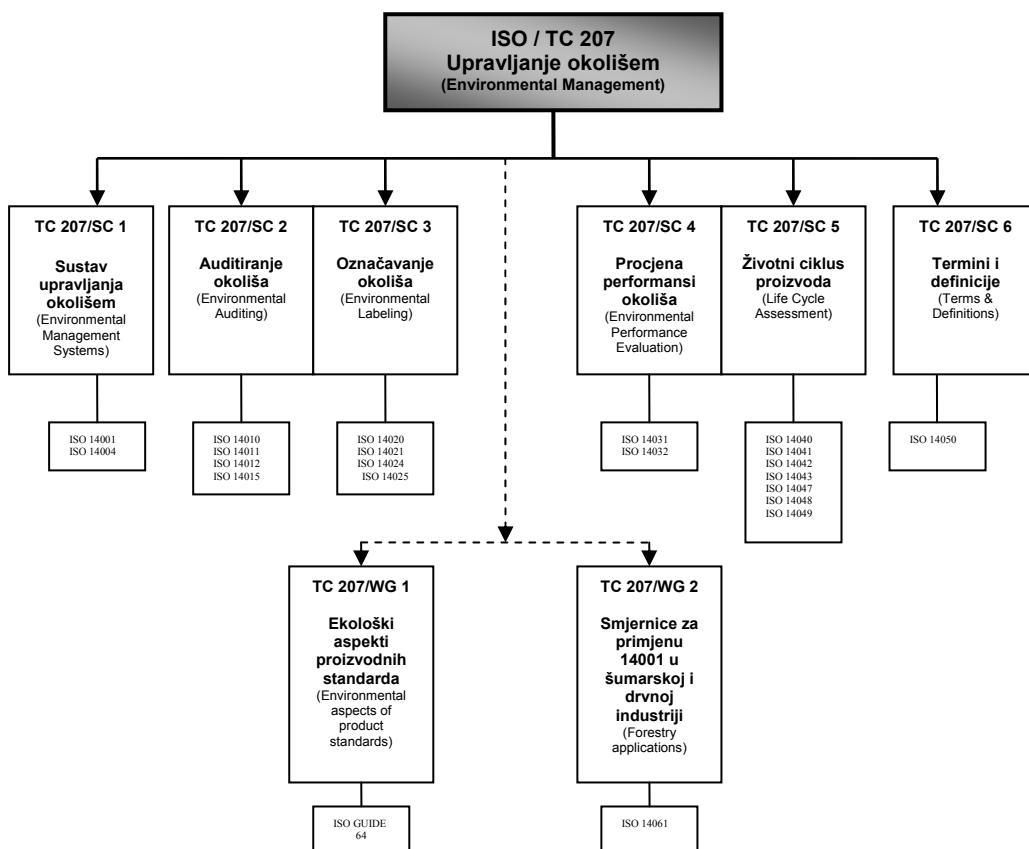
S obzirom na to da je zadatak izrade norme bio veoma kompleksan i zahtjevan, tehnički komitet TC 207 podijeljen je na podkomitete (SC) i radne grupe (WG) s konkretnim zaduženjima. Slika 3. prikazuje strukturu i zaduženja u tehničkom komitetu TC 207 [11,12,13,14,15].

Izrada i oblikovanje norme za sustav upravljanja zaštitom okoliša bio je dodijeljen radnoj grupi SAGE (engl. Strategic Adversary Group on Environment). Članovi grupe bili su svjetski stručnjaci (više od 100 članova) u različitim područjima i granama znanosti. Dugogodišnji rad i usuglašavanje rezultiralo je prvim izdanjem norme ISO 14001 1996. godine. Prihvatile su je mnoge svjetske organizacije. Od 1996. godine do prve revizije norme 2004. godine, prema [3], oko 60.000 organizacija širom svijeta provedlo je i certificiralo sustav upravljanja zaštitom okoliša.

Današnji trend poslovanja organizacija svih veličina i djelatnosti je pokazati kupcima i tržištu očuvani okoliš, nadziranjem utjecaja svojih djelatnosti, proizvoda ili usluga na okoliš, a uzimajući u obzir politiku i ciljeve zaštite okoliša. Države sve strožom zakonskom regulativom nastoje poticati porast zanimanja koja se tiču zaštite okoliša, uključujući i održivi razvoj.

Tako je svrha međunarodnih normi koje obuhvaćaju upravljanje zaštitom okoliša ponuditi organizacijama elemente djelotvornog sustava upravljanja zaštitom okoliša, koji može biti objedinjen s drugim sustavima upravljanja. Namjena ovih, kao i ostalih međunarodnih normi, nije stvaranje bescarinskih trgovачkih unija niti povećanje ili promjena zakonske obaveze organizacije. ISO 14000 je serija međunarodnih normi na dobrotvornoj bazi koje upravljaju okolišem.

One zadovoljavaju potrebe različitih organizacija širom svijeta, osiguravajući im zajednički okvir za bavljenje pitanjima u vezi okoliša. Ove norme utječu na unapređenje upravljanja okolišem. To može olakšati trgovinu te u svijetu razviti odnos prema okolišu.



Slika 3. Struktura tehničkog komiteta ISO/TC 207

Normni niz ISO 14000 prema svojim ključnim načelima (principima) mora:

- ⇒ rezultirati boljim upravljanjem okolišem
- ⇒ biti primjenjiv u svim državama
- ⇒ promicati široko zanimanje javnosti i korisnika za norme
- ⇒ biti troškovno učinkovit i fleksibilan kako bi zadovoljio potrebe svih vrsta organizacija širom svijeta
- ⇒ biti prikladan za unutarnju ili vanjsku verifikaciju
- ⇒ biti znanstveno zasnovan
- ⇒ biti praktičan, koristan i upotrebljiv

Norma ISO 14001 specificira zahtjeve za sustav upravljanja zaštitom okoliša. Time se organizaciji omogućava definiranje politike i ciljeva, koji istodobno uskladjuju zakonske zahtjeve i značajne aspekte okoliša konkretnе organizacije. Normu ISO 14001 mogu efikasno primijeniti svi tipovi organizacija, bez obzira na veličinu, zemljopisni položaj, kulturu i društveni ustroj. Uspješnost implementacije norme ovisi o opredijeljenosti svih razina i funkcija u organizaciji, a posebno najvišeg vodstva. Glavni cilj norme je pomoći u zaštiti okoliša i sprječiti onečišćenje, primjereno društveno–ekonomskim potrebama.

Norma ISO 14001 ne postavlja zahtjeve u vezi sa stanjem okoliša, već zahtjeve vezanih uz politiku okoliša (definiranje, objava, primjena, analiza i dr.), uz usklađenost s primjenjivim zakonima i odredbama (internacionalni, nacionalni i regionalni zakoni vezani za

zaštitu okoliša), kao i zahtjeve za kontinuiranim poboljšanjem zaštite okoliša.

Norma ISO 14001 [7] ne sadrži posebno zahtjeve drugih sustava upravljanja, kao što su upravljanje kvalitetom, zaštitom zdravlja i sigurnošću na radu, financijskim resursima, rizikom i dr. Ipak ova norma omogućuje organizaciji prilagodbu vlastitog sustava upravljanja zaštitom okoliša odgovarajućim zahtjevima drugih sustava upravljanja. Danas je uobičajeno integriranje sustava upravljanja kvalitetom i sustava upravljanja zaštitom okoliša.

Osnova za izgradnju sustava upravljanja zaštitom okoliša je norma ISO 14001, a osnova za poboljšavanje sustava upravljanja zaštitom okoliša je međunarodna norma ISO 14004. Struktura norme ISO 14001 ima sljedeći oblik:

1. Područje primjene
2. Upućivanje na druge norme
3. Pojmovi i definicije
4. Zahtjevi sustava upravljanja zaštitom okoliša
5. Opći zahtjevi
6. Politika zaštite okoliša
7. Planiranje
8. Uvođenje i rad
9. Provjeravanje
10. Ocjena sustava

### 3. SUSTAVI UPRAVLJANJA ZAŠTITOM OKOLIŠA

Sustav upravljanja zaštitom okoliša je sustav kojim organizacije poboljšavaju svoje karakteristike minimiziranjem štetnog utjecaja na okoliš. Ostvaruje se kontrolom aspekata okoliša negativno utječu na okoliš.

Razlikujemo dva sustava upravljanja zaštitom okoliša:

- ❖ EMAS
- ❖ ISO 14000

**EMAS** (engl.Eco management and Audit Scheme) – „Upravljanje ekologijom i shema auditiranja“ je sustav upravljanja okolišem nastao iz preporuke vijeća EU broj 1836/93 u vezi dobrovoljnog uvođenja mjera upravljanja okolišem. EMAS je rađen po ugledu na britansku normu BS 7750 kojoj je cilj stalno poboljšavanje stanja okoliša na lokacijama industrijskih poduzeća. Za auditiranje sustava EMAS ovlaštene su posebne državne agencije. Tvrte koje su uskladile svoj sustav okoliša sa zahtjevima EMAS-a, te ga verificirale kod ovlaštene agencije, imaju pravo istaknuti posebnu oznaku da su primjenile sustav upravljanja zaštitom okoliša prema zahtjevima EMAS-a [5,6].

Britanska norma BS 7750, francuska norma NF X30-200 i španjolska norma UNE 77-801, te smjernica EU EEC 1836/93 bile su temelj za izdavanje međunarodne norme ISO 14001, koja je prihvaćena i međunarodno priznata u rujnu 1996. godine. Pojava ove međunarodne norme nije bila suprotna EMAS-u, ali sustav upravljanja zaštitom

okoliša prema zahtjevima norme ISO 14001 ima svojih specifičnosti koje se prikazuju u tablici 1. Osim usmjerenošti na industrijska poduzeća, još su tri elementa preporuke EMAS-a bila specifična i različita od zahtjeva norme ISO 14001 i to: vezanost za lokaciju tvrtke, javna komunikacija i odnosi s javnošću, te obavezno redovito javno izvještavanje organizacije o stanju okoliša.

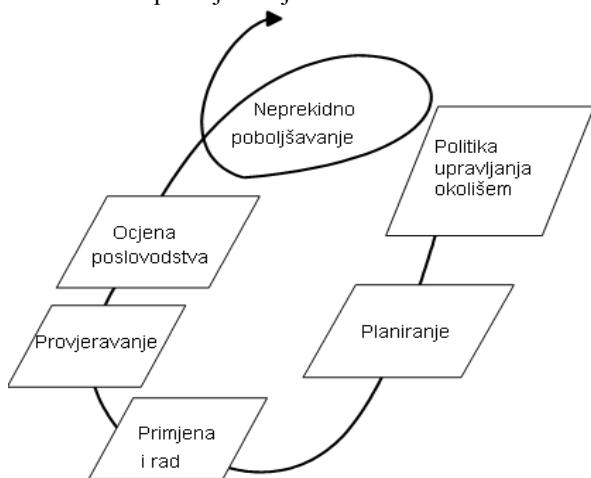
Pored toga što je pojava norme ISO 14001 naišla na široko prihvaćanje u svim državama i organizacijama svijeta, pa tako i u članicama EU-a, vijeće članica EU-a smatralo je da EMAS treba ostati u upotrebi i to isključivo zbog svojih specifičnih i „oštijih“ zahtjeva. Na ovaj način EU je iskoristila pravo da u svom gospodarstvu postavi „oštije“ zahtjeve za zaštitu okoliša, nego što su zahtjevi norme ISO 14001. Vijeće EU je 27.04.2001.godine svojom odlukom broj 761/2001. izdalo novu preporuku za EMAS poznatu pod nazivom EMAS II. Ova preporuka je zaokružila sustav upravljanja zaštitom okoliša gdje norma ISO 14001 ulazi u sustav.

Preporuka EMAS II, za razliku od prve verzije (EMAS I), ne odnosi se samo na industrijske organizacije, već na sve vrste organizacija. Osim toga, nova preporuka uključuje sve zaposlenike u problematiku okoliša, te inzistira na pojačanoj eksternoj komunikaciji sa zainteresiranim stranama i oslanjanje na zakonsku regulativu. Novost u EMAS II je i usvajanje znaka koji validira informiranost organizacije o procesu stalnog poboljšavanja sustava upravljanja zaštitom okoliša, a organizacija ga može koristiti u različite svrhe.

| Kriterij usporedbe                             | EMAS   | ISO 14001   |
|--|--|---|
| Područje primjene                              | Članice EU – preporuka za članice zemalja EU   | Cijeli svijet- globalna međunarodno priznata norma  |
| Objavljivanje                                  | Obavezno   | Nije obavezno   |
| Aspekti okoliša                                | Sveobuhvatno razmatranje   | Samo važni s mogućnošću utjecaja  |
| Validacija                                     | Obavezna   | Nije obavezna   |
| Mjerilo uspjeha                                | Najbolja raspoloživa tehnologija   | Relevantna regulativa   |
| Pokretanje primjene sustava za zaštitu okoliša | Početna snimka stanja u okolišu je obavezna, kao i registracija utjecaja aspekata okoliša    | Preporuča se snimiti početno stanje u okolišu prije implementacije norme                                |
| Primjena zakonske regulative                   | Organizacija mora osigurati usuglašenost s mjerodavnom zakonskom regulativom                 | Organizacija se mora usmjeriti na usuglašavanja s mjerodavnom zakonskom i ostalom regulativom u okolišu |
| Provjeda audit                                 | Audit se mora provesti najmanje jednom u tri godine  | Periodičnost (učestalost) audita nije specificirana   |
| Izjava za zaštitu okoliša                      | Zahtjeva se priprema izjave za zaštitu okoliša, eksterno verificiranje i dostupnost javnosti | Ne postoji izjava za zaštitu okoliša koja bi bila obavezna  |

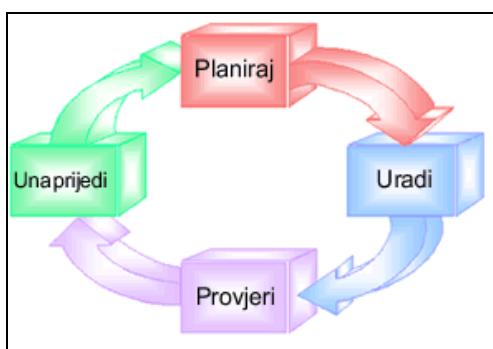
Tablica 1. Usporedba EMAS-a i ISO 14001 [2]

Model sustava upravljanja zaštitom okoliša prikazan na slici 1.-6. Kao i model sustava upravljanja kvalitetom, sastoji se od nekoliko procesa koje organizacija mora ostvariti kako bi ispunila zahtjeve norme ISO 14001. Glavni procesi su: proces planiranja, proces komunikacije, proces ocjene sustava koji obavlja uprava, proces primjene i realizacije, proces provjeravanja i proces kontinuiranog poboljšavanja. Sustav upravljanja zaštitom okoliša karakterizira njegova dinamičnost. Ona je na slici 4. predstavljena spiralom koja počinje definiranom politikom upravljanja okolišem, a završava kontinuiranim poboljšanjem sustava.



Slika 4. Model sustava upravljanja zaštitom okoliša prema normi ISO 14001

Međunarodna norma ISO 14001 temelji se na metodologiji poznatoj kao planiraj – provedi – provjeri – postupi (engl. Plan-Do-Check-Act ili PDCA). Prema [4] Demingov krug PDCA (slika 5.) je tekući, iterativni proces koji omogućava organizaciji uspostavu, primjenu i održavanje politike zaštite okoliša. Faze tog procesa:



Slika 5. Demingov krug u sustavu upravljanja zaštitom okoliša

### **1. Planiraj**

Podrazumijeva da organizacija mora uspostaviti sustav planiranja (točka 4.3) tako da:

- ⦿ identificira aspekte okoliša i s njima povezane utjecaje na okoliš (točka 4.3.1)
- ⦿ identificira zakonske i druge zahtjeve koji se odnose na djelatnost organizacije, procese i prepoznate aspekte okoliša (točka 4.3.2)
- ⦿ definira opće i pojedinačne ciljeve u okolišu, te programe za njihovu realizaciju (točka 4.3.3)

### **2. Provedi**

Podrazumijeva primjenu definiranih procesa koje mora učiniti operativnim i efikasnim (točka 4.4), što znači:

- ⦿ definirati organizacijsku strukturu (točka 4.4.1)
- ⦿ dodijeliti odgovornosti i ovlasti unutar sustava (točka 4.4.1)
- ⦿ osigurati dostupnost potrebnim resursima važnim za sustav (točka 4.4.1)
- ⦿ educirati zaposlenike za rad u sustavu okoliša (točka 4.4.2)
- ⦿ uspostaviti sustav za internu i eksternu komunikaciju (točka 4.4.3)
- ⦿ uspostaviti i održavati dokumentaciju (točka 4.4.4)
- ⦿ uspostaviti sustav upravljanja dokumentacijom (točka 4.4.5)
- ⦿ uspostaviti sustav upravljanja procesima (točka 4.4.6)
- ⦿ uspostaviti sustav efikasnog odziva i pripravnosti na izvanredne situacije (točka 4.4.7)

### **3. Provjeri**

Podrazumijeva nadzor i mjerjenje procesa i proizvoda s obzirom na definiranu politiku, ciljeve i zahtjeve vezane za proizvod, te izvještavanje o rezultatima (točka 4.5), što znači:

- ⦿ provoditi stalni nadzor i mjerjenje (točka 4.5.1)
- ⦿ procjenjivati usklađenost sa zakonskom i drugom regulativom (točka 4.5.2)
- ⦿ identificirati nesukladnosti u okolišu i poduzimati korektivne i preventivne radnje (točka 4.5.3)
- ⦿ upravljati zapisima (točka 4.5.4)
- ⦿ provoditi periodično interne audite (točka 4.5.5)

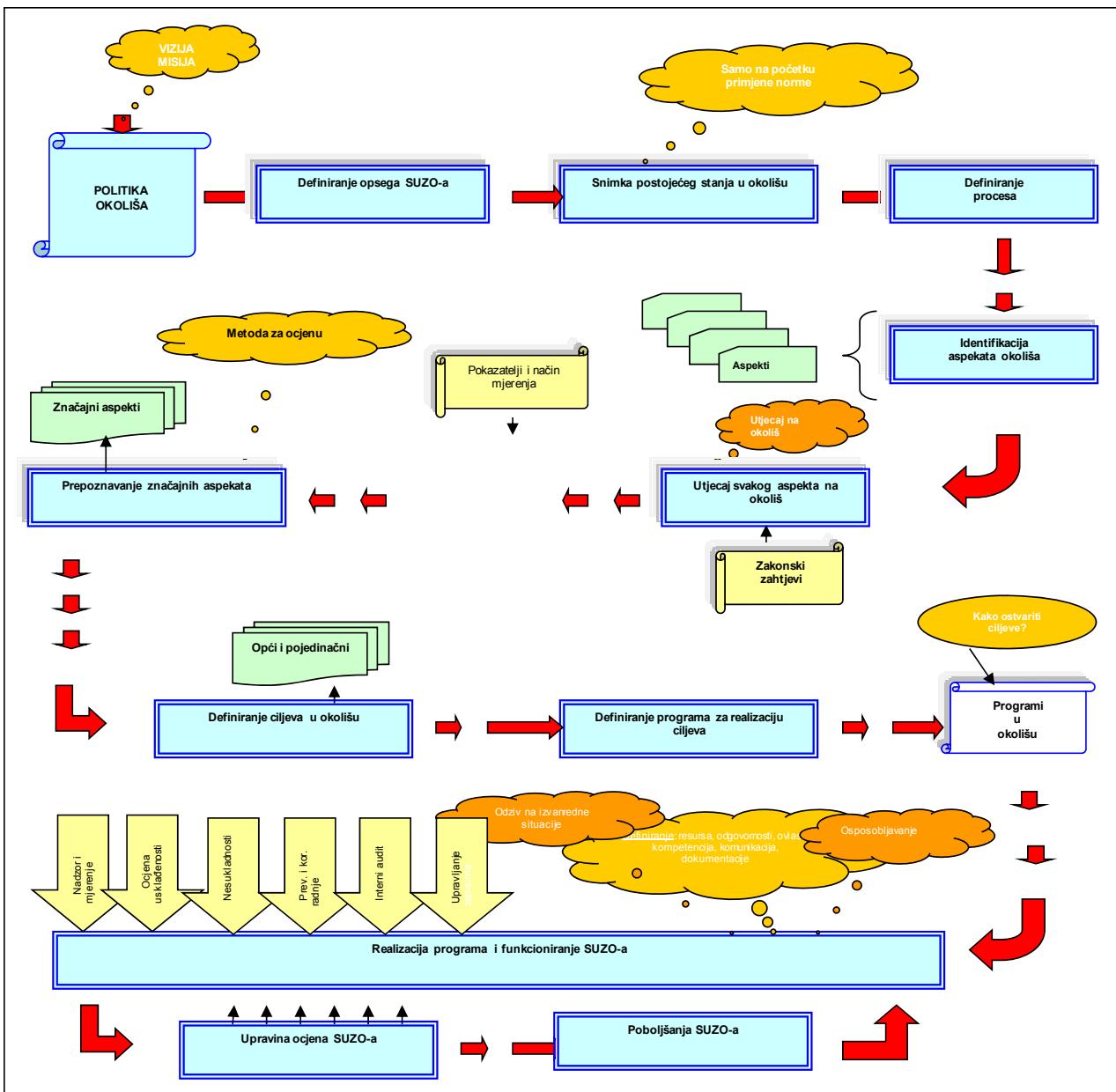
### **4. Postupi**

Podrazumijeva da organizacija na temelju rezultata provjere mora neprekidno poboljšavati sustav (točka 4.6), što znači:

- ⦿ ocjenjivati sustav upravljanja zaštitom okoliša koji obavlja najviše vodstvo organizacije
- ⦿ prepoznati područja prikladna za poboljšanje

Međunarodna norma ISO 14001 traži od organizacije da (slika 6.):

- ⦿ uspostavi odgovarajuću politiku zaštite okoliša
- ⦿ prepozna aspekte okoliša koji proizlaze iz prošlih, sadašnjih ili planiranih radnji, proizvoda ili usluga da se utvrdi važnost njihova utjecaja na okoliš
- ⦿ utvrdi odgovarajuće zakonske i druge zahtjeve koji obavezuju organizaciju
- ⦿ utvrdi prioritete i postavi primjerene opće i pojedinačne ciljeve
- ⦿ uspostavi preduvjete i programe za provedbu politike, ostvarivanje općih i pojedinačnih ciljeva
- ⦿ pojednostavni planiranje, upravljanje, nadzor, preventivne i korektivne radnje, auditiranje i pregled, kako bi se osigurala sukladnost s politikom zaštite okoliša
- ⦿ omogući prilagodbu promijenjenim okolnostima



**Slika 6.** Sustav implementacije zahtjeva norme ISO 14001 [2]

#### 4. METODOLOGIJA IMPLEMENTACIJE NORME ISO 14001

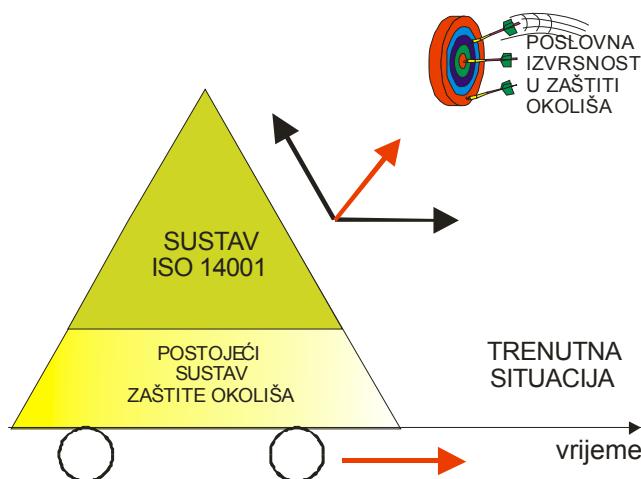
Efikasna i učinkovita implementacija zahtjeva norme ISO 14001 u postojeći sustav upravljanja zaštitom okoliša može biti provedena na više načina. To ovisi o nekoliko faktora koji imaju odlučujući utjecaj na donošenje odluke o primjeni konkretnog postupka. Neki od relevantnih faktora su:

- ❖ Funkcionalnost, učinkovitost i stupanj organiziranosti postojećeg sustava upravljanja zaštitom okoliša
- ❖ Organizaciona struktura - tijek poslova i informacija; definirane odgovornosti ovlaštenja u zaštiti okoliša; organizacijske sheme
- ❖ Veličina i specifičnosti organizacije u smislu utjecaja djelatnosti na okoliš

- ❖ Infrastruktura organizacije te primjena tehnoloških postupaka u procesima, što prije svega obuhvaća:
  - zgrade, radni prostor i pripadajuća sredstva
  - opremu u procesima
  - softversku i hardversku podršku
  - potporne aktivnosti kao što su transport i komunikacija
- ❖ Stupanj educiranosti, svijesti i osposobljenosti zaposlenika da prihvate suvremene načine poslovanja i trendove zaštite okoliša
- ❖ Funkcionalnost i učinkovitost glavnih i pomoćnih procesa, što se prije svega odnosi na:
  - karakteristike i zadatke radnih operacija
  - uvjete u kojima se operacije izvode
  - sredstva, pomagala i naprave uz pomoć kojih se operacije izvode
  - vrijeme, u smislu pripremno-završnog i glavnog vremena
  - informacije potrebne za ostvarenje operacije
  - veze među procesima

- ❖ Dislociranost organizacije koja može imati svoje segmente ili podružnice u više mjesta, gradova i država, što komplicira implementaciju norme ISO 14001
- ❖ Vremenski rok za realizaciju projekta, te opća informiranost i spremnost ljudi da prihvate odluke u vezi norme ISO 14001.

Ustrojiti sustav upravljanja zaštitom okoliša prema zahtjevima međunarodne norme ISO 14001 znači poboljšati postojeći sustav zaštite okoliša, odnosno uspostaviti prijelazni sustav između postojećeg i sustava koji preferira poslovnu izvrsnost u smislu zaštite okoliša (slika 7.).



Slika 7. Sustav upravljanja zaštitom okoliša po normi ISO 14001 - prijelazno razdoblje

Da bi se projekt uspješno ostvario u zadanim prostornim i vremenskim granicama, treba stvoriti sve preduvjete.

Realizacija projekta **Primjena norme ISO 14001 u postojeći sustav upravljanja zaštitom okoliša** treba biti sistematska i sukcesivna. To znači da je provedena sustavno, prema fazama i aktivnostima koje slijede jedna drugu. Ovakav pristup poznat je kao „projektni pristup“, a koji je u mnogim organizacijama potvrdio dobre rezultate. Slika 8. prikazuje metodologiju implementacije zahtjeva norme ISO 14001 u postojeći sustav upravljanja zaštitom okoliša kroz sljedeće faze:

- 1. faza**- uočavanje problema i orientacija u vezi problema – zadatka
- 2. faza**- definiranje problema
- 3. faza**- snimka postojećeg stanja
- 4. faza** - edukacija
- 5. faza**- izrada dokumentacije sustava upravljanja zaštitom okoliša
- 6. faza** - implementacija procedura i uputa
- 7. faza**- interni audit i pregled sustava koji obavlja uprava
- 8. faza**- otklanjanje nesukladnosti
- 9. faza** - certifikacija sustava upravljanja zaštitom okoliša
- 10. faza**- poboljšanje sustava

Metodologija je koncipirana tako da onemoguće uspješan prijelaz na jednu od sljedećih faza, ukoliko nije ostvarena prethodna faza.

U cijelom projektu ističu se tri cjeline, svaka s posebnim sadržajem rada i svrhom. To su:

1. **Pripremni dio za realizaciju projekta** - uočavanje problema, orijentacija o problemu, definiranje problema, snimka, odnosno zaključak o postojećem stanju sustava upravljanja zaštitom okoliša
2. **Stvarni rad na projektu** - edukacija, izrada dokumentacije, implementacija procedura i radnih uputa
3. **Završni dio projekta** – nadzor sustava upravljanja zaštitom okoliša (interni auditi, pregled najviše uprave), certifikacija sustava koju obavlja nezavisna certifikacijska kuća

Na prvi pogled je vidljivo da pojedinac ne može uspješno i na vrijeme realizirati ovako složen projekt. Predviđeni poslovi su vrlo opsežni i raznoliki, pa treba formirati i timove ili radne grupe. Broj ljudi u grupi ili timu, te njihova stručna spremna ovisit će o vrsti i veličini organizacije i o njenoj djelatnosti. U svakom slučaju poboljšanje postojećeg sustava upravljanja zaštitom okoliša zadire istodobno u više područja kojima se bave razni stručnjaci.

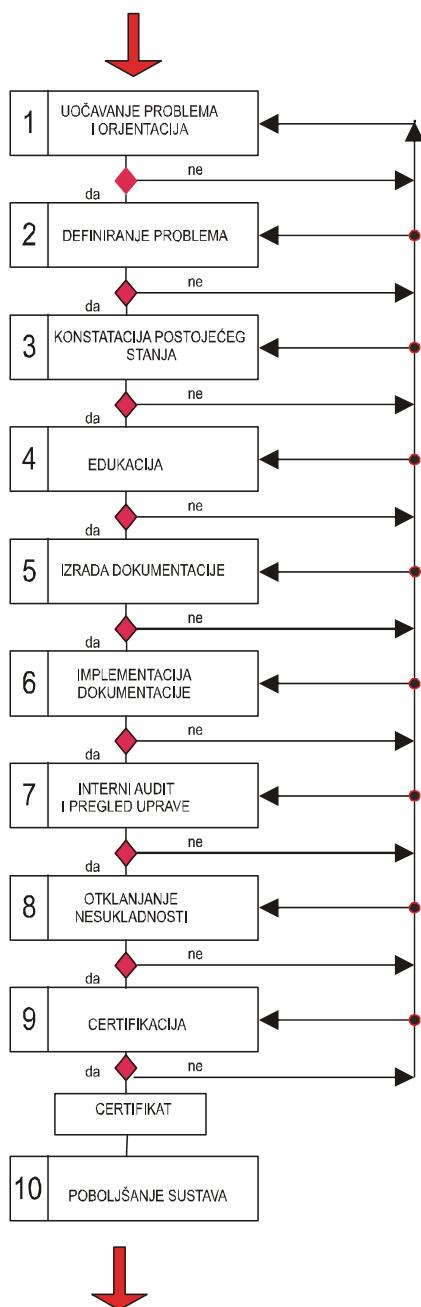
Potpuni uspjeh će izostati ako se zanemare neka od ovih područja. Može se dogoditi da se naizgled dobra rješenja u primjeni pokažu štetnim. To će biti najčešće u onim područjima koja su izostavljena prilikom razrade prijedloga i njihove implementacije u praksi.

S obzirom na to da većina naših organizacija nema iskustva u ostvarenju ovako opsežnih projekata, preporuča se angažiranje stručnjaka za konzalting koji mogu pomoći svojim znanjem i iskustvom. O ulozi i izboru vanjskog suradnika bit će riječi kod opisa 2. faze.

Tijekom realizacije projekta treba koristiti pozitivna iskustva drugih organizacija i konkurenčije u smislu "ne treba izmišljati toplu vodu", ali pritom treba biti veoma oprezan. Rješenja preuzeta od drugih treba nadopuniti i prilagoditi vlastitim uvjetima. U tu svrhu važno je koristiti vlastita iskustva i znanja u svim područjima. Autori naglašavaju korištenje znanosti. Ona je svima dostupna, a vjerojatno je najjeftiniji izvor iskustva i znanja potrebnog za poboljšanje svake djelatnosti, pa tako i za sustav upravljanja zaštitom okoliša.

Za uspješnu realizaciju projekta ISO 14001 svim zaposlenicima mora biti jasno da **ovaj projekt počinje i završava edukacijom**.

Norma ISO 14001 temelji se na načelima zaštite okoliša. Iz tih razloga preporuča se njihovo detaljno teoretsko upoznavanje i primjena u svim fazama ovog projekta. Načela su detaljnije obrađena u poglavju broj 1.



Slika 8. Metodologija implementacije zahtjeva međunarodne norme ISO 14001 u postojeći sustav upravljanja zaštitom okoliša

## 5. ZAKLJUČAK

Međunarodna norma ISO 14001 specificira zahtjeve za sustav upravljanja zaštitom okoliša koji omogućavaju organizaciji oblikovanje i primjenu politike zaštite okoliša i ciljeva. U obzir se uzimaju zakonski i drugi zahtjevi na koje se organizacija obavezala, te podaci o važnim utjecajima na okoliš. Zahtjevi međunarodne norme ISO 14001 odnose se na aspekte okoliša koje organizacija može nadzirati i na koje može utjecati. Sadržaj norme ne utvrđuje određene kriterije za stanje okoliša.

Norma ISO 14001 može se primjeniti na svaku organizaciju koja želi [8,9]:

- a) uspostaviti, uvesti, održavati i poboljšavati sustav upravljanja zaštitom okoliša
- b) osigurati sukladnost sa svojom politikom okoliša
- c) pokazati sukladnost s ovom normom

Svi zahtjevi u normi ISO 14001 namijenjeni su ugradnji u svaki sustav upravljanja zaštitom okoliša. Opseg primjene ovisi o okolnostima kao što su: politika okoliša organizacije, priroda djelatnosti organizacije, vrste proizvoda i usluga, uvjeti lokacije na kojima organizacija posluje.

## 6. LITERATURA

- [1] Springer, O.P.; et al. Ekološki leksikon. Sveučilišna tiskara d.o.o ; Barbat : Zagreb, 2001.
- [2] Kondić, Ž. ; Kondić, V. Okoliš i norma ISO 14000 – primjena. Čakovec, 2009.
- [3] Bešker, M. Politika okoliša : Environmental policy. Oskar : Zagreb, 2005.
- [4] Injac, N. Mala enciklopedija kvalitete IV dio : okoliš i njegova zaštita. Oskar : Zagreb, 2004.
- [5] EMAS I, 1993.
- [6] EMAS II, 2001.
- [7] Serija ISO 14000ff:2004
- [8] Kondić, V. Metodologija primjene norme ISO 14001 u realne poslovne sustave : seminarski rad. Veleučilište u Varaždinu : Varaždin, 2009.
- [9] Piškor, M. Priručnik upravljanja zaštitom okoliša prema normi ISO 14001. Oprema uredaji d.d. : Ludbreg, 2008.
- [10] [www.environmental-expert.com](http://www.environmental-expert.com)
- [11] <http://www.ecologic.de/>
- [12] <http://epp.gsu.edu/>
- [13] <http://www.gallup.com>
- [14] <http://www.mepi.org/>
- [15] <http://www.mass.gov/envir/mepa/>

## Kontakt:

1. Veljko Kondić, ing.  
Preloška 1a, Varaždin
2. Mario Piškor, dipl.ing.  
Koprivnička 33, Ludbreg

**ZAVRŠNI RADOVI – ELEKTROTEHNIKA**  
**od 01.09.2009. do 30.09.2010.**

|     | IME I PREZIME      | TEMA ZAVRŠNOG RADA   | MENTOR                                 |
|-----|--------------------|--|--|
| 1.  | Zgrebec Ivica      | Umjeravanje istosmjernog motora  | mr.sc. Branko Tomičić,<br>dipl.ing.    |
| 2.  | Bregović Goran     | Gubici i zagrijavanje istosmjernog motora  | mr.sc. Branko Tomičić,<br>dipl.ing.    |
| 3.  | Josipović Toni     | SCADA model raskrižja za automobile i pješake  | Krunoslav Grudiček, dipl.ing.          |
| 4.  | Čikan Marijan      | Generator signala sa integriranim sklopom MAX038   | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.          |
| 5.  | Strbad Kruno       | LOGO! Demonstracijska maketa   | Krunoslav Grudiček, dipl.ing.          |
| 6.  | Padarić Dejan      | WIMAX 802.16 standard  | mr.sc. Mihael Kukec,<br>dipl.ing.      |
| 7.  | Komes Neven        | Ispitivanja sustava uzemljenja   | mr.sc. Miljenko Brezovec,<br>dipl.ing. |
| 8.  | Risek Tamara       | Aplikacija komunikacije između računala i PLC-a SIMATIC S7-300 serije korištenjem knjižnice otvorenog koda                     | Krunoslav Grudiček, dip.ing.           |
| 9.  | Šegović Krešimir   | Praktične vježbe iz područja mikro automatizacije za potrebe održavanja vježbi iz predmeta "Automatizacija strojeva i uređaja" | Krunoslav Grudiček, dip.ing.           |
| 10. | Zadravec Tihomir   | Razvojno okruženje za komunikaciju preko linija napajanja firme STMicroelectronics   | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.          |
| 11. | Novoselec Tomica   | Detektor parkirnih vozila  | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.          |
| 14. | Pranjić Željko     | Regulacija osvjetljenja u industrijskom postrojenju s ciljem uštete električne energije  | mr.sc. Mario Punčec,<br>dipl.ing.      |
| 15. | Makovec Saša       | Obrada analognih podataka pomoću mikrokontrolera PIC18F4550 i njihovo prosljeđivanje putem USB imitacije RS-232 protokola      | mr.sc. Mihael Kukec,<br>dipl.ing.      |
| 16. | Taradi Tomislav    | Upotreba ZIGBEE protokola u bežičnoj komunikaciji Microchip PIC mikrokontrolera  | mr.sc. Mihael Kukec,<br>dipl.ing.      |
| 17. | Budiša Zoran       | Vizualizacija i nadzor postrojenja za proizvodnju betona   | Krunoslav Grudiček, dip.ing.           |
| 18. | Škrinjar Martin    | Gubici i stupanj korisnog djelovanja trofaznog transformatora  | mr.sc. Branko Tomičić,<br>dipl.ing.    |
| 19. | Hiržin Goran       | Rekonstrukcija elektro upravljanja alatne glodalice GKB-480V   | dr.sc. Živko Kondić, dipl.ing          |
| 20. | Spevec Željko      | Upravljačko-signalni aparati u elektroenergetskim postrojenjima  | mr.sc. Miljenko Brezovec,<br>dipl.ing. |
| 21. | Dvanajščak Dalibor | Vizualizacija i nadzor pokretne trake punionice limenki piva i sokova  | mr.sc. Mario Punčec,<br>dipl.ing.      |
| 22. | Križanić Goran     | Mjere zaštite u distribucijskim pogonima srednjeg i niskog napona  | Darko Marković, dipl.ing.              |
| 23. | Lončar Krešimir    | SCADA aplikacija za testiranje rada PID regulatora   | Krunoslav Grudiček, dip.ing.           |
| 24. | Topolnjak Zoran    | Ultrazvuk u medicinskoj dijagnostici   | prof.dr.sc. Bojan Ivančević            |
| 25. | Bregović Nenad     | Asinkroni motori na jednofaznoj mreži  | mr.sc. Branko Tomičić,<br>dipl.ing     |
| 26. | Hojšak Mario       | Kompenzacija jalove snage kavezognog asinkronog motora   | mr.sc. Branko Tomičić,<br>dipl.ing     |
| 27. | Jenkač Ivan        | Razvoj DSP algoritma za optimizaciju solarnog sustava  | dr.sc. Zlatan Ribić, dipl.ing.         |
| 28. | Glazer Dalibor     | Analiza prometne buke u Varaždinu  | dr.sc. Zlatan Ribić, dipl. ing.        |
| 29. | Salaj Željko       | AMR sustav daljinskog očitanja električnih brojila u distribucijskom području „Elektra“ Koprivnica                             | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.          |
| 30. | Stanković Ivan     | Ugradnja frekvencijskog pretvarača u elektromotorni pogon za proizvodnju kučnog vakuma za profesionalnu upotrebu u industriji  | Josip Huđek, dipl.ing.                 |
| 31. | Nestić Alen        | Sinkronizacija generatora na elektroenergetski sustav  | mr.sc. Miljenko Brezovec,<br>dipl.ing. |
| 32. | Tomašković Igor    | Karakteristika momenta asinkronog stroja   | mr.sc. Branko Tomičić,<br>dipl.ing.    |

|     |                     |  |                                      |
|-----|---------------------|--|--------------------------------------|
| 33. | Šegović Nikola      | Elektronički instrument za mjerjenje induktiviteta i kapaciteta realiziran korištenjem PIC mikrokontrolera       | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing         |
| 34. | Jertec Marko        | Prijenosni detektor metala sa zvučnom indikacijom  | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.        |
| 35. | Babić Tomislav      | Kontrola struje trofaznog mosnog izmjenjivača s utisnutim naponom pomoću histerezne impulsno-širinske modulacije | Darko Marković, dipl.ing.            |
| 36. | Špilek Klaudijo     | Automatsko upravljanje temperature u kući  | mr.sc. Mario Punčec, dipl.ing.       |
| 37. | Dolar Nikola        | Autentifikacijski mehanizmi za bežične lokalne mreže temeljeni na IEEE 802.1x standardu                          | mr.sc. Mihael Kukec, dipl.ing.       |
| 38. | Željeznjak Tomislav | Digitalni instrument za mjerjenje brzine vrtnje vratila elektromotora realiziran ATMEGA 16 mikrokontrolerom      | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing         |
| 39. | Malečić Marin       | Uklapanje transformatora na mrežu  | dr.sc. Branko Tomičić, dipl.ing.     |
| 40. | Bukovec Predrag     | Kočna stanja elektromotornih pogona  | Josip Huđek, dipl.ing.               |
| 41. | Belaić Siniša       | Metode pokretanja asinkronih motora  | Josip Huđek, dipl.ing.               |
| 42. | Kovač Goran         | Karakteristike agregata za rezervno napajanje električnom energijom  | mr.sc. Miljenko Brezovec, dipl. ing. |
| 43. | Novak Slavko        | Elektromagnetski stimulator  | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing         |
| 44. | Miholček Ivan       | Automatizacija pokretne platforme u ciglani  | mr.sc. Mario Punčec, dipl.ing.       |
| 45. | Benhard Dario       | Nadsinkrono kočenje asinkronog stroja vektorski upravljanim frekvencijskim pretvaračem                           | Darko Marković, dipl.ing.            |
| 46. | Tomašić Damir       | Projekt električne instalacije obiteljske kuće uz primjenu automatizacije i inteligentnih rješenja               | Darko Marković, dipl.ing.            |
| 47. | Kočevan Manuel      | Zaštite u elektroenergetskim transformatorima niskog napona  | Darko Marković, dipl.ing.            |
| 48. | Kučar Antonio       | Upravljanje semafora daljinski preko interneta i lokalno preko panela  | mr.sc. Mario Punčec, dipl.ing.       |
| 49. | Brlečić Tomislav    | Izolacijski sustav niskonaponskog motora sa namotom od okrugle žice izolirane lakovom                            | mr.sc. Branko Tomičić, dipl.ing      |
| 50. | Behin Goran         | Digitalni frekvencmetar  | mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing         |

**ZAVRŠNI RADOVI – MULTIMEDIJA, OBLIKOVANJE I PRIMJENA**  
**od 01.10.2009. do 11.09.2010.**

|     | IME I PREZIME   | TEMA ZAVRŠNOG RADA  | MENTOR                         |
|-----|-----------------|---|--------------------------------|
| 1.  | Igor Toplak     | Redizajn boje prehrabnenih proizvoda                              | doc.dr.sc.Igor Zjakić          |
| 2.  | Maja Smrček     | Utjecaj boje na efekt prodaje bombona                             | doc.dr.sc.Igor Zjakić          |
| 3.  | Darko Škulj     | Retoričke metode u poslovnoj komunikaciji                         | Dario Čerepinko, dipl.ing      |
| 4.  | Davor Ljubenkov | Studija slučaja Karlovačka pivovara                               | Dario Čerepinko, dipl.ing      |
| 5.  | Marko Jukić     | Pravila i elementi medijskog nastupa                              | Dario Čerepinko, dipl.ing      |
| 6.  | Šoltić Vedrana  | Urbana umjetnost – likovna kritika društva                        | doc.dr.sc.<br>Jesenka Pibernik |
| 7.  | Vuković Alen    | Karakterna animacija u grafičkom dizajnu                          | doc.dr.sc.<br>Jesenka Pibernik |
| 8.  | Dvorski Marko   | Uloga boje u grafičkom dizajnu                                    | doc.dr.sc.<br>Jesenka Pibernik |
| 9.  | Čižmak Ivan     | Projekt izrade umjetničkog kataloga                               | Damir Vusić, dipl.ing.         |
| 10. | Drčec Ivan      | Određivanje kvalitete digitalnog tiska primjenom ATS testne forme | Damir Vusić, dipl.ing          |
| 11. | Kosi Marko      | Psihološki utjecaj perspektive u kreaciji portretne fotografije   | Mario Periša, dipl.ing.        |

|     |                   |  |                                   |
|-----|-------------------|--|-----------------------------------|
| 12. | Kranjčić Tomislav | Utjecaj temperature boje svjetla na kvalitetu reprodukcije u digitalnoj fotografiji          | Mario Periša, dipl.ing.           |
| 13. | Čus Tomica        | Kreativnost i timski rad   | prof.dr.sc. Nikola Mrvac          |
| 14. | Darko Klopotan    | Suvremene organizacijske strukture   | prof.dr.sc. Nikola Mrvac          |
| 15. | Nikola Jozić      | Javna edukacijska kampanja za promociju plivanja na gradskim bazenima kroz nove medije       | Dario Čerepinko, dipl.ing         |
| 16. | Veronika Petrović | Makro fotografija  | Mario Periša, dipl.ing            |
| 17. | Marko Lončarić    | Pejzažna fotografija   | Mario Periša, dipl.ing            |
| 18. | Danijel Sambolec  | Komparativna analiza grafičkih korisničkih sučelja-operacijski sustavi                       | Damir Vusić, dipl.ing             |
| 19. | Franjo Jurilj     | Načela redizajna internih novina   | doc.dr.sc. Jesenka Pibernik       |
| 20. | Matija Premec     | Izrada web mjesta korištenjem Flash platforme  | mr.sc. Mario Tomiša               |
| 21. | Viktorija Hehet   | Ravnopravnost u multimedijiskom društvu  | prof.dr.sc. Nikola Mrvac          |
| 22. | Bojan Bistrović   | Live streaming   | mr.sc. Dragan Matković, dipl.ing. |
| 23. | Mario Špicar      | Proizvodnja promotivnih video spotova  | mr.sc. Dragan Matković, dipl.ing. |
| 24. | Martina Vidović   | Uloga psihologije boja u doživljaju kvalitete šampona  | doc.dr.sc.Igor Zjakić             |
| 25. | Ivana Kosec       | Korelacija ugode i boje interijera „Caffe bara“  | doc.dr.sc.Igor Zjakić             |
| 26. | Martina Gradečak  | Razlika u pripremi informativnog sadržaja za tisak, radio i televiziju                       | Dario Čerepinko, dipl.ing         |
| 27. | Vladimira Čelan   | Apstraktna fotografija   | Mario Periša, dipl.ing            |
| 28. | Tomislav Vidović  | Izrada elektroničke knjige   | mr.sc. Mario Tomiša               |
| 29. | Nikola Horvat     | Prototipna aplikacija za izradu i uređivanje vektorske grafike temeljena na JavaFX platformi | mr.sc. Mihael Kukec, dipl.ing.    |
| 30. | Ivan Šinko        | Tehnička realizacija televizijskih reklamnih poruka  | mr.sc. Dragan Matković, dipl.ing. |
| 31. | Mladen Divković   | velv.alumni: koncepcija formiranja društvene mreže bivših studenata Veleučilišta u Varaždinu | Dario Čerepinko, dipl.ing         |
| 32. | Marko Lajtman     | Glazbena produkcija rockabilly skladbe uz dodatak zvuka velikog jazz-orkestra                | mr.sc. Robert Logožar, dipl.ing.  |

**ZAVRŠNI RADOVI – PROIZVODNO STROJARSTVO**  
**od 01.12.2009. do 30.09.2010.**

|    | IME I PREZIME  | TEMA ZAVRŠNOG RADA   | MENTOR                           |
|----|----------------|--|----------------------------------|
| 1. | Trubelja Ivan  | Tehnologija zavarivanja hidroforskih posuda  | dr.sc. Ivan Samardžić, dipl.ing. |
| 2. | Horvat Nenad   | Projektiranje i razrada PRE-MIX rashladnog uređaja   | Damir Mađerić, dipl.ing.         |
| 3. | Vugrač Josip   | Dizalice topline - analiza primjene sa korištenjem potencijala podzemnih voda                      | Damir Mađerić, dipl.ing.         |
| 4. | Kern Dubravko  | Primjena CSD-CAM-a, simulacija te izrada žiga i matrice za slovo "V" na verikalnom obradnom centru | Zlatko Botak, dipl.ing.          |
| 5. | Skvaža Marijan | Alati za obradu kod visokobrzinskih obrada   | Zlatko Botak, dipl.ing.          |
| 6. | Srnec Mario    | Usporedna analiza nosivosti čelilnih trokutastih rešetkastih nosača za krovne konstrukcije         | dr.sc. Vlado Tropša, dipl.ing.   |
| 7. | Torma Ivan     | Razrada tehnološkog processa za proizvod od polistirena na 2D CNC stroju za rezanje                | Zlatko Botak, dipl.ing.          |
| 8. | Mikulić Tamara | Prilog definiranju i poboljšanju tehnologije održavanja postrojenja za pripremu betona             | dr.sc. Živko Kondić, dipl.ing.   |

**ZAVRŠNI RADOVI – GRADITELJSTVO**  
**do 30.09.2010.**

|    | IME I PREZIME       | TEMA ZAVRŠNOG RADA   | MENTOR                       |
|----|---------------------|--|------------------------------|
| 1. | Vitez Dalibor       | Statički proračun a.b. monolitne konstrukcije proizvodno-skladišne građevine | doc. dr.sc. Krešo Ivandić    |
| 2. | Petrović Aleksandar | Statistički proračun a.b. elemenata obiteljske kuće                          | doc. dr.sc. Krešo Ivandić    |
| 3. | Posavec Marko       | Završni radovi na višestambenim objektima I obiteljskim kućama               | Mirna Amadori, dipl.ing.     |
| 4. | Ćus Saša            | Organizacija građenja trgovачkog centra Lumini u Varaždinu                   | Mirna Amadori, dipl.ing.     |
| 5. | Žnidarić Daša       | Projektiranje prometnica   | mr.sc. Milan Rezo, dipl.ing. |
| 6. | Kolarić Saša        | Proračun uštede energije I buke stambene zgrade                              | Franjo Blagus, dipl.ing.     |

**ZAVRŠNI RADOVI – TEHNIČKA I GOSPODARSKA LOGISTIKA**  
**do 13.07.2010.**

|    | IME I PREZIME   | TEMA ZAVRŠNOG RADA   | MENTOR                        |
|----|-----------------|--|-------------------------------|
| 1. | Ivica Kolačko   | Poboljšanje tehnologije održavanja uređaja za hlađenje I točenje piva  | dr.sc. Živko Kondić, dipl.ing |
| 2. | Dražen Štruk    | Prilog poboljšanju održavanja dizel-električne lokomotive serije 2062  | dr.sc. Živko Kondić, dipl.ing |
| 3. | Veljko Kondić   | CE oznaka I slobodni protok proizvoda na tržištu EU  | dr.sc. Dragutin Funda         |
| 4. | Siniša Premužaj | Poboljšanje poslovnih procesa u hrvatskim željeznicama primjenom operativnog programa restrukturiranja prometa roba I usluga | dr.sc. Dragutin Funda         |
| 5. | Mirjana Mucko   | Poslovne funkcije I organizacijska struktura poduzeća  | dr.sc. Dragutin Funda         |
| 6. | Gabrijela Kočet | Uvođenje sustava upravljanja okolišem u građevinski obrt "Iskop" Klenovnik   | dr.sc. Dragutin Funda         |
| 7. | Željka Kranjčec | Implementacija HACCP-a u sustav Prehrane d.o.o. Varaždin   | dr.sc. Dragutin Funda         |
| 8. | Darko Vrček     | Uloga vuče vlakova u radu logističko-distribucijskih centara   | dr.sc. Čedomir Ivaković       |

