

# ДИТ

Друштво

Истраживање

Технологије

НАУЧНО  
СТРУЧНИ  
ЧАСОПИС

ГОДИНА XXIII \*\*\* БРОЈ 27  
септембар 2017

SCIENTIFIC  
PROFESIONAL  
JOURNAL

YEAR XXIII \*\*\* ISSUE 27  
септембар 2017

МЕНАџМЕНТ

ФИЗИКА

МАШИНСТВО

РАЧУНАРСТВО

ТЕХНОЛОГИЈА

МИОМИР ВУКОБРАТОВИЋ





# ДИТ

Научно-стручни часопис  
Scientific-profesional journal

Година XXIII, Број 27, септембар 2017. год.  
Year XXIII, Issue 27, September 2017. year

Друштво Истраживање Технологије

Оснивач: Друштво инжењера и техничара „Зрењанин“

Издавач: Друштво инжењера Зрењанин  
Висока техничка школа струковних студија Зрењанин

Главни уредник: Милан Зечар, дипл.инж.  
Одговорни уредник: Др Милорад Ранчић, професор  
Технички уредник: Др Желько Еремић, професор

Уређивачки одбор:

Др Милан Николић, професор, ТФ „Михајло Пупин“ Зрењанин  
Др Лазо Манојловић, професор, ВТШСС у Зрењанину  
Др Мирослав Ламбић, професор, ТФ „Михајло Пупин“ Зрењанин  
Др Желько Еремић, професор, ВТШСС у Зрењанину  
Др Миленко Сташевић, професор, ВТШСС, Зрењанин  
Др Весна Нађалин, професор, ВТШСС, Зрењанин  
Др Марија Матотек, предавач, ВТШСС у Зрењанину  
Др Гордана Лудајић, професор, ВТШСС у Зрењанину

Издавачки савет:

Др Данијела Јашин, професор, ВТШСС у Зрењанину, председник  
Никола Адамовић, дипл.инж., Телеком Србија  
Др Роберт Молнар, професор, ВТШСС у Зрењанину  
Горан Маринковић, дипл.инж., Културни центар, Зрењанин  
Данило Поповић, професор машинства, Специјална школа „9. Мај“, Зрењанин  
др Здравко Ждрале, лекар, Завод за јавно здравље Зрењанин  
Мр Милан Девић, Град Зрењанин  
Душко Радишић, Мастер инжењер ИТ, Град Зрењанин

Лектор: Мр Олга Деретић, професор

Штампа: Висока техничка школа струковних студија Зрењанин  
Тираж: 300

Часопис је први пут уписан у Регистар средстава јавног информисања  
Министарства за информисање Републике Србије 24.11.1994.године  
под редним бројем 1807.

ISSN 0354-7140

## ИЗДАВАЧИ



## ДРУШТВО ИНЖЕЊЕРА ЗРЕЊАНИН



## ВИСОКА ТЕХНИЧКА ШКОЛА СТРУКОВНИХ СТУДИЈА ЗРЕЊАНИН

## ФИНАНСИЈСКА ПОДРШКА



## ГРАД ЗРЕЊАНИН

СIP - Каталогизација у публикацији  
Библиотека Матице српске, Нови Сад

62

ДИТ : научни-стручни часопис / главни уредник Милан  
Зечар. - Год. 1, бр. 1 (1995)-год. 9, бр. 19/20 (2003) ;  
Год. 23, бр. 25 (2016)- . - Зрењанин : Друштво  
инжењера Зрењанин, 1995-2003; 2014-. - 29 cm

Полугодишње.  
ISSN 0354-7140 = ДИТ  
COBISS.SR-ID 105108999

## РЕЧ ГЛАВНОГ УРЕДНИКА

Поштовани читаоци,

Поштоване колеге, уважени читаоци,

пред Вама је Научно-стручни часопис ДИТ- (Друштво, Истраживање, Технологије), број 27, који издају Друштво инжењера Зрењанин и Висока техничка школа у Зрењанину, уз учешће колега са Техничког факултета „Михајло Пупин“, али и са других факултета и универзитета из земље и иностранства. Остајући доследни концепцијском опредељењу мултидисциплинарности, и у овом броју објављујемо радове из различитих области: менаџмента, физике, машинства, рачунарства, технологије, са основним циљем да афирмишемо научну и стручну јавност наше средине, али и све друге који имају шта и желе да понуде из различитих научних области, техничке струке и привредне делатности.

Овај број Научно-стручног часописа ДИТ излази у години након које следи јубиларна 150. Годишњица оснивања „Техничарске дружине“, претече данашње организације Савеза инжењера и техничара Србије, једне од најстаријих европских техничких асоцијација.

Желећи да великане наше науке који су достигли светске висине, избавимо из заборава и немара и на овај, симболичан начин, изразимо им признање и поштовање, у овом броју представљамо у свету познатог научника, нашег највећег роботичара, професора Универзитета у Београду, академика др Миомира Вукобратовића, рођеног на благословеној земљи банатској.

Поштујући колеге-инжењере из наше средине који су несебичним радом, лојалним односом према еснафу коме су припадали, битно допринели афирмацији Друштва инжењера и техничара Зрењанин, у овом броју представљамо једног од оснивача и првог председника ДИТ-Зрењанин, Милана Мандића, добитника највећег признања Савеза инжењера и техничара Србије, Заслужног члана СИТ Србије.

СРЕЋНО!

Главни уредник  
Милан М. Зечар



---

Савез инжењера и техничара Србије  
доделио је 3. фебруара 1997. године  
Научно-стручно-информативном  
часопису "ДИТ"

Повељу за најбољу



публикацију у Србији у 1996. години.

## САДРЖАЈ

<b>РЕЧ ГЛАВНОГ УРЕДНИКА</b> .....	<b>3</b>
<b>МЕНАџМЕНТ</b>	
Robert Molnar, Marija Matotek Anđić, Milorad Rančić:	
SAVREMENE TEHNOLOGIJE, ODRZIVI RAZVOJ I GLOBALIZACIJA MODERN TECHNOLOGIES, SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND GLOBALIZATION .....	7
Мила Кавалић, Марко Влаховић, Дејан Ђорђевић, Драган Ђоћало, Сања Станисављевић:	
АНАЛИЗА ЕКОНОМСКИХ ПАРАМЕТАРА ТРЖИШТА СРБИЈЕ И ПОРЕЂЕЊЕ СА ЗЕМЉАМА КОЈЕ ЈЕ ОКРУЖУЈУ ANALYSIS OF THE ECONOMIC PARAMETERS OF THE SERBIAN RETAIL MARKET AND COMPARISON WITH THE COUNTRIES IN SURROUNDING .....	15
Petar Subić:	
ANALIZA ODLUKA ANALYSIS OF DECISIONS .....	23
<b>ФИЗИКА</b>	
Ljiljana Simić, Iris Božjanović:	
VELIKI HADRONSKI SUDARAČ U CERN-U: STATUS I PLANOVI LARGE HADRON COLLIDER AT CERN: STATUS AND PLANS .....	27
Mile Lovre:	
RELATIVISTIČKA PROMENA MASE ČESTICE PRI UBRZANOM KRETANJU THE RELATIVISTIC CHANGE IN THE MASS OF THE PARTICLE IN ACCELERATED MOTION .....	35
<b>МАШИНСТВО</b>	
Predrag Mošorinski, Milorad Rančić:	
OPTIMALNI OBLIK STRUGOTINE PRI OBRADI TERMOPLASTA THE OPTIMUM SHAPE OF CHIPS DURING LATHE MACHINING OF THE THERMOPLASTIC .....	41
Жељко Деспотовић, Емилијан Лакић, Никола Лакетић:	
УЛОГА И ЗНАЧАЈ ДИНАМИЧКЕ КОМПЕНЗАЦИЈЕ РЕАКТИВНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СНАГЕ У СИСТЕМИМА ЗА ТАЧКАСТО ЗАВАРИВАЊЕ THE ROLE AND SIGNIFICANCE OF DYNAMIC REACTIVE ELECTRIC POWER COMPENSATION IN SYSTEMS OF SPOT WELDING .....	47
<b>РАЧУНАРСТВО</b>	
Aleksandra Felbab, Željko Eremić:	
INFORMACIONI SISTEMI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE KAO KLJUČ USPEHA PRIVREDE INFORMATION SYSTEMS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AS A KEY TO THE SUCCESS OF THE ECONOMY .....	57
<b>ТЕХНОЛОГИЈА</b>	
Ivana Lepojević, Vesna Nadalin, Žika Lepojević:	
RAZDVAJANJE FENOLNIH KISELINA U PREČIŠĆENIM EKSTRAKTIMA GAJENE LAVANDE PRIMENOM TANKOSLOJNE HROMATOGRAFIJE SEPARATION OF FENOLIC ACIDS IN PURIFIED FLOWER AND LEAF EXTRACTS OF CULTIVATED LAVENDER USING THIN LAYER CHROMATOGRAPHY .....	61
МИОМИР ВУКОБРАТОВИЋ .....	67
УПУТСТВО ЗА ПИСАЊЕ РАДОВА .....	69



МИОМИР ВУКОБРАТОВИЋ  
(1931 – 2012)

Наш највећи роботичар и један од пионира светске роботике. За истраживања и резултате у области хуманоидних робота и динамике двоножних робота добио је многобројна домаћа и међународна признања. Поставио основни закон стабилности робота “тачка нула момента” који је прихваћен у свим светским научним круговима. Члан САНУ и већег броја међународних Академија наука.

# SAVREMENE TEHNOLOGIJE, ODRZIVI RAZVOJ I GLOBALIZACIJA

## MODERN TECHNOLOGIES, SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND GLOBALIZATION

Dr **ROBERT MOLNAR**, profesor strukovnih studija  
Dr **MARIJA MATOTEK ANDIĆ**, profesor strukovnih studija  
Dr **MILORAD RANČIĆ**, profesor strukovnih studija  
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

### REZIME

U radu se razmatra odnos i veza između savremenih tehnologija, društvenog razvoja i globalizacije. Izložene su osnovne karakteristike modernih, visokih, tehnologija: elektronike, informaciono komunikacionih tehnologija, fleksibilne automatizacije i robotike, savremenih materijala, biotehnologije, genetike, energetike...

Uspostavljena je korelacija između nivoa razvoja visokih tehnologija i osnovnih parametara društvenog razvoja (nacionalni dohodak, standard, procenat nezaposlenih). Posebno se razmatra uticaj na realizaciju koncepta i indikatore održivog razvoja. U ovom radu su, takodje, predstavljeni glavni aspekti globalizacije sa osvrtom na moguće strategije malih tranzicionih zemalja u traženju svog puta ka održivom razvoju.

**Ključne reči:** savremene, visoke, tehnologije, društveni razvoj, održivi razvoj, globalizacija, tranzicija.

### ABSTRACT

The paper discusses the relationship and connection between modern technology, the level of general and social development and the globalization. Expose the basic characteristics of modern, high technology: electronics, information and communication technologies, the flexible automation and robotic, biotechnology, genetic, energetics...

Established the correlation between the levels of development of the technology and the basic parameters of social development (national income, unemployed, standard). Especially considering the concept and indicators of sustainable development. This paper presents the main aspects of globalization with a view to the possible strategies of small countries in transition which search their path towards sustainable development of the specific country.

**Keywords:** modern, high, technologies, social development, sustainable development, globalization, transition.

### 1. UVOD

Jedan broj istoričara smatra da je tehnologija najstarija i najzbudljivija društvena pojava. A etimološki koren ove reči potiče od grčke reči "techne" koja znači veština, umeće, sposobnost, čoveka da ostvari svoje potrebe ili neke aktivnosti. Tehnologija je inače nastala sa nastankom čoveka (ljudske vrste) i razvijala se onako kako se razvijao i ljudski intelekt. Čovek je najpre počeo da koristi ono što je pronašao oko sebe i što mu je priroda ponudila. Oštar kamen, poluga, okrugli predmeti bili su prva oruđa ("sredstva za rad"), a voda, vetar, vatra, prvo

svrsishodno korišćenje prirode i okruženja ("energija"). Sa razvojem intelekta čovek je imao sve veće potrebe i želje tako da su sredstva, oruđa i aktivnosti postajali sve složeniji. I tako je nastala neprekidna trka između intelektualnih mogućnosti čoveka i razvoja tehnologija koja traje hiljadama godina do današnjih dana. Verovatno će se sa još većim intenzitetom nastaviti i u budućnosti.

### 2. RAZVOJ TEHNOLOGIJE

Tehnologija je uvek bila čovekov lični ali i društveni odgovor na izazove prirode i na iznalaženje



načina kako da reši različite potrebe kao što su ishrana, proizvodnja, uslovi života, odbrana, ekologija... Istorijski posmatrano tehnologija je uvek imala konstantan razvoj i napredak. Uzroci za to nalaze se u samoj ljudskoj prirodi, prirodi nauke i u društvenim okolnostima. Važno je istaći da je razvoj tehnologije u određenim prilikama i vremenskim periodima imao nagle promene ubrzanog rasta koje su dramatično menjale čitav svet i društvene sfere kao što su ekonomija, način života, kultura, društvene strukture, međunarodni odnosi. Ti nagli poremećaji u razvoju tehnologije nazivaju se "tehnološke revolucije". Neke od njih u novijoj istoriji bile su:

- agrikulturna (od 1600 do 1740. god.),
- industrijska (od 1780 do 1840. god.),
- naučno-tehnološka (od 1940 do 1970. god.),
- informaciono-telekomunikaciona (od 1985. god.).

Kao što su socijalne tako su i tehnološke revolucije imale uspone i padove, budile nadu, ostvarivale napredak i doprinosile opštem razvoju društva.

### **3. TREĆA TEHNOLOŠKA REVOLUCIJA I SAVREMENE TEHNOLOGIJE**

Sedamdesetih godina prošlog veka postaje potpuno jasno da tehnologija i tehnika ulaze na svetsku istorijsku scenu. Procesi razvoja pojedinih tehničkih i naučnih disciplina postižu zadivljujuće rezultate. Nivo razvoja mikroelektronike, robotike, nuklearne tehnologije, kosmičkih istraživanja, vojne tehnike, stavio je čovečanstvo pred nova iskušenja i izazove. Skovana je i sintagma "treća tehnološka revolucija". Tehničko-tehnološki razvoj doveo je do dramatičnih promena u mnogim oblastima društva i kod običnih ljudi.

Usvojen je proces praćenja treće tehnološke revolucije u deset ključnih oblasti (akronim TEKNOBERS): telekomunikacije, elektronika, kompjuteri, novi materijali, optoelektronika, biotehnologija, energetika, robotika, genetika i svemirska (kosmička) istraživanja. Neke osnovne karakteristike ovih savremenih tehnologija biće ukratko izložene.

#### **Telekomunikacije**

Tehnička i tehnološka rešenja u oblasti telekomunikacija omogućila su planetarnu razmenu informacija i povezanost ljudi. Globalni sistem omogućio je trenutnu razmenu poruka, podataka, slika, raznih sadržaja uz primenu različitih telekomunikacionih uređaja: radija, televizije, telefaksa, elektronske pošte (e-mail), satelita, mobilnih telefona. Formiranje globalnih informacionih mreža a posebno Interneta omogućilo je socijalnu integraciju svih ljudi na planetišto ima izuzetan društveni i praktičan tehnički značaj. Izuzetno brzi razvoj, verovatno i najbrži, ove tehnologije zadnjih godina postiže neverovatne

rezultate. To se posebno odnosi na oblast mobilne telefonije.

#### **Elektronika**

Elektronika je oblast tehnike koja je svoj nagli razvoj imala i u vreme druge tehnološke revolucije. Međutim, razvoj mikroelektronike počinje 1971. godine kada je kompanija Intel napravila prvi mikroprocesor. Dinamika razvoja i minijaturizacije mikroprocesora bila je izuzetno burna (biočipovi, fotočipovi) tako da je danas stigla do molekularnog nivoa. S obzirom da im cene neprestano padaju primena mikroprocesora se naglo širi. Danas skoro i da nema industrijskog proizvoda koji u sebi nema ugrađene senzore ili mikroprocesore („pametni“ proizvodi).

#### **Kompjuterska tehnologija**

Verovatno bi razvoj svih ostalih savremenih tehnologija bio sporiji da u poslednjih nekoliko decenija nije bilo tako dinamičkog i snažnog razvoja kompjuterske (računarske) tehnologije. Od pojave prvih računara (1946. godine) do danas proizvedeno je više generacija uvek kvalitativno naprednijih sa sve većim kapacitetima i brzinom a manjih dimenzija. Nauka je blizu realizacije računara na bazi biočipa, odnosno, biomolekula koji će posedovati „veštačku inteligenciju i mogućnost samoprodukcovanja. Neke funkcije kompjutera već odavno nadmašuju čovekove (kapacitet memorisanja, brzina obrade informacija) a neke druge će se verovatno brzo ostvariti (opažanje, učenje i sl.). Proces kompjuterizacije je danas proširen na skoro sve oblasti ljudske delatnosti tako da su neke od njih bez primene kompjutera nezamislive. Tome je u mnogome doprineo i razvoj kompjuterskih mreža (network), specifične infra strukture, koja povezuje veliki broj manjih kompjutera a koji su podržani od strane velikih (main frame) računara. Pored lokalnih (nacionalnih) mreža danas funkcioniše na stotine međunarodnih mreža.

#### **Novi materijali**

Pod novim materijalima podrazumevaju se nove sintetičke tvorevine koje imaju bolje tehničke karakteristike i mogu da zamene dosadašnje klasične i tradicionalne materijale. Njih je u sve većem broju i imaju sve širu primenu u različitim oblastima tehnike. Karbonska vlakna, novi polimeri, veštačka keramika, amorfní metali, sinterovani metali, samo su neki od njih. Takođe, u ove materijale spadaju i „poboljšani“ stari materijali kao što su to razne legure, plastične mase, najloni, viskoza i drugo. Jedan broj novih materijala razvijen je sa specijalnim tehničkim i konstruktivnim karakteristikama. Neki poseduju posebne fizičke, hemijske, termičke, mehaničke i druge osobine tako da se mogu primenjivati u ekstremnim uslovima (avioni, rakete, medicinski uređaji). Novi materijali mogu da supstituišu mnoge klasične materijale kojih u prirodi ima sve manje i na taj način otklone već prisutan strah da će doći do

deficita prirodnih materijala. Kao primer navodi se otkriće fulerena C60 za koga se očekuje da može u potpunosti da zameni strateške metale: kobalt, tantal, titan i druge kojih je u prirodi danas sve manje.

### **Optoelektronika**

Optoelektronika je potpuno nova tehnologija a predstavlja „hibridnu“ tehnologiju u pogledu porekla i primene. Novi optički materijali, optička vlakna, omogućavaju integraciju raznih tehnologija, počev od elektromehaničkih, preko mehatroničkih i robotičkih do komunikacionih. Ovi materijali omogućavaju transformaciju optičkih signala u elektronske i obrnuto. Moderne tehnologije svetla kao što su to laseri, senzori, optički diskovi integrišu optičke i elektronske komponente. Sve vodeće zemlje sveta danas imaju intezivna istraživanja i značajna ulaganja u ovu oblast.

### **Biotehnologija**

Biotehnologija je stara tehnološka disciplina koja danas doživljava preporod i novu fazu razvoja. Nastala je početkom dvadesetog veka i razvijala se kao klasična disciplina (tehnologija vrenja, industrijska fermentacija) koja je proizvodila proizvode opšte potrošnje: kvasac, pivo, alkohol i sl. Međutim, krupni pomaci u ovoj oblasti nastali su sa primenom genetskog, proteinskog i hormonskog inženjeringa. Ovo je omogućilo da ova oblast postane jedna od najperspektivnijih i najmoćnijih oblasti tehnološkog razvoja uopšte. Savremena biotehnološka revolucija nastala je 1953. godine kada je otkriven DNK (dezoksiribonukleinska kiselina), molekul koji je odgovoran za genetski transfer naslednih osobina živih organizama. Ovo je otvorilo neslućene mogućnosti za razvoj genetskog inženjeringa i stvaranje živih organizama sa unapred određenim osobinama i karakteristikama. Pojava genetski modifikovanih proizvoda predstavlja veliki tehnološki napredak u nekim oblastima kao npr. proizvodnja hrane (žitarice, meso). Međutim primena ove nove tehnologije je izazvala strah da su moguće i veoma opasne zloupotrebe. Menjanje osobina živih bića, kloniranje životinja i mogućnost da sve to može biti primenjeno i na čoveka otvara krupna etička i filozofska pitanja od čijih odgovora će zavisiti i smisao budućeg tehnološkog razvoja.

### **Energetika**

Energija je jedan od ključnih uslova materijalnog razvoja društva. U trećoj tehnološkoj revoluciji od velike je važnosti energetska stabilnost. Razvoj i klasičnih i savremenih tehnologija sve više zavisi od raspoložive količine energije svih vrsta. S obzirom da je klasičnih, fosilnih (ugalj, nafta) izvora energije sve manje a da joj cena sve više raste, čine se veliki napori u traženju alternativnih oblika energije koji bi bili obnovljivi i ekološki bezbedni. Smatralo se, pre tridesetak godina, da će problem biti rešen primenom nuklearne energije. Međutim, stalno prisutna opasnost

i nekoliko incidenata koji su se desili u u Ukrajini i Japanu stavili su ovaj vid energije u drugi plan. Pred istraživače mnogih zemalja postavljen je zadatak da se iznađu nova rešenja za proizvodnju energije uz uslov da budu obnovljiva i ekološki bezbedna. Na današnjem nivou razvoja alternativna rešenja već postoje i to su solarna, sunčeva, energija, energija vetra i geotermalna energija. U toku

su, takođe, i eksperimenti na bazi fuzije atoma

### **Robotika**

Automatizacija mašina i tehnoloških procesa treba da ispuni nekoliko ključnih zahteva koji se postavljaju u industrijskoj proizvodnji. To su:

povećanje produktivnosti, podizanje kvaliteta proizvoda, smanjenje fizičkog i psihičkog naprezanja radnika, bezbednost i zaštita zdravlja u zoni rada... Pojava robota predstavljala je vrh automatizacije kako industrijskih procesa tako i mnogih drugih proizvodnih i neproizvodnih aktivnosti. Početkom osamdesetih godina prošlog veka počinje nagla primena robota u mnogim značajnim industrijskim granama sa masovnom proizvodnjom: automobilskoj, elektronskoj, prehrambenoj, hemijskoj i dr. Talas robotizacije je vrlo brzo zahvatio ne samo visoko već i manje razvijene zemlje.

Danas su se roboti potvrdili kao veoma efikasna zamena radnika na mnogim radnim mestima i u različitim uslovima. Oni izvode radne operacije koje imaju specijalne zahteve, povećanu dinamiku rada i tačnost: montaža, pakovanje, zavarivanje, farbanje, kontrola... Obavljaju rizične poslove u uslovima opasnim po radnika: visoka temperatura, zračenje, hemijska isparenja, mogućnost eksplozije, buka, vlažnost i drugo.

Primena robota je proširena i na druge neproizvodne oblasti kao što su to vojska, medicina, uslužne delatnosti... Međutim, i pored široke perspektive primene sve je više konverznih razmišljanja i pitanja analitičara i stručnjaka o uticaju robotike na nezaposlenost, perspektivama ljudskog rada, ekstra profita koji se ostvaruje...

### **Genetsko inženjerstvo**

Genetsko inženjerstvo je posebno izdvojeno kao najvažniji deo biotehnologije. To je vrhunska tehnologija koja može da rekombinovanjem gena omogućiti dizajniranje karakteristika živih organizama. Do sada je ova tehnologija ograničena na neke biljne vrste (poljoprivredne kulture, šumske i baštenske kulture), domaće životinje (ovce, svinje, živina) i ribe. Međutim, genetsko inženjerstvo je već danas ovladalo metodama i sredstvima da se genski transfer može primeniti i kod ljudi što otvara mnoga pitanja i opravdane dileme. Moguće zloupotrebe izazivaju strah od posledica. S obzirom da je genetsko inženjerstvo jedno od najmoćnijih znanja koje je čovek do danas osvojio postavlja se pitanje o smislu i granicama intelektualne radoznalosti i naučnih istraživanja.

## Svemirska tehnologija

Beskrajnost svemirskog prostora oduvek je izazivala kod čoveka radoznalost. S obzirom na dosadašnji nivo nauke i ljudskih saznanja istraživanja svemira su ograničena samo na jedan mali deo naše galaksije i to jednu njenu zvezdu Sunce i sistem nebeskih tela koje se kreću oko njega.

Kada je čovečanstvo ovladalo znanjem i sredstvima godine 1969. došlo je do prvog odlaska čoveka na Mesec. I tada je otpočela tzv. „kosmička era“. Istovremeno je tih godina pokrenuta trka između velikih i razvijenih država (pre svih SAD i SSSR) u osvajanju kosmosa. Razvoj kosmičke tehnologije nesumnjivo je uticao i povukao razvoj i mnogih drugih pratećih tehnologija. Koristi su od toga imale različite tehničke discipline: novi materijali, automatsko i daljinsko upravljanje, pogonska goriva, elektronika, satelitske letilice, prenos signala... Sve je to doprinelo da i neke druge naučne oblasti budu podignute na znatno viši tehnološki nivo, npr. telekomunikacije, meteorologija, vojna tehnologija...

## 4. SAVREMENE TEHNOLOGIJE I DRUŠTVENI RAZVOJ

Kao što je već rečeno pojave i dostignuća savremenih tehnologija doveli su do veoma značajnih i mnogobrojnih promena u različitim oblastima društva ali i životima običnih ljudi. Postoje puno pokazatelja kojima se dokazuje da su moderne tehnologije izuzetno uticale na opšti progres i napredak kako društva u celini tako i pojedinaca. Očigledan je opšti rast društvenog bogatstva, nacionalnih dohodaka, industrijske proizvodnje, životnog standarda običnih ljudi, poboljšani su uslovi rada, smanjena je dužina radnog vremena, radnik je oslobođen teških i opasnih poslova, većini stanovništva postali su dostupniji proizvodi široke potrošnje (automobili, tehnički uređaji, hrana...), omogućeno je kvalitetnije obrazovanje, povećana je informisanost, izuzetno su poboljšani uslovi lečenja, produžen je životni vek itd.

Uzimajući u obzir ograničene mogućnosti ovog rada autor je izdvojio nekoliko parametara koji dokazuju da su zemlje koje razvijaju savremene tehnologije i masovno ih primenjuju u stvari visoko industrijalizovane i da su im parametri najbolji.

U Tabeli 1. prikazane su vrednosti bruto društvenog proizvoda (BDP) po stanovniku u (\$), stope nezaposlenosti (SN) u (%) i prosečne zarada radnika (PZ) u (\$) na sat u 2016. godini za neke visoko razvijene zemlje i Srbiju.

Za analizu su izabrana dva visokosofisticirana i masovno primenjena industrijska proizvoda: putnički automobil i industrijski robot.

Iz ova dva primera očigledno je da se može zaključiti da se savremeni proizvodi u koje su ugrađena dostignuća modernih tehnologija uglavnom proizvode u visoko razvijenim privredama najbogatijih država sveta.

Tabela 1

Država	BDP/stan. (\$)	SN (%)	PZ/sat (\$)
SAD	49.440	4,9	25,0
Kanada	51.958	7,7	21,7
Nemačka	46.270	4,2	20,2
Japan	38.731	4,0	16,9
Srbija	6.354	21,0	3,2

\* U svetu je u 2016. godini proizvedeno i prodato oko 84.240.000 automobila.

U Tabeli 2. je prikazan redosled najviše prodavanih modela automobila svetskih proizvođača.

Tabela 2

R.br.	Proizvođač	Država	Komada (miliona)
1.	Toyota	(Japan)	10,10
2.	Gen.mot.	(SAD)	9,28
3.	Volkswagen	(Nem.)	9,25
4.	Hyundai	(J.Koreja)	7,12
5.	Ford	(SAD)	5,59
6.	Nissan	(Japan)	4,89
7.	Honda	(Japan)	4,11
8.	PSA	(Francuska)	2,91
9.	Suzuki	(Japan)	2,89
10.	Reno	(Francuska)	2,67

Tabela 3

R.br.	Proizvođač	Država	Komada (hiljada)
1.	Fanuc	(Japan)	400
2.	ABB	(Švajc.)	300
3.	Jaskawa	(Japan)	300
4.	Nachi-Fujikoshi	(Japan)	100
5.	Kuka	(Nemačka)	100

\* U toku 2016. god. u svetu je proizvedeno i prodato preko 1,5 miliona industrijskih robota. Tabela 3. pokazuje ko su bili i odakle potiču najveći svetski proizvođači robota.

## 5. ODRŽIVI RAZVOJ, NOVE RAZVOJNE KONCEPCIJE

U poslednje tri decenije pojavljuju se znaci opravdane zabrinutosti jednog broja poznavalaca problematike ekonomskog i društvenog razvoja. Postavljaju se pitanja perspektive ljudske vrste s obzirom na rast potreba i ograničenja ekonomskog rasta i razvoja. Glavne globalne (svetske) činjenice koje potkrepljuju ove stavove su sledeće:

- rast svetske populacije (do kraja 2030.god. na planeti će živeti oko 10 milijardi ljudi);
- nedostatak hrane (od gladi danas umire godišnje oko 50 miliona ljudi);

- smanjenje površina obradivog zemljišta (oko 6 milijardi hektara godišnje);
- svakodnevni nestanak šuma, biljnih i životinjskih vrsta;
- sve manje rezerve klasičnih izvora energije, sirovina i pitke vode;
- pojava globalnog otopljanja;
- sve veće razlike između bogatih i siromašnih država i ljudi;
- neravnomerno obrazovanje i nepismenost;
- ...

Na nivou Ujedinjenih nacija i kod najodgovornijih svetskih lidera pokrenut je proces preispitivanja dosadašnjih koncepcija društvenog razvoja i ekonomskog rasta i iznalaženja novih rešenja. Potrebno je pri tome odgovoriti na četiri osnovna pitanja koja se odnose na razvoj: za koga, kakav, kako ga ostvariti i čime ga ostvariti. S obzirom da postoji puno različitih odgovora problem održivosti će i dalje fundamentalan ne samo kao praktično nego i kao političko pitanje.

Održivost kao strateški cilj podrazumeva interakciju prirode, društva i ekonomije ali uz prisustvo kriterijuma ekologije. Održivi razvoj podrazumeva i mora da zadovolji:

- ekološku održivost,
- ekonomsku održivost,
- socijalnu, kulturnu i političku održivost.

Najvažniji indikatori održivog industrijskog razvoja mogu se svrstati u dve grupe: ekonomske i ekološke. U ekonomske indikatore spadaju: neto investicije, stepen otvorenosti ekonomije, uvoz kapitalnih dobara. Grupu ekoloških indikatora pripadaju: udeo prirodnih resursa u industrijskoj proizvodnji, udeo energetskih industrija i udeo prljavih industrija.

Najbitnije pretpostavke za ostvarenje koncepta održivog razvoja su:

- politički sistem (obezbeđuje efikasno učešće građana);
- ekonomski sistem (stvora ekonomske viškove namenjene razvoju);
- društveni sistem (rešava eventualne socijalne probleme);
- tehnološki sistem (omogućava primenu novih rešenja na bazi razvoja i istraživanja);
- proizvodni sistem (omogućava realizaciju na osnovu razvoja).

Pored ovih činilaca od posebne važnosti su još i

- informacioni sistem i
- obrazovni sistem.

Prema nekim autorima za realizaciju koncepta održivog razvoja veoma je bitan koncept celovitog mišljenja (holizam) koga čine adaptivnost, fleksibilnost, evolucija, permanentno učenje, samoregulacija i samoorganizovanje.

## 6. GLOBALIZACIJA I ODRZIVI RAZVOJ

Koreni globalizacije mogu se potražiti još u antičkom dobu, kada su Feničani, kao poznati trgovci na Mediteranu, u potrazi za novim tržištima, prešli Gibraltar i zaplovili Atlantikom. Krajem XV veka, najpre sa Kolumbom, a kasnije i sa drugim istraživačima, globalizacija dobija novu dimenziju, koja se tiče kolonijalnih osvajanja s ciljem eksploatacije prirodnih resursa, ali i širenja jezika, kulture i religije.

Razvoj kapitalizma na talasu prve industrijske revolucije uneo je novu dimenziju u kolonijalna osvajanja i globalizaciju, a to je transfer tehnologije. Na talasu transfera tehnologije počele su da se razvijaju multinacionalne kompanije (u nastavku: MNK), koje danas ekonomski, ali sve više i politički dominiraju na globalnom nivou. Ovome je umnogome doprineo tehničko-tehnološki razvoj u razvijenim zemljama, ali i razvoj međunarodne trgovine, kao i uspostavljanje nadnacionalnih organizacija, kao što su Svetska trgovinska organizacija (u nastavku: STO), Međunarodni monetarni fond (u nastavku: MMF), Svetska banka (u nastavku: SB), ali i NATO vojni savez koji je tu da disciplinuje one koji bi da se odupru globalizaciji.

Dakle, globalizacija je menjala svoje pojavne oblike i sredstva sprovođenja tokom istorije, ali su njeni ciljevi uglavnom ostajali isti i u tesnoj vezi su sa dominacijom onih koji je sprovode.

*Održivost* se može definisati i kao sposobnost nastavka određenog ponašanja do beskonačnosti. S druge strane, pojam održivog razvoja se vezuje za izveštaj Bruntlandove komisije Generalnoj skupštini UN, u kojem je održivi razvoj definisan kao „razvoj kojim se zadovoljavaju potrebe u sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe” [1]. U ovom izveštaju je učinjen napor da se povežu pitanja ekonomskog i društvenog razvoja, kao i stabilnosti životne sredine, sa međugeneracijskom jednakošću.

S druge strane, ukoliko bi se posebno razmotrila ekonomska, društvena i održivost životne sredine, zaključilo bi se da je veoma teško ostvariti njihovu pojedinačnu održivost, odnosno razvoj. U prilog ovome je njihov međusobni odnos prikazan na Slici 1.

Jedno od prvih tumačenja pojma globalizacija je da ona predstavlja sažimanje sveta i intenziviranje svesti o svetu kao celini [2]. Mada se globalizacija najčešće koristi u kontekstu ekonomskih odnosa, ona u stvari prevazilazi te okvire, šireći ih na životnu sredinu, politiku, kulturu, društvo i naravno vojnu sferu koje se sve više stavljaju u kontekst globalizacije. Na slici 2 predstavljena su područja koja su obuhvaćena globalizacijom u savremenom svetu.



Slika 1. Mesto održivog razvoja u odnosu na ekonomsku, društvenu i sferu životne sredine



Slika 2. Područja obuhvaćena globalizacijom

Globalizacija, u opštem značenju ima svoje dobre i loše strane, a u nastavku se kao dobre strane izdvajaju sledeće: olakšan pristup celom svetu (tzv. „globalno selo“) po pitanju informacija, znanja, kultura, tehnologija, kao i konkretnim zemljama; ubrzanje privrednog razvoja na svetskom nivou, i dr. S druge strane, kao nepovoljne posledice se mogu istaći: opšta „vesternizacija“ lokalnih i nacionalnih kultura; produbljanje jaza između bogatih i siromašnih, i dr..

Ipak, u temelje globalizacije je ugrađena ekonomska osnova. Nakon II svetskog rata, formiran je GATT,\* sa zadatkom smanjenja trgovinskih barijera, a u cilju intenziviranja ekonomskih aktivnosti i čvršćeg povezivanja zemalja u posleratnom periodu. Na osnovu iskustva iz GATT perioda, 1995. god. sa radom je počela STO,\*\* u koju je danas učlanjeno 164 zemlje iz celog sveta. Odluke

\* GATT: General Agreement on Tariffs and Trade

\*\* Za više detalja pogledati na: <https://www.wto.org>

STO omogućile su brojnim MNK da svoje aktivnosti rašire po celom svetu u potrazi za neophodnim resursima, a u cilju ostvarivanja što većeg profita. U ovoj „potrazi“, druge nadnacionalne organizacije, poput MMF, SB i NATO samo su sredstvo za ostvarivanje njihovog cilja.

Međutim, u procesu globalizacije, značajne i neizbežne su i aktivnosti na ne-ekonomskim područjima, kao što su: politika, društvo, kultura, životna sredina i vojska. Aktivnosti u ovim oblastima direktno su u funkciji ekonomije, odnosno u službi MNK, koje su počele ozbiljno da ugrožavaju trenutni svetski politički poredak.

## 7. GLOBALIZACIJA I KONKURENTNOST

Globalizacija i njeni efekti za „male“ zemlje predstavljaju poseban izazov. Naime, „male“ zemlje po definiciji raspolažu sa skromnim prirodnim, ali i svim drugim resursima koji bi im obezbedili globalnu konkurentnost. Istina, postoje i relativno male zemlje, ali samo po broju stanovnika i površini koju zauzimaju, ali koje su s druge strane „velike“, naročito kada se uzmu u obzir faktori koji utiču na njihovu konkurentnost.

„Male“ zemlje, u punom značenju te reči, a koje su u bliskoj prošlosti prošle ili još uvek prolaze period tranzicije nalaze se u veoma nepovoljnoj situaciji po pitanju konkurentnosti, što se potvrđuje i podacima prikazanim u Tabeli 1. Prema poslednjem izveštaju Svetskog ekonomskog foruma [3], [4], globalni indeks konkurentnosti (u nastavku: GCI) Srbije je 3,97, što je svrstava na 90. mesto od izveštajem obuhvaćenih 140 zemalja sveta.

Tabela 4: GCI za 10 najlošije rangiranih evropskih zemalja za period 2016/2017 nasuprot 2015/2016

Rang (1-140)	Država	GCI (opseg 1- 7)	Rang podindeksa inovativnosti i sofisticiranosti
74 (77)	Hrvatska	4,15 (4,07)	92
79 (82)	Jermenija	4,07 (4,01)	81
80 (93)	Albanija	4,06 (3,93)	106
82 (70)	Crna Gora	4,05 (4,20)	98
83 (65)	Kipar	4,04 (4,23)	68
85 (79)	Ukrajina	4,00 (4,03)	73
86 (81)	Grčka	4,00 (4,02)	70
90 (94)	Srbija	3,97 (3,89)	120
100 (84)	Moldavija	3,86 (4,00)	131
107 (111)	BiH	3,80 (3,71)	122

Iz prethodne tabele se jasno vidi da su najlošije rangirane evropske zemlje po pravilu „male“, sa izuzetkom Ukrajine koja je lošije rangirana zbog geopolitičke neizvesnosti poslednjih godina.

Međutim, situacija na vrhu tabele iz prethodnih izveštaja samo naizgled opovrgava tezu o konkurentnosti „malih“ zemalja. U Tabeli 4. prikazan je redosled najbolje rangiranih zemalja na osnovu GCI indeksa, sa podatkom o broju MNK koje svoje sedišta imaju u njima.

Na ovom mestu potrebno je objasniti šta to „male“ zemlje po pitanju broja stanovnika i teritorije, izdvaja od „malih“ zemalja koje su u rangu „velikih“ po pitanju konkurentnosti.

Na prvom mestu to je svakako broj MNK koje su svoje sedišta našle u njima, i/ili vode poreklo iz konkretne zemlje. Naime, MNK imaju dominantan uticaj na današnje ekonomske i druge tokove u okviru globalizacije. Sa prihodima i profitima koje ostvaruju

**Tabela 5:** GCI za 10 najbolje rangiranih zemalja za period 2016/2017 nasuprot 2015/2016 sa brojem sedišta MNK

Rang (1-140)	Država	GCI (opseg 1- 7)	Rang podindeksa inovativnosti i sofisticiranosti	Broj sedišta MNK *
1 (1)	Švajcarska	5,81 (5,76)	1	32
2 (2)	Singapur	5,72 (5,68)	12	55**
3 (3)	SAD	5,70 (5,61)	2	170
4 (5)	Holandija	5,57 (5,50)	6	58
5 (4)	Nemačka	5,57 (5,53)	3	74
6 (9)	Švedska	5,53 (5,54)	5	23
7 (10)	UK	5,49 (5,43)	9	37
8 (6)	Japan	5,48 (5,47)	4	81
9 (7)	Hong Kong	5,48 (5,46)	23	22
10 (8)	Finska	5,44 (5,45)	7	7

\* Ovi brojevi se razlikuju od izvora do izvora, između ostalog i zbog toga što se u potrazi za boljim uslovima, sedišta MNK sve češće sele u tzv. „poreski raj“.

\*\* U pitanju su (uglavnom) regionalna sedišta inostranih MNK

MNK ne mogu se porediti mnoge zemlje sveta.\*

Međutim, situacija sa MNK ni izdaleka nije tako jednostavna za objasniti, jer su one ostale veoma dinamične organizacije, uprkos svojoj veličini i kapitalom kojim upravljaju. U potrazi za povoljnijim uslovima privređivanja, u koje se moraju ubrojati i povoljnije poreske stope, MNK su se proširile po celom svetu, ali još uvek sa jasnom adresom sedišta u

„zemlji porekla“. Za razliku od MNK, početkom XXI veka pojavila se nova paradigma na globalnom nivou, a to su metanacionalne kompanije. One ne crpe svoju konkurentsku prednost iz svoje domovine i filijala u drugim zemljama, već ceo svet posmatraju u pravom smislu te reči kao „globalno selo“ u kojem se trude da okupe i angažuju neiskorišćene potencijale (stručnjake, tehnologiju,...) koji su im neophodni, bez obzira gde se oni nalaze na planeti, uz istovremeno pomeranje sopstvenog sedišta na mesta sa manjim poreskim obavezama [5].

Inovativnost i sofisticiranost poslovanja ovih „malih“ zemalja iz Tabele 4. (tzv. „ekonomije koje pokreće inovativnost“) uključuje kako zavidan nivo poslovnih relacija, tako i razvijene strateške i operativne modalitete. Po uzoru na najbolju globalnu praksu njihove kompanije kontinuirano unapređuju operativnu efikasnost i razvijaju inovacije u smislu strategijskog pristupa. Zemlje u razvoju imaju privilegiju da svoju produktivnost unapređuju implementacijom modernih tehnologija, što za razvijene zemlje ne važi. U cilju održavanja konkurentne prednosti kompanije razvijenih zemalja prinuđene su da stalno osmišljavaju i razvijaju nove proizvode i procese u okruženju koje podržava razvoj inovativnosti, ulaganja u istraživanje i razvoj, saradnju između visokoobrazovnih institucija i privrede itd.

Smatra se da globalizacija nije posebno vođena, barem u njenom ekonomskom obliku, već da je to korporativni fenomen, jer su privrede pojedinih zemalja bile nedovoljno pristupačne i predstavljale su kočnice razvoja na globalnom nivou. S druge strane, države sa svojim institucijama su se aktivno uključile u modernu globalizaciju tek u kasnijoj fazi, kada je korporativna logika sve više stvarala društvene i razvojne nepravde, uz istovremeno širenje razlika između bogatih i siromašnih. Međutim, čak i veće i jače države, umesto da uvedu pravila koja bi ograničila rastuću moć MNK, neretko one se ponašaju upravo u skladu sa interesima podrške profitnih interesa MNK. Iz ovih, ali i brojnih drugih razloga, opravdano se postavlja pitanje „da li su ovakvo novo ustrojstvo i odnosi među ljudima održivi na duži rok“ [6]? O mogućnostima uticaja „malih“ tranzicionih zemalja na ove tokove, izlišno je i govoriti.

## 8. „MALE“ TRANZICIONE ZEMLJE: ZA I PROTIV GLOBALIZACIJE, U CILJU POSTIZANJA ODRŽIVOG RAZVOJA

„Male“ tranzicione zemlje se ne nalaze pred dilemom da li se uključiti ili ne uključiti u proces globalizacije, jer svako izbegavanje u njeno

\* Prihodi Apple Inc. u 2016. god. su iznosili 215 mld. USD (od čega je profit iznosio preko 84 mld. USD), dok je planirani budžet Republike Srbije za 2017. god. nešto ispod 9,6 mld. USD!

uključivanje direktno vodi u zaostajanje, odnosno u obaranje njene konkurentnosti.\* Pravo pitanje je, u stvari, „kako se uključiti u globalizaciju?“, jer ona pored povoljnosti koje nosi sa sobom, nosi i određene opasnosti, upravo za ovakav tip zemalja.

U prilog uključivanju u proces globalizacije mogu ići sledeće posledice: olakšan pristup novim znanjima, tehnologijama i tržištima; ubrzana modernizacija; liberalizacija ekonomskog i političkog života; uvođenje pravne države i ljudskih prava, itd. S druge strane, nepovoljna strana globalizacije za „male“ tranzicione zemlje bi mogla biti: ograničavanje suverenosti; represivna međunarodna podela rada; tehnološka zavisnost; dužničko i ekološko ropstvo; eksploatacija radne snage i prirodnih resursa; deformisani privredni razvoj; razvoj koji ne vodi računa o društvenoj sferi; materijalistička postavka života, u kojoj je akcenat na radu, proizvodnji i trošenju dobara; formiranje uskog sloja korumpirane političke i ekonomske elite, čitave države postaju oruđe u rukama bogatih, itd. [6], [7].

## 9. ZAKLJUČAK

Postoji puno razloga da se može zaključiti da se svet danas nalazi pred novom, četvrtom tehnološkom revolucijom. Najnovije, super moderne tehnologije već su se pojavile. Veštačka inteligencija već zamenjuje čovekov intelekt u mnogim aktivnostima. Nanotehnologije imaju neslućene mogućnosti primene u veoma različitim oblastima: hemiji, medicini, farmaciji, elektronici, fizici, materijalima pa čak i u slikarstvu. Pametni roboti već leče pacijente od bolesti demencije. Genetski modifikovani prehrambeni proizvodi već su na našim stolovima. Eksperimenti sa fuzijom atoma vrlo brzo će izaći iz laboratorija. A nova naučna čuda se najavljuju.

U isto vreme raste i zabrinutost sve većeg broja ljudi. Postavlja se čitav niz pitanja i traže odgovori. Šta će nam doneti najnovije tehnologije u bliskoj budućnosti? Da li će one biti u funkciji čoveka? Kako sprečiti njihovu zloupotrebu? Da li će povećati ili smanjiti uposlenost? Da li će nove tehnologije stvoriti višak kapitala i kako će on biti raspoređen? Da li će siromašni biti još siromašniji a bogati još bogatiji? Da li će čovečanstvo i svet opstati?

Međutim jedno je sigurno i to je istorija uvek dokazala. Uvek su opstajali oni koji predvode revolucije. Tako je i sa tehnološkim. Opstaće ona društva koja su nosioci razvoja i stvaraoci novih tehnologija. Opstaće oni koji prihvataju tehnološke promene i koji im se prilagođavaju. A oni koji u tome ne učestuju, koji ignorišu razvoj, tehnologiju i nauku ostaće na periferiji. Može čak da im se desi da ih istorija zaboravi.

---

\* Postoje brojni primeri kako kroz istoriju, tako i u novije vreme (Albanija, Kuba, Severna Koreja, Srbija?...)

Globalizaciju su tokom istorije, uvek nametale razvijene i superiorne zemlje, kako u ekonomskoj, tako isto i u vojnoj, političkoj, kulturnoj, sociološkoj, ali i u etičkoj sferi. Rezultati su po pravilu uvek bili u korist razvijenih zemalja, koje su na račun, „manjih“ i „malih“ postajali još superiorniji, povećavajući taj jaz. Istina, i inferiorne zemlje su imale određene koristi od efekata globalizacije, ali na duži rok, negativni efekti su preovlađujući.

„Malim“ zemljama koje su prošle ili prolaze kroz tranziciju, odnosno promenu privrednog i društvenog sistema, nije nimalo lako da nađu svoje mesto u globalizovanom svetu, da zadrže ili čak i unaprede svoju konkurentnost, uz istovremeno očuvanje svojih prirodnih i drugih resursa [8].

U jednoj od poslednjih etapa globalizacije, kada je ceo svet postao globalno tržište, procesom globalizacije više ne upravljaju konkretne države, već MNK, nadnacionalne i finansijske institucije. U ovom procesu, čak i razvijene zemlje, gube neke svoje ingerencije, dok su „male“, a pogotovu tranzicione zemlje prepuštene na njihovu milost i nemilost.

## 10. LITERATURA

- [1] Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations. 1987.
- [2] Robertson, R. Globalization: Social Theory and Global Culture. Sage Publications. 1992.
- [3] Schwab, K. The Global Competitiveness Report 2016-2017. Geneva: World Economic Forum. 2015. Preuzeto sa: [http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global\\_Competitiveness\\_Report\\_2015-2016.pdf](http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/Global_Competitiveness_Report_2015-2016.pdf)
- [4] Schwab, K. The Global Competitiveness Report 2016-2017. Geneva: World Economic Forum. 2016. Preuzeto sa: [http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017\\_FINAL.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017_FINAL.pdf)
- [5] Doz, Y., Santos, J., Williamson, P. From Global to Metanational: How Companies Win in the Knowledge Economy. Boston/MA: Harvard Business School Press. 2001.
- [6] Karlić, I. Dvoznačnost fenomena globalizacije. Filozofska istraživanja. 113 God. 29, Sv. 1, 87-106. 2009.
- [7] Trkulja, J. Globalizacija kao potčinjavanje ili šansa. U Pantelić, I., Pavićević, V., Petrović, V. i Milovanović, G. (Ur.), Aspekti globalizacije: zbornik eseja (str. 19-24). Beograd: Beogradska otvorena škola. 2003. Preuzeto sa: <http://www.bos.rs/materijali/aspekti.pdf>
- [8] Mićunović, G., Novaković, N., Stefanović, G. Globalizacija i njen uticaj na zemlje u razvoju. Synthesis 2015. pp. 345-348. 2015.
- [9] Pokrajac S. , Tehnologija, tranzicija i globalizacija, SNSE, Beograd.

# АНАЛИЗА ЕКОНОМСКИХ ПАРАМЕТАРА ТРЖИШТА СРБИЈЕ И ПОРЕЂЕЊЕ СА ЗЕМЉАМА КОЈЕ ЈЕ ОКРУЖУЈУ

## ANALYSIS OF THE ECONOMIC PARAMETERS OF THE SERBIAN RETAIL MARKET AND COMPARISON WITH THE COUNTRIES IN SURROUNDING

M.Sc. МИЛА КАВАЛИЋ, Ph.D. студент  
M.Sc. МАРКО ВЛАХОВИЋ, Ph.D. студент  
Др ДЕЈАН ЂОРЂЕВИЋ, редовни професор  
Др ДРАГАН ЂОЋКАЛО, ванредни професор  
Др САЊА СТАНИСАВЉЕВ, асистент

Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin”, 23000 Zrenjanin, Đure Đakovića bb, Republika  
Srbija

### REZIME

У раду је представљено економско стање Србије и земаља у региону по одређеним параметрима. Да бисмо лакше разумели резултате тржишта малопродаје у Србији, морали смо пронаћи адекватно поређење, односно једну или више земаља у односу на које ћемо посматрати наше резултате. Због културног и геоекономског, али и других фактора, велике разлике у односима са најразвијенијим земљама света, Србија је упоређена са свим земљама које је окружују. У раду смо сагледавали економску ситуацију на тржишту Србије и земљама у региону кроз неке од кључних параметара тржишта малопродаје робе широке потрошње; тржиште малопродаје по глави становника, тржиште малопродаје робе широке потрошње по глави становника, потрошачка снага по глави становника, номинални бруто друштвени производ по глави становника и реални бруто друштвени производ. Према анализираним параметрима може се видети да Србија, барем према овим показатељима, спада у групу земаља са Албанијом, Босном и Херцеговином и Македонијом. Бугарска, Румунија и Црна Гора су нешто развијеније земље од три претходно поменутих, док су Мађарска и Хрватска, према параметрима које смо представили далеко најразвијеније земље у региону.

**Кључне речи:** тржиште Србије, економски параметри, бенчмаркинг тржишта.

### ABSTRACT

In this paper is presented the economic situation in Serbia and the countries in the region. To help us understand the results of the retail market in Serbia, we had to find a real benchmark, and one or more countries for comparison of our results. Because of the cultural, geo economic, and other factors, significant differences in relations with the most developed world countries, Serbia is compared to all the countries in surroundings. In this paper, we have analyzed the economic situation in Serbia and the countries in the region through some of the key parameters retail markets of consumer goods; retail market of consumer goods per capita, spending capacity of retail market of consumer goods per capita, nominal GDP per capita and real gross domestic product. According to the analyzed parameters we can see that Serbia, at least according to these indicators, belongs to the group of countries with Albania, Bosnia and Herzegovina and Macedonia. Bulgaria, Romania and Montenegro are somewhat more developed countries of the three previously mentioned, while Hungary and Croatia, according to the parameters which we have presented are the most developed countries in the region.

**Key words:** retail market, economic parameters, benchmarking, Serbia.



## 1. UVOD

Србија се налазила у дубокој економској кризи која се испољава преко смањења бруто домаћег производа, драстичног пада индустријске производње, драстичног пада грађевинске активности, знатног пада инвестиција, високог смањења извоза, увозног репродукционог материјала, а посебно опреме, огромне неликвидности у привреди, све већег броја предузећа са блокираним рачунима, израженом повећању незапослених лица и лица која живе у бедности итд. Светска економска криза јесте допринела ескалацији економске кризе у Србији. Међутим, знатно већи допринос тој кризи има друштвена криза, а посебно погрешан модел привредних реформи који је усвојен и који се примењује од почетка 2001. године. Најважнији узрок тешке економске кризе је погрешан концепт реформи који се форсира од почетка 2001. године и који има врло озбиљну конструкциону грешку, па је његова примена довела привреду у стање тзв. „холандске болести“, што се најбоље испољава кроз поражавајуће разне показатеље њене конкурентности. Неприхватљива је, врло штетна, па и опасна илузија званичника и бројних економиста да је економска криза у земљи искључиво последица светске економске кризе и да ће она релативно брзо бити превазиђена [21].

Глобална економска криза је оставила велики број последица. Да би се оне превазишле, потребно је у посткризном периоду спровести различите мере на макроекономском и микрокономском нивоу. Велики број развијених земаља и земаља у развоју је као кључне полуге у посткризном периоду препознао сектор малих и средњих предузећа (МСП), тако да је највећи број мера макроекономске политике усмерен на подстицање његове конкурентности. У прошлости мала и средња предузећа су конкурентску предност углавном градила фокусирањем на специфичне тржишне нише, фрагментиране гране или вођством у трошковима, док у савременим условима пословања све значајнији извор њихове конкурентности постаје способност иновирања. Међутим, пошто су капацитети малих и средњих предузећа за увођење технолошких иновација углавном ограничени, потребна је јака макроекономска подршка за повећање иновативности МСП [9].

Мере штедње које су наметнуте у многим земаљама кроз различите програме фискалне консолидације, након периода примене значајног фискалног стимулисања у борби против глобалне економске рецесије (2007-09), у Србији имају своје специфичности. Оне се не односе само на изузетно неповољна економска кретања у којима их није једноставно применити, већ и на изворе

фискалних проблема који нису само последица фискалне стимулације ради превазилажења рецесије, већ и коришћења фискалне политике у политичке сврхе (тзв. политички буџетски циклуси), као и примене погрешног модела развоја заснованог на домаћој тражњи који је био комплементаран овим злоупотребима фискалне политике. инфлације и одређена расподела дохотка, док се као политички циљеви јављају: опортунистички и страначки [15].

Предузећа се морају константно прилагођавати променама на тржишту уколико желе остварити конкурентску предност. С обзиром на данашње убрзано тржиште које никада не мирује, где се промене стално одвијају у складу с жељама и потребама потрошача, битно је моћи препознати где се предузеће налази како би могли остварити конкурентску предност и тиме осигурати и тржишни удио и сталан профит. Како би предузеће пословало по жељи, мора смањити преговарачку моћ добављача како би онемогућили могуће претње ценама са стране добављача. Затим је потребно анализирати конкуренцију унутар индустрије и покушати препознати могуће претње од уласка нових конкурената [12].

Конкурентност предузећа је у нераскидивој вези са конкурентношћу и економским стањем земље. Добра анализа конкуренције је веома битна али оно што ми истичемо као кључну ствар од које је потребно почети је видети где се Србија налази у поређењу са другим земљама што се тиче економске ситуације. Сходно томе проценити која тржишта су конкурентна и у којој мери у поређењу са нашим.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

### 2.1. ПРЕДМЕТ И ПРОБЛЕМ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања представља економско стање Србије кроз тржиште малопродаје робе широке потрошње. Да бисмо лакше разумели резултате тржишта малопродаје у Србији, морамо пронаћи прави бенчмарк, односно једну или више земаља у односу на које ћемо посматрати резултате Србије. Проблемима којима се бавимо у овом раду базирају је на томе да ли је на тржишту дошло до било каквих промена. Проблем сагледавамо кроз кључне параметаре тржишта малопродаје робе широке потрошње и покушаћемо да констатујемо да ли је и у тим параметрима дошло до структурних промена.

## 2.2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Циљ истраживања представља сагледавање у којој мери, који параметри утичу на економско стање српског тржишта малопродаје робе широке потрошње. Циљ истраживања усмерен је да се путем бенчмаркинга процени где се налази српско тржиште малу односу на земље у региону.

## 2.3. МЕТОД И ОРГАНИЗАЦИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Резултати тржишта малопродаје у Србији и земаља у региону које смо посматрали, обрађени су и представљени статистички, након чега су дескриптивно анализирани. Због културног и геоекономског, али и других фактора, велике разлике у односима са најразвијенијим земљама света, Србија је упоређена са свим земљама које је окружују (Албанија, Босна и Херцеговина, Бугарска, Хрватска, мађарска, Македонија, Црна Гора, Румунија). Тржишта малопродаје посматрали смо кроз период од 10 година од 2007 до 2016 године кроз 9 економских параметара (тржиште малопродаје по глави становника, тржиште малопродаје робе широке потрошње по глави становника, потрошачка снага по глави становника, номинални бруто друштвени производ по глави становника, реални бруто друштвени производ. Метода којом смо посматрали једну или више земаља у односу на постављене економске параметре представља бенчмаркинг.

## 2.4. ИСТРАЖИВАЧКА ПИТАЊА

На основу представљеног предмета и проблема истраживања, произашла су следећа истраживачка питања:

ИП1: Каква је економска ситуација на тржишту Србије и земљама у региону?

ИП2: Колико је тржиште малопродаје по глави становника?

ИП3: Колико је тржиште малопродаје робе широке потрошње по глави становника?

ИП4: Колика је потрошачка снага по глави становника?

ИП5: Колико износи номинални бруто друштвени производ по глави становника?

ИП6: Колико износи реални бруто друштвени производ?

## 3. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА

Сведоци смо да је у 21. веку дошло до значајних промена у трговинском окружењу, што је резултирало стварањем нових оквира и услова за развој и функционисање трговине. Сходно томе, анализа индикатора ефеката трговине на мало, на нивоу поједине земље, је важна за

процену прилагођавања постигнутог степена развоја трговине на мало, до нивоа свеукупног економског развоја. Ове информације су важне и за привредне субјекте у области трговине и за актере у економској политици.

Глобална економска криза снажно утиче на успоравање привреде у свету због ефеката смањене тражње у развијеним економијама. Пад тражње на европском тржишту негативно је утицао на спољну трговину Србије и економски раст. Смањење потражње за извозом, смањење индустријске производње, смањење плата и растућа незапосленост су главне одлике кризе која је обухватила Србију. Србији су потребне структурне реформе на свим нивоима како би се повећала конкурентност привреде, која је сада на ниском нивоу. У последњој деценији економски развој Србије заснива се на интеграцији на европском и глобалном тржишту и страним директним инвестицијама. Додатни утицај кризе у Србији био је значајан недостатак страног капитала, који је резултат опадања инвестиционог поверења у банкарски систем, а који се манифестовао повлачењем страних средстава из финансијског система и смањењем девизне ликвидности. Оживљавање српске привреде може се очекивати увођењем нових реформи, економских мера. Поред смањења фискалног дефицита и штедње, очекује се и стварање повољног пословног окружења за инвестиције и пословање. Политичка и економска стабилност је основа за привлачење страних директних инвестиција [14].

Ова економска криза је у великој мери утицала на домаћу економску стабилност економија западног Балкана. Према Јаћимовићу Д. овај регион је уско повезан са Европском унијом, па се криза врло брзо ширила регионом кроз смањење регионалног извоза на тржиште ЕУ и кроз тренд опадања прилива страних директних инвестиција у регион. Економије Западног Балкана имају ниску конкурентску позицију на европском и светском тржишту, али ова криза још више погоршава њихову позицију. Током времена кризе, све земље региона су се нашле у веома крхком и рањивом положају, суочавајући се с врло ниским нивоима СДИ и смањењем вредности извоза [10].

Данас се српско друштво суочава са дубоком и дуготрајном друштвено-економском кризом. Српска влада, како би спречила економски колапс, намерава да уведе „нове реформе“ усмерене на финансијску консолидацију и јачање нових, првенствено страних инвестиција. Прве мере „пакета реформи“ биће у смањеним платама које се исплаћују појединцима који су запослени у јавном сектору и смањењу пензије особа које добијају пензије из јавних фондова за пензију. Спровођењем ових мере резултовало је позитивним ефектима и предвиђа се повећање

наклада. Српски политички лидери сматрају да су „изградња социјализма“, „самоуправљање радника“ и „социјалистичког егалитаризма“ кључни узроци дуготрајне друштвено-економске кризе у Србији. Чини се да су „радни људи“, који су, наводно, подржавали ранији социјалистички поредак, били корисници тог реда. Зато стварне мере за смањење владиних трошкова треба похвалити. Болчић, С. предлаже алтернативну стратегију у суочавању са дуготрајном друштвено-економском кризом у Србији, стратегијом повећања, ефикасности и коришћења свих расположивих средстава. Нови и револуционарни редизајн власничких односа у друштву се сматра кључном мером ове стратегије [1]. Малопродajни ланци у Србији направили су значајан помак на тржиштима само због значајних промена у малопродajним мрежама. Њихова маркетиншка стратегија, која се састоји од великог броја промотивних активности и квалитета услуга, у овом тренутку не може обезбедити раст тржишног удела који се очекује. Управо зато што се види да је у протеклих неколико година, само уз развој малопродajне мреже, дошло и до раста тржишног удела.

Када посматрамо Босну и Херцеговину као земљу са којом се граничимо и са чијом привредом можемо да се поистоветимо, најбоље је да сагледамо резултате досадашњих истраживања о анализи и перспективама развоја малопродaje. Резултати анализе су потврдили ту чињеницу да се Босна и Херцеговина, у сегменту трговине и малопродaje, као и већина земље у развоју, суочава са проблемима. То указују чињенице да се у свим аспектима анализе, почевши од учешћа у БДП, промета на мало, броја запослених и броја радних места у Босни и Херцеговини може приметити да Босна и Херцеговина заостаје за свим другим одабраним земљама југоисточне Европе и европске земље које смо користили у анализи. Разлоге треба тражити у трговинској политици и генерално у развојној политици земље, као и у савременим процесима глобализације и интернационализације и, у том контексту, спремности локалних трговаца да се успешно прилагоде овим процесима [17].

Према Несторовић, О. стране директне инвестиције доприносе привредном расту у транзицији, долази се до веома интересантних корелација. Постојање позитивне корелације између нивоа страних директних страних улагања и економског учинка и конкурентности привреде, евидентно је у бројним студијама које су истраживале ову тему, али постоје и супротни ставови. Повећање страних директних инвестиција у земљу домаћина не значи позитиван утицај на економски раст, али зависи од многих фактора као што су људски капитал, развој финансијске структуре, макроекономска

стабилност и њени институционални фактори [13].

Релативни ниво фискалних прихода у односу на укупни домаћи производ или национални доходак је централни индикатор којим се успоставља национална економија. Овај индикатор је „порески однос“. Тенденција готово сваке економске и посебно фискалне политике је да овај индикатор изражава оптималан однос између дела домаћег производа или националног дохотка, који се намерава користити за решавање јавних потреба и општи економски агрегат друге економске категорије. Његов посебан значај лежи у концепту средњорочног или дугорочног друштвеног и економског развоја. Неопходно је одредити оквир глобалне дистрибуције домаћег производа или националног дохотка, што је прихватљиво, с једне стране, са становишта уравнотеженог и стабилног економског раста, а с друге стране са становишта балансирања интересовања свих друштвених структура модерних мешовитих друштава [13]. Економска наука је развила читав систем такозваних макроекономских агрегата - систем одређених глобалних и синтетичких показатеља којима се изражавају основни садржаји, динамика и структура, као и резултати економске активности у некој држави односно друштвеној заједници. Њихове апсолутне величине пружају информације о снази привреде националне заједнице као и о могућностима њеног привредног развоја [13].

Економска политика у Србији у последњих петнаест година конципирана је и спровођена доминантно на доктринарним постулатима неолибералистичке економске доктрине. Државни интервенционизам који се с времена на време појављивао темељио се, а и данас се темељи на Кензијанизму него на неолибералној концепцији ублажавања негативних ефеката економских криза кроз интервенције у фискалној и монетарној равни. Стратегија економске политике се заснивала, а и даље заснива на спровођењу модела потпуне приватизације, дерегулације и либерализације. Повлачење државе из непосредне економске активности кроз власништво над предузећима оправдава се њеном економском неефикасношћу. Истовремено полази се од претпоставке да ће приватна својина по аутоматизму са успостављањем либералног саморегулишућег тржишта фактора производње, довести до економског раста, развоја а самим тим и до оптималног нивоа запослености. Економска теорија, нарочито њен критички део, нема прецизну и јаснију концепцију у вези са потребама, условима и претпоставкама одржавања државне својине у реалном сектору. Повлачење државе из реалног сектора оправдава се негативним ефектима уплитања политичког фактора у управљању расположивим ресурсима. Резултати до сада вођене економске политике

темељене на доктрини нелиберализма су неодрживи: индустријска производња је занемарена, раст домаћег бруто производа је недовољан, незапосленост и спољна задуженост су високи, а раст сиромаштва перманентан [2].

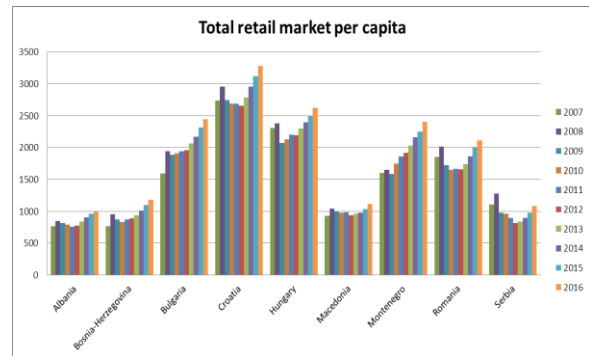
Транзициони процеси који су захватили земље југоисточне Европе су резултирали неуједначеним ефектима. Републике бивше СФРЈ су транзицију започеле на приближно истом степену развоја, изузев развијеније Словеније, а почетком ХХИ века, неке су чланице Европске уније, док су друге убрајају у најсиромашније државе у Европи [2]. Кључна обележја актуелних трговинских односа Србије са иностранством су висок и растући спољнотрговински дефицит и веома мали број извозних партнера. Чињеница да Србија скоро читав свој невелики извоз пласира на тржишта Италије, Немачке и три бивше чланице СФРЈ, указује на потребу за географском диверзификацијом извоза. За превазилажење бројних слабости спољне трговине Србије од кључног значаја је проналажење нових или ревитализација ранијих тржишта [18].

Директна страна улагања један су од најефикаснијих начина постизања међународног тока капитала с циљем привлачења капитала потребног за развој с једне стране, и диверзифицираног улагања с циљем остварења профита с друге стране. По дефиницији Међународног Монетарног Фонда, тако директно страном улагање је свако дугорочно улагање у предузеће, било економском или некономском сектору, правна или физичка особа, остварује минимално 10% - ти власнички удео у резидентном подuzeћу [13]. Најбитније карактеристике страних улагања су трансфер капитала, знања, know-howa, остваривање зарада и опште друштвене користи за обе укључене стране. Облици страних улагања су различити, класификују се као хоризонтална и вертикална улагања, гринфилд и браунфилд (greenfield и brownfield) улагања и тако даље, а најпожељнијом врстом улагања сматра се гринфилд улагање јер омогућава стварање нове вредности. Проматране земље су земље Југоисточне Европе – Албанија, Босна и Херцеговина, Бугарска, Хрватска, Црна Гора, Македонија, Румунија и Србија. Све наведене земље су земље које су биле захваћене транзицијом, за чији су се раст препоруке односиле на ефикасно провођење приватизације, осигурање приступа капиталу, умрежавање, осигурање приступа међународним компанијама и развој модерних технологија.

#### 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА ИСТРАЖИВАЊА

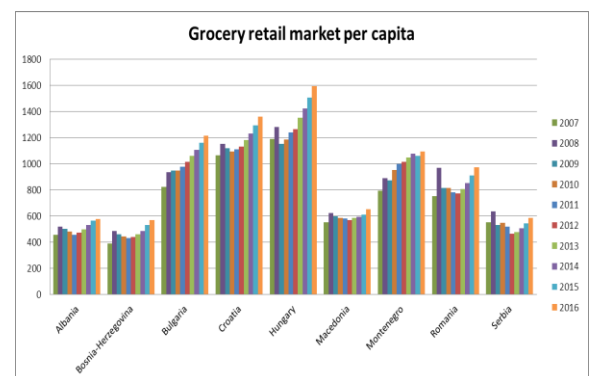
У наставку рада биће представљено економско стање Србије и земаља у региону кроз постављена истраживачка питања.

**Величина тржишта малопродаје по глави становника** - Као што се на сл.1 (слика 1.) може видети, Србија, од земаља које су представљене, спада у групу најнеразвијенијих и у рангу је са Албанијом, Босном и Херцеговином и Македонијом. Као што се на графикону такође може видети, према овом параметру, лидери овог региона Европе је Хрватска, а следе је Мађарска, Бугарска и Црна Гора.



Слика 1. Укупно тржиште малопродаје по глави становника; Извор: IGD global retail analysis [3]

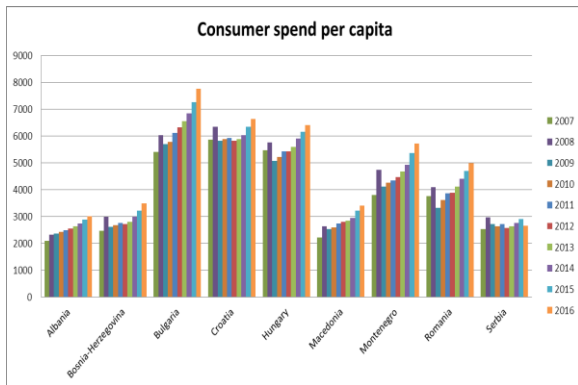
**Тржиште малопродаје робе широке потрошње по глави становника** – И према овом параметру јасно се види да Србија спада у ред земаља које озбиљније заостају за тзв. лидерима региона што је приказано на сл. 2. (слик 2.). Лидер региона по овом параметру је Мађарска. Земља које је прва отворила границе према Европи и на тај начин остварила присуство највећих светских трговинских ланаца. Због релативно добре развијености тржишта малопродаје робе широке потрошње и релативно здраве економије, овој земљи се предвиђа да ће тренд високог раста наставити и у будућности.



Слика 2. Укупно ФМЦГ тржиште малопродаје по глави становника; Извор: IGD global retail analysis [4]

**Потрошња по глави становника** – Када је у питању потрошња по глави становника можемо видети готово идентичну сл.3. (слика 3.) као и на претходна два графикона. Хрватска, Мађарска и

Бугарска “предводе” овај регион, док Србија, Македонија, Албанија и Босна и Херцеговина значајно заостају у односу на остале земље. Србија је једина држава у овом регион од које се, према проценама ИГД глобалне малопродатне анализе портала, не очекује повећање потрошачке моћи купаца.



Слика 3. Потрошачка финансијска “снага” по глави становника; Извор: IGD global retail analysis [5]

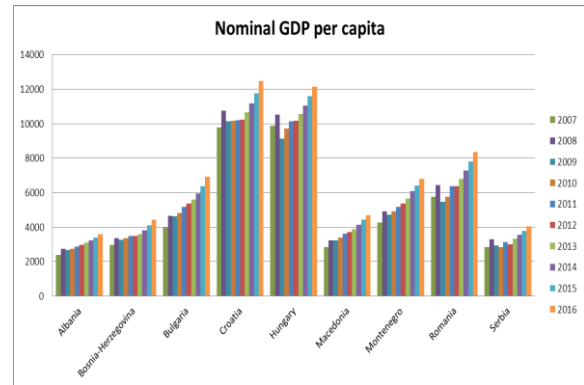
**Бруто друштвени производ - БДП** представља добро мерило економског благостања јер људи преферирају већи у односу на мањи доходак. Он представља тржишну вредност свих финалних добара и услуга произведених у једној земљи у одређеном временском периоду. Бруто друштвени производ се састоји од четири компоненте издатака:

1. Потрошња - Издаци домаћинстава на добра и услуге с изузетком куповине новог стамбеног простора
2. Инвестиције - Издаци на производну опрему, залихе и грађевинске објекте, укључујући и куповину новог стамбеног простора
3. Државни издаци - Издаци за добра и услуге локалних власти, власти федералних јединица и федералне владе. Државни издаци не укључују трансферна плаћања с обзиром на то да се она не обављају у замену за неко добро или услугу из текуће производње
4. Нето извоз – остварен годишњи извоз, умањен за укупан увоз.

У економској теорији постоје номинални и реални бруто друштвени производ. Номинални БДП мери вредност производње добара и услуга у економији на основу текућих цена, док реални БДП мери вредност производње добара и услуга у економији на основу константних цена из базне године.

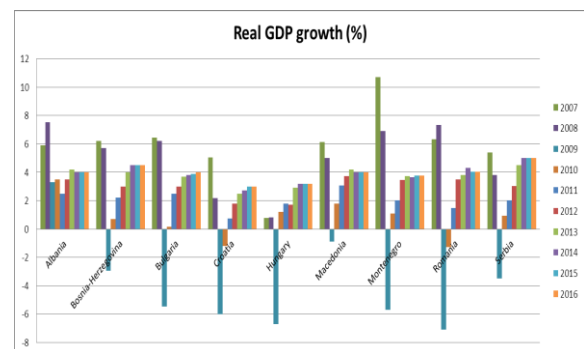
**Номинални БДП по глави становника** – Уколико посматрамо сл.4. (слика 4.) номиналног БДП по глави становника можемо да запазимо да су Хрватска и Мађарска најразвијеније земље у

овом делу Европе, јер је њихова привреда у стању да произведе робе и услуге у највећој вредности по глави становника. Приметно је да све земље имају тренд раста, што је, како се претпоставља делимично подстакнуто и растом цена, односно повећаном инфлацијом.



Слика 4. Номинални бруто друштвени производ по глави становника; Извор: IGD global retail analysis [6]

**Реалан бруто друштвени производ** – Уколико погледамо сл.5. (слика 5.) која у процентима показује раст (или пад) реалног бруто друштвеног производа видећемо једну сасвим другачију слику од претходне. Да се подсетимо, реални БДП мери вредност производње добара и услуга у економији на основу сталних цена из базне године. Земље које је светска финансијска криза најснажније погодила су Румунија, Мађарска, Хрватска, Црна Гора и Бугарска, а овакав тренд је, генерално процењујући, настао пре свега због високог удела услуга у расту реалног бруто друштвеног производа, и слабијег удела реалног сектора. Привреда ових земаља није имала снаге да, у годинама светске финансијске кризе, надокнади драстичан пад туризма у овим земљама и оне су 2009 годину завршиле са негативним растом реалног бруто друштвеног производа.



Слика 5. Реалан Бруто друштвени производ по глави становника; Извор: IGD global retail analysis [7]

## 5. ЗАКЉУЧАК

На основу сагледаног економског стање Србије и извршеног бенчмаркинга са земаља у региону, може се закључити да Србија, спада у групу земаља са Албанијом, Босном и Херцеговином и Македонијом. Бугарска, Румунија и Црна Гора су нешто развијеније земље од три претходно поменутих. Земље које представљају најбрже растућа тржишта малопродаје у региону јесу Мађарска и Хрватска, које могу Србији да послуже као пример добре праксе малопродајног тржишта. У раду смо сагледали економску ситуацију на тржишту Србије и земаља у региону кроз неке од кључних параметара тржишта малопродаје робе широке потрошње; тржиште малопродаје по глави становника, тржиште малопродаје робе широке потрошње по глави становника, потрошачка снага по глави становника, номинални бруто друштвени производ по глави становника и реални бруто друштвени производ. Било би значајно пропратити кретање тржишта малопродаје и у будућности сагледати да ли постоје још неки параметри који могу бити кључни за праћење и развој тржишта малопродаје.

## 6. LITERATURA

- [1] Болчић, С. "Зашто је данашња Србија пред (економским) колапсом?". Социологија, 57(1), 90-111, 2015.
- [2] Драшковић, Б. "Неолиберална доктрина и економска политика у Србији". 15/31. 2015.
- [3] IGD global retail analysis. Internal date "The total retail market per capita". 2015.
- [4] IGD global retail analysis. Internal date "Total FMCG retail market per capita". 2015.
- [5] IGD global retail analysis (2015). Internal date "Consumer financial "power" per capita".
- [6] IGD global retail analysis (2015). Internal date "Nominal gross domestic product per capita".
- [7] IGD global retail analysis (2015). Internal date "Retail Gross domestic product expressed in percents".
- [8] IMF International Monetary Fund (2015). Definition of foreign direct investment (FDI) Terms, (DITEG), Ed.), <https://www.imf.org/External/NP/sta/bop/pdf/diteg20.pdf>
- [9] Ивановић-Ђукић, М., Лазић, М. Encouraging Innovativeness of Small and Medium Enterprises in Serbia to Support Competitiveness Improvement in the Post-Crisis Period. Economic Themes, 52(1), 51-64. 2015.
- [10] Јаћимовић, Д., Бјелић, П., Марковић, И. Утицај светске економске кризе на међународне инвестиционе и трговинске токове у региону Западног Балкана. Economic Themes, 51(1). 2013.
- [11] Ловре, И. К. Анализа ефикасности у јавном сектору (Докторска дисертација, Универзитет Едукокс, Факултет пословне економије). 2016.
- [12] Лукић, Р. "Анализа фактора који утичу на креирање додатне вредности као показатеља учинка пословања трговине у Србији". Економска мисао и пракса, (1), 103-128. 2015.
- [13] Несторовић, О. Да ли стране директне инвестиције доприносе привредном расту земаља у транзицији?. Economic Themes, 53(2). 2015.
- [14] Петровић, П., Весић, Д. Impact of global economic crisis on Serbia's economic development, [Пројекат Министарства науке Републике Србије: Србија у савременим међународним односима: Стратегијски правци развоја и унапређивање положаја Србије у међународним интеграционим процесима - спољнополитички, међународни економски, правни и безбедносни аспекти], 67(1), 106-127. 2015.
- [15] Прашчевић, А. "Политичка економија фискалне консолидације у Србији". Економска политика Србије у 2015., 87. 2015.
- [16] Савић, М., Павловић, Н., Милановић, М. "Analytic use of Analytic use of macroeconomic aggregates". Mining and Metallurgy Engineering Bor, (1), 97-116. 2015.
- [17] Сендић, Р. "Анализа стања и перспективе развоја малопродаје у Босни и Херцеговини". Сарајево Sarajevo Business and Economics Review, 30, 660. 2010.
- [18] Станојевић, Н. "Диверзификација извозних тржишта Србије – Потенцијали за извоз у земље Каспијског Басена". 53(2), 283-302. 2015.
- [19] Стојановић, А. "Theoretical and Methodological Aspects of Optimization of Relationship between Economic Potential and Sources for Public Needs Settlement". Economics, 4(1), 59-72. 2016.
- [20] Влаховић, М., Кавалић, М., Борић, С., Станисављевић, С., Ђурчић Н. "The impact of the number of retail outlets on the market share of consumer goods' retail brands" UDC: 339.188.2., Journal of engineering and competitiveness (JEMC) Vol. 6, No. 1, 2016, 36-45. 2016.
- [21] Вујовић, Д. "Економска политика у време кризе-изазови, ограничења", парадокси. Економика предузећа, 57(1-2), 36-42. 2009.



МИОМИР ВУКОБРАТОВИЋ  
(1931 – 2012)

За изузетне резултате које је остварио, пре свега из области роботике, академик Миодраг Вукобратовић добио је велики број домаћих и иностраних признања и награда. Проглашен је за почасног доктора наука Техничког факултета у Темишвару, Далекоисточног техничког универзитета у Владивостоку, Универзитета у Москви. За пионирске радове и резултате у рехабилитационој роботизи добио је Награду “Јозеф Енгелбергер”, Медаљу “Никола Тесла” првог реда, Орден Светог Саве првог реда. За монографију “Динамичка контрола манипулатора” коју је објавио са коаутором Д. Стокићем добио је 1976. године Октобарску награду града Београда. Академик Вукобратовић је добитник и највећих државних награда. Седмојулску награду добио је 1976. године, а Награду АВНОЈ-а 1982. године.

# ANALIZA ODLUKA

## ANALYSIS OF DECISIONS

Dr PETAR SUBIĆ

Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

### REZIME

Cilj ovog rada je da ukaže da analiza odluka može biti korišćena za određivanje uspešnosti preporučenih alternativnih odluka ili optimalne strategije kada se donosilac odluka susreće sa nepouzdanim i rizičnim obrascima realizacije događaja u budućnosti. Cilj analize odluke je da identifikuje najbolju alternativu odlučivanja ili što optimalniju strategiju odlučivanja, da da informacije o nepovoljnim događajima sa mogućim posledicama ili isplativosti. Radi ocenjivanja rezultata realizacije predloženih odluka analiza odluka treba da uzme u obzir i rizik prioriteta donosilaca odluka. U radu se ukazuje na osnovne informacije o tome kako tabela isplativosti i drvo odlučivanja mogu biti korišćeni za strukturiranje problema odlučivanja, za sagledavanje odnosa između različitih odluka, za određivanje verovatnoće realizacije odluka i za posledice.

**Ključne reči:** Poslovna analitika, analiza odluka, tabela isplativosti, drvo odlučivanja

### ABSTRACT

The goal of this paper is to direct attention to the decision analysis that can be used to determine a recommended decision alternative or an optimal decision strategy when a decision maker is faced with an uncertain and risky pattern of future events. The goal of the decision analysis is to identify the best decision alternative or the optimal decision strategy, given information about the uncertain events and the possible consequences or payoffs. In evaluating outcomes to realize the proposed decision business on analyst should consider the risk preference of the decision maker. In this paper there are pieces of basic information which show how payoff tables and decision trees could be used to structure a decision problem, describe the relationships among the decisions, the chance events, and the consequences.

**Key words :** business analytics, decision analysis, payoff tables, decision trees.

### 1. UVOD

Cilj ovog rada je da studentima završnih godina studiranja pruži više informacija o načinu rada tehnika i alata deskriptivne, prediktivne i preskriptivne analitike prilikom analize poslovanja preduzeća. Rad je urađen na osnovu navedene raspoložive literature.

Okruženje u kome donosilac odluke odlučuje po pravilu je veoma kompleksno i dinamično i to nezavisno od toga da li se radi o poslovnom odlučivanju na srednjem ili najvišem menadžment nivou. Osnovni razlog te složenosti leži u činjenici što je izuzetno teško razumeti i shvatiti prirodu i okolnosti odigravanja činilaca koji utiču na sve alternative odlučivanja za posmatrani problem. Ti činioци mogu biti ekonomski, kulturološki, institucionalni, socijalni, tehnički i činioци okruženja. Njih je teško predvideti i proceniti verovatnoću

njihovog odigravanja. Analiza odluka daje okvir za rešavanje problema odlučivanja sistematskim logičnim uravnoteženjem svih činilaca koji uticu na odluku. (Čupić i sarad, 2010: 56).

Osnovna karakteristika poslovne analitike je da doprinosi donošenju najkorisnijih odluka. Alati i tehnike poslovne analitike se projektuju da pomognu donosiocima odluka prilikom analiziranja raspoloživih podataka, u predviđanju budućeg načina rada i predlaganju odluka. U ovom radu se razmatraju oblasti znanja analize odluka koja mogu biti korišćena za razvoj što optimalnije strategije u slučajevima kada se donosilac odluka susreće sa nekoliko alternativnih odluka i neizvesnosti ili različitih uslova poslovanja u budućnosti. Npr. pri proceni različitih mogućih alternativa i radi razumevanja mogućih izvora neizvesnosti, preduzeće može koristiti tehnike analize odluka u cilju izbora najbolje odluke.



Tehnike analize odluka se mogu koristiti u veoma različitim analitikama. Tako npr. analiza odluka može biti korišćena za upravljanje poverljivih izvora informacija o karakteristikama farmaceutskih proizvoda, koji zahtevaju dug period razvoja i imaju relativno visok nivo neizvesnosti. Državni organi mogu koristiti analizu odluka za ocenu mogućih rizika od napada terorista i za preporuku odluke za njihovo spečavanje. Analiza odluka može biti korišćena za procenu realizacije otkrivenih medicinskih testova za otkrivanje poremećaja metabolizma.

Analiza odluka može biti realizovana veoma prezizno ali neizvesnost budućih događaja mogu uticati da krajnji rezultat ne bude u potpunosti pod kontrolom donosioca odluke. U jednom slučaju, izabrana alternativa odluke može obezbediti dobar ili neizvestan rezultat. U drugom slučaju, relativno nepovoljan budući događaj koji se može dogoditi može prouzrokovati da izabrana alternativna odluka obezbedi samo prosečan ili čak loš rezultat. Rizik povezan sa nekom alternativom odluke je neposredno povezan sa neizvesnošću ostvarenja krajnjeg rezultata poslovanja. Dobra analiza odluka obuhvata temeljno razmatranje rizika. Putem analize rizika, donosilac odluke je obezbeđen sa informacijom o verovatnoći o pogodnom ili nepovoljnom rezultatu koji se može dogoditi. (Camm i sarad. 2017: 752-756).

U ovom radu, razmatranje analize odluka počinje sa ukazivanjem na problem koje obuhvata analizu nekoliko alternativnih odluka i na predviđanje nekoliko mogućih budućih događaja. Tabela isplativosti i drvo odlučivanja su predstavljeni da bi se obezbedila struktura problema odlučivanja i da ilustruju osnove analize odluka. Drvo odlučivanja se koristi za analizu mnogo složenijih problema za identifikovanje optimalnog niza odluka i da se da preporuka za što optimalniju strategiju odluka. Detaljnija analiza pokazuje kako izmene različitih aspekta problema utiču na preporučene alternative odluka. Ovaj rad ne obuhvata razmatranje koristi i analizu odluka koja je proširena na razlitate stavove prema riziku sa kojom se sreću donosioci odluka.

## 2. FORMULISANJE PROBLEMA.

Prvi korak u procesu analize odluka je formulacija problema. Počinje se sa verbalnom konstatacijom problema. Zatim se identifikuju alternativne odluke, neizvesnost budućih događaja (registrivani kao mogući događaji) i rezultati koji su povezani sa svakom kombinacijom alternativnih odluka i mogućim posledicama budućih događaja. (Schniedjans i sarad. 2015: 289- 314).

Pretpostavimo da u predizeću za određeni problem postoje sledeće tri alternativne odluke sa sledećim stepenom složenosti:

- D1 = mali stepen složenosti
- D2 = srednji stepen složenosti
- D3 = visok stepen složenosti

Važan faktor za izbor najbolje alternativne odluke je neizvesnost koja se odnosi na ostvarenje određenih uslova prilikom realizacije izabrane alternativne odluke. Ovaj deo analize naziva se šifrovanjem neizvesnosti ili analizom neizvesnosti. Analiza neizvesnosti predstavlja dodeljivanje verovatnoće svim stanjima koja se odnose na posmatrani problem. Verovatnoće moraju da odražavaju verovanje, informacije i ocene donosioca odluke. Zbog toga su subjektivne i predstavljaju stanje (ili nivo) znanja donosioca odluke. Kada se traži mogući uslov za alternativnu odluku mogu se zahtevati dva moguća slučaja različitih ostvarenja uslova: jak uslov i slab uslov.

U analizi odluka, verovatan rezultat za izabran slučaj odnosi se na formulisanje karakteristika. Formulisanje karakteristika podrazumeva da su one isključivo zajedničke i da su označene zbirno. Prema tome, jedna i samo jedna moguća formulacija karakteristika je moguća. Npr. uspeh događaja u odnosu na potrebu za određenim uslovom može imati dve karakteristike:

- S1 = jaka potreba za uslovom.
- S2 = slaba potreba za uslovom.

Donosilac odluke u preduzeću mora prvo izabrati alternativu odluke, zatim sledi formulisanje karakteristike (zahtev za određenim uslovom) i najzad rezultat koji će se ostvariti. On opisuje uticaj (implikacije) izabranih akcija od strane donosica odluke prema različitim stanjima koje se odnose na problem. U našem primeru rezultat je određen visinom profita.

**Tabela 1:** Tabela isplativosti (u mil. dolara)

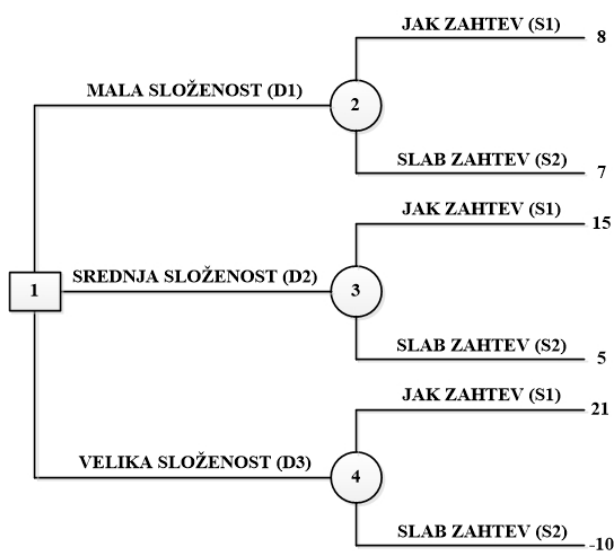
Alternativa odluke	Karakter uslova	
	jak zahtev, (S1)	slab zahtev, (S2)
Mala složenost, D1	8	2
Srednja složenost, D2	15	5
Velika složenost, D3	21	-10

Od datih tri alternativne odluke i dve karakteristike pojave, koje donosilac odluke treba da izabere?. Za odgovor na ovo pitanje, donosilac odluke će trebati da zna posledice za svaku kombinaciju alternativnih odluka i karakteristika pojave. Za analizu odluka, koja je data u primeru, ulazuje se na rezultat kombinacije alternativnih odluka i karakteristika pojave koji se izražava kao Isplativost. Tabela koja pokazuje isplativost za sve kombinacije alternativnih odluka i karakteristika pojave prikazana je kao *tabela isplativosti*. (Tabela br.1).

Budući da donosilac odluke želi da izabere odluku koja obezbeđuje najveći profit, profit se koristi kao očekivani rezultat. Tabela isplativosti (u milionima dolara) može biti formirana na način kako je dato u prilogu (Tabela br.1). Napomenje se, da ako se npr. projektuje alternativa odluke srednje

složenosti i ako se zahteva da bude karakteristika pojave vrlo jaka, ostvariće se profit od 15 miliona.. U radu će se koristiti oznaka Vij da bi se obeležio profit povezan sa alternativom odluke i i karakteristikom pojave j. Koristeći tabelu koja je data u prilogu, V31 = 21 ukazuje da će se 21 miliona ostvariti ako se odluka donese kao veoma složena (D3) i ako bude veoma jaka karakteristika pojave (S1). Takođe, V32 = -10 ukazuje na gubitak od 10 miliona ako se donesene odluka koja je veoma složena (D3) a karakteristika pojave bude sa veoma slabim zahtevom (S2).

Ako se donosilac odluke ne izlaže rizičnom ponašanju prema posledicama, tada se može izračunati očekivana novčana vrednost ishoda svake akcije i izabrati ona za koju je ta vrednost maksimalna (za slučajeve gde se posledice mogu iskazati odgovarajućim profitom, odnosno gubicima). Taj kriterijum se uobičajeno naziva kriterijumom očekivane novčane vrednosti.



Slika 1. Drvo odlučivanja

Prvi korak u rešavanju složenih problema je da se rastavi problem na seriju manjih podproblema. Drvo odlučivanja obezbeđuje koristan način za dekomponovanje problema i da ilustruje proces odlučivanja koji se realizuje u nizu. Ljudi često gledaju na sličan problem iz različitih perspektiva. Stoga, razmatranje što se tiče razvoja drva odlučivanja može obezbediti dodatno shvatanje problema.

Pod drvetom odlučivanja se podrazumeva skup povezanih grana, gde svaka grana predstavlja ili alternativu odluke ili stanje. Po uobičajenoj konvenciji čvor iskazan kvadratom predstavlja alternativu odluke (čvor odlučivanja), a kružić predstavlja stanja (čvor. mogućnosti). Obeležavanje svih alternativa odluka, svih mogućih stanja i definisanje (crtanje) drveta odlučivanja naziva se strukturiranjem problema.

Odgovorni donosilac odluke (a ne analitičar odluke) želi da donese najbolju odluku. U tom cilju

on mora biti sposoban da napravi razliku ne samo između dobrog i lošeg poslovnog rezultata, već i između dobre i loše poslovne odluke. Dobri poslovni rezultati su oni koji odgovaraju menadžmentu, a dobre poslovne odluke su one koje su bazirane na informaciji, oceni i preferenciji donosioca odluke. Menadžment mora da predvidi dobar poslovni rezultat i da izabere najbolju odluku. Šta se podrazumeva pod dobrom poslovnom odlukom i na koji način izabrati najbolju od predloženih alternativnih odluka? Analiza odluka obezbeđuje sistematsku logički konsistentnu proceduru u cilju davanja odgovora na postavljeno pitanje.

Drvo odlučivanja obezbeđuje grafičko predstavljanje procesa donošenja odluka. Na Slici br.1 dato je drvo odlučivanja za problem koji je dat kao naš primer. Napominje se da drvo odlučivanja pokazuje realan ili logičan tok donošenja odluka koji će se dogoditi. Prvo, donosilac odluke mora da odluči kakva će biti veličina složenosti uslova (D1, D2 ili D3). Zatim, nakon što je donesena odluka u vezi toga, razmatra se karakteristika pojave S1 ili S2. Broj na svakoj krajnjoj tački drva odlučivanja ukazuje na isplativost za svaki pojedinačni redosled. Npr. isplativost 8 ukazuje da se očekuje 8 mil dolara prihoda ako preduzeće predvidi manju složenost uslova (D1) i da se zahteva da njihova primena bude trajna (S1). Manji profit od 7 ukazuje da predviđen profit od 7 mil dolara ako preduzeće očekuje manje složene uslove (D1) i da njegovi zahtevi budu slabiji (S2). Dakle, drvo odlučivanja daje grafički prikaz posledica alternativa odlučivanja i karakteristika pojave koji obezbeđuju šest mogućih isplativosti.

Drvo odlučivanja predstavlja realan problem odlučivanja kojim se može upravljati u smislu nalaženja što optimalnije strategije. Bilo koje dodatne alternativne odluke ili stanja, koje mogu uticati na alternativni izbor strategije, uvek se mogu dodati drvetu odlučivanja i njihov uticaj se može analizirati. Napominje se, da je uvek bolje razmatrati jednostavniji (ali realni primer) a potom sprovesti „šta ako“ analizu uvođenjem dodatnih pretpostavki i analizirati njihov uticaj na optimalnu odluku. Ovaj način analize se u uobičajenoj terminologiji naziva graničenjem problema.

Drvo odlučivanja prikazano na Sl.1 pokazuje četiri čvora koji su označeni od 1 do 4. Čvorišta se koriste da predstave odluku i moguću posledicu ako se one donesu. Kvadrat se koristi da prikaže čvorište odluke, krug se koristi da prikaže posledicu realizaciju čvorišta. Preme tome, čvorište 1 je čvorište odlučivanja, a čvorišta 2, 3 i 4 su čvorišta mogućih posledica donošenja odluka. Grane povezuju čvorišta. One dozvoljavaju čvorištima odlučivanja da korespondiraju sa alternativama odlučivanja. Grane dozvoljavaju svakom čvorištu da korespondiraju sa karakteristikama pojave. Rezultat (isplativost) je pokazan na kraju grane karakteristike pojave. Sada se može postaviti pitanje: kako donosilac odluke može koristiti informacije iz tabele isplativosti ili drveta

odlučivanja radi izbora najbolje alternative odluke?. Odgovor na postavljeno pitanje može se dobiti korišćenjem nekoliko pristupa kao npr.:

1. Analiza odluka bez verovatnoća
  - Optimistički pristup
  - Konzervativni pristup
  - Pristup regresivni minimaks.
2. Analiza odluke sa verovatnoćom
  - Pristup očekivane vrednosti
  - Analiza rizika
  - Senzitivna analiza
3. Analiza odluka sa informacijama na odnosu uzorka
  - Očekivana vrednost uzorka
  - Očekivana vrednost potpunih informacija
4. Izračunavanje verovatnoće sa Bayes teoremom
5. Teorije koristi
  - Korisnost i analiza odluka
  - Funkcije korisnosti
  - Eksponencijalna funkcija korisnosti

Navedeni pristupi analizi odluka neće se razmatrati u ovom radu.

Dakle, analizu odluka čine sistematsko strukturiranje, graničenje, određivanje neizvesnosti i rizika i izbor najbolje akcije. Ona obezbeđuje i praktičan metod za prikupljanje dodatnih informacija u cilju smanjivanja neizvesnosti i nalaženje što optimalnije strategije poslovanja. Ovakav pristup ne predstavlja samo deskriptivnu teoriju potrebnih aktivnosti, već zahteva i preskriptivno projektovanje kako pomoći donosiocu odluke da što objektivnije razmišlja i donosi odluke.

### 3. ZAKLJUČAK

Cilj analize odluka je da identifikuje najbolju alternativu odluke ili optimalnu strategiju kada se donosilac odluke susreće sa neizvesnim ili nesigurnom strategijom budućih događaja. Ona daje informacije o nesigurnim rezultatima i mogućim posledicama ili isplativosti. U radu je pokazano kako tabela isplativosti i drvo odlučivanja mogu biti korišćeni za detaljnije sagledavanje problema odlučivanja i za opis odnosa između pojedinačnih odluka. Poslovna analitika obuhvata primenu modela neposredno na poslovne podatke, korišćenje alata sistema za podršku odlučivanja, konceptijski okvir za podršku odlučivanju, ekspertске modele radi pomoći donosiocima odluka.

### 4. LITERATURA

- [1] Jeffrey D. Camm, James J. Cochran, Michael J. Fry, Jeffrey W. Ohlmann, David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams., Essentials of Business Analytics, Cengage Learning. 2017.
- [2] Schniederjans, M., Schniederjans, D., Starkey, C., Business Analytics Principles, Concepts and Applications with SAS, Pearson Education. 2015.
- [3] Sharda, R., Delen, D., Turban, E., Business Intelligence and Analytics, Pearson Education Limited. 2014.
- [4] Čupić M., Suknović M. Odlučivanje, Fakultet organizacionih nauka, Beograd. 2010.
- [5] Sikavica P., Hernaus T., Hunjak T., Bogičević Ređep N., Poslovno odlučivanje, Školska knjiga, Zagreb. 2014.

# VELIKI HADRONSKI SUDARAČ U CERN-U: STATUS I PLANOVI

## LARGE HADRON COLLIDER AT CERN: STATUS AND PLANS

Dr LJILJANA SIMIĆ<sup>1</sup>, naučni savetnik,  
Dr IRIS BORJANOVIĆ<sup>2</sup>, profesor strukovnih studija  
<sup>1</sup>Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu  
<sup>2</sup>Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

### REZIME

Dat je pregled rada Velikog hadronskog sudarača (LHC) u CERN-u tokom Run1 i Run2 perioda (2010.-2012. i 2015.-2018. godne) kao i glavnih detektora ATLAS i CMS namenjenih za izučavanje procesa nastalih u proton proton sudarima. Diskutovani su i planovi i izazovi u budućem radu detektora.

### ABSTRACT

In this paper we give highlights of the LHC operation during the Run1 and Run2 period together with ATLAS and CMS detectors status. This paper discusses status of the CERN LHC collider as of June 2017. and its main general purpose detectors ATLAS and CMS. The prospects and future challenges are also discussed.

### 1. UVOD

Jedan od najvažnijih zadataka savremene fizike je da opiše zakone prirode na što manjim rastojanjima, odnosno na što višim energijama i pokuša da kvantitativno opiše osobine univerzuma. Danas u fizici čestica znamo svojstva elementarnih čestica na rastojanjima  $10^{-16}$  cm i energijama do jednog TeV-a. Istovremeno buran razvoj kosmologije (pre svega one koja se odnosi na posmatranja) omogućio je da ne samo kvalitativno već i kvantitativno (i pri tome sa dobrom tačnošću) opišemo evoluciju univerzuma, kao i svojstva ranog i sadašnjeg univerzuma. Međutim, niz nerešenih problema u fizici čestica i kosmologiji nameće zaključak da je potrebno radikalno dopuniti postojeće predstave o zakonima prirode.

„Mikroskopi“ pomoću kojih dobijamo informaciju šta se dešava na granično malim rastojanjima u fizici visokih energija su akceleratori čestica koji se nazivaju sudarači (eng. *colliders*). Jedini aktivni sudarač danas je Veliki hadronski sudarač (eng. *Large Hadron Collider*, LHC) [1-3], izgrađen u CERN-u kraj Ženeve, najvećem svetskom centru za istraživanja u fizici čestica. Da bi smo

razumeli koja rastojanja mogu biti izučena na LHC-u koristimo relativistički sistem jedinica u kome su osnovne jedinice: Plankova konstanta  $\hbar=6.582\times 10^{-22}$  MeV c i brzina svetlosti  $c=2.998\times 10^{10}$  cm s<sup>-1</sup>. U ovom sistemu se pretpostavlja da je  $\hbar=c=1$ , što dozvoljava da se dobije jednostavna, ali vrlo važna relacija:

$$1/\text{GeV} \approx 2\times 10^{-14} \text{ cm},$$

gde je 1 GeV =  $10^9$  eV, a 1 eV je energija koju dobija elektrom sa naelektrisanjem  $q_e=1.6\times 10^{-19}$  C kada pređe razliku potencija 1 V. Iz Hajzenbergove relacije neodređenosti  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2$ , koja važi za mikrosvet, sledi da predani impuls od 1 TeV =  $10^3$  GeV dozvoljava izučavanje pojava na rastojanju  $10^{-17}$  cm. Na taj način će LHC pri predanim impulsima od 1 do 10 TeV omogućiti izučavanje strukture materije na rastojanjima  $10^{-17}$ - $10^{-18}$  cm.

### 2. LHC DIZAJN I RAD

Veliki hadronski sudarač predstavlja jedan od najsloženijih naučno-istraživačkih kompleksa ikada projektovanih, sagrađenih i puštenih u rad. Sam projekat je započet pre više od 30 godina. Premda se naziv LHC najviše odnosi na akceleratori

kompleks, on je samo jedan bitan deo LHC projekta. Druga dva, isto tako ne manje važna dela su:

- detektori [4] smešteni u četiri ogromne podzemne hale na mestima gde se ukrštaju snopovi ubrzanih čestica u LHC –u, i
- grid [5] koji predstavlja globalnu mrežu kompjutera i softvera, neophodnih za obradu podataka sakupljenih pomoću LHC detektora.

Sa obimom od 26.7 km i težinom većom od 38000 t, LHC predstavlja najveći sudarač čestica na svetu koji je 20. maja 2015. godine postigao rekordnu energiju sudara protona  $\sqrt{s} = 13$  TeV (Tera elektron Volti). Međutim, to još uvek ne odgovara maksimalnoj projektovanoj energiji, koja iznosi 7 TeV po svakom snopu (Ebeam), tako da je ukupna energija sudara protona u sistemu centra masa  $\sqrt{s} = 14$  TeV ( $\sqrt{s} = 2 \cdot E_{beam}$ ).

Veliki hadronski sudarač je smešten u podzemnom tunel u obliku prstena na dubini između 75 i 100 m i preseca granicu Francuske i Švajcarske u blizini Ženeve. Izgrađen je zahvaljujući finansijskoj podršci i naučnoj kolaboraciji u kojoj je učestvovalo 111 zemalja i u tom smislu LHC je pravi planetarni projekt. Troškovi izgradnje merili su se milijardama evra i uglavnom ih je finansiralo 20 zemalja članica CERN-a sa značajnim doprinosom 6 zemalja u statusu posmatrača. Zemlje koje u to vreme nisu bile članice CERN-a (kao Srbija na primer) učestvovala su u izgradnji detektora na LHC -u.

Veliki hadronski sudarač, LHC, je proton-proton sinhrotron, izgrađen u već postojećem kružnom tunelu LEP sudarača. Sastoji od podzemnog prstena i akceleratorskih struktura, radiofrekventnih uređaja, vakumskih cevi i magneta. Ove strukture su neophodne za ubrzavanje i usmeravanje dva snopa čestica tokom njihovog kruženja kroz cevi prstena. Na kružnoj putanji snopove održava jako magnetno polje koje proizvode superprovodni magneti. Bez magnetnog polja čestice bi se kretale po pravoj liniji i ukoliko je energija čestica veća potrebno je jače polje za savijanje njihove putanje. Superprovodni magneti su izrađeni od Niobium-Titanium (NbTi) legure. i ohlađeni pomoću 96 tona tečnog helijuma (He II) do radne temperature od 1.9 oK, ili  $-271.25^{\circ}\text{C}$ , da bi postigli stanje superprovodnosti. U tom stanju električna struja teče kroz provodnik praktično bez otpora i gubitaka energije što omogućava stvaranje izuzetno jakog magnetnog polja. Jačina struje koja generiše magnetno polje superprovodnih kalemova (NbTi) iznosi oko 11.8 kA i proizvodi magnetno polje od 8.3 T.

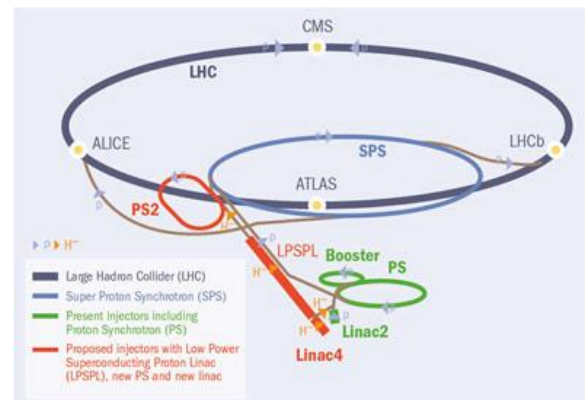
Snopove čestica koje se kreću kroz dve cevi akceleratora u suprotnom smeru usmerava 1232 dipolnih magneta, od kojih svaki ima dužinu 14.3 m i težinu oko 35 tone. Dodatnih 392 kvadrupolnih magneta koriste se za fokusiranje snopa, da bi se povećala verovatnoća sudara na mestima gde se ukrštaju snopovi čestica. Pored navedenih koristi se,

još oko 4000 korekcionih magneta za fino podešavanje orbite snopa.

Za povećavanje kinetičke energije čestica u snopovima, koriste se rezonantne radiofrekventne (RF) komore, koje takođe služe i za održavanje strukture paketa čestica (bunch-eva). Ove RF komore se napajaju iz RF generator formirajući pri tom elektromagnetni talas učestanosti 400 MHz. Dužine komora su podešene tako da rezonantno polje unutar komora uvećava energiju čestica pri svakom prolasku kroz komoru, tako da na kraju njihova ukupna energija bude uvećana oko 10 puta u odnosu na energiju čestica na početku ciklusa.

Na projektovanoj energiji od 7 TeV po snopu protoni se kreću brzinom 99.9999991% od brzine svetlosti i obilaze LHC prsten 11000 puta u sekundi (potrebno im je 90  $\mu\text{s}$  za jedan obilazak). Kroz cevi akceleratora protoni se ne kreću kontinualno već grupisani u pakete ili *bunch*-eve. Projektovano je da LHC radi sa 2808 paketa, tako da se interakcije između dva snopa dešavaju u vremenskim razmacima od 25 ns. Međutim, na početku, LHC je radio sa manjim brojem paketa tako da su vremenski razmaci između interakcija bili nešto duži: 75 ns i 50 ns.

Pre nego što su ubrizgani u LHC prsten, protoni se kreću kroz lanac akceleratora Linac2/PSB/SPS koji povećavaju energiju protona od 50 MeV (energija protona na izlazu iz linearnog čestičnog akceleratora Linac2) do 450 GeV (energija protona na izlazu iz Super-Proton-Sinhrotrona, SPS). Pošto u LHC-u dostignu maksimalnu energiju, snopovi fokusirani do desetog dela mikrona, sudaraju se na četiri mesta, gde su oko tačke sudara raspoređeni detektori. Takođe, tokom rada, tipično jedan mesec u toku godine, LHC ubrzava jone olova do energije  $\sqrt{s} = 2.76$  TeV po nukleonu. Kompletna šema akceleratorskog kompleksa [6] prikazana je na Sl. 1.



Slika 1. Šematski prikaz akceleratorskog kompleksa u CERN-u.

Pored energije, drugi najvažniji parametar, koji karakteriše performanse sudarača je luminoznost  $\mathcal{L}$ , koja određuje broj sudara po jedinici površine (interakcionog regiona) i jedinici vremena. Luminoznost je povezana sa svojstvima sudarajućih

snopova u tački sudara i meri se u  $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Trenutna luminoznost je definisana kao:

$$\mathcal{L} = f \cdot n_b \cdot n_1 \cdot n_2 / 4\pi r,$$

i proporcionalna je broju čestica  $n_1$  i  $n_2$  po *bunch*-evima koji se sudaraju sa frekvencom  $f$ , broju *bunch*-eva po snopu  $n_b$ , a obrnuto proporcionalna transverzalnim dimenzijama snopova u tački sudara. Pored trenutne, koristi se i integralna luminoznost  $L = \int \mathcal{L} dt$ , za dati vremenski period, obično izražena u jedinicama inverznog poprečnog preseka  $1/\sigma$ , odnosno  $1/\text{nb}$  ili  $\text{nb}^{-1}$ -nanobarn $^{-1}$ ;  $1/\text{pb}$  ili  $\text{pb}^{-1}$ -picobarn $^{-1}$ ;  $1/\text{fb}$  ili  $\text{fb}^{-1}$ -femtobarn $^{-1}$  ( $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ ).

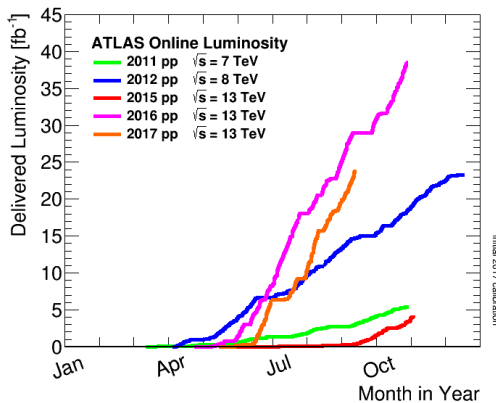
Integralna luminoznost predstavlja meru sakupljene količine podataka, tako da je broj događaja koji odgovaraju procesu sa poprečnim presekom  $\sigma$ , za luminoznos  $L$ , jednak:

$$N_{\text{events}} = \text{Luminosity} \times \text{CrossSection} \quad (1)$$

$$(N_{\text{events}} = L \times \sigma_{\text{events}})$$

S obzirom da mnogi interesantni procesi na energiji LHC-a imaju veoma male efikasne preseke (od  $\sim 1 \text{ pb}$  i manje), iz formule (1) sledi da je potrebna što veća luminoznost za njihovo izučavanje.

Projektovana luminoznost LHC-a je  $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , što znači da LHC može da proizvede  $10^{34}$  sudara u sekundi i po  $\text{cm}^2$ . Međutim, tokom rada LHC-a od 2009. do 2013. godine, koji je označen kao Run1 period, luminoznost i energija protonskih snopova bile su na nižem nivou od projektovanih. U toku 2010. energija sudara protona u sistemu centra masa bila je 7 TeV, dok je trenutna luminoznost dostizala vrednost do  $\sim 2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , što je bilo znatno niže od projektovane vrednosti. U poslednjoj godini Run 1 perioda, 2012. godini, energija sudara protona u sistemu centra mase iznosila je 8 TeV dok je trenutna luminoznost dostizala vrednost do  $7.7 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , što je gotovo za red veličine bila veća vrednost od predviđene za prve tri godine rada LHC-a. Na Sl. 2 je prikazana promena isporučene luminoznosti po mesecima za 2011.- 2017.g. Glavne karakteristike LHC-a tokom Run1 i Run2 perioda date su u Tabelama 1 i 2.



Slika 2. Promena integralne luminoznosti tokom godine, po mesecima, od 2011. do septembra 2017. g.

Ciljevi Run2 perioda koji će trajati od 2015. do 2018. godine su: (i) rad LHC-a sa vremenskim razmakom od 25 ns između *bunch*-eva, (ii) maksimalna trenutna luminoznost  $1.3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , (iii) integralna luminoznost  $\sim 100 \text{ fb}^{-1}$ , (iv) i priprema za rad na maksimalnoj/projektovanoj energiji od 14 TeV [7]. Godina 2015. je bila pripremna godina za Run2 period, tokom koje je optimizovan rad LHC-a: na energiji od 13 TeV i sa rastojanjem između *bunch*-eva od 25 ns. Tekući LHC plan predviđa da se do kraja 2022. g., odnosno Run3 perioda, eksperimentima isporučiti luminoznost od 300 do 400  $\text{fb}^{-1}$ . To će ujedno označiti i kraj Fazel rada LHC-a. Tada će mnogi elementi mašine biti oštećeni od zračenja i biće potrebna njihova zamena. Dodatno će trenutna luminoznost dostići svoju saturaciju, tako da

**Tabela 1:** Glavne karakteristike LHC-a tokom Run1 perioda.

Run1	2011.g.	2012.g.	Projektovano
Energija [TeV]	3.5	4	7
Max Lumi	$3.5 \times 10^{33}$	$7.7 \times 10^{33}$	$10^{34}$
Integ.Lumi $\text{fb}^{-1}$	5.08	25	
Broj bunch-eva	1380	1380	2808

**Tabela 2:** Glavne karakteristike LHC-a tokom Run2 perioda.

Run2	2015.g.	2016.g.	Juni 2017.
Energija [TeV]	6.5	6.5	6.5
Max Lumi	$3.5 \times 10^{33}$	$1.4 \times 10^{34}$	$1.58 \times 10^{34}$
Integ.Lumi $\text{fb}^{-1}$	4.3	36.0	6.4
Broj bunch-eva	2244	2220	2556

će trebati znatno više vremena da se udvostruči planirana količina sakupljenih podataka (odnosno integralna luminoznost). Detektori će takođe pretrpeti znatna radijaciona oštećenja i biće potrebno njihovo unapređenje i prilagođavanje novim uslovima rada LHC-a. To su sve pretpostavke za *High-Luminosity-LHC (HL-LHC) upgrejd*, odnosno Fazu2 rada LHC-a, koji je predviđen za 2023.g. Cilj HL-LHC je dostizanje pika luminoznosti od  $10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , što bi dozvolilo da se eksperimentima isporučiti  $\sim 3000 \text{ fb}^{-1}$  do kraja 2036.g. Treba još napomenuti da je među budućim planiranim projektima sa sudaračima: ILC, CLIC, FCC i CEPC, HL-LHC jedini projekat koji je do sada odobren.

### 3. LHC DETEKTORI

Na energiji od 7 TeV neelastični poprečni presek za produkciju novih čestica ( $\sigma_{in}$ ) iznosi 60 mb. Iz relacije (1) sledi da sa luminoznošću od  $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , LHC može da prizvede svake sekunde oko 600 miliona proton-proton sudara. Čestice nastale tokom sudara registruju četiri glavna LHC detektora ogromnih razmera [8]:

- ATLAS (A Toroidal Lhc AparatuS) [9],
- CMS (Compact Muon Solenoid) [10],
- ALICE (A Large Ion Colider Experiemnt) [11],
- LHCb (Large Hadron Collider beauty) [12].

ATLAS i CMS detektori su dizajnirani za izučavanje događaja nastalih u proton-proton sudarima, dok ALICE izučava događaje nastale u sudarima teških jona. LHCb je namenjen za izučavanje specifičnih događaja u kojima se proizvode B mezoni (čestice koje sadrže b kvarkove) i zato ima drugačiju strukturu u odnosu na prethodna tri detektora.

Osim ova četiri osnovna detektora instalirani su i subdetektori manjih razmera: TOTEM, (namenjen za merenje totalnog poprečnog preseka), LHCf (za merenje produkcije neutralnih čestica emitovanih u prednjoj oblasti), MoEDAL (traganje za monopolima).

Dizajn, konstrukcija i izgradnja četiri osnovna detektora su rezultat rada više stotina istraživačkih timova iz celog sveta, organizovanih u međunarodne kolaboracije koje imaju isti naziv kao detektori. Kao primer, u radu najbrojnije ATLAS kolaboracija učestvuje preko 3000 istraživača iz 182 institucije i 38 zemalja. Istraživači iz Srbije učestvuju u radu dve velike LHC kolaboracije ATLAS i CMS i radili su na izgradnji dela hardvera za ATLAS i CMS detektore. Sada sa aktivno učestvuju u praćenju rada detektora, praćenju rekonstrukcije događaja i analizi dobijenih podataka.

ATLAS i CMS su najveći i najteži detektori na LHC-u, i u fizici čestica, koji su do sada konstruisani. ATLAS ima težinu oko 7000 t, dužinu 46 m, visinu 25 m i simetričan je napred-nazad u odnosu na tačku interakcije. CMS je takođe cilindričnog oblika, ima težinu 12500 t, dužinu 21 m i visinu 15 m. Širok program fizike na ATLAS i CMS detektorima obuhvata opservaciju Higsovog bozona, merenje njegovih svojstava i traganje za fenomenima izvan Standardnog modela. Program takođe obuhvata i precizna merenja parametara Standardnog modela, kao što su masa top kvarka i gradijentnih bozona, njihove jačine sprezanja, elementi CKM matrice i narušenje CP simetrije. Da bi uspešno odgovorili na sve ove izazove detektori moraju da ispune sledeće zahteve:

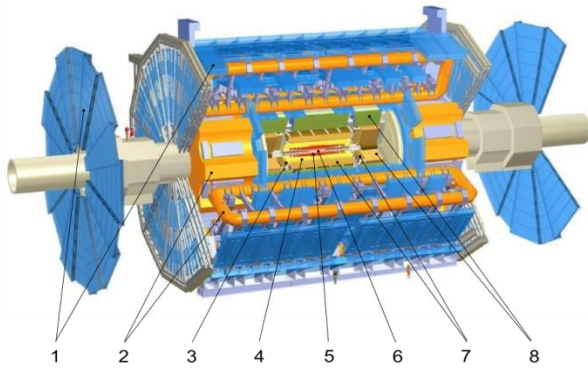
- brzu i na zračenje otpornu elektroniku i senzorske elemente da bi se nosio sa eksperimentalnim uslovima na LHC-u,
- da ima visoku granularnost da bi moglo da se upravlja fluksevima čestica i pile-up događajima,
- da pokriva veliku oblast po pseudorapiditetu i da ima gotovo punu pokrivenost po azimutalnom uglu,
- da ima sistem za identifikaciju tragova sa dobrom rezolucijom impulsa naelektrisanih česticea i visoku efikasnost rekonstrukcije,
- veoma dobre elektromagnetne i hadronske kalorimetre,
- specijalizovani sistemi za efikasnu identifikaciju miona koji omogućava merenje njihovih impulsa sa visokom preciznoću,
- dobre verteks detektore kako bi bilo moguće precizno određivanje sekundarnih verteksa,
- efikasan trigger sistem sa dovoljnim odbacivanjem fonskih procesa.

Da bi ispunili ove uslove, odnosno da bi precizno izmerili mlazeve hadrona (džetove), elektrone, mione i fotone produkovane u proton proton sudarima, ATLAS i CMS detektori su konstruisani od nekoliko slojeva komplementarnih podsistema, od kojih svaki ima drugačiji zadatak. Pregled detektorskih tehnologija koje su koristili dat je u Tabeli 3. Kao primer, na Sl. 3 je dat šematski prikaz ATLAS detektora. Unutrašnji detektorski sistem (4), (5) i (6) nalazi se u centralnom delu ATLAS-a u blizini cevi snopa i okružen je

**Tabela 3:** Podetektorski sistemi ATLAS-a i CMS-a

Detektor	ATLAS	CMS
Traker	Silikon/gas	Silikon
EM kalorimetar	Tečni argon LAr	PbWO
Had kalorimetar	olovo/scintilator	mesing/scintilator
Mion Spektro	RPC/drift	RPC/drift
Magnet	Solenoid/Toroid	Solenoid
Jačina Magneta	~ 2T/4T	~2 T

solenoidnim magnetom (3). Oni zajedno omogućavaju da izmerimo naelektrisanje, trajektorije i impuls naelektrisanih čestica, koje ostavljaju tragove pri prolasku kroz detektor.



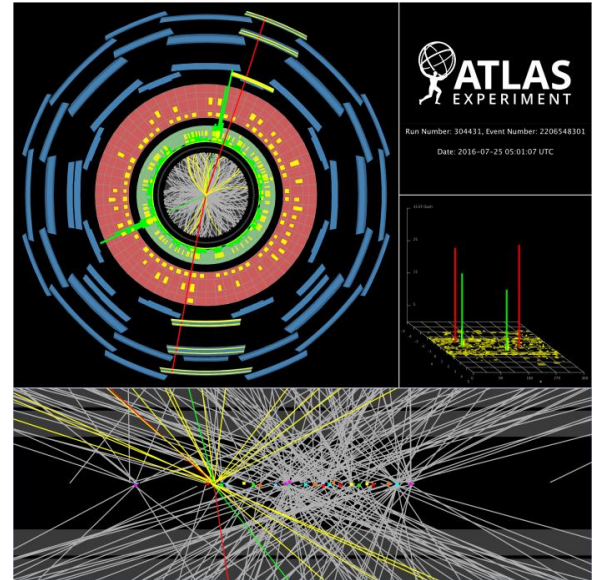
Slika 3. Šematski prikaz ATLAS detektora na LHC-u: (1) mionski detektor; magnetni sistem: (2) toroid (3) solenoid; unutrašnji detektor: (4) *transition radiation tracker*, (5) *semi-conductor tracker*, (6) *pixel detector*; kalorimetri: (7) i (8) elektromagnetni i hadronski kalorimetar.

Sledeći slojevi su elektromagnetni i hadronski kalorimetri (7) i (8), iza kojih sledi najudaljeniji poddetektor, mionski spektrometar (1) sa toroidnim magnetnim sistemom sa vazdušnim jezgrima (2). Elektromagnetni i hadronski kalorimetar mere energiju i pozicije elektromagnetnih odnosno hadronskih čestica, dok mionske komore (u kombinaciji sa unutrašnjim detektorom) mere trajektorije i impulse miona.

Različite čestice su detektovane u različitim podsistemima detektora prema njihovim svojstvima. Povezivanjem tragova iz unutrašnjeg detektora sa informacijom iz elektromagnetnog kalorimetra identifikujemo elektrone, dok mione identifikujemo povezivanjem tragova iz unutrašnjeg detektora i mionskog spektrometra. Fotone identifikujemo u elektromagnetnom kalorimetru, a neutralne hadrone u hadronskom kalorimetru. Naelektrisane hadrone identifikujemo u unutrašnjem detektoru i hadronskom kalorimetru.

Na Sl. 4 je dat vizuelni prikaz jednog događaja zabeleženog ATLAS detektorom, sa stabilnim snopom LHC-a, na ukupnoj energiji sudara protona od 13 TeV. Prikazan je izgled događaja u ravni normalno na osu snopa (Sl.4 gore levo) i izgled događaja u ravni ose snopa (Sl. 4 dole). Događaj je kandidat za raspad Higs bozona na  $2\mu$  (dva miona) i  $2e$  (dva elektrona) u konačnom stanju. Događaj sadrži pored verteksa Higs bozona još 25 dodatno rekonstruisanih primarnih verteksa od pratećih minimum bajas (*minimum bias*) interakcija. Na levoj gornjoj slici i donjoj slici crvene linije pokazuju putanje dva miona koji prolaze kroz unutrašnji detektor, kalorimetre i mionski spektrometar. Zelene linije pokazuju putanje dva elektrona zajedno sa energijom deponovanom u elektromagnetnom kalorimetru, dok su žute linije tragovi pratećih naelektrisanih čestica, iz verteksa Higs bozon kandidata. U događaju sa kandidatom za Higs bozon nije rekonstruisan ni jedan *džet* (malz hadrona) sa transversalnim impulsom (pT) većim od 30 GeV. Sivi

tragovi odgovaraju česticama sa transversalnim impulsom iznad 0.5 GeV. Kao što je pokazano na lego plotu (Sl. 4 desno) mioni imaju pT 29 i 31 GeV, a elektroni 23 i 19, tako da invarijantna masa sistema od 4 leptona iznosi 119 GeV. Zbog toga ovaj događaj upada u standardni maseni prozor Higs bozona od 118 do 129 GeV, i ima veliku verovatnoću da potiče od raspada Higs bozona, nasuprot raspadu fonskog procesa  $ZZ^*$ .



Slika 4. Vizuelni prikaz događaja koji je kandidat za raspad Higs bozona na  $2\mu 2e$ ,  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ . Gore levo je dat prikaz događaja u ravni normalno na osu sudara; gore desno je lego plot sa transversalnim impulsima dva miona (crveno) i dva elektrona (zeleno); dole je dat prikaz događaja u ravni ose snopa. Događaj sadrži pored verteksa Higs bozona još 25 rekonstruisanih verteksa od minimum bajas interakcija.

Tokom Run1 i Run 2 perioda LHC detektori su radili spektakularno dobro pri čemu je funkcionisalo više od 95% (pa čak do 99%) kanala svakog od poddetektorskih sistema ATLAS-a i CMS-a. Kao primer, navešćemo da se broj kanala u detektorskim podsistemima, kreće od nekoliko hiljada, kod hadronskog i elektromagnetnog kalorimetra, pa sve do 92 miliona kod piksel detektora. Eksperimenti su zabeležili oko 95% isporučenih podataka dok je proveru kvaliteta prošlo oko 85-90 % podataka. Podaci koji su prošli proveru kvaliteta korišćeni su za dalju fizičku analizu. Dodatno, i u ATLAS i CMS eksperimentu je vrlo brzo naučeno kako da se uspešno izbori sa neočekivano velikim pileup-om (višestrukim interakcijama po ukrštanju snopova) koji je u srednjem iznosio 9, 21 i 24.9 tokom 2011., 2012. i 2016. g. Međutim i pored velikog pileup-a, u obadva eksperimenta identifikacija čestica veoma slabo zavisi od broja pileup događaja zahvaljujući odličnim detektorima tragova i visokoj granularnosti kalorimetara.



I ATLAS i CMS kolaboracije planiraju značajan *upgrejd* detektora za fazu visoke luminoznosti LHC-a (Fazu 2, HL-LHC-a) čiji je početak planiran oko 2023. g. Cilj ovog upgrejda je zamena komponenti detektora koje su zbog radijacionih oštećenja dostigle kraj radnog veka. To podrazumeva kompletnu zamenu centralnog *trekera* i kalorimetra u prednjoj oblasti detektora, kao i pripremu detektora za mnogo oštrije uslove rada u fazi visoke luminoznosti LHC-a. Ova faza će zahtevati redizajniran, triger i DAQ sistem (sistema za akviziciju podataka), hardver trigera za *traking* (praćenje tragova) kao i poboljšanje prednjih detektora i proširenje njihove akseptanse. Cilj je da se u uslovima koje nameće faza visoke luminoznosti postignu iste ili bolje performanse kao u Run1 i Run2 periodu.

#### 4. NAJVAŽNIJI REZULTATI LHC

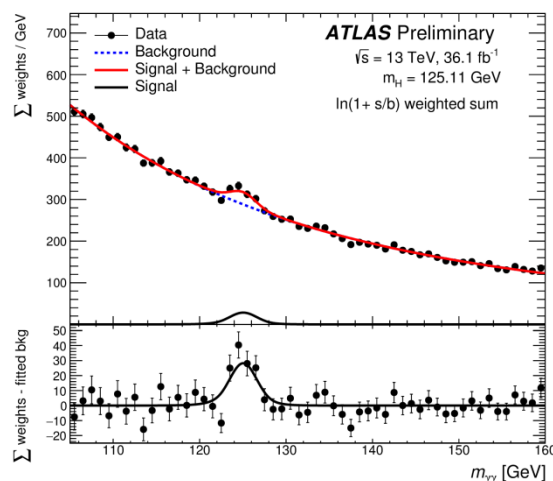
Posle objavljenog otkrića teškog skalarnog bozona, jula 2012.g. od strane ATLAS [13] i CMS [14] kolaboracija ustanovljen je dugoročan program za merenje različitih svojstava nove čestice. Cilj je da se utvrdi da li je ta čestica Higs bozon, za kojim se tragalo više od pedeset godina, i da li su izmerena svojstva u skladu sa predviđanjima Standardnog modela.

Za Higs bozonom je tragano u pet glavnih kanala raspada sa najvećim statističkim značajem na LHC-u:

$$H \rightarrow \gamma\gamma, \quad H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l, \quad H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu, \quad H \rightarrow \tau\tau, \\ H \rightarrow bb,$$

gde \* označava virtuelne čestice, l označava elektron ili mion. Prva dva kanala imaju najveći statistički značaj signala i najbolje razdvajanje signala od fona, dok ostala tri kanala imaju najveće verovatnoće raspada. Kao primer, na Sl. 5 je prikazan rezultat ATLAS kolaboracije za raspodelu po invarijantnoj masi dva fotona dobijenoj za kriterijume selekcije  $H \rightarrow \gamma\gamma$  kanala raspada sa Run 2 podacima od  $36 \text{ fb}^{-1}$  na energiji  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ . Izmerena masa Higs bozona u ovom kanalu je:  $m_H = 125.10 \pm 0.42 \text{ GeV}$ .

Sa povećanjem integralne luminoznosti nastavljeno je sa istraživanjem drugih redkih procesa produkcije Higs kao što je asociirana produkcija Higs bozona sa parom top kvarka ( $t\bar{t}H$ ) i redkih moda raspada Higs bozona, kao što je raspad Higs na dva miona,  $H \rightarrow \mu\mu$ , ili raspad  $H \rightarrow Z\gamma$ . Nastavljeno je i sa traganjem za dodatnim Higs bozonom sa svojstvima kao u SM. Najvažniji rezultati dobijeni sa podacima iz Run1 i tekućeg Run2 perioda su:



Slika 5. Rezultat ATLAS kolaboracije za raspodelu po invarijantnoj masi dva fotona dobijenu sa kriterijumima selekcije  $H \rightarrow \gamma\gamma$  kanala raspada sa Run 2 podacima od  $36 \text{ fb}^{-1}$  na energiji  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ . Isprekidana linija predstavlja fonske procese, dok crna linija predstavlja izdvojen signal nad fonskim procesima.

- postojanje nove čestice je potvrđeno van svake sumnje,
- novootkrivena čestica je bozon sa spinom 0 i pozitivnom parnošću,  $J_{PC}=0^{++}$ ,
- svojstva nove čestice su konzistentna sa predviđanjima Standardnog modela (premda su greške merenja još uvek značajne),
- postoji indikacija da se nova čestica spreže sa najmanje trećom generacijom fermiona, odnosno b -kvarkom i tau leptonom.

Sve ovo ukazuje na značajan progres u razumevanju svojstava nove čestice, posle njenog otkrića, kao i na to da je ona sve bliža Higs bozonu iz Standardnog modela. I pored toga i dalje postoje pitanja na koje bi trebalo odgovoriti: da li postoje alternative SM Higs bozonu, odnosno da li može da se dogodi da vidimo više od jednog Higs bozona. U minimalnom SM postoji samo jedan CP parni Higs bozon, dok postojanje dodatnih higs bozona predviđa više dobro motivisanih proširenja SM. Tako na primer, MSSM (Minimal Supersymmetric Standard Model) predviđa postojanje pet Higs bozona, dok sledeće do minimalnog proširenje SM NMSSM predviđa postojanje sedam Higs bozona. Takođe je moguće da Higs bozon predstavlja vezano stanje, tako da pored osnovnog stanja postoje i pobuđena teža stanja. U svakom od navedenih slučajeva jedan od Higs bozona je po svojstvima vrlo blizak Higs bozonu iz SM, tako da je sasvim moguće da vidimo jedno od tih stanja. Premda, za sada nema dokaza o postojanju Higs bozona van predviđanja Standardnog modela, potrebna su dalja istraživanja Higs sektora da bi smo pokazali postojanje ili odustvo teških i naelektrisanih Higs bozona.

Na kraju Faze 2 rada LHC-a kroz 20-tak godina očekuje se integralna luminoznost od  $3000 \text{ fb}^{-1}$  na energiji  $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$  što će omogućiti dalje provjere svojstava i dalje izučavanje fizike Higs bozona. Verovatno najvažnije merenje posle otkrića biće merenje konstanti Higsovog potencijala što će biti moguće pri izučavanju produkcije para Higs bozona u kanalima raspada sa najvećom verovatnoćom ( $b\bar{b}\gamma$  ili  $b\bar{b}\tau\tau$ ).

Sa uvođenjem fizike čestica u TeV opseg energija koji je za red veličine veći od elektroslabe skale energija moguće je očekivati pojavu novih čestica i interakcija premda nema nikakvih garancija da one zaista i postoje. Postoje različite pretpostavke kakva bi ta nova fizika mogla da bude, tako da će se nastaviti za traganjem za bilo kakvim odstupanjima od Standardnog modela koja bi ukazala na postojanje nove fizike na TeV skali energija.

## 5. ZAKLJUČAK

LHC je najuspešniji akcelerator čestica koji je do sada izgrađen i to je jedina operativna mašina koju sada imamo u fizici visokih energija Tako će i ostati najmanje narednih dvadesetak godina, jer je do sada iskorišćen samo jedan mali deo njegovih potencijala.

Ako ništa novo, osim Higs bozona, ne bude pronađeno do kraja Faze 1 rada LHC-a (2018. g) glavni zadatak HL-LHC projekta biće:

- detaljno izučavanje Higs sektora,
- traganje za bilo kakvim odstupanjima od Standardnog modela koja bi ukazala na postojanje nove fizike,
- traganje za novom fizikom na TeV skali energija.

Sasvim je moguće je da će ispunjenje ovog programa zahtevati izgradnju elektron-pozitronskog sudarača kao dopunu HL-LHC projektu. Međutim, ako ništa drugo od sudarača ne bude odobreno u narednih 10-15 godina mi ćemo morati da se oslanjamo na HL-LHC i dalji razvoj/unapređenje LHC-a i pratećeg akceleratorskog kompleksa, da bi

smo imali zagarantovanu budućnost istraživanja u fizici visokih energija.

## 7. LITERATURA

- [1] LHC Machine, L.Evans (ed). JINST 3 S08001. 2008.
- [2] The Large Hadron Collider, a Marvel of Technology, Ed. L. Evans, EPFL Press, 2009.
- [3] G. Brianti and P. Jenni, The Large Hadron Collider, in Technology Meets Research, 60 Years of Technology Achievements at CERN, Eds. C. Benvenuti et al. (World Scientific, 2015).
- [4] P. Grannis and P. Jenni, The Evolution of Hadron- Collider Experiments, Phys. Today 66 (6) 38. 2013.
- [5] WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) sažeta informacija: <http://wlcg.web.cern.ch/>.
- [6] The accelerator complex at CERN <https://home.cern/about/accelerators>
- [7] Elias Métral LHC: Status, Prospects and Future Challenges, PoS(LHCP2016)002; <http://pos.sissa.it/>
- [8] P. Jenni, Experimental Facilities at the High Energy Frontier, arXiv:1708.00796 [hep-ex].
- [9] ATLAS Collaboration, The ATLAS Experiment at the LHC, JINST 3, S08003. 2008.
- [10] CMS Collaboration, The CMS Experiment at the LHC, JINST 3, S08004. 2008.
- [11] ALICE Collaboration, The ALICE Experiment at the LHC, JINST 3, S08002. 2008.
- [12] LHCb Collaboration, The LHCb Detector at the LHC, JINST 3, S08005. 2008.
- [13] ATLAS Collaboration, Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Phys. Lett. B 716 1. .2012
- [14] CMS Collaboration, Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, Phys. Lett. B 716 30. 2012.



**МИОМИР ВУКОБРАТОВИЋ**  
(1931 – 2012)

И поред многобројних понуда да научну каријеру настави у иностранству Миомир Вукобратовић је читав свој радни и животни век провео у Србији. У време када је НАТО бомбардовао Србију понуду да буде доживотни декан Лондонског универзитета одбацио је као непримерену.

# RELATIVISTIČKA PROMENA MASE ČESTICE PRI UBRZANOM KRETANJU

## THE RELATIVISTIC CHANGE IN THE MASS OF THE PARTICLE IN ACCELERATED MOTION

Dr MILE LOVRE, profesor strukovnih studija  
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

### REZIME

Brzina naelektrisane čestice nikad ne može biti konstantna i stoga se Ajnštajnov izraz za relativističku promenu mase ne može koristiti za ubrzana kretanja. U prirodi ne postoji uniformno kretanje jer se sva kretanja odvijaju u nehomogenim poljima. Samo se u laboratorijskim uslovima može uspostaviti homogeno električno ili magnetno polje.

Za nulto ubrzanje,  $a = 0$ , masa čestice je jednaka masi mirovanja. U nehomogenom polju, gravitacionom, električnom, magnetnom, brzina i ubrzanje čestice su funkcije oblika, gradijenta i jačine polja.

U ovom radu je izveden izraz za relativističku promenu mase čestice u bilo kom polju koje deluje na česticu - telo, u kome je  $a = \text{const.}$ . Izveden je, pored tačnog matematičkog modela, i aproksimativni model za promenu mase naelektrisane čestice u homogenom električnom polju. Aproksimativni model opisuje samo promenu mase za brzine koje su mnogo manje od brzine svetlosti.

U matematičkom modelu figurišu samo ubrzanje i pređeni put. Taj model se može primeniti na ubrzana kretanja čestica – tela u bilo kom polju.

Posledica, koja sledi iz izvedenog izraza, je da telo koje se kreće ubrzano, ne može preći beskonačni put, već samo konačan put definisan izrazom koji sledi iz modela za promenu mase.

**Ključne reči:** relativistička promena mase pri ubrzanom kretanju, konačnost pređenog puta

### ABSTRACT

Speed of charged particle could never be a constant and therefore Einstein's term for a relativistic change in mass could not be used for accelerated motions. In nature there is not uniform motion because all motions take place in non-homogeneous fields. Only in laboratory conditions could be possible homogeneous electric or magnetic field.

For zero acceleration,  $a = 0$ , the mass of the piece is equal to the mass of the standstill. In non-homogeneous field, or gravitational, electric, magnetic, speed and acceleration of particle are the functions of shape, gradient and strength of field.

In this paper the expression for relativistic change in the mass of particle is derived in any field that works on the particle-body, where  $a = \text{const.}$ . It was performed in addition to the exact mathematical model and aproximative model for change of mass of charged particle in homogeneous electric field. Aproximative model describes only change of mass for motions which are lower of speed of light.

In mathematical model are presented only acceleration and the way forward. That model could be used on accelerated motions of particles in any field.

Consequence is that the accelerated particle could not pass unlimited path.

**Key words:** the relativistic change in the mass of the particle in accelerated motion, finality of the road ahead.

### 1. UVOD

Cilj ovog rada je izvođenje formule za relativističku promenu mase naelektrisane čestice u homogenom električnom polju i ekstrapolacija tog modela na kretanja tela uopšte u bilo kojoj vrsti polja, kao i izvođenje tačne formule za relativističku promenu mase tela u bilo kom polju. Ajnštajnova relacija

$$m = m_0(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$$

važi samo za uniformno kretanje.

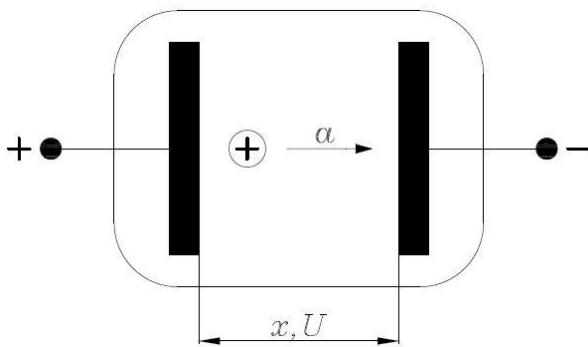
U formuli koja će biti izvedena, promena mase je funkcija ubrzanja i pređenog puta.

Izvešćemo dve relacije: tačnu i aproksimativnu. Aproksimativna relacija (eksponencijalna funkcija)

podrazumeva konstantnost sile koja deluje na česticu u električnom polju a tačna relacija uzima u obzir diferenciranje i po masi i po pređenom putu.

## 2. RELATIVISTIČKA PROMENA MASE PRI UBRZANOM KRETANJU (APROKSIMATIVNI MODEL)

Relativističku promenu mase posmatraćemo u homogenom električnom polju. Posmatraćemo kretanje čestice mase  $m$  i naelektrisanja  $e$  između dveju paralelnih ploča – elektroda, u vakuumskoj cevi, sl. 1. Napon između ploča je  $U$  a rastojanje između njih je  $x$ .



Slika 1. Vakuumaska cev sa paralelnim elektrodama – pločama

$$mc^2 = eU + m_0c^2$$

$mc^2$  – ukupna energija  
 $eU$  – kinetička energija  
 $m_0c^2$  – energija mirovanja

sledi

$$c^2 dm = e dU$$

odnosno

$$\frac{dm}{dU} = \frac{e}{c^2} \dots\dots\dots(1)$$

što znači da je promena mase čestice po jedinici napona konstantna. Sila koja deluje na česticu je

$$F = eE \dots\dots\dots(2)$$

$$F = e \frac{U}{x} \dots\dots\dots(3)$$

Odavde je  $Fx = eU$  odnosno  $Fdx = e dU$ .

S obzirom da je  $F = eE = \text{const.}$  diferenciraćemo samo po promenljivoj  $x$ .

$$dU = \frac{F}{e} dx \dots\dots\dots(4)$$

Zamenom (4) u (1) dobija se:

$$\frac{dm}{Fdx/e} = \frac{e}{c^2} \dots\dots\dots(5)$$

Odavde se, odgovarajućim transformacijama, dobija:

$$dm = \frac{F}{c^2} dx$$

$$dm = \frac{ma}{c^2} dx$$

$$\frac{dm}{m} = \frac{a}{c^2} dx \dots\dots\dots(6)$$

Integracijom leve i desne strane dobija se:

$$\ln \frac{m}{m_0} = \frac{a}{c^2} x \dots\dots\dots(7)$$

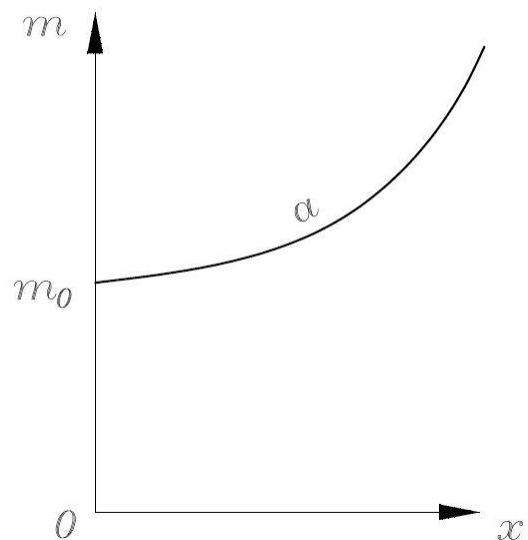
Odavde je:

$$\frac{m}{m_0} = e^{\frac{ax}{c^2}}$$

$$m = m_0 e^{\frac{ax}{c^2}} \dots\dots\dots(8)$$

Iz relacije (8) sledi da se masa čestice pri ubrzanom kretanju menja (povećava) po eksponencijalnom zakonu. Masa će rasti sa povećanjem ubrzanja ( $a$ ) na putu ( $x$ ).

Odgovarajući grafik je:



Slika 2. Grafik relativističke promene mase po aproksimativnom modelu

Ovde imamo dva slučaja:

- 1)  $a = 0 \Rightarrow m = m_0$
- 2)  $a > 0 \Rightarrow m > m_0$

Apsolutna promena mase čestice je:

$$m = m_0 + \Delta m$$

$$m_0 + \Delta m = m_0 e^{\frac{ax}{c^2}}$$

$$\Delta m = m_0 (e^{\frac{ax}{c^2}} - 1) \dots\dots\dots(9)$$

Kinetička energija čestice je:

$$E_k = (m - m_0)c^2 = \Delta mc^2 = m_0 c^2 (e^{\frac{ax}{c^2}} - 1) \dots\dots(10)$$

Promena mase duž puta  $x$  je:

$$\frac{dm}{dx} = m_0 \frac{a}{c^2} e^{\frac{ax}{c^2}} \dots\dots\dots(11)$$

gde je  $\frac{ax}{c^2}$  parametar promene mase čestice ubrzanja ( $a$ ).

Iz relacije (8) dobija se:

$$\frac{a}{c^2} = \frac{\ln \frac{m}{m_0}}{x}$$

Ako, umesto puta  $x$ , kao promenljivu uzmemo napon  $U$ , masa čestice će biti:

$$mc^2 = eU + m_0c^2$$

$$c^2 dm = edU$$

$$m = m_0 + \frac{e}{c^2} U \dots\dots\dots(12)$$

Za  $U = 0 \Rightarrow m = m_0$  i  $U > 0 \Rightarrow m > m_0$   
Kinetička energija čestice je:

$$E_k = (m - m_0)c^2 = \Delta mc^2 = eU \dots\dots\dots(13)$$

Umesto apsolutne promene mase, pogodno je uzeti u razmatranja relativnu promenu mase, tj. odnos:

$$k = \frac{m}{m_0} \dots\dots\dots(14)$$

gde je  $k$  koeficijent povećanja mase. Odgovarajućom zamenom u izrazu (8) dobijamo:

$$ax = c^2 \ln k \dots\dots\dots(15)$$

Proizvod  $ax$  je ključni parametar koji pokazuje da je čestica sa ubrzanjem ( $a$ ) prešla put ( $x$ ) i

promenila (povećala) masu ( $k$ ) puta. Za isto ( $k$ ) proizvod  $ax$  je konstantan. Na kraćem putu potrebno je veće ubrzanje čestice, da bi čestica postigla određenu energiju, a na dužem putu potrebno je manje ubrzanje čestice za postizanje iste energije, odnosno, da bi se postiglo isto ( $k$ ). Iz izraza (15) se vidi da ( $k$ ) ne zavisi od  $m_0$  i da je proizvod  $ax$  konstantan za dato ( $k$ ).

**Primer:**

Za  $k = 2$  izračunati  $ax$ .

Iz relacije (15) sledi:

$$ax = c^2 \ln 2 \dots\dots\dots(16)$$

Pošto u modelu (8) figurišu samo promenljive ( $a$ ) i ( $x$ ) to ga možemo primeniti (ekstrapolirati) i na relativističko kretanje bilo kog tela.

### 3. RELATIVISTIČKA PROMENA MASE PRI UBRZANOM KRETANJU (TAČAN MODEL)

U izrazu (4) diferenciranje smo vršili samo po promenljivoj  $x$ ; uzeli smo da je  $F = eE = const$ . U tačnom modelu diferenciranje ćemo vršiti i po promenljivoj  $F$ , odnosno, diferenciraćemo i po promenljivim  $m$  i  $x$ . Iz relacija:

$$c^2 dm = edU \quad F = eE \quad F = e \frac{U}{x} \quad \text{i} \quad Fx = eU$$

sledi:

$$d(Fx) = d(eU)$$

$$d(max) = edU$$

$$ad(mx) = edU$$

$$a(xdm + m dx) = edU$$

i

$$c^2 dm = a(xdm + m dx)$$

$$c^2 dm = axdm + amd x$$

$$(c^2 - ax) dm = amd x$$

$$\frac{dm}{m} = \frac{a}{(c^2 - ax)} dx$$

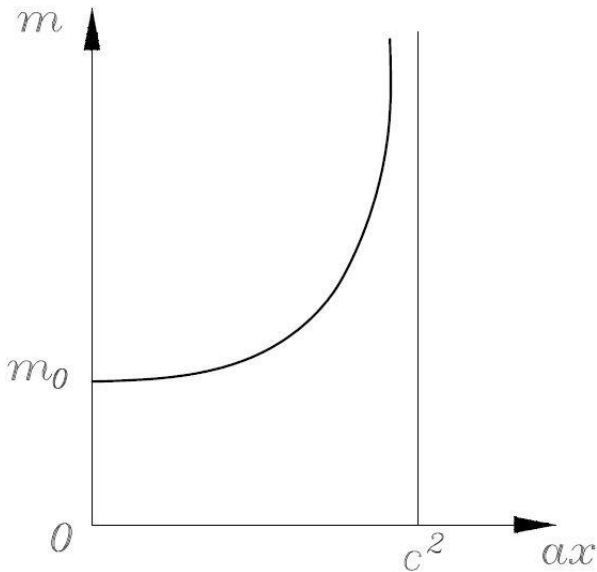
$$\int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = \int_0^x \frac{a}{(c^2 - ax)} dx$$

$$\ln \frac{m}{m_0} = \ln \frac{1}{(1 - \frac{ax}{c^2})}$$

$$m = \frac{m_0}{(1 - \frac{ax}{c^2})} \dots\dots\dots(17)$$

$$ax < c^2 \quad ax < 9 \times 10^{16}$$

Odgovarajući grafik funkcije (17) je:



Slika 3. Grafik relativne relativističke promene mase pri ubrzanom kretanju.

Izraz (17) je opštiji od izraza (8) i sličan je poznatoj relaciji za promenu mase pri uniformnom kretanju. Aproximativna relacija (8) pogodna je za brzine koje su mnogo manje od brzine svetlosti i rezultati se dosta slažu sa onima dobijenim zamenom  $m_0, a$  i  $x$  u izraz (17). Međutim, za brzine bliske brzini svetlosti, primenjuje se izraz (17).

Odgovarajućim transformacijama dobijamo:

$$\begin{aligned}
 m_0 &= m \left( 1 - \frac{ax}{c^2} \right) \\
 m_0 &= m - \frac{m ax}{c^2} \\
 \frac{m ax}{c^2} &= m - m_0 \\
 \frac{ax}{c^2} &= \frac{m - m_0}{m} \dots\dots\dots(18)
 \end{aligned}$$

Parametar  $\frac{ax}{c^2}$  predstavlja, u suštini, relativnu promenu mase čestice. Množenjem leve i desne strane izraza (18) sa  $c^2$  dobijamo:

$$ax = \frac{(m - m_0)c^2}{m} \dots\dots\dots(19)$$

$$ax = \frac{E_k}{m}$$

Kao što se vidi, parametar  $ax$  predstavlja kinetičku energiju čestice po njenoj trenutnoj relativističkoj masi. Promena mase po jedinici puta je:

$$\frac{dm}{dx} = \frac{m_0 a}{c^2 \left( 1 - \frac{ax}{c^2} \right)^2} \dots\dots\dots(20)$$

Grafik funkcije:

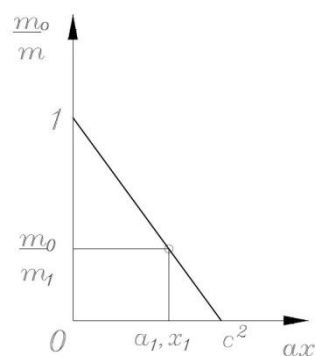
$$m = \frac{m_0}{\left( 1 - \frac{ax}{c^2} \right)}$$

predstavićemo u modifikovanom obliku, na osnovu transformacija:

$$\frac{m_0}{m} = 1 - \frac{ax}{c^2}$$

$$\frac{m_0}{m} = -\frac{ax}{c^2} + 1 \dots\dots\dots(21)$$

Uvešćemo zamenu  $u = ax$ . Dobijamo da je izraz (21) linearna funkcija, sl. 4.



Slika 4. Modifikovani grafik relativne relativističke promene mase pri ubrzanom kretanju.

Mora biti ispunjeno ograničenje  $ax < c^2$ , odnosno  $\frac{ax}{c^2} < 1$ . Iz izraza (17), se vidi da imenilac mora biti veći od nule:

$$1 - \frac{ax}{c^2} > 0$$

odnosno  $ax < c^2$ .

Za  $ax = c^2$  imenilac je jednak nuli – deljenje sa nulom nema smisla, a za  $ax > c^2$  imenilac je negativan, pa bismo dobili da je masa sa negativnim predznakom, što je apsurdno.

Iz grafika, sl. 4, sledi da odnos  $\frac{m_0}{m}$ , ne može da ima bilo koju vrednost, već samo vrednost u intervalu  $(0, ax)$ , odnosno  $(0, c^2)$ . Granične vrednosti za  $ax$  i  $\frac{m_0}{m}$ , nalaze se na hipotenuzi trougla-grafika, od tačke  $(0, 1)$ , do tačke  $(c^2, 0)$ .

Formula

$$m = m_0 e^{\frac{ax}{c^2}}$$

opisuje promenu mase samo za mala ubrzanja čestica na kratkom putu tj. za male vrednosti  $ax$ ,

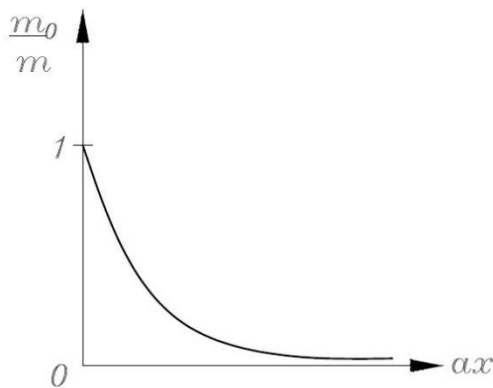
Vrednost  $\frac{m}{m_0}$ , iz aproksimativne formule, se dobro slaže sa onom dobijenom iz relacije  $m = \frac{m_0}{(1-\frac{ax}{c^2})}$

Za relaciju

$$m = m_0 e^{\frac{ax}{c^2}}$$

možemo nacrtati ekvivalentni grafik, sl. 5, na osnovu relacije

$$\frac{m_0}{m} = e^{\left(-\frac{ax}{c^2}\right)}$$



Slika 5. Ekvivalentni grafik promene mase – za aproksimativni model.

U aproksimativnom modelu nema ograničenja za  $ax$ , pa je to njegov ključni nedostatak, jer brzina čestice, po tom obrascu, može preći preći brzinu svetlosti. Taj problem se rešava tačnim modelom (17)

$$m = \frac{m_0}{\left(1-\frac{ax}{c^2}\right)}$$

koji ne dozvoljava da brzina čestice bude veća od brzine svetlosti, što je u skladu sa postulatima da je  $v < c$ . Poređenjem grafika 4 i 5, vidi se da se dijagrami dobro slažu za male vrednosti  $ax$ .

#### 4. DRUGI NAČINI IZVOĐENJA RELACIJE ZA RELATIVISTIČKU PROMENU MASE PRI UBRZANOM KRETANJU

- a) Neka se telo mase mirovanja  $m_0$ , kreće prema objektu koji na njega deluje privlačnim poljem (bilo koje vrste). Energija mirovanja tela je  $E_0 = m_0 c^2$ . Njegova kinetička energija srazmerna je trenutnoj masi  $m_0$ , ubrzanju ( $a$ ) usled dejstva polja i pređenom putu  $x$ , tj.

$$E_k = max$$

Ukupna energija sistema je:

$$E_T = E_0 + E_k$$

Zamenom dobijamo:

$$mc^2 = m_0 c^2 + max$$

$$mc^2 - max = m_0 c^2$$

$$m = \frac{m_0 c^2}{c^2 - ax}$$

$$m = \frac{m_0}{1 - \frac{ax}{c^2}}$$

- b) Kinetička energija čestice koja se kreće ubrzano srazmerna je njenoj masi, ubrzanju i pređenom putu, odnosno radu koji se izvrši na putu  $x$ .

$$(m - m_0)c^2 = max$$

$$mc^2 - m_0 c^2 = max$$

$$mc^2 - max = m_0 c^2$$

$$m(c^2 - ax) = m_0 c^2$$

$$m = \frac{m_0}{1 - \frac{ax}{c^2}}$$

Iz prethodnih postupaka izvođenja vidi se da relacija (17) ima univerzalno značenje za sva ubrzana kretanja tela.

#### 5. POSLEDICE RELACIJE ZA RELATIVISTIČKU PROMENU MASE PRI UBRZANOM KRETANJU

Ključna posledica relacije (17) je da proizvod  $ax$ , nikad ne može biti jednak  $c^2$  i uvek je manji od  $c^2$ . Pretpostavimo da se neko telo kreće konstantnim ubrzanjem  $a$ , u neograničenom prostoru. Posle pređenog puta  $x_{max} = \frac{c^2}{a}$ , telo će dostići i preći brzinu svetlosti, što je nemoguće. Postavlja se pitanje šta se dešava kada se pređe put  $x_{max}$ .

Jedan od mogućih odgovora na ovo pitanje je da tada dolazi do usporavanja tela u polju u kojem je dostiglo graničnu brzinu a to usporavanje je moguće samo kada ubrzanje dobije negativan predznak. Takva ubrzana i usporena kretanja u kosmosu dešavaju se u gravitacionom polju, na putanjama eliptičnog oblika, kada se kosmički objekti kreću ubrzano, pri približavanju centralnom nebeskom telu i usporeno, kada se udaljavaju od nebeskog tela.



Može se pretpostaviti da dolazi do svojevrsnog proboja „svetlosnog zida“, analogno proboju „zvučnog zida“ i da, pri tome, dođe do konverzije materije – korpuskule u talas – elektromagnetno zračenje.

Ako se pri dostizanju brzine svetlosti korpuskula konvertuje u elektromagnetno zračenje, onda to može da znači da korpuskule iz dubina svemira nikad ne mogu doći na Zemlju već samo zračenje koje iz njih nastaje.

Iz izraza

$$m = \frac{m_0}{1 - \frac{ax}{c^2}}$$

$$ax < c^2$$

mogu se izvesti mnoga kosmološka razmatranja (određivanje starosti vasiona, određivanje granica vidljivog svemira, maksimalna ubrzanja nebeskih tela, maksimalni put koji neko telo može preći u svemiru, stvaranje crnih rupa, itd.).

Ukoliko bi došlo do probijanja svetlosnog zida, logična pretpostavka je da je moguća transformacija objekta, koji se kreće brzinom bliskom brzini svetlosti, u crnu rupu, jer se masa tela i njegova gustina enormno povećavaju.

## 6. ZAKLJUČAK

Izraz za relativističku promenu mase čestice bilo je potrebno izvesti zato što ne postoji uniformno kretanje čestice. Čestica se uvek kreće u polju sa određenim gradijentom; u polju se čestica ubrzava ili usporava. Stoga, u izrazu za relativističku promenu mase, treba da figurišu ubrzanje kao promenljiva i pređeni put.

Ako je  $m = m_0$ , ne znači da je brzina čestice jednaka nuli, već da je konstantna, tj.  $a = 0$ , odnosno da se kreće po inerciji (u prostoru gde je rezultanta spoljašnjih sila jednaka nuli), ili da se čestica kreće po ekvipotencijalnoj površi. Čestica se nikad ne može naći u stanju mirovanja, već ubrzanog ili usporenog kretanja. Jedan od ključnih zaključaka je da se telo, koje se kreće ubrzano u slobodnom prostoru, ne može preći beskonačan put, jer bi onda njegova brzina višestruko premašivala brzinu svetlosti, već je maksimalni put određen relacijom  $x_{max} = \frac{c^2}{a}$ . Posle prelaska maksimalnog puta, dolazi do promene stanja tela a i do promene oblika putanje, usled dejstva sila polja i zakrivljenosti prostor-vremena.

Potrebno je izvršiti dodatne analize posledica relacije

$$ax < c^2$$

kako za ubrzana kretanja na atomskom nivou, tako i za ubrzana kretanja na kosmološkom nivou.

Mogu se izvršiti analize da li je moguće da čestice ubrzane u akceleratorima mogu probiti „svetlosni zid“ i konvertovati se u elektromagnetno zračenje. Ako je to moguće onda to može promeniti naša dosadašnja shvatanja o mikro i makro svetu.

## 7. LITERATURA

- [1] Osmokrović P., Osnovi nuklearne fizike, Akademska misao, Beograd, 2008.
- [2] Radovanović V., Elektrodinamika, Fizički fakultet, Beograd, 2014.
- [3] Radovanović V., "Specijalna teorija relativnosti", Fizički fakultet, Beograd, 2015.

# OPTIMALNI OBLIK STRUGOTINE PRI OBRADI TERMOPLASTA

## THE OPTIMUM SHAPE OF CHIPS DURING LATHE MACHINING OF THE THERMOPLASTIC

PREDRAG MOŠORINSKI, master inženjer mašinstva  
Dr MILORAD RANČIĆ, profesor strukovnih studija  
Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

### REZIME

Obradom termoplastičnih materijala najčešće se dobija dugačka i uvijena strugotina koja se gomila oko zone obrade i pri tome utiče na povećanje sile rezanja, temperature spregnutih elemenata tribomehaničkog sistema, pojavu vibracija pri obradi i još niz nepoželjnih pojava. Poseban izazov za tehnologa procesa obrade je pravilno projektovati parametre režima obrade na strugu (broj obrtaja  $n$  [o/min], korak  $f$  [mm/o] i dubinu obrade  $ap$  [mm]), kako bi se dobila strugotina male dužine koja će se lako odvoditi van zone rezanja. Ukoliko bi se pravilnim određivanjem parametara režima rezanja postigao željeni efekat to bi bio najjeftiniji način odvođenja strugotine van zone obrade uz eliminisanje ili bitno smanjenje uticaja neželjenih efekata procesa obrade.

**Cljučne reči:** Strugotina, termoplastični materijali, odvođenje strugotine variranjem parametara režima rezanja

### ABSTRACT

Turning of thermoplastics most often produces stringy spiral chips accumulated in the machining zone thus increasing the cutting resistance, the temperature of coupled elements of the tribomechanic system, occurrence of vibrations and other undesirable phenomena. A particular challenge for a machining process technologist is to correctly determine the parameters of lathe machining regime (number of revolutions  $n$  [rev/min], feed rate  $f$  [mm/rev], feed and depth of cut  $ap$  [mm]) in order to obtain shorter chip length which can be easily evacuated from the cutting zone. If a desirable effect was achieved by correct determination of the cutting regime parameters, it would be the cheapest way to evacuate chips from the machining zone while eliminating at the same time, or significantly lessening the undesirable effects of machining.

**Key words:** Chips, thermoplastics, chip evacuation by varying cutting regime parameters

### 1. UVOD

Strugotina, kao parametar obradljivosti, može biti i jedan od najvažnijih parametara tokom određenih procesa obrade. Različiti oblici strugotine pri obradi čelika se mogu dobiti načinom odvođenja van zone rezanja, reznom geometrijom alata, definisanjem lomača strugotine na grudnoj površini alata i sl. Problem se javlja kod materijala sa mnogostruko lošijim mehaničkim osobinama u odnosu na čelike. Tu spadaju gotovo svi nemetali, a najistaknutiji među njima su termoplastični materijali.

Poseban problem je dobiti oblik strugotine, pri obradi termoplastičnih materijala, prihvatljiv za lako odvođenje van zone rezanja. Termoplastični

materijali imaju visoku žilavost a malu tvrdoću i čvrstoću, i kod takvih materijala je najčešći oblik strugotine trakasta i dugačka koja se uvija oko zone rezanja na spregnutim elementima tj. alata i obratka. Takvu strugotinu je teško odvoditi van zone rezanja a njeno gomilanje oko rezne ivice alata dovodi do povećanja temperature na grudnoj površini alata i povećanja površinskog pritiska na dodirnoj površini između alata i obratka. Postavlja se pitanje da li se adekvatnim izborom parametara režima rezanja može dobiti najprihvatljiviji oblik strugotine, sa malom dužinom i niskim procentom uvijanja. U ovom radu su predstavljena istraživanja na datu temu i izloženi su rezultati merenja.

## 2. PERSPEKTIVE UPOTREBE TERMOPLASTA

Godišnja produkcija i perspektiva primene termoplastičnih materijala u potpunosti opravdava ispitivanja u pogledu definisanja oblika strugotine kao bitnog parametra obradljivosti u procesima obrade rezanjem, prvenstveno. Karakterističan primer primene termoplasta, u novijoj istoriji, su Olimpijske igre u Londonu na kojima je ugrađeno više od 142 000 m<sup>2</sup> svih vrsta termoplastičnih materijala. Na prvenstvu sveta u Kataru, 2022 godine, FIFA planira da dizajnira stadione sa super reflektivnim termoplastičnim materijalima (triangularnim PVC materijalom), sa nultom emisijom ugljenika. Pretpostavlja se da će se do 2020 godine širom Evrope reciklirati preko 800 000 tona termoplastičnih materijala. Mnogi, čuveni proizvođači aviona, sve više u svojim letelicama ugrađuju termoplastične materijale kako bi smanjili ukupnu težinu aviona, a time i potrošnju goriva. Čuveni Airbus A-380 sadrži oko 22% delova od karbonskih vlakana a oplata Boeing-a 787 je gotovo 100% izrađena od plastičnih kkompozita. Zahvaljujući naprednom razvoju nanotehnologija razvijaju se termoplastični materijali i kompoziti sa boljim mehaničkim osobinama za primenu u mnogo složenijim eksploatacionim uslovima (Callister, 2007).

Široka primena termoplastičnih materijala je uslovljena mogućnošću reciklaže, niskom cenom koštanja, mašinskom obradom sa malom silom otpora i niskom temperaturom pri obradi, rezistentnosti na spoljne uticaje i mnogim drugim prihvatljivim osobinama.

Problematikom ispitivanja karakterističnih veličina procesa obrade rezanjem, kao što su sila rezanja, oblik dobijene strugotine, temperatura u zoni rezanja i sl., se bave mnogi savremeni istraživači današnjice (Haijin i dr., 2016; Huang i Yang, 2016; Kara i dr., 2016; Grzesik, 2008; ), a mnogi su u svoje vreme dali puni doprinos sličnim istraživanjima (Chakraveti i dr., 1984; Milikić, 1980; Stanić, 1994).

## 3. KARAKTERISTIKE PROCESA OBLIKOVANJA STRUGOTINE

Kraća strugotina se javlja u zavisnosti od brzine rezanja (broja obrtaja) i koraka. Ukoliko je korak manji stvaraju se uslovi za kraću dužinu strugotine ali se time povećava vreme izrade obratka. Kod ovakvih uslova dolazi i do povećanja temperature u zoni rezanja, što se neutrališe intenzivnijim hlađenjem i dovođenjem veće zapreminske količine sredstva za hlađenje. Obradom materijala koji imaju manji koeficijent trenja, kao što su termoplastični materijali, izbegava se upotreba tečnih SHP-a i time smanjuju troškovi proizvodnje i bitno utiče na sve veće ekološke zahteve.

Kako bi se strugotina pravilno oblikovala potrebno je zadovoljiti niz uslova obrade rezanjem:

- Prilagoditi ulazni ugao vrsti materijala obratka
- Obezbediti potrebnu količinu sredstva za hlađenje i podmazivanje (intenzitet hlađenja i zapreminsku količinu)
- Obezbediti najbrže i najefikasnije načine odvođenja strugotine van zone rezanja
- Povećati efikasnost obrade pravilnim određivanjem parametara režima rezanja
- Smanjiti vibracije tokom obrade

Jedan od najvećih problema savremene mašinske obrade rezanjem je smanjiti intenzitet vibracija sistema alat-obradak-stezni pribor na najmanju moguću meru tokom procesa obrade. Pojava vibracija tokom obrade nepovoljno utiče na kvalitet obrađene površine i povećava netačnost obrade. S obzirom na sve uža tolerancijska polja i mikronsku tačnost mašina, potpuno je opravdano zahtevati da se vibracije bitno smanje i u potpunosti eliminišu tokom procesa rada. Prema iskustvu poznatih svetskih proizvođača delova od termoplastičnih materijala i alata za njihovu obradu ([www.curbellplastic.com](http://www.curbellplastic.com); [www.ensinger-inc.com](http://www.ensinger-inc.com)) način oštrenja alata i održavanje sečiva ostrim u svakom trenutku bitno utiče na zadovoljenje procesa smanjenja vibracija tokom rada i dovodi do brzog odvođenja strugotine van zone rezanja. Smanjenjem površinskog pritiska između alata i površine obratka se takođe stvaraju uslovi za pravilno formiranje i odvođenje strugotine a time i smanjenja negativnih i pomenutih nuspojava (M.M.Khan, 2009-mateconf\_ic; P. Zoltan and G. Csernak, 2013-). U novije vreme se pojavljuju MQL (Minimum Quantity Lubrication) sredstva za podmazivanje pri procesu obrade rezanjem sa efektima poboljšanja površinske hrapavosti obratka i smanjenja veličine i vrste habanja alata. Proces formiranja strugotine pod ovakvim uslovima smanjuje površinske pritiske između alata i obratka i bitno utiče na smanjenje razvoja povišenih temperatura. (Nikhil RanjanDhar Sumaiya Islam i dr, 2017-mateconf; Dhar et al, 2006). Inače tehnologija MQL podrazumeva minimalnu primenu visoko kvalitetnih sredstava za podmazivanje površinskog sloja pri rezanju, kako bi se smanjilo trenje i površinski pritisak između elemenata tribološkog sistema tj. povećanja koeficijenta klizanja kao što je to slučaj pri obradi termoplasta. Ovakav princip je uporediv sa istraživanjima profesora Yoshimure, koji kaže da se površinska hrapavost poboljšava kada se adhezija smanjuje (Yoshimura et al, 2006). Prema istim autorima kada je koeficijent trenja manji od  $\mu < 0,5$  tada se adhezija gotovo ne pojavljuje. Pri obradi termoplastičnih materijala struganjem taj proces je indikativan, s obzirom da je koeficijent trenja kod većine ovakvih materijala daleko ispod ove granice.

#### 4. TEHNIČKI USLOVI ZA PRIPREMU EKSPERIMENTA

##### 4.1 MAŠINA NA KOJOJ JE IZVEDEN EKSPERIMENT

Za eksperiment izvršen u ovom radu korišćena je mašina – numerički strug EMCO F5 CNC koji ima sledeće tehničke karakteristike (Tabela 4.1.1):

**Tabela 1:** Tehničke karakteristike mašine

Naziv	Jedinica mere	Vrednost
Snaga pogonskog elektromotora	Wat	440
Hod duž X-ose	mm	150
Hod duž Z-ose	mm	300
Tačnost mašine	mm	0,01
Opseg posmaka	mm/min	5-400
Opseg brojeva obrtaja	o/min	50-3000
Interfejs priključak	RS 232	

Vrednosti ulaznih parametara režima obrade rezanjem date su u tabeli 4.2.1 a merna metoda, primenjena u eksperimentu, je zasnovana na osam merenja varijacijom datih promenljivih parametara režima obrade rezanja u tabeli 4.2.2.

#### 4.2 METODA MERENJA

U tabeli 4.2.1 nalaze se granične vrednosti parametara režima rezanja na strugu (min i max) i to

**Tabela 4.2.1.** Granične vrednosti parametara

	min	max
$a_p$ (mm)	1,5	2
$v_f$ (mm/min)	80	300
$n$ (min <sup>-1</sup> )	600	1200

dubina obrade ( $a_p$ ), brzina pomoćnog kretanja ( $v_f$ ) i broj obrtaja ( $n$ ).

Prema tabeli 4.2.2 biće realizovano 8 merenja a plan izvođenja eksperimenta je dat redosledno.

**Tabela 4.2.2** Plan izvođenja eksperimenta

	Merenja							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$a_p$ (mm)	2	2	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5
$v_f$ (mm/min)	80	80	300	300	80	80	300	300
$n$ (o/min)	600	1200	600	1200	600	1200	600	1200

Na slici 1 je prikazan merni predmet tj. obradak od mašinskog materijala PTEF, a njegove dimenzije su  $\Phi 40 \times 300$  mm. Nosač obradka je stezna glava i šiljak u konjiciu pa je njegovo kretanje obrtno.

Strugarski nož korišćen u eksperimentu je od TM (tvrdog metala) sa drškom od BČ (brzoreznog čelika). Pločica od TM je sa tvrdo lemljenim spojem vezana za dršku noža.

Materijal obrade je PTFE (politetrafluoretilen) nominalnog prečnika  $\Phi 50 \times 500$ mm.

Ostale tehničke karakteristike strugarskog noža date su u tabeli 4.2.3:

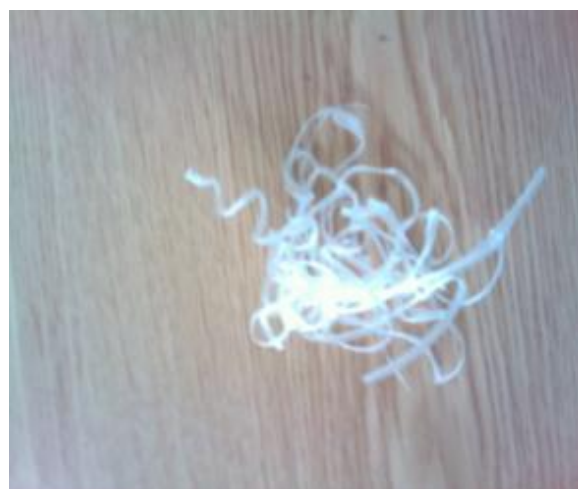


Slika 1. Merni predmet

**Tabela 4.2.3** Karakteristične veličine strugarskog noža

Karakteristična veličina	oznaka	dimenzija
Drška noža	DIN 4976	1010 P10
pločica	SPGN	12 07 08
Napadni ugao	$\kappa$	450
Pomoćni napadni ugao	$\kappa_1$	450
Grudni ugao	$\gamma$	100
Leđni ugao	$\alpha$	110
Ugao nagiba grudne površine	$\lambda$	40
Radijus vrha noža	$r$ (mm)	0,8

#### 5. EKSPERIMENTALNI REZULTATI



Slika 2. Merenje 1: ( $a_p=2$  mm;  $v_f=80$  mm/min;  $n=600$  min<sup>-1</sup>)

U eksperimentalnom merenju 1 je dobijen nepovoljan oblik strugotine koja je trakasta i izuvijana na uskom prostoru. Ovakva strugotine se uvija neposredno uz rezu ivicu alata i opterećuje alat dodatnim površinskim pritiscima, izaziva pojavu vibracija pri obradi i sprečava dovodjenje sredstva za hlađenje i podmazivanje u neposrednu zonu rezanja. Kako bi se strugotina uspešno odvodila van zone rezanja potrebno je konstruisati posebne oblike lomača strugotine, što bi povećalo troškove proizvodnje.



Slika 3. Merenje 2: ( $a_p=2$  mm;  $v_f=80$  mm/min;  $n=1200$  min<sup>-1</sup>)

Promenom jednog od parametara režima rezanja (eksperimentalno merenje 2), u ovom slučaju broja obrtaja  $n$ , dobija se mnogostruko povoljniji oblik strugotine u odnosu na prethodni. Strugotina u ovom slučaju je pravilnog oblika, delimično iskrzana i sa mnogostruko manjom dužinom. Ovakav oblik je veoma poželjan u procesima obrade rezanjem zbog toga što se lako odvodi van zone rezanja i ne utiče na pojavu vibracija kojima se narušava kvalitet obrađene površine.



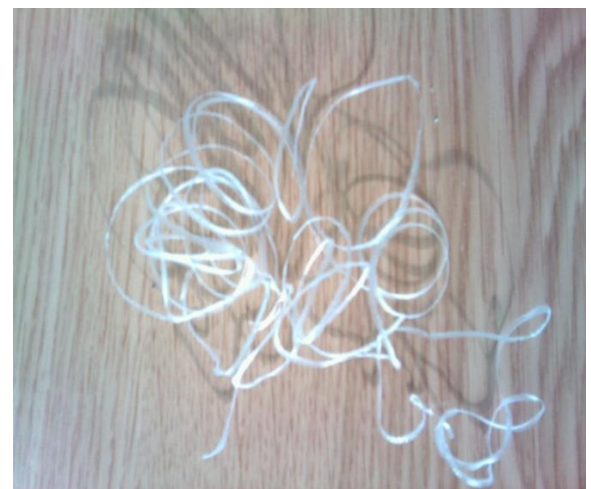
Slika 4. Merenje 3: ( $a_p=2$  mm;  $v_f=300$  mm/min;  $n=600$  min<sup>-1</sup>)

U eksperimentalnom merenju pod 3 dobijen je neprekidni oblik strugotine koja se većinom uvijala oko radnog predmeta a ne alata. U odnosu na eksperimentalno merenje 1 ovakva strugotina manje opterećuje spregnute elemente obrade rezanjem i ne dovodi do pojave dodatnih vibracija alata. Ovakav oblik strugotine je moguće skratiti prethodnom primenom niza poprečnih obrada, tj pravilnijim projektovanjem tehnološkog postupka obrade.



Slika 5. Merenje 4: ( $a_p=2$  mm;  $v_f=300$  mm/min;  $n=1200$  min<sup>-1</sup>)

Oblik strugotine u eksperimentalnom merenju 4 je dugačka i neprekidna strugotina bez vidljivih deformacija i iskrzanosti. Ovakav oblik je vrlo nepovoljan i dobijen je primenom maksimalnih vrednosti sva tri parametra režima rezanja. Strugotina se u ovom slučaju uvija i oko alata i oko obratka, dodatno opterećujući ceo tribološki sistem sa vidljivim narušavanjem kvaliteta obrađene površine.



Slika 6. Merenje 5: ( $a_p=1,5$  mm;  $v_f=80$  mm/min;  $n=600$  min<sup>-1</sup>)

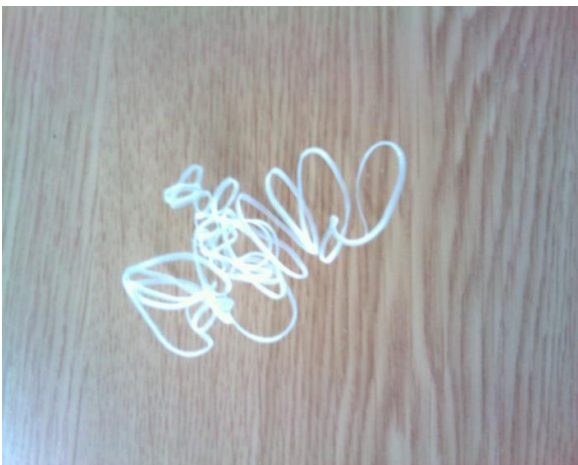
Strugotina u eksperimentalnom merenju 5 ima slične karakteristike kao i u merenju 4 ali je u ovom slučaju dobijeni oblik ostvaren pomoću minimalnih vrednosti sva tri parametra režima obrade rezanjem. Zaključak je da se linearnim smanjenjem vrednosti

parametara režima obrade rezanjem može dobiti takođe nepovoljan oblik strugotine i da je potrebno varirati parametre režima obrade po nelinearnom principu kako bi se ostvario povoljniji oblik.



Slika 7. Merenje 6: ( $a_p=1,5$  mm;  $v_f=80$  mm/min;  $n=1200$  min<sup>-1</sup>)

Eksperimentalni rezultati merenja u ogledu broj šest potvrđuju ovu tezu. U ovom eksperimentalnom merenju je dobijena strugotina male dužine koja se lako odvodi van zone rezanja, sa vrlo malim vibracijama spregnutog sistema (alat-obradak-stezni pribor) i sličnim karakteristikama kao u eksperimentalnom merenju 2.



Slika 8. Merenje 7: ( $a_p=1,5$  mm;  $v_f=300$  mm/min;  $n=600$  min<sup>-1</sup>)

U eksperimentalnom merenju 7 je dobijen oblik strugotine sličan onom u eksperimentalnom merenju 1 sa svim negativnim karakteristikama.

Oblik strugotine pri eksperimentalnom merenju 8 je nešto povoljniji u odnosu na merenja 4 i 5, za koja se može zaključiti da su najnepovoljniji oblici dobijeni u datim merenjima. Strugotina u eksperimentalnom merenju 8 je trakastog oblika ali nije neprekidna. Na određenoj dužini se strugotina

lomi i time se lakše odvodi van zone rezanja. Parcijalni zaključak je da se smanjenjem dubine obrade, uz zadržavanje maksimalnih vrednosti ostala dva parametra režima obrade rezanjem, može dobiti povoljniji oblik strugotine.



Slika 9. Merenje 8: ( $a_p=1,5$  mm;  $v_f=300$  mm/min;  $n=1200$  min<sup>-1</sup>)

## 6. ZAKLJUČAK

Strugotina je dobar pokazatelj obradljivosti određenih materijala, a naročito materijala sa većom žilavosti i manjom tvrdoćom i čvrstoćom. Očekivani oblik strugotine pri obradi termoplastičnih materijala je, gotovo uvek, spiralni sa velikom dužinom i bez vidljivih izlomljenih segmenata pri delovanju lomača strugotine. Lomači strugotine gotovo da i nemaju uticaj na dobijeni oblik i dužinu strugotine kod ovakvih materijala.

Eksperimentalni podaci u ovom radu pokazuju da se dobijanje sitne i isparčane strugotine može postići adekvatnim izborom parametara režima rezanja, prvenstveno brojem obrtaja ( $n$  [min<sup>-1</sup>]) i veličinom koraka ( $f$  [mm/0]) tj. brzinom koraka ( $v_f$  [mm/min]). Povećanjem broja obrtaja i ujedno smanjenjem koraka (eksperimentalna merenja 2 i 6) se dobija traženi oblik strugotine koju je najlakše odvesti van zone rezanja.

Dubina rezanja za ova dva eksperimentalna merenja je različita i ona nije presudno uticajan faktor za dati materijal. Ova pretpostavka je u skladu sa ispitivanjima čuvenog svetskog proizvođača alata Sandvik-Koromant-a, kojima se potvrđuje pretpostavka da se varijacijama koraka i broja obrtaja, nezavisno od dubine obrade, može uticati na skraćivanje ukupne dužine strugotine (Analyzing chip formation, 2013, sandvic-corromant.com/education.).

Ostali dobijeni oblici strugotine su dugačke i trakaste strugotine (neprekidne) što u mnogome otežava proces odvođenja van zone obrade, a najnepovoljniji među njima je dobijen primenom najintenzivnijih parametara režima obrade rezanjem u pretpostavljenom eksperimentu (merenje 4).

Variranjem parametara režima rezanja se na najjednostavniji i najjeftiniji način dobija željeni oblik strugotine, čime se izbegavaju sve složeni oblici reznih pločica i lomača strugotine.

## 7. LITERATURA

- [1] Callister, W.D., Jr. Material Science and Engineering, University of Utah, seventh edition, USA. 2007.
- [2] Csernak, Z., Palmi, Z. Effects of built-up edge-induced oscillations on chip formation during turning, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 332, pp. 2057-2069. 2013.
- [3] Dhar, R. N. Theory of Metal Cutting-Theory of Chip Formation, Department of Industrial & Production, Lecture 07, pp. 1-13. 2006.
- [4] Ekinović, S. Obrada rezanjem, Dom štampe, Zenica, BiH, ISBN: 9958-617-15-3, 136 str. 2001.
- [5] Grzesik, W. Advanced Machining Processes of Metallic Materials, p.462. 2008.
- [6] Haijin, W., Jie, S., Dandan, Z., Kai, G., Jianfeng, L. The effect of cutting temperature in milling of carbon fiber reinforced polymer composites, *Applied Science and Manufacturing*, Vol. 91, Part , pp. 380 - 387. 2016.
- [7] Huang, K., Yang, W. Analytical model of temperature field in workpiece machined surface layer in orthogonal cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 229, pp. 375 – 389. 2016.
- [8] Kalajdžić, M. Tehnologija mašingradnje, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet u Beogradu, Srbija, 419 str. 2008.
- [9] Kara, F., Aslantas, K., Cicek, A. Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network, *Applied Soft Computing*, Vol.38, pp. 67 – 74. 2006.
- [10] Kalajdžić, M., Tanović, Lj., Babić, B., Glavonjić, M., Miljković, Z., Puzović, R., Kokotović, B., Popović, M., Živanović, S., Tošić, D., Vasić, I. Tehnologija obrade rezanjem. Priručnik, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, ISBN 978-86-7083-623-5, 453 str. 2012.
- [11] Khan, A., Mithu, A., Dhar, N. Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI – based cutting fluid, *Journal of materials Processing Teshnology*, Vol. 209, pp. 5573-5583. 2009.
- [12] Nikhil Ranjan Dhar, Md. Wahidul Islam, Sumaiya Islam and Md Abu Hayat Mithu, The Influence of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on cutting Temperature ,Chip and Dimensional Accuracy in Turning AISI 1040 Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.171, pp.93-99, 2006.
- [13] Islam, S., Khandoker, N., Izham, M., Azizi, T., Debnath, S. Development of a Low Cost MQL Setup for Turning Operations, *MATEC Web of Conferences* 95, p.7. 2017.
- [14] Tolmač, D., Prvulović, S. Tehnologija obrade proizvoda, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, Srbija, 99 str. 2012.
- [15] Yoshimura, H., Moriwaki, T., Ohmae, H., Nakai., T., Shibasaka., T., Kinoshita, H., Matsui, M., Shimizu, M. Study on Near Dry Machining of Aluminium Alloys, *JSME, International Journal ser.C*, Vol 49, No.1, pp.83-89. 2006.

# УЛОГА И ЗНАЧАЈ ДИНАМИЧКЕ КОМПЕНЗАЦИЈЕ РЕАКТИВНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СНАГЕ У СИСТЕМИМА ЗА ТАЧКАСТО ЗАВАРИВАЊЕ

## THE ROLE AND SIGNIFICANCE OF DYNAMIC REACTIVE ELECTRIC POWER COMPENSATION IN SYSTEMS OF SPOT WELDING

Др **ЖЕЉКО ДЕСПОТОВИЋ**<sup>1</sup>, дипл. ел. инж.

**ЕМИЛИЈАН ЛАКИЋ**<sup>2</sup>, инж. струк.студија

Мр **НИКОЛА ЛАКЕТИЋ**<sup>3</sup>, дипл. ел. инж.

<sup>1</sup>Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду

<sup>2</sup>Енерго Систем д.о.о., Брчко, БиХ

<sup>3</sup>Авалон Партнерс д.о.о, Београд

### REZIME

Машине и системи за тачкасто заваривање представљају претежно индуктивна оптерећења и имају изузетно брзе и велике промене струје и као такве се одликују са јако високим садржајем виших хармоника. Ови системи у електричној мрежи изазивају веома велике струјне ударе, а као последица њих настају значајни напонски пропади и фликери, који неповољно утичу како на квалитет напајања осталих потрошача у напојној мрежи, тако и на сам квалитет тачкастог заваривања и продуктивност целокупног система. У оваквим случајевима, уобичајени системи са степенастом компензацијом реактивне снаге базирани на кондензаторским батеријама нису довољно брзи да прате промене реактивног оптерећења, као што је машина за тачкасто заваривање. Примена оваквих решења често доводи од недовољне компензације или у неким случајевима чак и до прекомпензације. Стога је технички, а и економски оправдано применити тиристорски регулатор који у комбинацији са одговарајућом пригушницом и кондензаторском батеријом може веома брзо да компензује ове промене у реактивној електричној снази унутар само две до три периоде мрежног напона. У овом раду је описан један конкретни систем за брзу динамичку компензација реактивне снаге, кога су реализовале компаније AVALON Partners д.о.о - Београд и Енерго Систем - Брчко, на машини за тачкасто заваривање арматурних мрежа, док су на крају су дати експериментални резултати

добијени на постројењу пре и након динамичке компензације.

**Кључне речи:** Компензација, реактивна електрична снага, динамичка

### ABSTRACT

**ABSTRACT:** Machines and systems for spot welding represent the predominantly inductive loads and have extremely rapid and large changes of electrical current, and as such are characterized with very high content of harmonics. These systems in the electrical network cause very large peak current, and as a result, they generate significant power failures and flickers, which adversely affect both the quality of the supply of other consumers in the supply network, as well as the quality of spot welding and the productivity of the entire system. In such cases, conventional reactive power compensation systems based on capacitor batteries are not fast enough to monitor reactive load changes, such as a spot welding machine. The application of such solutions often results in insufficient compensation or, in some cases, even overcompensation. It is therefore technically and economically justifiable to apply a thyristor regulator which, in combination with an appropriate choke and battery of capacitors, can quickly compensate for these changes in reactive electric power within only two to three periods of mains voltage. This paper describes a concrete system for fast dynamic compensation of reactive power, realized by AVALON Partners and Energo Sistem–Brcko, on the



machine for spot welding of armature construction fittings. Finally, are given the experimental results obtained at the plant before and after dynamic compensation of reactive power.

**Key words:** Compensation, reactive electric power, dynamic compensation, energy efficiency, TSC thyristor converter, spot welding

## 1. UVOD

У току процеса електролучног заваривања електрични лук генерише више хармонике струје равномерно по читавом спектру. Услед овога примена класичних индустријских решења базираних на разним типовима серијских и паралелних резонантних филтара, за компензацију реактивне снаге не даје задовољавајуће резултате, а у неким случајевима и није могућа. Струје заваривања су несиметричне и значајно се разликују се по фазама, што онемогућава употребу опреме са трофазним прекидачима [1-3]. Додатно, велике проблеме проузрокују струјни импулси релативно велике амплитуде и стрмине, који се имају током заваривања. Типичне вредности амплитуда износе и до 10кА, а сам процес краткотрајног заваривања траје неколико периода мрежног напона (типично 100÷200 ms). Из ових података је јасно, да је уствари немогуће применити класичне тиристорске регулаторе реактивне снаге који раде секвенцијално корак по корак и са знатно дужим временима укључења и искључења[3-4]. У овом случају се мора пројектовати и уградити специфична опрема за компензацију реактивне снаге у реалном времену (велике брзине реаговања у интервалу од 20 ms), са имплементираном функцијом брзог укључења у једном кораку и са распрегнутом регулацијом по фазама. Из ових разлога, ови системи морају бити базирани на ултра брзим тиристорским прекидачким модулима велике снаге, док резонантна учестаност филтерских корака мора бити прилагођена спектру струје заваривања. Као крајњи циљ се намеће да је потребно обезбедити да целокупно постројење ради мирно и стабилно, са минималним осцилацијама напона (тада се побољшава квалитет самог вара) и са смањеним хармоницима у напону и струји, као и редукованим напонским пропадима и фликерима. И на крају, можда и најзначајнија економска оправданост динамичке компензације реактивне снаге, се огледа у смањењу рачуна за утрошену електричну енергију[5].

Динамичка компензација може бити директна и индиректна. Код директне компензације помоћу статичког прекидача (антипаралелна веза тиристора) врши се укључење и искључење кондензаторске батерије. Код индиректне компензације кондензаторска батерија је фиксно везана на мрежу, а регулација реактивне снаге врши се укључењем и искључењем пригушнице преко статичког прекидача [6].

Важно је такође напоменути да класични тиристорски регулатори реактивне снаге, и поред

релативно велике брзине реаговања, не могу испратити овако брзе промене реактивне снаге, као што је случај у постројењима за формирање арматурних мрежа.

Класични комерцијални регулатори за тиристорску компензацију, у практичним условима, имају низ ограничења. Времена реаговања у пракси су значајно дужа од декларисаних времена. Уобичајено је да се време укључења дефинише као минимално време за које регулатор укључује први корак, али та дефиниција није одговарајућа за заваривачки погон. Код интермитентних погона (циклус који се понавља у кратким временским интервалима), време укључења зависи не само од брзине процесора већ и од тога колико често се понавља циклус. Ово је везано за време пражњења батерије, тј. компензациони степен се не може укључити, све док се не осигура да је разлика напона мреже и заосталог напона кондензаторске батерије у тренутку укључења довољно мала. Већина произвођача декларише само време укључења према брзини процесора, тј. у идеалним условима, док је у пракси то време значајно дуже. Код мање квалитетних управљачких јединица на тржишту ефективно време укључења иде и до 1 секунде. Следи да није сваки регулатор погодан за компензацију реактивне снаге заваривачког погона и поред, наизглед задовољавајућих брзина реаговања. Класичним тиристорским регулаторима компензациони кораци се укључују секвенцијално, тј. један по један, што је неприменљиво у случају заваривања арматурних мрежа. То значи да регулатор постепено укључује 1, 2 или 3 корака и по завршетку заваривачког импулса овим регулаторима треба још толико да искључе ове кораке, а за то време постоји значајна прекомпензација. Значи, употреба класичних тиристорских регулатора реактивне снаге довела би до неефикасне укупне компензације, повремене прекомпензације и до додатних осцилација и изобличења напона и струја погона. Оваква спорост у реаговању је нарочито опасна јер се не може детектовати без мрежног анализатора. Анализа рачуна за реактивну енергију показује да су трошкови делимично смањени, али тек мрежни анализатор може показати да се ради о јако опасном режиму рада који доводи до убрзаног старења опреме.

Техничка решења за динамичку компензацију реактивне снаге се базирају на тиристорским "real time" регулаторима који имају задовољавајућу ефективну брзину реаговања и ефикасне механизме управљања заосталим напонем на кондензаторској батерији [7].

## 2. ТОПОЛОГИЈЕ ТИРИСТОРСКИХ ПРЕТВАРАЧА ЗА ДИНАМИЧКУ КОМПЕНЗАЦИЈУ РЕАКТИВНЕ СНАГЕ

Заваривачки уређаји се често израђују као наизменични, са веома малом импедансом, који се на трофазну мрежу се прикључују двофазно, тако да представљају јако несиметрична, претежно индуктивна оптерећења. Фактор снаге основног хармоника струје износи просечно 0.6-0.7. Интензитет струје заваривања се код ових уређаја најчешће подешава помоћу тиристорских струјно регулисаних претварача. Услед њиховог рада долази до струјних и напонских изобличења, као и до пропада мрежног напона који је условљен присутним струјним ударима, односно захтевима оптерећења за реактивном снагом. Ти нагли пропади напона у мрежи делују штетно на остале потрошаче и значајно нарушавају квалитет њиховог напајања електричном енергијом. На пример, те промене напона условљавају, са одговарајућом фреквенцијом и амплитудом појаву тзв. фликера (титрања) осветљаја извора светлости. Ово може имати значајан утицај и на психофизичке и менталне карактеристике људи.

Компензација удара активне и реактивне снаге има смисла једино када се кондензаторске батерије за компензацију укључују и искључују, прецизно и истовремено са укључивањем и искључивањем оптерећења. Уз помоћ тиристорских модула и адекватних кондензатора може се постићи компензација која се може прилагодити ритму процеса заваривања. Комбинација тиристорских модула у кондензатора се обично назива TSC модул (Thyristor Switched Capacitor). Главна предност код динамичке компензације реактивне снаге је та, што тиристори у односу на класичне контакторске склопке имају знатно већу брзину. У овом случају, не долази до склопног пренапона, јер се тренутак укључивања и искључивања одлаже до тачке када струја кондензатора има природан пролаз кроз нулу[8].

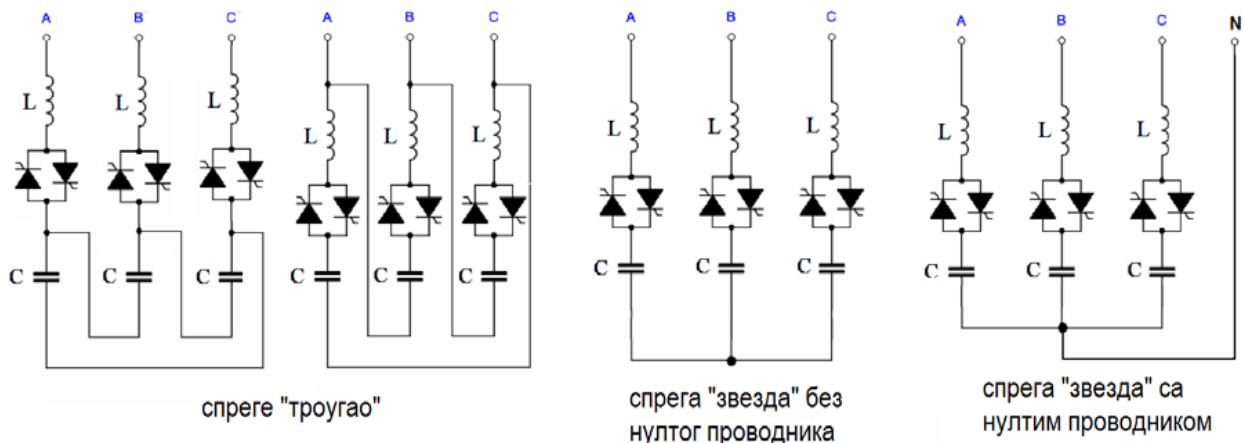
Антипаралелно везани тиристори имају предност над контакторима, због тога што они прекидају струју у тренутку када она природно пролази кроз нулу, што није случај код контактора. Код контактора се прекида струја која је различита од нуле, али се приликом отварања контаката могу јавити велики напона на њима. Услед овога долази до напрезања контаката и дисипације у релативно кратким временским тренутцима. Иначе су контакти контактора подложни хабању и њихов радни век је релативно кратак за овакве апликације.

Неке од најчешће коришћених топологија TSC модула су приказани на Слици 1 : спреге "троугао", спреге "звезда" са и без изведеног нултог проводника. Трофазна тиристорска антипаралелна спрега се користи за укључење кондензаторске батерије C, док се ограничење струје пуњења батерије остварује са пригушницом L.

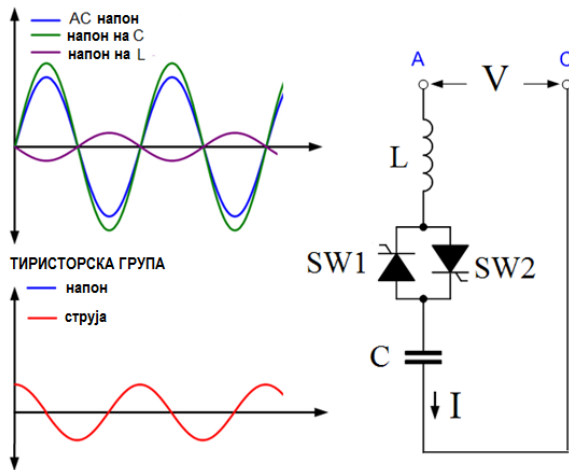
## 3. КАРАКТЕРИСТИЧНИ ТАЛАСНИ ОБЛИЦИ СТРУЈА И НАПОНА У TSC МОДУЛИМА ЗА ДИНАМИЧКУ КОМПЕНЗАЦИЈУ РЕАКТИВНЕ СНАГЕ

У овом поглављу су приказани карактеристични таласни облици струја и напона добијени на симулационом колу које одговара једној фази TSC модула, за случај спреге "звезда", које је приказана на Слици 1. Таласни облици су добијени за три карактеристична режима: стационарно стање, укључење и искључење кондензаторске батерије C.

На Слици 2 су приказани таласни облици мрежног напона, напона на кондензаторској батерији C, напона на пригушници L, напона на тиристорској групи (SW1-SW2) и струје TSC модула у једној фази, за случај стационарног радног режима. Напони кондензаторске батерије и напона пригушнице су у против фази, док је напон кондензаторске батерије нешто виши од вредности мрежног напона. Струја у колу је претежно одређена импедансом кондензаторске батерије и фазно предњачи у односу на напон мреже за приближно 90°.



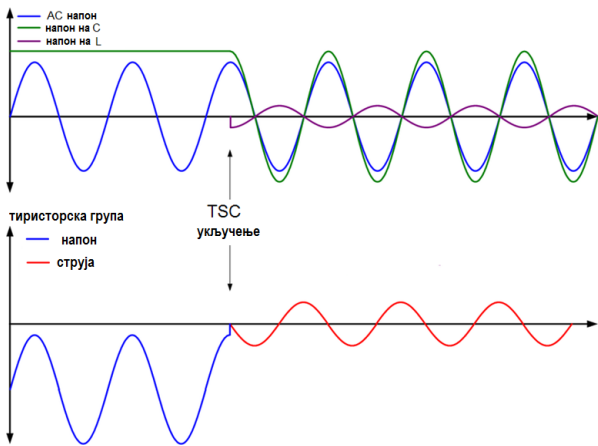
Слика 1. Топологије TSC модула за динамичку компензацију реактивне снаге



Slika 2. Таласни облици карактеристичних величина (струја и напона) у оквиру TSC модула за компензацију реактивне снаге у устаљеном стању

Најкритичнији режими у системима за динамичку компензацију реактивне снаге су прелазни режими који се јављају приликом укључења и искључења кондензаторске батерије.

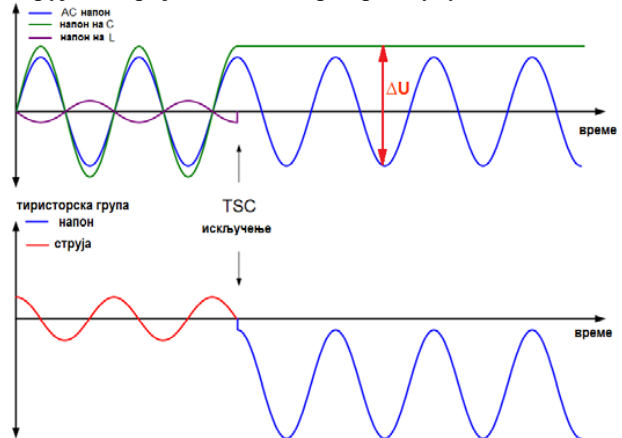
Укључење кондензаторске батерије се остварује аутоматски при синхронизму са напоном на НН сабирницама, односно када су мрежни напон и евентуални преостали напон на кондензаторима батерије на приближно истој вредности као што приказују карактеристични таласни облици на Слици 3. Тек тада је могуће укључење кондензаторске батерије без удара. Код испражњених кондензатора, ово се догађа при нултим вредностима мрежног напона.



Slika 3. Таласни облици карактеристичних величина (струја и напона) у оквиру TSC модула за компензацију реактивне снаге током укључења кондензаторске батерије

Са Сликe 3 се види да тиристор почиње да проводи тек када дође до приближног изједначења напон мреже и заостали напон кондензаторске батерије, што резултује минималним транзијентом приликом укључења.

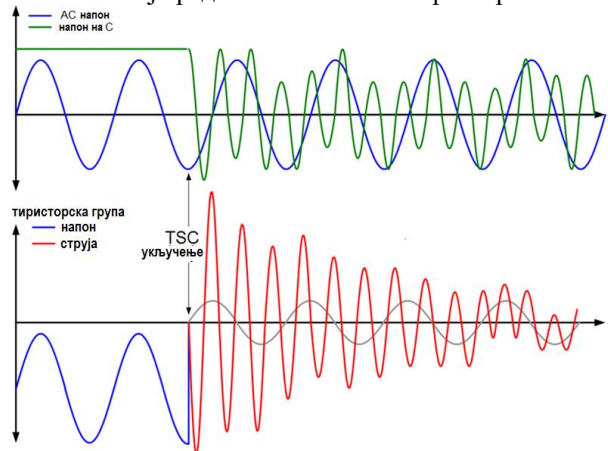
Код искључења кондензатора, које се остварује при пролазу струје кроз нулу, кондензатор је постигао свој највиши напон, односно приближно вршну вредност мрежног напона. Са Сликe 4 се види да се батерија искључује тек при проласку струје батерије кондензатора кроз нулу.



Слика 5. Таласни облици карактеристичних величина (струја и напона) у оквиру TSC модула за компензацију реактивне снаге током искључења кондензаторске батерије

Обзиром на велику брзину и комплексне услове укључења и искључења кондензаторске батерије, радом тиристора управља посебан електронски блок који је базиран на тзв. „zero crossing“ електронској картици. Улога ове картице је да у реалном времену прати сва три мрежна напона и сва три заостала напона на кондензаторској батерији, као и да синхронизује упаљачке сигнале за тиристоре када централни регулатор да налог за укључење или искључење.

Уколико синхронизација није адекватна долази до значајно изражених нежељених транзијената. На Слици 6 су приказани карактеристични таласни облици када се укључење кондензаторске батерије остварује у неадекватном тренутку и при максималној вредности напона на тиристорима.



Слика 6. Таласни облици карактеристичних величина (струја и напона) у оквиру TSC модула за компензацију реактивне снаге у одсуству синхронизације укључења кондензаторске батерије

Са таласних облика приказаних на Слици 6 се уочава, да транзијент напона на кондензаторској батерији С садржи основну компоненту 50Hz, на коју се суперпонира компонента учестаности која је једнака резонантној учестаности еквивалентног L-C кола.

#### 4. ТЕХНИЧКИ ОПИС ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА ПОСТРОЈЕЊА ЗА ЗАВАРИВАЊЕ АРМАТУРНИХ МРЕЖА

Овај рад обрађује врло специфичну област компензације реактивне снаге, а то су машине за производњу арматурне мреже. Ове машине имају изузетно брзе и велике промене струје са јако високим садржајем виших хармоника. У домаћој пракси код оваквих машина углавном није извођена компензација реактивне снаге, а тамо где је изведена резултати су јако лоши због насталих резонантних ефеката и пратећих паразитних осцилација струја и напона.

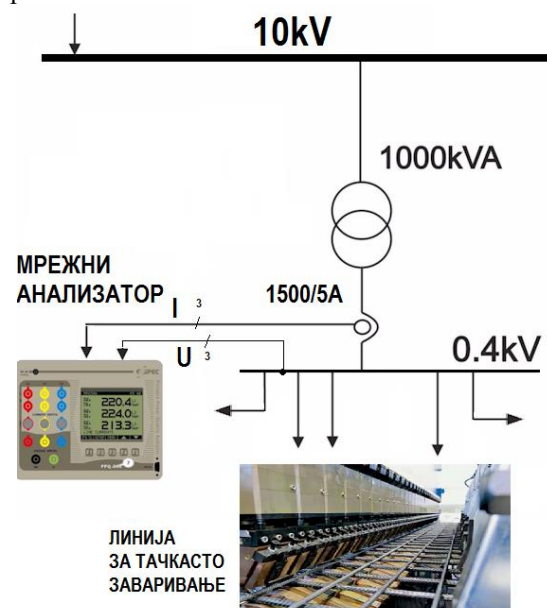
Једна од најпознатијих српских фабрика за производњу арматурних мрежа ЕУРОПОЛИС-Батајница, у циљу смањења трошкова електричне енергије одлучила је да изврши компензацију реактивне снаге. У погону су доминантне три машине за производњу арматурне мреже, произвођача Schlatter, које у аутоматизованим поступком тачкастог заваривања са више заваривачких глава истовремено, праве арматурну мрежу, као што показује Слика 7.

Опрема за производњу арматурне мреже је веома специфична са становишта компензације реактивне снаге. Као прво електрични лук генерише широк спектар виших хармоника, друго: струјни импулси трају релативно кратко – око 200ms, треће: брзина и амплитуда промене струје су веома високе око 1200 A /20 ms. Јасно је да се реактивна снага оваквих машина не може компензовати класичном опремом, како због могуће резонансе тако и због осцилација напона који утичу на квалитет вара, тј. основног производа. Обзиром на наведене проблеме, фабрике арматурних мрежа углавном остављају ове машине некомпензованим.



Слика 7. Машина за тачкасто заваривање арматурних мрежа

Први корак приликом израде техничког решења компензације реактивне снаге је мерење одређених параметара квалитета електричне енергије у погону фабрике ЕУРОПОЛИС. Мерења су вршена у току довољно дугог периода, који обухвата комплетан радни циклус потрошача. Такође, мерења су далеко бољи и поузданији начин да се дефинишу и извори виших хармоника струје, пре него да се то чини на основу карактеристика пријемника. Разлог је што је готово немогуће проценити фактор једновремености нелинеарних пријемника, фазни померај истих хармоника струја који потичу од више пријемника, тачне хармонике струја, итд. Мерењима су обухваћене следеће величине: напони, струје, активне и реактивне снаге, фактор снаге као и ТНД напона и струја, и на крају спектар виших хармоника.



Слика 8. Приказ мерног места на 10/0.4кВ трансформатору ТР2 машине за тачкасто заваривање арматурних мрежа; мерење је базирано на Supply Network Analyzer PPQ-306

Снимање је извршено у трансформаторској станици (ТС) која поседује два енергетска трансформатора снага 2x1000кВА који раде у засебном режиму. Како је линија за тачкасто заваривање спојена на трансформатор број 2 (ТР2), мерења су вршена на овом трансформатору. Приказ мерног места је дат на Слици 8. Мерења су вршена на нисконапонској страни трансформатора. Вредности напона су узете са сабирница ниског напона. Вредности струја су узете са постојећих струјних трансформатора помоћу струјних клешта 1500/5А.

На основу добијених резултата је предложен систем за динамичку компензацију реактивне енергије[3]. Како је у питању брзо променљив погон испитна мерења су урађена са софистицираним инструментом PPQ-306 који има могућност прецизног мерења на нивоу једне периоде [9].

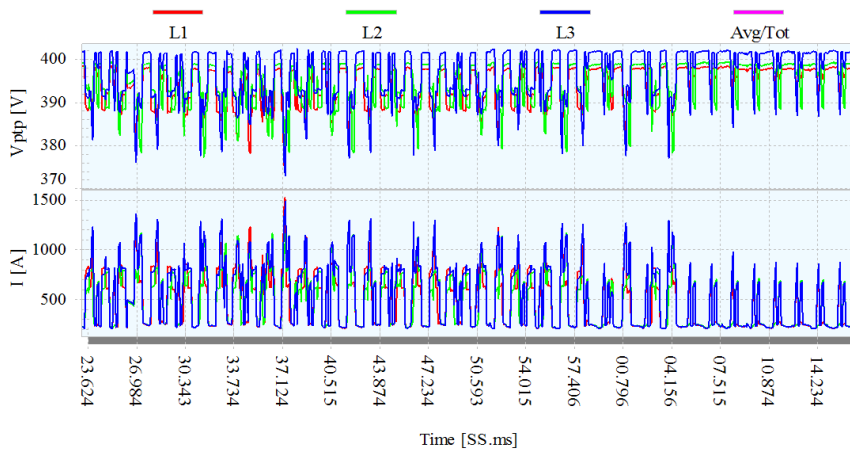
## 5. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА НА НЕКОМПЕНЗОВАНОМ ПОСТРОЈЕЊУ ЗА ЗАВАРИВАЊЕ АРМАТУРНИХ МРЕЖА

У овом поглављу су представљени резултати експерименталних мерења на некомпензованом постројењу за заваривање арматурних мрежа фабрике ЕУРОПОЛИС – Батајница. Ови резултати су послужили као јасна смерница за поређење са експерименталним резултатима добијеним након извршене динамичке компензације реактивне снаге.

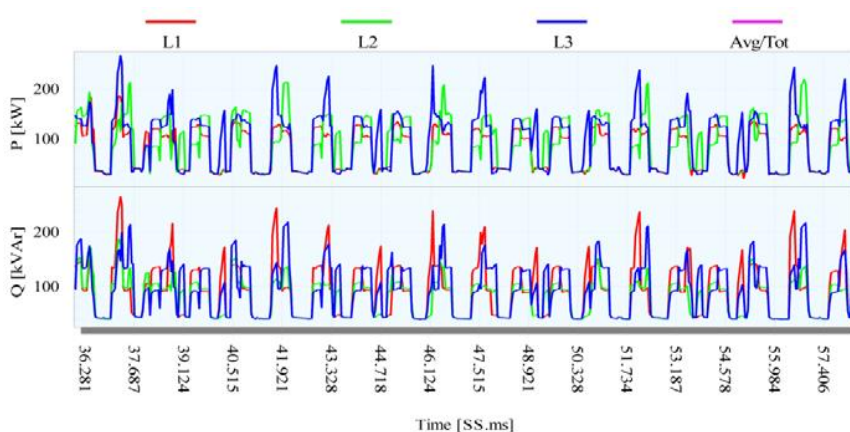
На Слици 9 су приказани таласни облици промене ефективних вредности напона и струја које су добијена на мерном месту на секундару трансформатора TP2 (Слика 8). Како овај трансформатор напаја брзопроменљив погон велике снаге, какав се има на постројењу за заваривање арматурних мрежа, на снимљеним дијаграмима се јасно виде изузетно стрми и брзи удари. Систем се понаша изузетно нелинеарно и обзиром да постоје три већа потрошача чији рад не мора бити једновремен имамо ситуацију вишеструких струјних удара на нивоу само једне секунде. У појединим тренуцима рад машина се поклапа а у неким другим не, па су приказани пикови некада мањи, а некада већи. Промена струје иде и до 1500А у интервалу мањем од 100ms што има за последицу смањење

ефективне вредности напона мреже и до 30V тј. за око 8% [3].

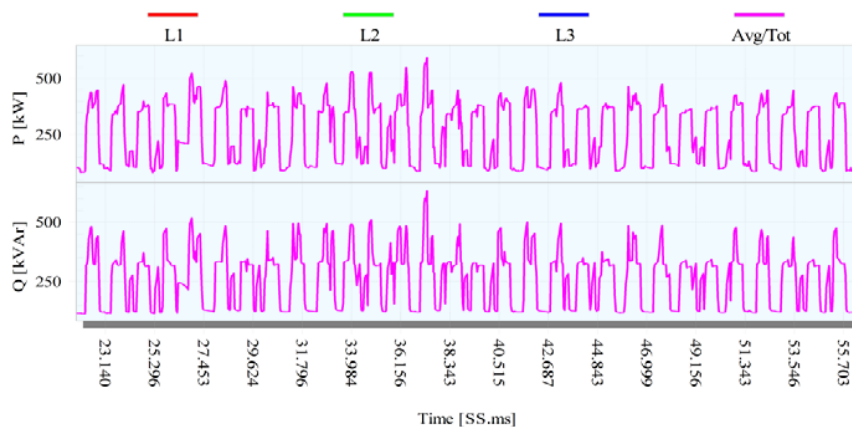
На Слици 10 приказан је дијаграм активне и реактивне снаге. Брзе промене у активној и реактивној снази су идентичне са променама у струји. На Слици 11 приказана је средња вредност укупно ангажоване активне и реактивне снаге. Укупна промена привидне снаге од 500-700kVA ствара поред брзих и стрмих електричних удара и велика динамичка напрезања у систему (напрезање сабирница, попуштање спојева, итд.), што има за последицу прегревање и потенцијалне хаварије. Процеси су изузетно брзи и примена динамичке, ултра брзе компензације је више него оправдана. Максималне вредности реактивне снаге су око 500kVAr. Елиминацијом највећег дела ове снаге може се растеретити систем од 25 – 30%. Струјни удари би са 1500А могли бити редуковани на 850 – 900А, а на тај начин би се знатно растеретио систем и са становишта падова напона. На Слици 12 приказан је дијаграм THD(%) напона и струје тј. процентуални садржај виших хармоника у напону и струји. У овом случају се имао изражен и THDU и THDI. THDU достиже 5% а THDI чак 65%. Како је систем нелинеаран, ове вредности немају устаљени режим понављања. Обзиром да је напајање линија двофазно приметне су и извесне несиметрије у садржају виших хармоника појединих фаза.



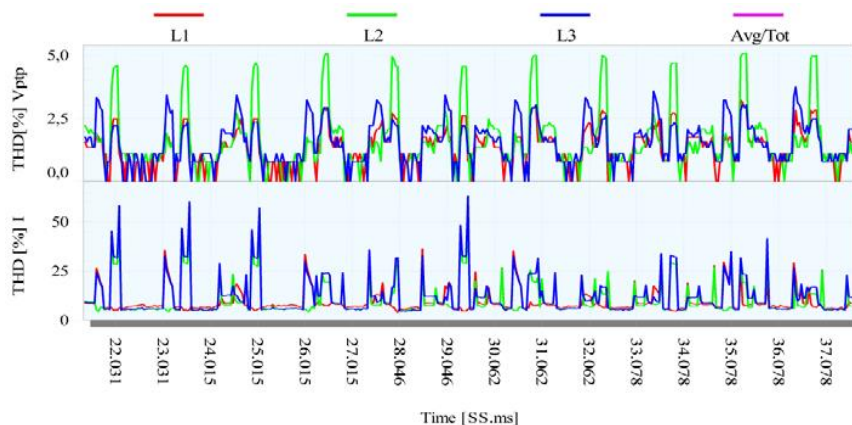
Слика 9. Ефективне вредности напона и струја на секундару TP2 Фабрике ЕУРОПОЛИС



Слика 10. Измерене укупне вредности активне и реактивне снаге на секундару TP2 Фабрике ЕУРОПОЛИС



Слика 11. Измерене укупне средње вредности активне и реактивне снаге на секундару TP2 Фабрике ЕУРОПОЛИС



Слика 12. Измерене вредности THD напона и струје на секундару TP2 Фабрике ЕУРОПОЛИС

## 6. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА НА НЕКОМПЕНЗОВАНОМ ПОСТРОЈЕЊУ ЗА ЗАВАРИВАЊЕ АРМАТУРНИХ МРЕЖА

Резултати мерења након извршене динамичке компензације реактивне снаге на постројењу за заваривање арматурних мрежа

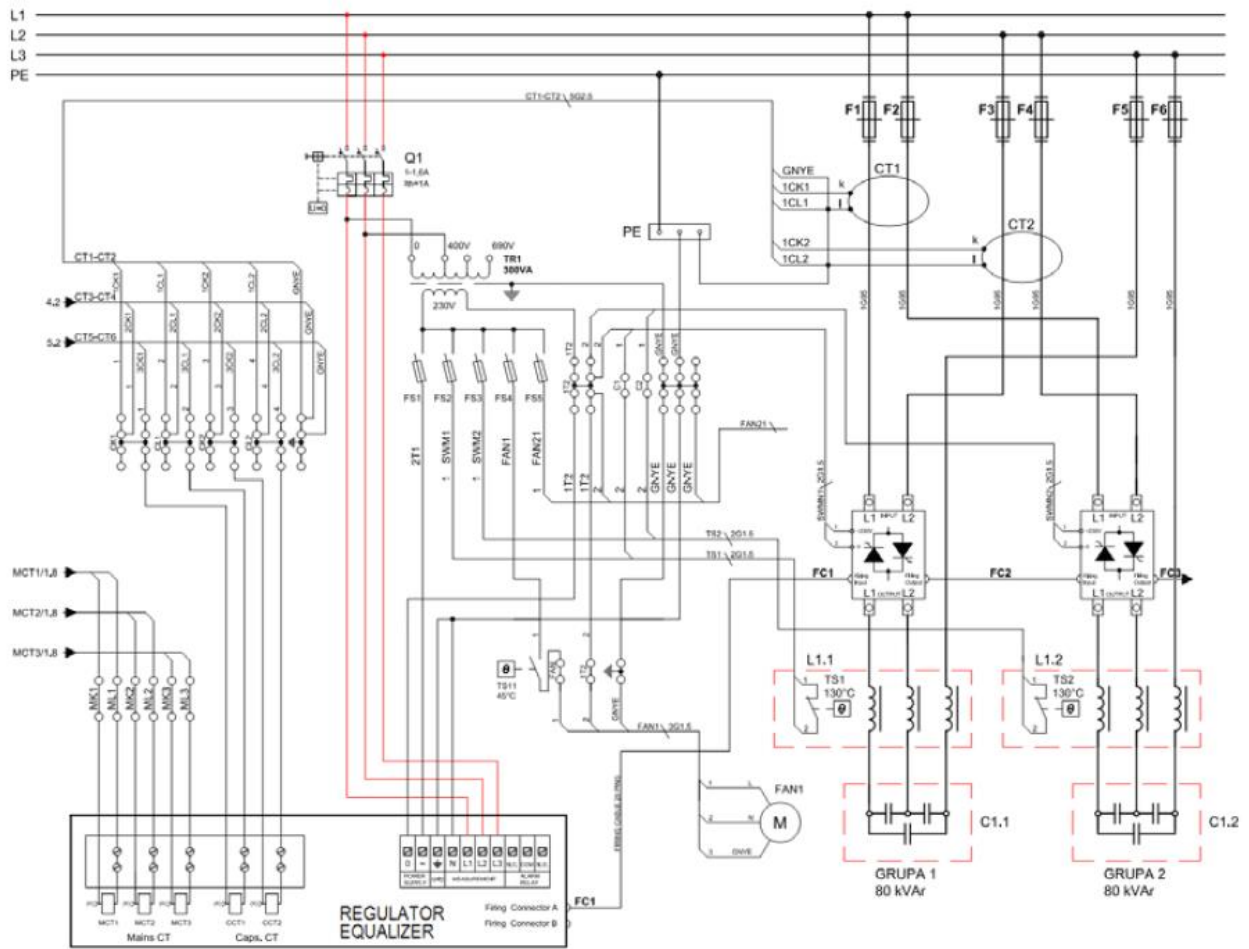
У систему су примењене две кондензаторске групе од по 80 kVA<sub>r</sub>, које су спрегнуте у троугао, док су са тиристорским модулима везани преко адекватно димензионисаних трофазних пригушница L1.1 и L1.2. Мерење струја по појединим групама је остварено струјним трансформаторима СТ1 и СТ2. Надзор и контрола система динамичке компензације, као и синхронизација укључења тиристорских модула је остварена из централног регулатора "EQUALIZER" [3], [10-11]. У PO1 је пројектован у складу са [12], пројектована сва пратећа склопна и заштитна опрема, као и систем хлађења, обзиром на дисипацију тиристорских модула, пригушница и кондензатора.

Након уградње разводних ормана са припадајућим кондензаторским групама и контролером којим је обезбеђена динамичка компензација реактивне снаге, извршена су мерења карактеристичних величина у циљу поређења са некомпензованим постројењем[3].

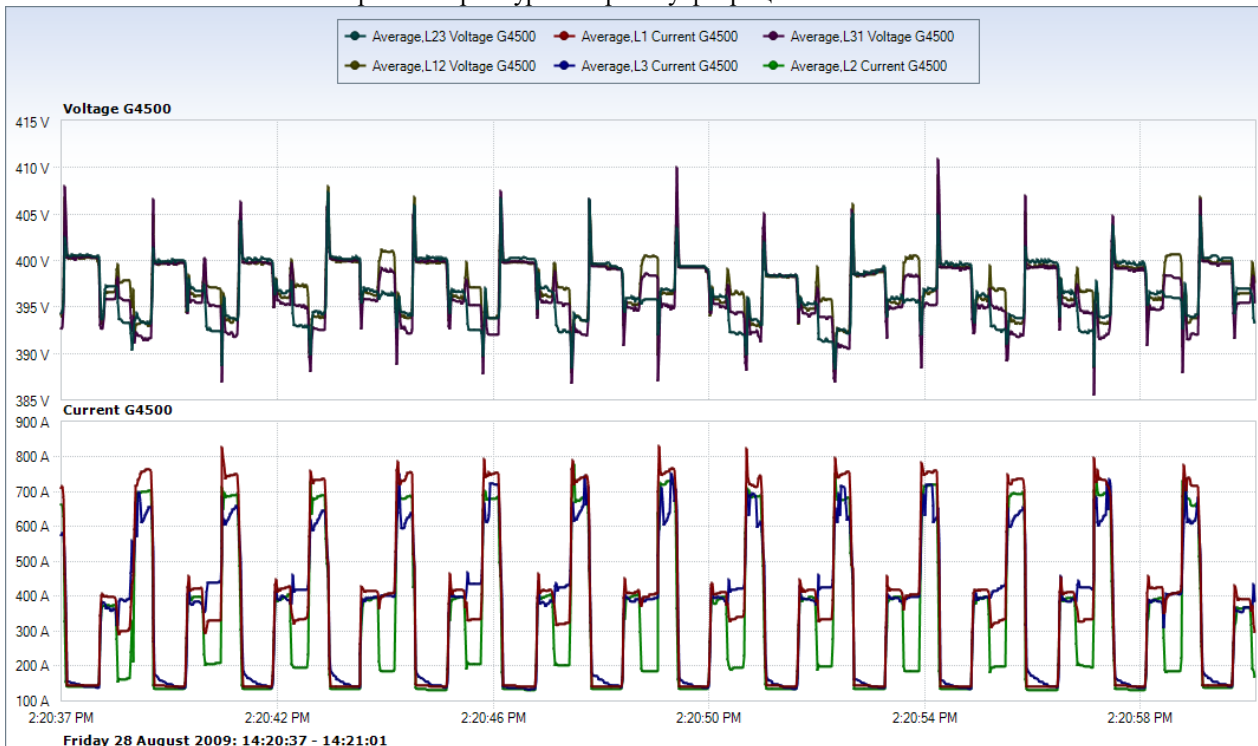
На Слици 14 приказане су ефективне вредности напона и струја технолошке линије за заваривање по укључењу опреме за брзу компензацију. Са

снимљених таласних облика се види да је струја заваривања од знатно нижа, око 750-800 А у односу на режим без компензације, када је она износила око 1500 А. Пад напона је такође знатно нижи у случају компензованог система, и са снимка се види да је он износио 3% и то само у случају вршних вредности струја (при успостављању лука), док је током заваривачког циклуса пад напона износио свега око 2%. **Овако низак пад напона током заваривачког циклуса повољно утиче на квалитет вара, чиме опрема за динамичку компензацију реактивне снаге директно доприноси побољшању квалитета завршног производа[3].**

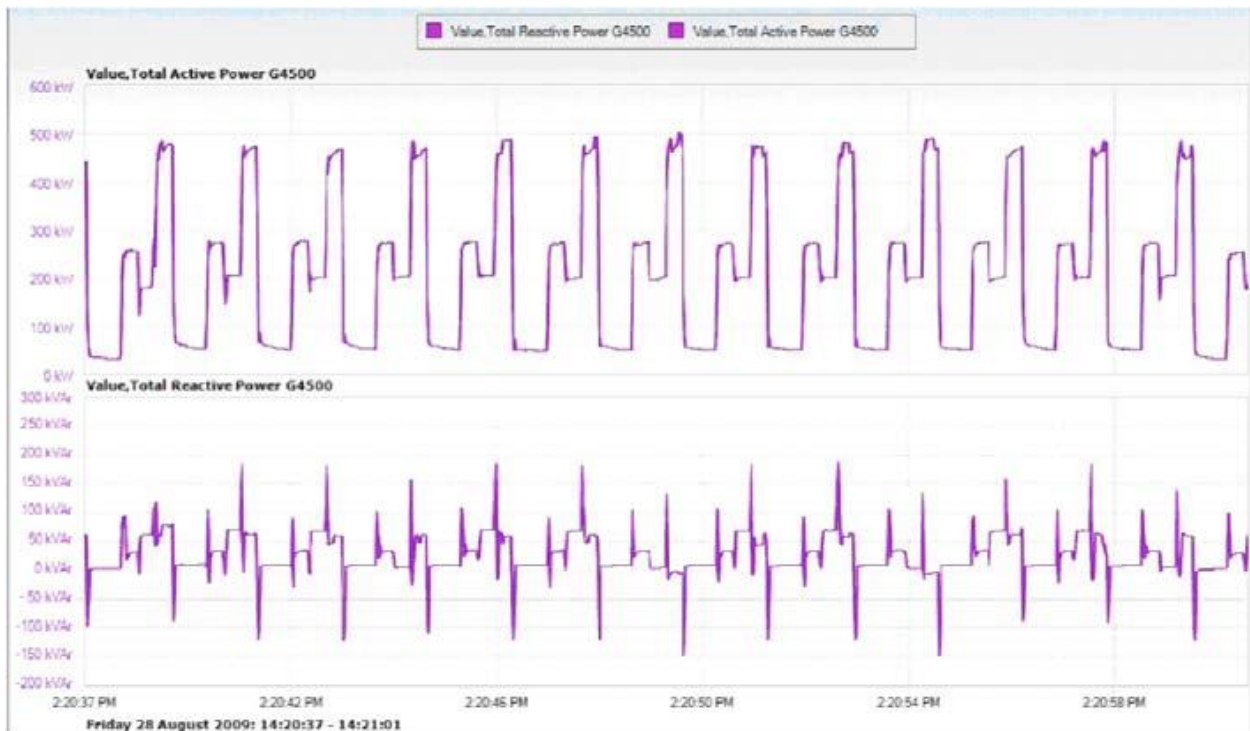
На Слици 15 приказани су добијени дијаграми активне и реактивне снаге. Са дијаграма се уочава да је активна снага остала непромењена у односу на режим пре компензације. На дијаграму види се да је средња реактивна снага сведена на ниво око 30 kVA<sub>r</sub>, у поређењу са просечних 250-300kVA<sub>r</sub> пре компензације. Приметни су краткотрајни пикови реактивне снаге као последица ограничене брзине укључења корака у тренутку када започиње струјни импулс. Обзиром да се укључује комплетна снага компензације у једном кораку укупна реактивна снага практично тренутно пада на ниску вредност и све што остаје је један мали "пик" у тренутку укључења. Сличан процес догађа се при престанку струјног импулса, тј. искључења компензационих корака.



Слика 13. Електрична шема разводног ормана 1(RO1) за динамичку компензацију линије за тачкасто заваривање арматурних мрежа у фабрици ЕУРОПОЛИС



Слика 14. Ефективне вредности напона и струја током тачкастог заваривања након извршене динамичке компензације реактивне снаге



Слика 15. Укупна активна и реактивна снага након извршене динамичке компензације реактивне снаге

На Слици 16 приказани су THD фактори напона и струје после укључења динамичке компензације. THD фактор напона се креће испод 2%, са краткотрајним повременим скоковима до 2.5%, што је одличан резултат у поређењу са 5%, који се имао пре компензације[3]. THD струје је око 70%, што за ефективну вредност струје од 800А даје око 560 А струје виших хармоника – у поређењу са 975 А, која се имала пре компензације (65% при 1500 А). Овако снижен садржај виших хармоника струје повољно утиче на преносне водове и трансформатор, са становишта смањења губитака и редукције загревања компоненти.

У Табели 1 је дат коначни упоредни преглед резултата добијених пре и после примене динамичке компензације, чиме су у прегледно описани експериментални резултати дати прегледно. На овај начин је извршено и њихово адекватно поређење. Добијени резултати показују да се значајни добитак има применом динамичке компензације.

## 7. ZAKLJUČAK

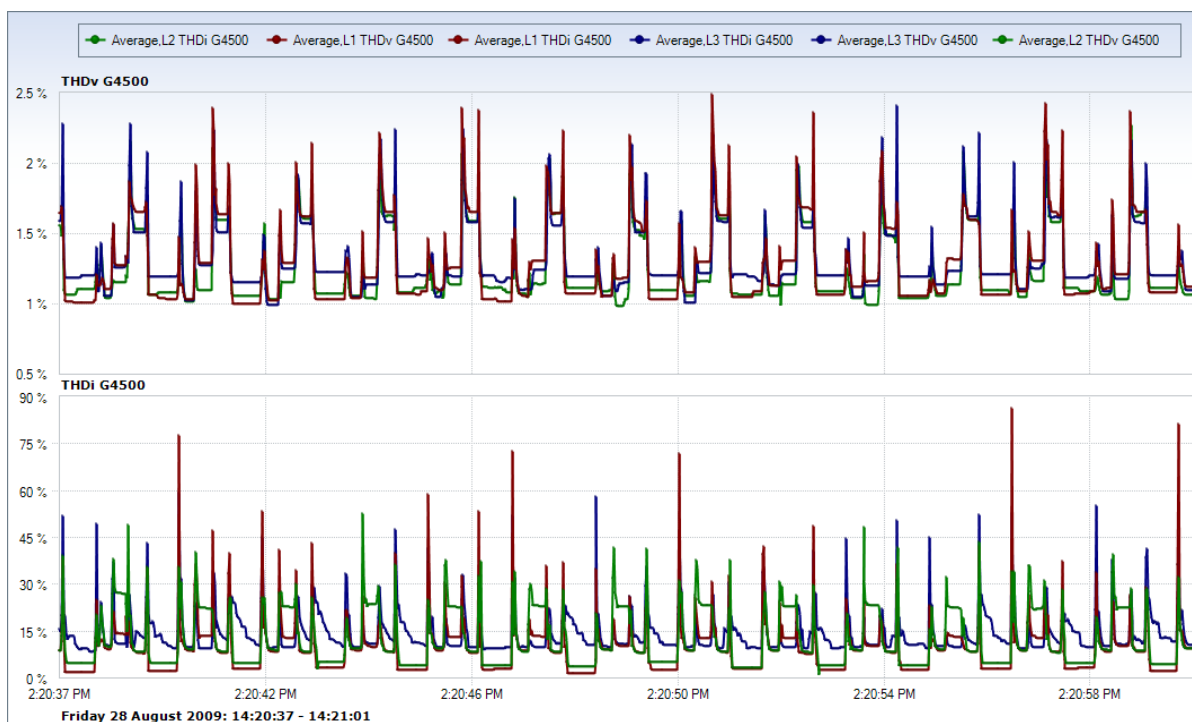
У раду је представљено техничко решење динамичке компензације реактивне снаге на технолошкој линији за заваривање арматурних мрежа у фабрици ЕУРОПОЛИС - Батајница. Примена класичних индустријских решења, базираних на примени класичне тиристорске опреме и контактора, односно споре степенасте компензације у овим системима је практично немогућа. У склопу реализованог система је од стране фирме AVALON Partners д.о.о пројектована и уграђена веома софистицирана опрема која је

обезбедила ултра брзу компензацију реактивне снаге у реалном времену (велике брзине реаговања у интервалу од 20 ms), са имплементираном функцијом брзог укључења у једном кораку и са распрегнутом регулацијом по фазама. Као крајњи резултат реализованим системом динамичке компензације обезбеђено је да целокупно постројење ради мирно и стабилно, са минималним осцилацијама напона и са смањеним хармоницима у струји и напону, као значајном смањењу напонских пропада и фликера. Као резултат овога постигнут је значајно бољи квалитет вара. Експериментална потврда рада постројења је остварена кроз приказ снимљених дијаграма и таласних облика карактеристичних величина, и то за случајеве пре и после компензације. На овај начин је једино било могуће извршити адекватно поређење система пре и после компензације. Добијени резултати су показали бројне предности динамичке компензације, а можда и најзначајнија је економска предност реализованог решења која се огледа у значајном смањењу рачуна за утрошену електричну енергију.

## 8. LITERATURA

- [1] Clemens, M., Mapelli, G. "Dynamic reactive power compensation", AEG Technology report, AEG Industry 0207/0.1.07.
- [2] Kuchumov, L., Novitskiy, A. "Reactive Power Compensation of Non-Linear Loads on the Basis of the Analysis of Frequency Dependences of Electrical Supply Systems", in Proc. PCIM & PQ Europe 1998, pp. 49-56.





Слика 16. Хармонијско изобличење напона и струја током тачкастог заваривања након извршене динамичке компензације реактивне снаге

Табела 1: Упоредни резултати пре и после уградње опреме за динамичку компензацију реактивне снаге

	$\Delta U$ [V]	THD U [V]	THD I [V]	$I_{\max}$ [A]	$Q_{\max}$ [kVAr]
пре	7	5	975	1500	500
после	3,25	2,5	560	800	100

- [3] Лакетић, Н. "Студија случаја компензације реактивне снаге машине за тачкасто заваривање", Београд 2010.
- [4] <http://www.avalonpartners.biz/testimonials-1/studijaslucajakompenzacijemasinezatackastozavarivanje-STG-group>, "Electric arc furnace steelmaking", Milano, Italy, 2012.
- [5] Josep Balcells Sendra: "Quality and rational use of electrical energy", Circutor, Spain 1999.
- [6] Schauder, C. "STATCOM for compensation of large electric arc furnace installations," 1999 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Conference Proceedings, Vol.2, (Cat. No.99CH36364), Edmonton, Alta., 1999, pp. 1109-1112.
- [7] Elspec "The Equalizer Power Quality Solution", Elspec 2007.
- [8] Čupić, B., Laketić, N., Despotović, Ž.V., Grujičić, B., Vlajić Naumovska, I., "Dinamička kompenzacija elektromotornog pogona drobilica 0.4kV, 50Hz, snage 500kW u okviru tehnološke linije za proizvodnju peleta", 33. Savetovanje CIGRE SERBIA 2017.
- [9] Portable Power Quality Analyzer PPQ-306, ELSPEC, [www.inessman.com/pdf/PPQ-306.pdf](http://www.inessman.com/pdf/PPQ-306.pdf)
- [10] CASE STUDY Elspec EQUALIZER and Power Factor Correction in Distributed Generation Applications, ©2008 Elspec Ltd., SMC-0002-08
- [11] The EQUALIZER-Real time power quality enhancement system-ELSPEC, [www.elspec-ltd.com](http://www.elspec-ltd.com)
- [12] Костић, М. "Теорија и пракса пројектовања електричних инсталација", Академска мисао, Београд 2005.

# INFORMACIONI SISTEMI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE KAO KLJUČ USPEHA PRIVREDE

## INFORMATION SYSTEMS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AS A KEY TO THE SUCCESS OF THE ECONOMY

ALEKSANDRA FELBAB<sup>1</sup>

Dr ŽELJKO EREMIĆ<sup>2</sup>, profesor strukovnih studija

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin/Srbija

<sup>2</sup>Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

### REZIME

Živimo u dobi primene savremenih tehnologija kada je čovek u većoj meri izgubio dodire sa prirodom. Ljudske aktivnosti menjaju sastav vazduha, smanjuju kvalitet zemljišta, površinskih voda, a samim tim dolazi do smanjenog kvaliteta poljoprivrednih proizvoda koji u potpunosti ima uticaj i na kvalitet života ljudi. Praćenje podataka o stanju životne sredine je od velikog značaja kako za samu organizaciju tako i za društvo u celini. Preduzećima je danas neophodno da razviju informacione sisteme zaštite životne sredine. Prikupljanje podataka i njihova analiza o trenutnom stanju životne sredine na ovoj teritoriji može podići svest kod svih članova zajednice i trenutna situacija se može podići na viši nivo. Merenje zastupljenosti primene informacionih sistema zaštite životne sredine u kompanijama na teritoriji Srednjeg Banata sprovedeno je u cilju poboljšanja stanja u ovoj oblasti, takođe se radom ističu primene centralizovane baze podataka uz automatizovanu razmenu podataka i informacija u elektronskoj formi.

**Ključne reči:** Informacioni sistemi, Centralizovane baze podataka, Zaštita životne sredine, Efikasnost poslovanja.

### ABSTRACT

We live in the age of the application of modern technology when a man in the greater extent lost contact with nature. Human activity changing the composition of the air pollution and reduces the quality of the land, surface water, thus reducing the quality of agricultural product and quality of life of people. Monitoring data on the state of the environment is of great importance both for the organization and for society as a whole. Businesses today need to develop information systems for the protection of the environment. Data collection and analysis on the current state of the environment in this area can raise awareness among all members of the community the current situation can be lifted to a higher level. Measurement representation of the application of information systems for environmental protection in companies on the territory of Central Banat was conducted in order to improve the situation in this area, also point to the work of applying centralized database with the automated exchange of data and information in electronic form.

**Keywords:** Information systems, Centralized database, Environmental protection, Efficiency of operations

### 1. UVOD

Informacioni sistemi zaštite životne sredine predstavljaju sisteme kojima se prikupljaju, čuvaju, obrađuju informacije vezane za životnu sredinu. Ove informacije moraju biti dostupne svim korisnicima u svakom momentu kada se javi neophodnost za istim. Danas se zahteva od svake organizacije, kompanije da razvija, implementira i inovira informacione sisteme

zaštite životne sredine radi postizanja boljeg poslovnog uspeha kompanije. Potrebno je posmatrati informacione sisteme zaštite životne sredine na nivou jedne organizacije, sve aktivnosti vezane za zaštitu životne sredine koje obavljaju sami zaposleni, kao i metodologiju distribucije podataka i opremu koju koristi organizacija, a tiče se zaštite životne sredine. Informacioni sistemi omogućavaju povezanost informacijama kako na lokalnim nivoima tako i na

globalnim nivoima što donosi mnogobrojne prednosti. Agencija za zaštitu od jonizujućeg zračenja i nuklearnu sigurnost u okviru Nacionalnog programa merenja radona je, ponovo uspostavila monitoring koncentracionih nivoa radona na teritoriji Srbije koji se sprovodio tokom 2015. i 2016. godine. Rezultate merenja je u okviru centralizovane baze postavila na svoju internet stranicu [1]. Na ovaj način u cilju zaštite zdravlja ljudi i zaštite životne sredine povećana je dostupnost informacijama od ključnog značaja. Prisutni su mnogobrojni načini za povezivanje informacija putem različitih internet portala i registara. Svi referentni centri moraju posedovati tačno definisanu i identičnu opremu. Na ovaj efikasan način će se podaci u tačno određenom vremenskom intervalu biti prikupljeni, verifikovani, i obrađeni. Kompjuterski sistem dobijen u okviru IPA programa obuhvata komponente (telekomunikacionu opremu, klijentsku računarsku opremu za obradu podataka i informacija, računarsku opremu za skladištenje podataka, računare za podršku sistemu, klijentsku računarsku opremu za obradu slika i GIS podataka) [2]. Veoma je značajno izvršiti standardizaciju podataka uz jasno definisanu kontrolu kvaliteta. Svetski pokret za kvalitet i novi pristup kvalitetu osnažili su u toj meri, da je poslednjih decenija kvalitet postao globalni fenomen, i aktuelna svetska filozofija. Integracija upravljačkih standarda jeste najnoviji trend u razvoju upravljanja kvalitetom, kao i samog procesa upravljanja organizacijom. Jedan od praktičnih načina za primenu korporativne etike i korporativne društvene odgovornosti jeste implementacija integrisanih menadžment sistema. Međunarodni upravljački standardi, koje publikuje ISO, poput ISO 9000, ISO 14000, ISO 18000 u sebi sadrže elemente koji se odnose na društvenu odgovornost [3]. Istraživački rad na temu "Informacioni sistem kvaliteta vode za piće", grupe autora ističe takođe veliki značaj i prednosti uvođenja informacionih sistema kroz različite aspekte. Uvođenje centralizovanih baza podataka sa sobom donosi niz prednosti pre svega će omogućiti potpunu dostupnost i pristup informacijama svim zainteresovanim stranama, stvoriti uslove za izradu različitih planova, mera i aktivnosti za unapređenje zdravlja ljudi i celokupne zaštite životne sredine. [4].

## 2. INFORMACIONI SISTEMI ŽIVOTNE SREDINE NA TERITORJI SREDNJEG BANATA

### 2.1. PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA

Značaj uvođenja informacionih sistema zaštite životne sredine je veoma velik. Potrebno je posmatrati stav o njegovom uvođenju u samim organizacijama pojedinačno na različitim organizacionim nivoima. Ova oblast na teritoriji grada Zrenjanina nije mnogo potencirana, istraživanja nisu vršena na ovu temu u dovoljnoj meri. Ne postoji mnogo informacija ni podataka o prisutnosti informacionih sistema zaštite životne sredine na ovoj teritoriji zbog čega ni sami zaposleni nemaju jasnu sliku o prednostima koje donosi

uvođenje informacionih sistema u kompanijama i celokupnom državnom sistemu.

### 2.2. NAČIN ISTRAŽIVANJA

Prikupljanje podataka vršeno je na dva načina. Prvi način je obuhvatio intervju zaposlenih dok je drugi način prikupljanja podataka bila anketa zaposlenih upitnikom pri čemu je bilo istaknuto da je upitnik anoniman i da će dobijeni rezultati biti korišćeni isključivo za istraživački rad na ovoj teritoriji. Ispitanike čine zaposleni različitih struka, starosti, pola, godine radnog staža i visine stručne spreme koji se nalaze na različitim pozicijama unutar organizacije, obavljaju različite poslove. Ispitanici koji su obuhvaćeni anketom i intervjuom podeljeni su u dve velike grupe. Jednu grupu ispitanika sačinjavaju zaposleni na višim pozicijama u organizaciji (top menadžeri, šefovi određenog sektora u kompanijama), dok drugu grupu ispitanika sačinjavaju zaposleni na nižim pozicijama u organizaciji.

**Tabela 1:** Struktura ispitanika

RADNI STAŽ	Broj ispitanika		
	1	2	Ukupno
do 5 god.	15	9	24
od 6 do 10 god.	8	11	19
od 11 do 15 god.	3		7
od 16 do 20 god.	6	4	10
od 21 do 25 god.	2	1	3
Preko 25 god.	8	13	21

**Tabela 2:** Kvalifikaciona struktura

KVALIFIKACIJE	1	2	Ukupno
I osnovno obrazovanje	2	2	4
II olukvalifikovani radnik	0	0	0
III kvalifikovani radnik	6	6	12
IV srednje obrazovanje (4 godine)	8	4	12
V visoko kvalifikovani radnik	9	3	12
VI (VI1 i VI2) više obrazovanje (I stepen fakulteta)	7	10	17
VII1 visoko obrazovanje	12	8	20
VII2 magistratura	3	3	6
VIII doktor nauka	2	2	4

### 2.3. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Glavna hipoteza: Postoji povezanost između pozicije ispitanika u organizaciji i njihovog stava o neophodnosti informacionih sistema u sistemima zaštite životne sredine

Hipoteza 1: Zaposleni sa visokom i višom stručnom spremom u odnosu na kolege sa nižom stručnom spremom ističu pozitivan stav prema potrebi i primeni informacionih sistema u sistemima zaštite životne sredine.

Hipoteza 2: Zaposleni na nižim pozicijama u organizaciji nemaju pozitivan stav prema primeni informacionih sistema u sistemima zaštite životne sredine i takođe smatraju da njihova upotreba ne predstavlja ključ uspeha organizacije.

## 2.4. CILJ ISTRAŽIVANJA

Istraživanje ima za cilj da prikaže značaj primene informacionih sistema u oblasti zaštite životne sredine. Budućnost nam nalaže potrebu praćenja stanja životne sredine na nacionalnom novou usled veoma brzog razvoja tehnoloških dostignuća. Povećani tehnološki progres zahteva dostupnost informacija u svakom momentu na određenom području. Javlja se neophodnost praćenja emisije zagađujućih materija u vazduhu i vodi na gradskom i republičkom nivou, uz pravilno upravljanje različitim vrstama otpada. Istraživanje je sprovedeno na teritoriji grada Zrenjanina gde je merena zastupljenost informacionih sistema u sistemima zaštite životne sredine na ovom području

## 2.5. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

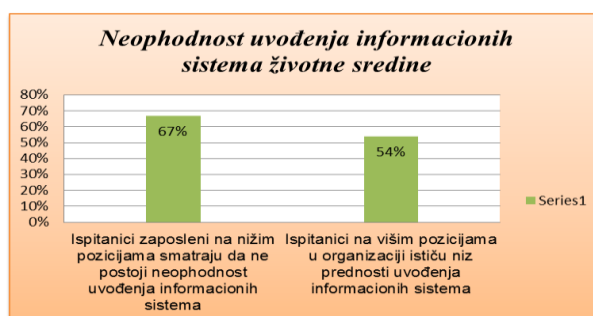
Istraživanjem je obuhvaćeno dve grupe ispitanika. Jednu grupu ispitanika obuhvaćeni su zaposleni na višim pozicijama unutar organizacije, dok su drugu grupu ispitanika sačinjavali zaposleni na nižim pozicijama u organizaciji. Hipoteze istraživanja su povezane sa stavovima ispitanika na nižim i višim pozicijama unutar organizacije, a takođe su pretpostavke od kojih je započeo istraživački rad povezane sa stavovima ispitanika viših i nižih kvalifikacija.



Slika 1. Struktura ispitanika u odnosu na poziciju u organizaciji

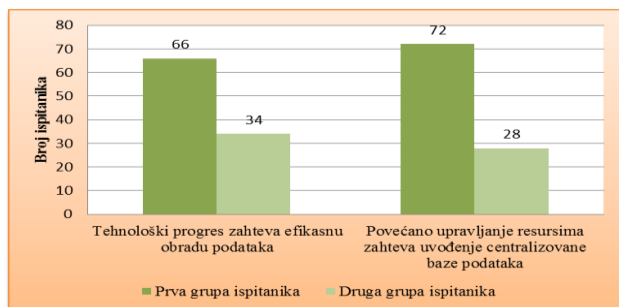
Na slici 1. je predstavljena struktura ispitanika u odnosu na njihovu poziciju u organizaciji. Istraživanje je obuhvatilo 42% ispitanika zaposlenih na višim pozicijama u organizaciji i 58% zaposlenih na nižim pozicijama u organizaciji. Glavna hipoteza kojom je

započeo istraživački rad se odnosi da činjenicu da postoji povezanost između pozicije ispitanika u organizaciji i njihovog stava o neophodnosti informacionih sistema u sistemima zaštite životne sredine. Ispitanici zaposleni na nižim pozicijama u organizaciji smatraju da ne postoji velika neophodnost uvođenja informacionih sistema te da njegovo uvođenje nije dovoljno profitabilno i da ne daje mnogo pozitivnih efekata na poslovanje preduzeća. Ovu konstataciju je potvrdilo preko 67% ispitanika. Dok se 54% ispitanika zaposlenih na višim pozicijama u organizaciji izjasnilo sa pozitivnom konstatacijom uvođenja informacionih sistema u sistemima životne sredine. Na ovaj način je potvrđena hipoteza kojom je započeto istraživanje (Slika 2.).

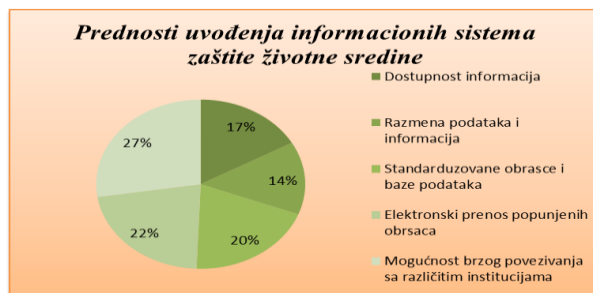


Slika 2. Neophodnost uvođenja informacionih sistema

Ispitanici zaposleni na višim pozicijama u organizaciji smatraju da su ideje i nove inovacije u tehnologiji glavni pokretač napretka i uspeha kompanija, a samim tim svaka inovacija u pogledu tehnologija ubuhvata i uvođenje informacionih sistema koji danas predstavljaju ključ uspeha svake kompanije. Čak 66% ispitanika zaposlenih na višim pozicijama u organizaciji smatraju da tehnološki progres zahteva efikasnu obradu podataka dok se samo 34% zaposlenih izjasnilo sa pozitivnim stavom prema ovoj konstataciji (Slika 3.). Zaposleni na višim pozicijama u organizaciji smatraju da je usled pojave previše značajnih informacija i podataka neophodno uvoditi umrežene i centralizovane baze podataka jer ćemo na ovaj način u svakom momentu imati dozvoljen pristup svim potrebnim podacima. Na ovaj način se postiže povećana efikasnost i efektivnost poslovanja samih kompanija. Informacioni sistem mora biti dovoljno puzdan, Informacioni sistem mora dostavljati informacije u tačnim vremenskim intervalima, Informacioni sistem mora biti jasan svim korisnicima na višim ili nižim pozicijama u organizaciji (Slika 4.). Ispitanici obe grupe ističu glavne karakteristike koje mora posedovati svaka centralizovana baza podataka informacionih sistema zaštite životne sredine. Ispitanici su istakli četiri najznačajnije karakteristike: Informacioni sistem mora biti koncizno jasan u prezentovanju informacija.



Slika 3. Stavovi prve i druge grupe ispitanika



Slika 5. Prednosti uvođenja informacionih sistema zaštite životne sredine



Slika 4. Karakteristike informacionih sistema zaštite životne sredine

Ispitanici obe grupe ističu prednosti koje donosi uvođenje informacionih sistema zaštite životne sredine. Ispitanici su na prvom mestu istakli prednost mogućnosti brzog povezivanja sa različitim institucijama prilikom obrade različitih informacija od ključnog značaja. Anketom je 27% ispitanika istaklo pozitivan stav prema ovoj konstataciji. Takođe se navodi prednost elektronskog prenosa popunjenih obrazaca, 22% ispitanika je dalo pozitivan stav zatim se navode prednosti standardizovanih obrazaca, razmene podataka i dostupnosti informacija (Slika 5.)

### 3. ZAKLJUČAK

Merenje zastupljenosti primene informacionih sistema zaštite životne sredine u kompanijama na teritoriji Srednjeg Banata sprovedeno je u cilju poboljšanja stanja u ovoj oblasti. Istraživanjem su

potvrđene pretpostavke od kojih je započeo istraživački rad. Anketirani ispitanici zaposleni na višim pozicijama u organizaciji su istakli pozitivan stav prema uvođenju informacionih sistema zaštite životne sredine na ovoj teritoriji uvidevši njenu neophodnost. Dok ispitanici koji su zaposleni na nižim pozicijama u organizaciji smatraju da je uvođenje informacionih sistema u sistemima životne veoma neprofitabilno i da se njime ne postiže određeni efekat u poslovanju. Međutim ispitanici obe grupe složili su se sa činjenicom da postoji niz prednosti koje donosi uvođenjem ovih sistema. Danas se zahteva od svake organizacije, kompanije da razvija i implementira inovira informacione sisteme zaštite životne sredine radi postizanja boljeg poslovnog uspeha kompanije.

### 4. LITERATURA

- [1] Institute of Physics, University of Belgrade. <http://cosmic.ipb.ac.rs/>
- [2] Assisting the Serbian Environmental Protection Agency in strengthening the National EIONET network, The European Union's IPA Programme.
- [3] Jovanović, Đ. Ekonomska efikasnost sistema upravljanja zaštitom životne sredine, Kvalitet, broj 9-10-2009. str. 52-54. ISSN 0354-2408, 2007.
- [4] Veljković, N., Dejanović, S., Jovanović, D., Bjelović, S., Gligorićević, S., Informacioni sistemi kvaliteta vode za piće, Beograd, 2012.
- [5] Program vođenja Informacionog sistema zaštite životne sredine podsistem EIONET. Agencija za zaštitu životne sredine, 2012.

# RAZDVAJANJE FENOLNIH KISELINA U PREČIŠĆENIM EKSTRAKTIMA GAJENE LAVANDE PRIMENOM TANKOSLOJNE HROMATOGRAFIJE

## SEPARATION OF FENOLIC ACIDS IN PURIFIED FLOWER AND LEAF EXTRACTS OF CULTIVATED LAVENDER USING THIN LAYER CHROMATOGRAPHY

IVANA LEPOJEVIĆ<sup>1</sup>

Dr VESNA NAĐALIN<sup>2</sup>, profesor strukovnih studija

ŽIKA LEPOJEVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Apoteka Janković, Novi Sad, Srbija

<sup>2</sup>Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu

<sup>3</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad, Srbija

### REZIME

U okviru ovoga rada je ispitivana primena tankoslojne hromatografije za razdvajanje fenolnih kiselina iz prečišćenih vodenih ekstrakata nativnog cveta i lista gajene lavande, diizopropiletom, kao i kod vodenog ekstrakta cveta lavande prethodno ekstrahovane superkričnim CO<sub>2</sub>. Kao nepokretna faza korišćene su gotove ploče sa obrnutom fazom (RP-18F254S). Najbolji rezultati razdvajanja su ostvareni primenom smeše rastvarača A i B u odnosu 4:6 (v/v), pri čemu je rastvarač A=metanol i B=rastvor tetrahidrofurana u vodi (50 µl tetrahidrofurana u 100 g rastvora). Nakon razvijanja hromatograma isti je tretiran Natural products-polyethylene glycol (NP/PEG) reagensom, a posmatranjem pod UV svetlošću na 365 nm vršena je identifikacija fenolnih kiselina na osnovu hRf vrednosti standardnih supstanci.

**Ključne reči:** lavanda, hromatografija, fenolne kiseline, superkrična ekstrakcija

### ABSTRACT

In this study the application of thin layer chromatography for separation of phenolic acids from aqueous extracts of cultivated lavender native flower and leaf and the aqueous extract of the flower previously extracted with supercritical CO<sub>2</sub> which were all purified with diisopropylether was examined. Finalized plates with reversed phase (RP-18F254S) were used as a stationary phase. The best results were achieved by applying a mixture of solvents A and B in 4:6 ratio (v/v), where solvent A is methanol and solvent B is a solution of tetrahydrofuran dissolved in water (50 µl of tetrahydrofuran in 100g of solution). After developing a chromatogram, it was treated with Natural products-polyethylene glycol (NP/PEG) reagent and observed under UV light on 365nm. Identification of phenolic acids was done based on hRf values of standard substances.

**Key words:** lavender, extracts, chromatography, fenolic acids, supercritical extraction

### 1. UVOD

Cilj ekstrakcije lekovitog bilja je izolovanje biološki aktivnih supstancija (sekundarni metaboliti), kao što su fenoli, flavonoidi i druga jedinjenja. Kod pomenutih jedinjenja potvrđena je antioksidativna

aktivnost visokog stepena, kao i široko terapijsko dejstvo. Lavanda (*Lavandula officinalis* L) pored etarskog ulja u užem smislu, sadrži i hidrofilne komponente (fenolna jedinjenja, flavonodi – uglavnom flavon glikozidi, antocijanini, tanini i dr) [1,2]. Kao

izvor pomenutih jedinjenja, tradicionalno se upotrebljava u formi čaja ili tinktura.

*L. officinalis* L. ili *L. angustifolia* [3] pripada familiji Labiatae (*Lamiaceae*). Moderna medicinska nauka priznaje svestrana svojstva lavande. Takođe, *Food and Drug Administration* (FDA) uvrštava cvet lavande u dijetetske suplemente. Nemačka licenca standarda i evropski vodič za pripremu medicinskih čajeva (*The German Standard license, European guidelines for medicinal tea preparation*) preporučuje *L. officinalis* kod poremećaja sna, nedostatka apetita, za postizanje blagih smirenja, kao i otklanjanja stomaćnih bolova [4].

Radi dobijanja proizvoda lavande koji sadrže pretežno hidrofilne komponente, poslednjih godina se intenzivno vrše istraživanja koja se odnose na ekstrakciju lavande. Najčešće se dobijaju proizvodi sa potpunim senzornim i hemijskim karakteristikama. U ovom slučaju smeša etanol i voda sa različitim procentom etanola, se pokazala kao najpogodniji ekstragens. Karakteristično za ove proizvode je da imaju povoljno antioksidativno delovanje. Takođe je važno istaći da su vršena istraživanja na izolovanju hidrofilnih komponenti iz biljnog materijala u kome je prethodno ekstrahovano etarsko ulje i potvrđen je značajan prinos, kao i antioksidativna svojstva izolovanih jedinjenja [5]. Analizom izolovanih polifenolnih jedinjenja iz ekstrakata utvrđeno je, pored ostalih aktivnih supstancija, prisustvo i rozmarinske kiseline, jedinjenja poznatog po svom antivirusnom, antibakterijskom, antioksidativnom, antiinflamatornom i imunostimulirajućem dejstvu [5,6].

Sadržaj polifenola varira kako u pojedinim delovima biljke (stabljika, cvet, list), tako i između vrsta Lavandula [7].

Ekstrakcijom ugljendioksidom u superkričnom stanju se dobijaju, kako je već rečeno, pretežno lipofilne komponente, dok se pretežno hidrofilne komponente (fenoli, flavonoidi, tanini i dr.) praktično ne ekstrahuju i ostaju u biljnom materijalu [8].

Za ispitivanje kvalitativnog sastava fenolnih kiselina u ekstraktima različitih vrsta lavande Blažeković i sar [7] su koristili hromatografiju na tankom sloju (*High performance thin layer chromatography - HPTLC*), pri čemu je nepokretna faza bio silika gel F<sub>254</sub>, a smeša rastvarača etilacetat i sirćetna kiselina (95:5, v/v) pokretna faza. Nakon razvijanja hromatograma isti je tretiran *Natural product-polyetilenglikol reagent* (NP/PEG) reagensom (Wagner et al., 2001), a identifikacija komponenata vršena je posmatranjem pod UV svetlošću na  $\lambda=365$  nm.

U okviru ovoga rada ispitana je primena tankoslojne hromatografije za razdvajanje fenolnih kiselina iz prečišćenih vodenih ekstrakata nativnog cveta i lista gajene lavande diizopropiletom, kao i iz vodenog ekstrakta ostataka cveta lavande, nakon ekstrakcije superkričnim ugljendioksidom. Kao nepokretna faza korišćene su gotove ploče sa obrnutom fazom (RP-18F<sub>254S</sub>). Najbolji rezultati razdvajanja su ostvareni primenom smeše rastvarača A i B u odnosu 4:6 (v/v), pri čemu je rastvarač A=metanol i B=rastvor

tetrahidrofurana u vodi (50  $\mu$ l tetrahidrofurana u 100 g rastvora).

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

### *Biljni materijal*

*L. officinalis* je gajena na parcelama Zavoda za organsku proizvodnju i biodiverzitet u Bačkom Petrovcu, Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, tokom 2011. godine. Sa osušenih cvetnih grančica izdvojeni su cvetovi čiji je udeo iznosio oko 52%, i kao takav predstavlja drogu korišćenu u eksperimentima. Dobijeni rezultati su na suhu drogu.

### *Hemikalije*

Ekstragens koji su korišćeni u ovom radu su: ugljendioksid čistoće 99% (Messer, Novi Sad, Srbija),

**Standardi.** Hlorogenska kiselina ( $\geq 95\%$ ), kafena kiselina, rozmarinska kiselina, cimetna kiselina. Svi ostali reagensi i hemikalije upotrebljeni u eksperimentalnom radu su bili stepena čistoće p.a.

Korišćene su gotove ploče proizvođača Merc (Nemačka) kao nepokretna faza (obrnuta faza RP-18F<sub>254S</sub> nanešena na staklene ploče dimenzija 5x10 cm).

### *Reagens i rastvori:*

**Natural product-polyetilenglikol reagent - NP/PEG** – 2-aminoetil estar difenil borne kiseline (250 mg) se prenese u erlenmajer od 50 ml i postepeno rastvara dodavanjem metanola do ukupne mase 25,0 g. Ovako dobijeni rastvor je 1%.

**Rastvor polietilenglikola 4000.** Polietilenglikol (2,5 g) se rastvori u etanolu uz blago zagrevanje (ukupna masa rastvora 50 g). Dobijeni rastvor ima masenu koncentraciju 5%.

**Kao pokretna faza je odabrana smeša rastvarača A i B u odnosu 4:6 (v/v), pri čemu je rastvarač A=metanol i B= rastvor tetrahidrofurana u vodi (50  $\mu$ l tetrahidrofurana u 100 g rastvora).**

### **Postupci**

#### *Priprema droge za ekstrakciju*

Nakon mlevenja droge, određen joj je granulometrijski sastav, odnosno srednji prečnik čestica  $d_s=0,58$  mm

#### *Ekstrakcija vodom*

Droga (srednjeg prečnika čestice  $d_s=0,58$  mm 10,0 g) ekstrahuje se vodom (100 ml) na temperaturi ključanja tokom 2 h, pri čemu je prethodno izdvojeno etarsko ulje. Odvajanje vodenog ekstrakta vrši se filtriranjem preko filter papira i podvrgava tečnoj-tečnoj ekstrakciji diizopropiletom.

*Ekstrakcija ugljendioksidom* pod pritiskom je izvedena na uređaju *High Pressure Extraction Plant - HPEP, NOVA-Swiss*. Glavni delovi i karakteristike uređaja prema fabričkoj specifikaciji su kompresor sa dijafragmom ( $p_{max}=100$  MPa), ekstraktor sa unutrašnjom zapreminom ( $h=16$  cm) 200 ml ( $p_{max}=70$  MPa), separator unutrašnje zapremine 200 ml ( $p_{max}=25$  MPa), maksimalni protok CO<sub>2</sub> oko 5,7 kg/h.

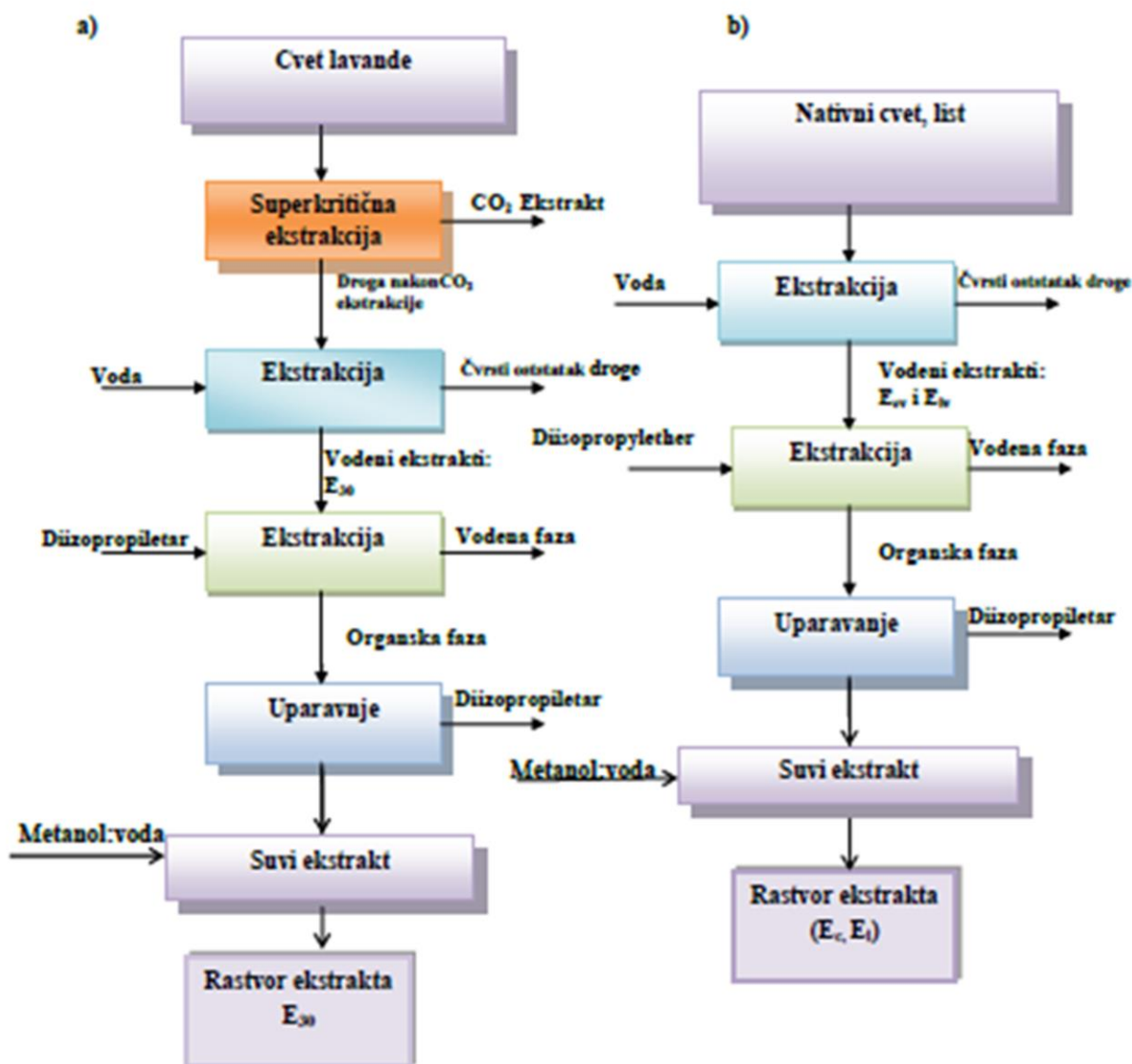
Droga (30,0 g) se prenese u ekstraktor, ugljendioksid se propušta 5 minuta, podesei pritisak 30 MPa pomoću kompresora i temperatura izmenjivačima toplote 313 K i vrši ekstrakcija pri protoku 0,194 kg/h. Ekstrakcija se prekida zatvaranjem veze između ekstraktora i separatora i ispuštanjem ugljendioksida iz separatora (uslovi separacije  $p=15\pm 1$  bar,  $t=25\pm 1^\circ\text{C}$ ), pri čemu se ekstrakt izdvaja u separatoru tj. u kivetu.

Droga prethodno ekstrahovana ugljendioksidom pod pritiskom i pri odabranom protoku rastvarača (10,0 g) ekstrahuje se vodom (100 ml) na temperature ključanja tokom 2 h. Nakon odvajanja ekstrakta, isti se podvrgava tečnoj-tečnoj ekstrakciji diizopropiletrom.

Šema ekstrakcije je prikazana na slici 1. Ekstrakcija vodenog ekstrakta diizopropiletrom. Ostatak vodenog ekstrakta se podvrgava tečno-tečnoj ekstrakciji diizopropiletrom. Ekstraktu se najpre podesei pH (na pH-metru) na vrednost 2,5 hlorovodoničnom

kiselinom koncentracije 25% (približno 1 ml), pri čemu se talože voskovi koji se odvoje centrifugiranjem ( $3500\text{ min}^{-1}$ ; 10 min). Supernatant se prenese u levak za odvajanje od 250 ml i vrši ekstrakcija diizopropiletrom (10:3; v/v; tri puta). Spojeni ekstrakti se ostave (preko noći) radi potpunog odvajanja zaostale vodene faze. Odvoji se vodeni sloj, a ekstrakt suši bezvodnim  $\text{MgSO}_4$ . Nakon odvajanja sušila, uparavanjem na rotacionom vakuum uparivaču odstrani se rastvarač. Suvi ekstrakt se rastvori u smeši methanol-voda (6:4; v/v) (6,0 ml), a dobijeni rastvor ekstrakata se označe kao  $E_{30}$ . je dobijenog ekstrakcijom cveta lavande na pritisku 30 MPa i temperaturi 313 K.

Na isti način se ekstrahuju vodeni ekstrakti nativnog cveta i lista diizopropiletrom, a dobijeni ekstrakti označe kao  $E_c$  i  $E_l$ .



Slika 1. Šema ekstrakcije lavande vodom i dizopropiletrom:  
a) cvet lavande ekstrahovan superkritičnim  $\text{CO}_2$ ;  
b) nativni delovi biljke (cvet i list)

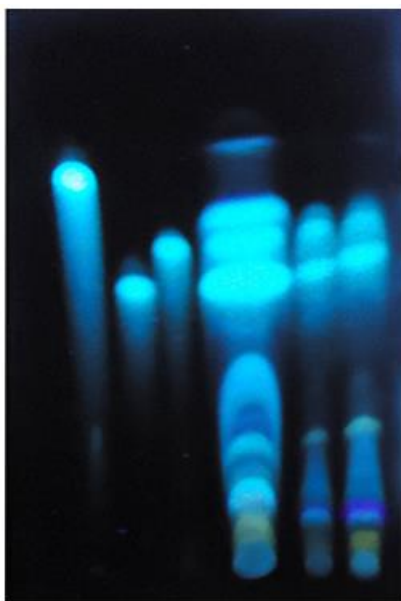


### 3. ANALIZA EKSTRAKATA HROMATOGRAFIJOM NA TANKOM SLOJU

Ekstrakti sa oznakom E<sub>30</sub>, E<sub>c</sub> i E<sub>l</sub> (oko 200 µl) nakon odstranjivanja rastvarača se rastvore u diizopropiletru (100 µl) i na tanak sloj nanosi 10 µl rastvora E<sub>30</sub>, i 5µl E<sub>c</sub> i E<sub>l</sub>. Nakon razvijanja hromatograma primenom smeše rastvarača A i B u odnosu 4:6 (v/v), pri čemu je rastvarač A = metanol i B = rastvor tetrahidrofurana u vodi (50 µl tetrahidrofurana u 100 g rastvora), hromatogram se izaziva tretiranjem reagensom NP/PEG. Posmatranjem pod UV 365 nm identifikuju se mrlje koje potiču od slobodnih fenolnih kiselina, a na osnovu standardnih uzoraka identifikuju se fenolne kiseline u ispitivanim uzorcima.

### 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ispitivanja su prikazani na snimku hromatograma (slika 2), a hRf vrednosti fenolnih kiselina su date u tabeli 1.



1 2 3 4 5 6

Slika 2. Hromatografsko razdvajanje fenolnih kiselina u ekstraktima cveta i lista lavande tankoslojnom hromatografijom (obrnuta faza)

Legenda:

Nepokretna faza: RP-18F<sub>254S</sub>

Pokretna faza: smeša rastvarača A i B u odnosu 4:6 (v/v). Rastvarač A=metanol i rastvarač B=rastvor tetrahidrofurana u vodi (50 µl tetrahidrofurana u 100 g rastvora)

Izazivanje hromatograma: NP/PEG reagens, posmatranje pod UV svetlošću na 365 nm

Uzorci:

1 - hlorogenska kiselina

2 - kafena kiselina;

3 - rozmarinska kiselina;

4 - prečišćen ekstrakt cveta lavande

diizopropiletom (10 µl) (Ekstrakt E<sub>30</sub>, sl.1)

5 - prečišćen ekstrakt nativnog cveta lavande

diizopropiletom (5 µl)

6 - prečišćen ekstrakt nativnog lista lavande

diizopropiletom (5 µl)

**Tabela 1:** Rezultati određivanja hRf vrednosti razdvajanja pojedinih fenolnih kiselina (front=8,5 cm)

R.br.	Naziv kiseline	hR <sub>f</sub> =R <sub>f</sub> x 100
1.	Hlorogenska	76,47
2.	Kafena	52,94
3.	Rozmarinska	64,70

Na osnovu dobijenih hRf vrednosti se vidi da je izvršeno dobro razdvajanje ispitivanih fenolnih kiselina primenom razrađenog metoda. U ispitivanim ekstraktima (slika 2), s obzirom na veličinu hromatografskih mrlja, najviše je zastupljena kafena kiselina, zatim rozmarinska, dok je hlorogenska kiselina prisutna u manjem iznosu.

### 5. ZAKLJUČAK

Za razdvajanje fenolnih kiselina iz vodenih ekstrakata nativnog cveta i lista gajene lavande, kao i vodenog ekstrakta ostataka cveta lavande, nakon njihove ekstrakcije superkričnim ugljendioksidom, pogodan je metod hromatografije na tankom sloju (obrnuta faza- RP-18F<sub>254S</sub>) i sistema rastvarača A i B u odnosu 4:6 (v/v), pri čemu je rastvarač A=metanol i B=rastvor tetrahidrofurana u vodi (50 µl tetrahidrofurana u 100 g rastvora), hromatogram se izaziva tretiranjem reagensom NP/PEG. Detekcija pojedinih komponenti se vrši posmatranjem hromatograma pod UV svetlošću na λ=365 nm.

### 6. LITERATURA

- [6] Greblo K. "Antioksidativno i antimikrobno djelovanje eteričnog ulja i ekstrakata lavande", Završni rad, Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnoški fakultet. 2009.
- [7] Lepojević Ž. "Praktikum hemije i tehnologije farmaceutskih proizvoda", Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad. 2000.
- [8] ISO 3515 2002
- [9] Denner S. S. Lavandula Angustifolia Miller, Holist. Nurs. Pract. 23 (1), 57–64. 2009.
- [10] Torras-Claveria L., Jauregui O., Bastida J., Codina C., Viladomat F. Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Lavandin (Lavandula x intermedia Emeric ex Loiseleur)

- Waste, *J. Agric. Food Chem.* 55, 8436–8443. 2007.
- [11] Shekarchi M, Hajimehdipour H, Saeidnia S, Gohari AR, Hamedani MP. Comparative study of rosmarinic acid content in some plants of Labiatae family, *Pharmacogn Mag.* 8 (29), 37-41. 2012.
- [12] Blažeković B., Vladimir-Knežević S., Brantner A., Bival Š. M. Evaluation of Antioxidant Potential of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. 'Budrovka': A Comparative Study with *L. angustifolia* Mill., *Molecules* 15, 5971-5987. 2010.
- [13] Ribeiro M.A., Bernardo-Gil M.G., Esquivel M.M. *Melissa officinalis* L.: study of antioxidant activity in supercritical residues, *J. Supercrit. Fluids* 21, 51-60. 2001.



## МИОМИР ВУКОБРАТОВИЋ



Миомир Вукобратовић је рођен у Ботошу код Зрењанина од оца Крсте и мајке Роксанде. Студирао је на Машинском факултету Универзитета у Београду. Дипломирао је 1957. године на Ваздухопловном одсеку. Свој први докторат из области ваздухопловства одбранио је такође на Машинском факултету у Београду 1964. године. Други докторат из области роботике одбранио је на Институту за машинство при Академији наука Совјетског Савеза у Москви 1972. године.

Професионалну каријеру отпочео је у Ваздухопловно техничком институту у Жаркову као самостални конструктор у одсеку за чврстоћу и еластичност. Године 1965. прелази у Институт Михајло Пупин у Београду где прво ради као руководиоца Одељења за биодинамику. Након тога је обављао функције руководиоца Лабораторије за роботiku, флексибилну аутоматизацију и системе специјалне намене и директора Центра за роботiku. На Институту Михајло Пупин биран је у звања сарадника, вишег научног сарадника и научног саветника. Биран је, такође, за професора Машинског факултета у Београду. Од 1977. године ради као научни саветник института техничких наука САНУ. За дописног члана Српске академије наука и уметности изабран је 1981. године, а њен редовни члан је постао 1994. године. За иностраног члана Академије наука Совјетског Савеза (данас Руске академије наука) изабран је 1988. године. Био је, такође, члан Академије за нуклеарне науке у Москви, Интернационалне академије за инжењерство, Међународног института електротехнике и електронике (ИЕЕЕ), Пољског друштва за механику, председник Инжењерске академије Југославије.

Стручни, истраживачки и научни рад Миомира Вукобратовића може се поделити у три области: ваздухопловна техника, синтеза и анализа динамичких система и теоријска и примењена роботика. У току рада у Ваздухопловно техничком институту бавио се развојем, конструкцијом и испитивањем првог југословенског школског авиона Галеб Г 2. Са сарадницима је развио и први симулатор лета за авионе типа Галеб. За потребе Међународне железничке уније у сарадњи са Давором Јуричићем урадио је веома важну студију у области динамике железничких возила. Преласком у Институт Михајло Пупин почиње да се бави проблемима аутоматике и роботике. Значајне резултате у области сензорне анализе аутоматских система објавио је у коауторству са професором Рајком Томовићем.

Своје највредније научне резултате Миомир Вукобратовић је постигао у области роботике. Истраживања и објављени резултати у области хуманоидних робота и динамици двоножних робота донели су му светска признања. На Свесовјетском конгресу теоријске и примењене механике 1968. године објавио је методу за контролу кретања и стабилности двоножних робота. Након разраде и верификације ова метода добија назив “тачка нула момената” и веома је брзо прихваћена у светским научним круговима. Први пут је била практично примењена на јапанском Универзитету Vasede на роботу WL-10RD. Према мишљењу јапанских роботичара велико интересовање за роботiku у тој земљи настало је након серије предавања које је Вукобратовић одржао седамдесетих година прошлог века на већем броју јапанских универзитета и института.

На Институту “Михајло Пупин” у Београду професор Вукобратовић је формирао тим сарадника са којима је постигао изванредне резултате. Године 1972. развијен је и реализован први “егзоскелет” за парализоване који је омогућавао успешан ход непокретним особама. У пројекту је учествовала и Клиника за ортопедију из Београда док је финансирање обезбедила америчка Национална фондација за науку. Данас је тај егзоскелет изложен у Политехничком музеју у Москви. Године 1978. Вукобратовић је са сарадницима пројектовао и реализовао прву генерацију индустријских робота УМС. Модел УМС-1 био је инсталиран у земунској индустрији “Телеоптик”, имао је облик људске руке и обављао је послове тестирања термостата за аутомобилске моторе. Нови напредак у рехабилитационој роботизици направљен је 1980. године када је конструисана ортотичка рука за дистрофичаре.

Професор Вукобратовић је сам или са коауторима објавио око 250 научних радова из области роботике у међународним часописима и преко 400 радова у зборницима са научно-стручних скупова. Он је аутор и већег броја монографија и уџбеника од којих су 15 преведена на енглески, 4 на руски, 3 на јапански и 5 на кинески језик. Био је ментор 26 докторских дисертација, а одржао је око 160 предавања широм Европе, САД, Русије, Јапана и Кине.

За изузетне резултате које је остварио, пре свега из области роботике, академик Миодраг Вукобратовић добио је велики број домаћих и иностраних признања и награда. Проглашен је за почасног доктора наука Техничког факултета у Темишвару, Далекоисточног техничког универзитета у Владивостоку, Универзитета у Москви. За пионирске радове и резултате у рехабилитационој роботизици добио је Награду “Јозеф Енгелбергер”, Медаљу “Никола Тесла” првог реда, Орден Светог Саве првог реда. За монографију “Динамичка контрола манипулатора” коју је објавио са коаутором Д. Стокићем добио је 1976. године Октобарску награду града Београда. Академик Вукобратовић је добитник и највећих државних награда. Седмојулску награду добио је 1976. године, а Награду АВНОЈ-а 1982. године.

И поред многобројних понуда да научну каријеру настави у иностранству Миомир Вукобратовић је читав свој радни и животни век провео у Србији. У време када је НАТО бомбардовао Србију понуду да буде доживотни декан Лондонског универзитета одбацио је као непримерену.

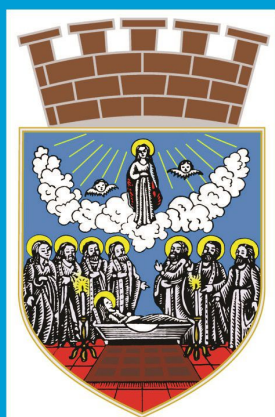
Наш највећи роботичар и пионир светске роботике Академик Миомир Вукобратовић преминуо је у Београду 2012. године.

# УПУТСТВО ЗА ПИСАЊЕ РАДОВА

- Радови се достављају у електронском облику на дискети или електронском поштом.
- Рад треба да буде откуцан у фонту Times New Roman са ћириличним писмом. Величина фонта 10.
- Обим рада не би требало да буде већи од 12 страница.
- Наслов рада се даје на српском и енглеском језику. Испод наслова налазе се име и презиме аутора уз које иде научно или стручно звање, афелација (радна организација и њено седиште, место, адреса и контакт телефон или е-маил адреса. Рад мора да има резиме на српском и енглеском језику дужине до десет куцаних редова као и кључне речи уз обе варијанте. Садржај рада треба да има увод, разрадне делове и закључак.
- Дијаграми, цртежи, слике, табеле треба да се налазе на свом месту у раду. Текст нпр. „Слика 1.“ налази се испод слике на средини а текст „Табела 1.“ изнад табеле лево.
- Мере и мерне јединице морају бити у складу са важећим прописима у тој области.
- Литература се наводи на крају и треба да садржи: редни број, презиме и почетно слово имена аутора, назив рада, назив часописа (или књиге), број издања, назив издавача, место седишта издавача и годину издања.
- Препорука је да се радови пишу на ћирилици.
- Сви пријављени радови подлежу анонимној научно стручној рецензији и оцени квалитета о чему ће аутори бити обавештени.
- Уредништво часописа ће прихватити само необјављене радове.
- Пријављени радови се не враћају ауторима.



## ДРУШТВО ИНЖЕЊЕРА ЗРЕЊАНИН



## ГРАД ЗРЕЊАНИН



## РЕПУБЛИКА СРБИЈА

Овај часопис се финансира из буџета ГРАДА ЗРЕЊАНИНА.  
Ставови изражени у овој публикацији искључива су  
одговорност аутора и његових сарадника  
и не представљају нужно званичан став ГРАДА.