

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR



Cu

UDC 669.3

ISSN 0351-0212

Broj 1 Volumen 47 2022

BAKAR COPPER



BAKAR je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada ne samo iz oblasti dobijanja i prerade bakra, već i iz oblasti obojene i crne metalurgije, tehnologije, nanotehnologije, hemije, pripreme mineralnih sirovina, zaštite životne sredine, energetske efikasnosti, i primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti.

Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

Glavni i odgovorni urednik

Dr Milenko Ljubojev, *naučni savetnik, redovni član IAS*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-110

Zamenik glavnog i odgovornog urednika

Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: ana.kostov@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-108

Urednik

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

Prevodilac

Nevenka Vukašinović, *prof.*

Tehnički urednik

Suzana Cvetković, *teh.*

Priprema za štampu

Vesna Simić, *teh.*

Štampa

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Tiraž: 30 primeraka

Internet adresa

www.irmbor.co.rs

Izdavanje časopisa finansijski podržavaju

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

ISSN 0351-0212

Indeksiranje časopisa u SCIndeksu i u ISI.

Izdavač

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-101

Sva prava zadržana.

Uredivački odbor

Dr Mile Bugarin, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Tatjana Volkov Husović, *red. prof.*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd
Dr Silvana Dimitrijević, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Doc. dr Bojan Jokić, *docent*
Fakultet primenjenih umetnosti u Beogradu
Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Lidija Mančić, *naučni savetnik*
Institut tehničkih nauka SANU
Dr Dragan Milanović, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Aleksandra Milosavljević, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Duško Minić, *red. prof.*
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Dr Milanče Mitovski
Redovni član IAS
Dr Miroslav Sokić, *naučni savetnik*
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina Beograd
Dr Jasmina Stevanović, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd
Dr Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka
Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd
Dr Viša Tasić, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

COPPER is a journal based on the rich tradition of expert and scientific work not only in the field of copper production and treatment, but also in the field of non-ferrous and ferrous metallurgy, technology, nanotechnology, chemistry, mineral processing, ecology, energy efficiency, applied informatics, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

Editor-in-Chief

Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow, full member of ECS*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-110

Co-Editor

Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: ana.kostov@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-108

Editor

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

English Translation

Nevenka Vukašinović

Technical Editor

Suzana Cvetković

Preprinting

Vesna Simić

Printed in

Mining and Metallurgy Institute Bor

Circulation: 30 copies

Web site

www.irmbor.co.rs

COPPER is financially supported by

The Ministry of Education, Science and
Technological Development of the Republic Serbia
Mining and Metallurgy Institute Bor

ISSN 0351-0212

Journal indexing in SCIndex and ISI.

Published by

Mining and Metallurgy Institute Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-101

All rights reserved.

Editorial Board

Ph.D. Mile Bugarin, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Tatjana Volkov Husović
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Svetlana Dimitrijević,
Senior Research Associate
Mining and Metallurgy Institute Bor
Ph.D. Bojan Jokić
Faculty of Applied Arts in Belgrade
Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Ph.D. Lidija Mančić, *Principal Research Fellow*
Institute of Technical Science of SASA
Ph.D. Dragan Milanović, *Senior Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Ph.D. Aleksandra Milosavljević,
Senior Research Associate
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Duško Mincić
Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica
Ph.D. Milanče Mitovski
Full member of ECS
Ph.D. Miroslav Šokić, *Principal Research Fellow*
Institute for Technology of Nuclear and Other Raw Materials Beograd
Ph.D. Jasmina Stevanović, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Germany
Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Viša Tasić, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor

BAKAR 47 (2022) 1 COPPER

UDK: 691.51/.3:661.96(045)=163.41

Primljen: 07.02.2022.

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Prerađen: 24.02.2022.

Oblast: Materijali i hemijska tehnologija

Prihvaćen: 28.02.2022.

NAČIN DOBIJANJA CaO POTREBNE REAKTIVNOSTI ZA RAVNOMERNO IZDVAJANJE H₂ KOD GRAĐEVINSKIH „GAS BLOKOVA“

METHOD OF CaO OBTAINING OF REQUIRED REACTIVITY FOR UNIFORMLY H₂ DISTRIBUTION IN THE AERATED CONCRETE CONSTRUCTION BLOCKS

Radojko Gordić¹, Miladin Gligorić², Darko Reljić³,
Dorđe Janačković⁴

¹MG Serbien, Bela Stena 29, 36344 Baljevac
e-mail:radojko.gordic@mg-serbian.com

²Tehnološki fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu,
Karakaj 34A, 75400 Zvornik, BiH

³Xella – Srbija, Diše Đurđevića bb, 11560 Vreoci

⁴Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu,
Karnegijeva 4, 11000 Beograd

Izvod

U ovom radu kreč (CaO) koji se koristi za proizvodnju „gas blokova“ potrebno je da ima karakterističnu reaktivnost da bi došlo do ravnomernog izdvajanja vodonika (H₂). Za dobijanje gasosilikata obično se za stvaranje pora koristi aluminijumski prah, koji u reakciji sa Ca(OH)₂ izdvaja vodonik, koji dovodi do bubrežne mase i obrazovanja pora. Da bi dobili kreč (CaO) posebne reaktivnosti potrebno je da za proces kalcinacije koristimo precizno određenu količinu energije po jedinici proizvoda. U radu je korišćena teotisko - eksperimentalna metoda. Dobijeni rezultati su provjereni u praksi.

Ključne reči: „gas blokova“, reaktivnost, kalcinacija, kreč

Abstract

In this paper, the lime (CaO), used for the production of aerated blocks, needs to have a specific reactivity in order to ensure the uniformly (H₂) hydrogen separation. In the production of gas silicate, the agent, used for the creation of pores, is usually aluminum powder, which reacts with Ca(OH)₂ for hydrogen separation that in turn causes the mass swelling and formation of pores. To generate lime (CaO) with a specific reactivity, a precise amount of energy per unit of product must be used in the calcination process. The theoretical and experimental method was used in this paper. The obtained results have been tested in practice.

Keywords: “aerated blocks“, reactivity, calcination, quicklime

1. UVOD

Čelijasti silikatni proizvodi karakterišu se prisustvom veće količine zatvorenih pora – čelija. Zahvaljujući tome poseduju malu zapreminsku težinu i malu provodljivost toploće [1].

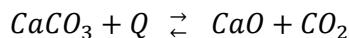
Proizvode se dve vrste čelijastih silikatnih proizvoda: penosilikat i gasosilikat. Za proizvodnju ovih proizvoda koristi se kreč (u gašenom ili negašenom- mlevenom stanju), gips, kvarcni pesak u mlevenom obliku. Umesto peska može da se koristi pepeo, šljaka ili neki drugi materijal. Takođe se može koristi aluminijumski prah pomoću koga se izdvaja H_2 . [2].

2. ENERGIJA KALCINACIJE ZA DOBIJANJE OPTIMALNE REAKTIVNOSTI CaO – KREČA ZA RAVNOMERNO IZDVAJANJE H_2 U „GAS BLOKU“

2.1. Potrebna reaktivnost kreča – CaO za ravnometerno izdvajanje gasa u čelijastim gradevinskim blokovima u zavisnosti od tipa toplotnog agregata

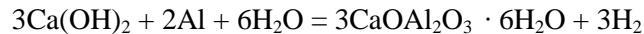
Vodeći računa o kvalitetu i granulaciji agregata može se odrediti optimalna količina energije potrebne za dobijanje kreča - CaO određene reaktivnosti koja je optimalna za ravnometerno izdvajanje vodonika po celoj površini preseka u „gas blokovima“, slika 1.

Proces dobijanja CaO – kreča (kalcinacija) se odvija po sledećoj reakciji:



Sl. 1. „Presek gas gradevinskog bloka“

Za dobijanje gasosilikata - „gas bloka“ obično se za stvaranje pora – „gasa“ koristi aluminijumski prah, koji u reakciji sa Ca(OH)₂, izdvaja vodonik, koji dovodi do bubrenja mase i obrazovanja pora. [3] Reakcija obrazovanja gasa može se prikazati jednačinom:



Potreбна reaktivnost kreća da bi došlo do ravnomernog izdvajanja vodonika po celoj površini kao i zapremini ispunjenoj gasom - vodonikom ostvaruje se ako je reaktivnost kreća CaO sledećih karakteristika predstavljenih u tabeli 1.

Tabela 1. Optimalna reaktivnost CaO-kreća za ravnomerno izdvajanje H₂ u „gas blokovima“

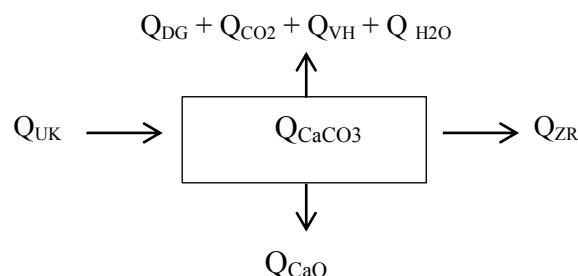
T _{2 min} °C	T _{2 max} °C	T _{5 min} °C	T _{5 max} °C	T _{60 min} od ... do °C	T _{max} od... do °C
28	31	55	58	7 do 18	68 do 74

2.2. Potrebni energetski bilans šahtne prstenaste peći tipa „Forindus“ za dobijanje reaktivnosti kreća CaO koja omogućava ravnomerno izdvajanje H₂

U fabrici za proizvodnju kreća - CaO „Jelen Do“ u proizvodnom procesu postoje tri tipa šahtnih peći i to: Forindus, Warmestell i Maerz. Zbog različitih konstrukcija peći količina energije koju treba dodati po jedinici težine da bi se dobio kreć – CaO optimalne reaktivnosti za ravnomerno izdvajanje vodonika prilikom tehnološkog procesa dobijanja „gas blokova“ je različita.

Na slici 2 je šematski predstavljena energija koja se koristi i gubi u procesu kalcinacije na topotnim agregatima. [4,5]

$$Q_{UK} = Q_n + (Q_{DG} + Q_{CO_2} + Q_{VH} + Q_{H_2O}) + Q_{CaO} + Q_{ZR}$$



Sl. 2. Šematski prikaz energije koja se dodaje i gubi u procesu kalcinacije

gde je:

- Q_{UK} - Ukupna dovedena toplota,
- Q_{CaCO_3} - Toplota dekarbonizacije krečnjaka,
- Q_{DG} - Toplota koju odnose dimni gasovi,
- Q_{CO_2} - Toplota koju odnosi CO_2 , [6]
- Q_{VH} - Toplota predata vazduhu za hlađenje kreča,
- Q_{H_2O} - Toplota utrošena za uklanjanje vode iz krečnjaka,
- Q_{CaO} - Toplota izlaznog kreča iz peći, i
- Q_{ZR} - Toplota izgubljena zračenjem

Za pečenje kreča (kalcinaciju - 1 kg kreča) utroši se 3600 KJ/kg energije. Temperatura gasova koji napuštaju peć iznosi oko $200^{\circ}C$. Utrošak toplove za pečenje jednog kilograma kreča koji sadrži 98% CaO od kojih 93% u obliku slobodnog CaO (živog kreča), a 5% u obliku CaO vezanog u $CaCO_3$ („nepeka“) iznosi:

$$Q_n = 3600 \times 0,93 = 3348 \text{ KJ/kg kreča}$$

Gubitak zračenja kroz zidove peći (Q_{ZR}) procenjuje se na svega 125,6 KJ/kg, što odgovara vrednostima karakterističnim za savremene peći za kreč visokog specifičnog kapaciteta i dobre vatrostalne izolacije [7]. Na osnovu ovih vrednosti izračunati teoretski utrošak toplove za proizvodnju jednog kilograma krečama Forindus peći iznosi [8,9,10]:

$$\begin{aligned} Q_n &= 3600 \times 0,93 = 3348 \text{ KJ/kg} \\ Q_{CO_2} &= 0,368 \times 1,700 \times 200 = 125,1 \text{ KJ/kg} \\ Q_{DG} &= 1,323 \times 1,306 \times 200 = 345,6 \text{ KJ/kg} \\ Q_{VH} &= 0,64 \times 1,306 \times 200 = 167,2 \text{ KJ/kg} \\ Q_{H_2O} &= 1,8 \times 0,03 \times 2,394 = 129,3 \text{ KJ/kg} \\ Q_{CaO} &= 1 \times 0,787 \times 200 = 157,4 \text{ KJ/kg} \\ Q_{ZR} &= 125,6 \text{ KJ/kg} \\ \Sigma &= \mathbf{4398,2 \text{ KJ/kg}} \end{aligned}$$

Stvarni termički bilans ne razlikuje se mnogo od prikazanog i mogao bi se svesti na sledeće osnovne stravke:

Stvarna (korisna) toplota kalcinacije ($3600 \times 0,956$) $Q_n = 3441,6 \text{ KJ/kg}$.

Osetna toplota dimnih gasova i CO_2 ($200^{\circ}C$) iznosi:

$$Q_{DG} + Q_{CO_2} = 568,8 \text{ KJ/kg}$$

Toplota predata vazduhu za hlađenje Q_{VH}= 256,6 KJ/kg

Toplota otparavanja vode iz kamena Q_{H2O}= 237,7 KJ/kg

Osetna toplota kreča (200°C) Q_{CaO}= 248,6 KJ/kg

Gubici zračenjem kroz zidove peći 326 KJ/kg

$$\Sigma = \mathbf{5079,3 \text{ KJ/kg}}$$

Ova dobijena vrednost odnosi na peć Forindus ložene na čvrsto gorivo. Ovolika stvarna toplota se objašnjava neravnomernom raspodelom goriva ubačenog u peć odnosno neravnomernom raspodelom goriva u zoni predgrevanja [11].

2.3. Potrebni energetski bilans šahtne prstenaste peći tipa „Warmestell“ optimalnih karakteristika za dobijanje reaktivnosti kreča CaO koja omogućava ravnomerno izdvajanje H₂

Warmestell peć je trenutno jedna od ekonomičnijih agregata instaliranih u „Jelen Dolu“ čiji je kapacitet 145 tona CaO (kreča) za 24 časa. Peć se kontinualno snadbeva kamenom granulacije 31 mm do 63 mm.

Gubitak zračenja kroz zidove peći (Q_{ZR}) je svega 226,6 KJ/kg. što odgovara vrednostima karakterističnim za savremene peći za kreč visokog specifičnog kapaciteta [9]. Na osnovu ovih vrednosti izračunati teoretski utrošak toplote za proizvodnju jednog kilograma kreča iznosi [8,9,10]:

$$Q_n = 3152 \times 0,93 = 2931,4 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{CO_2} = 0,368 \times 1,700 \times 150 = 93,8 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{DG} = 1,323 \times 1,306 \times 150 = 259,2 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{VH} = 0,64 \times 1,306 \times 150 = 125,4 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{H2O} = 1,8 \times 0,03 \times 2,394 = 129,3 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{CaO} = 1 \times 0,787 \times 150 = 118,1 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{ZR} = 125,6 \text{ KJ/kg}$$

$$\Sigma = \mathbf{3783,8 \text{ KJ/kg}}$$

Stvarni termički bilans ne razlikuje se mnogo od prikazanog i mogao bi se svesti na sledeće osnovne stravke:

Stvarna (korisna) toplota kalcinacije (3152 x 0,956) Q_n = 3015 KJ/kg

Osetna toplota dimnih gasova i CO₂ (150°C) Q_{DG} + Q_{CO2} = 462 KJ/kg

Toplota predata vazduhu za hlađenje Q_{VH} = 134,6 KJ/kg

Toplota otparavanja vode iz kamena $Q_{H_2O} = 126 \text{ KJ/kg}$

Osetna toplota kreča (200°C) $Q_{CaO} = 248,6 \text{ KJ/kg}$

Gubici zračenjem kroz zidove peći 226 KJ/kg

$$\Sigma = 4212,2 \text{ KJ/kg}$$

Ova dobijena vrednost se odnosi na peć Warmestell ložene na tečno gorivo. Ovolika stvarna toplota se objašnjava neravnomernom raspodelom goriva ubačenog u peć odnosno neravnomernom raspodelom goriva u zoni predgrevanja.

2.4. Potrebni energetski bilans šahtne prstenaste peći tipa „Maerz“ za dobijanje reaktivnosti koja omogućava ravnomerno izdvajanje H_2

Maerzove peći za pečenje kreča su trenutno energetski najisplativiji agregati. U „Jelen Dolu“ je instalisana peć kapaciteta 350 tona CaO (kreča) za 24 časa. Peć se kontinualno snadbeva kamenom granulacije 40 mm do 80 mm. Pri ovome je realno očekivati da se pri procesu transporta kamena gubi oko 3% kamena u obliku praštine koja se prikuplja uređajima za otprašivanje. Toplotni bilans šahtne peći tipa Maerz izračunava se na osnovu gubitka zračenja kroz zidove peći (Q_{ZR}) koje iznosi 150 KJ/kg , što odgovara vrednostima karakterističnim za savremene peći za kreč visokog specifičnog kapaciteta.

Na osnovu ovih vrednosti izračunati teoretski utrošak toplote za proizvodnju jednog kilograma kreča iznosi [7,8,9]:

$$Q_n = 3152 \times 0,93 = 2931,4 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{CO_2} = 0,368 \times 1,700 \times 100 = 62,6 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{DG} = 1,323 \times 1,306 \times 100 = 259,2 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{VH} = 0,64 \times 1,306 \times 100 = 83,6 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{H_2O} = 1,8 \times 0,03 \times 2,394 = 129,3 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{CaO} = 1 \times 0,787 \times 100 = 78,7 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_{ZR} = 125,6 \text{ KJ/kg}$$

$$\Sigma = 3670,4 \text{ KJ/kg}$$

Stvarna (korisna) toplota kalcinacije ($3152 \times 0,956$) $Q_n = 3015 \text{ KJ/kg}$

Osetna toplota dimnih gasova i CO_2 (100°C) $Q_{DG} + Q_{CO_2} = 221,8 \text{ KJ/kg}$

Toplota predata vazduhu za hlađenje $Q_{VH} = 134,6 \text{ KJ/kg}$

Toplota otparavanja vode iz kamena $Q_{H_2O} = 129,3 \text{ KJ/kg}$

Osetna toplota kreča (100°C) $Q_{CaO} = 148,6 \text{ KJ/kg}$

Gubici zračenjem kroz zidove peći 226 KJ/kg

$$\Sigma = 3875,3 \text{ KJ/kg}$$

Ova dobijena vrednost se odnosi na peć Maerz ložene na tečno ili gasovito gorivo. Ovolika stvarna toplota se objašnjava ravnomernom raspodelom goriva ubačenog u peć, odnosno neravnomernom raspodelom goriva u zoni predgrevanja.

U tabeli 2 predstavljena je potrošnja energije po jedinici proizvoda za pojedine šahtne peći, teorijske vrednosti koje su potvrđene u praksi odnosno procesu proizvodnje. Iz tabele se lako može zaključiti da je šahtna peć proizvođača Maerz energetski najpovoljnija [7].

Tabela 2. *Potrošnja energije za dobijanje CaO - kreča po jedinici proizvoda u zavisnosti od toplotnih agregata*

Tip šahtne peći	Warmstell (KJ/kg)	Forindus (KJ/kg)	Maerz (KJ/kg)
Teorijska vrednost potrošnje energije	3783,8	4398,2	3670,4
Praktična vrednost potrošnje energije	4212,2	5079,3	3875,3

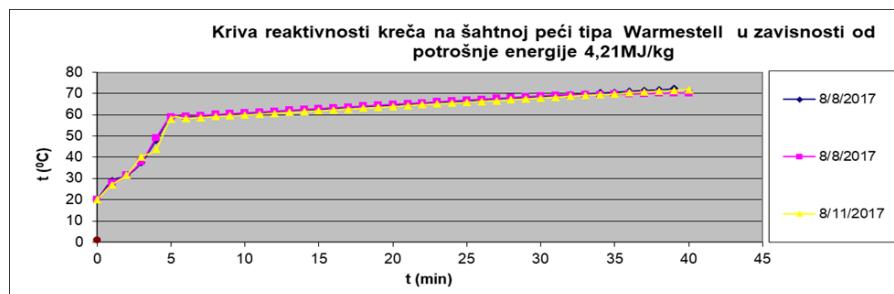
2.5. Eksperimentalno ispitivanje kako uticaj konstrukcije toplotnih agregata i potrošnje energije po jedinici težine (kg) utiče na reaktivnost dobijenog kreča - CaO

U tabeli 3 i na slikama 3 i 4 predstavljena je reaktivnost kreča u zavisnosti od količine energije utrošene za kalcinaciju na šahtnoj peći tipa Warmstell [8].

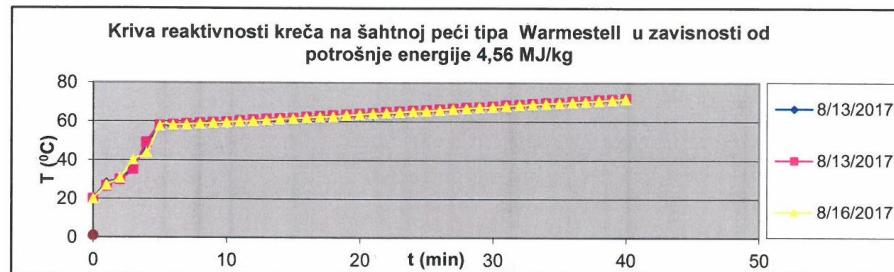
Tabela 3. *Reaktivnost kreča u šahtnoj peći Warmstell u zavisnosti od potrošnje energije u jedinici proizvoda*

Redni broj	Temperatura kalcinacije °C	Granulacija mm	Potrošnja energije MJ/kg	T _{2 min}	T _{5 min}	T _{60 min}	T _{max}
1	1250-1280	31- 63	4,21	31,5	58,7	8 min 5 sec	72,6
2	1250-1280	31- 63	4,21	31,5	58,9	8 min 2 sek	70,2
3	1250-1280	31- 63	4,21	31,7	58,1	11 min 4 sek	71,9
4*	1250-1280	31- 63	4,56	30,4	57,4	12 min 2 sec	72,6
5*	1250-1280	31- 63	4,56	30,9	57,9	12 min 6 sek	70,2
6*	1250-1280	31- 63	4,56	30,8	57,6	11 min	71,9

* *boldirani tekst predstavlja optimalnu reaktivnost za „gas blokove“*



Sl. 3. Kriva reaktivnosti CaO-kreča na šahtnoj peći tipa Warmestell u zavisnosti od potrošnje energije 4,21MJ/kg



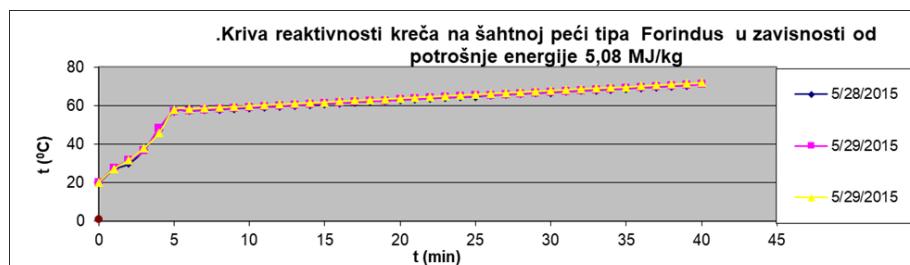
Sl. 4. Kriva reaktivnosti CaO-kreča na šahtnoj peći tipa Warmestell u zavisnosti od potrošnje energije 4,56 KJ/kg

U tabeli 4 i na slikama 5 i 6 predstavljen je uticaj konstrukcije agregata i potrošnje energije po jedinici težine (kg) na reaktivnost tako dobijenog kreča - CaO na šahtnoj peći tipa Forindus.

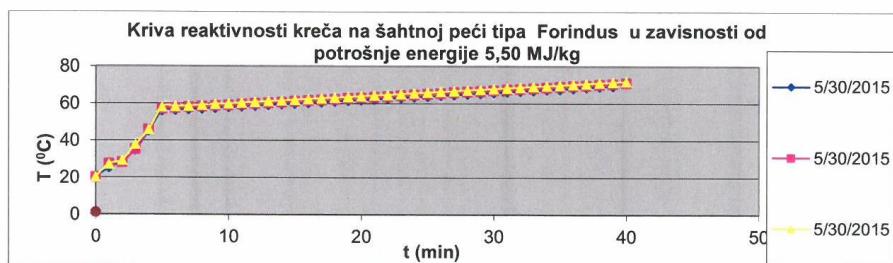
Tabela 4. Reaktivnost kreča na šahtnoj peći Forindus u zavisnosti od potrošnje energije u jedinici proizvoda

Redni broj	Temperatura kalcinacije	Granulacija mm	Potrošnja energije MJ/kg	T _{2 min}	T _{5 min}	T _{60 min}	T _{max}
1	1250-1280	80 - 160	5,08	29,9	56,9	13 min 1 sek	70,9
2	1250-1280	80 - 160	5,08	30,7	57,2	12 min	71,2
3	1250-1280	80 - 160	5,08	30,9	57,9	11 min 3 sek	71,9
4*	1250-1280	80 - 160	5,50	28,7	55,9	17 min 6 sek	69,9
5*	1250-1280	80 - 160	5,50	28,1	57,1	14 min 7 sek	71,1
6*	1250-1280	80 - 160	5,50	29,2	57,9	12 min 7 sek	71,9

* boldirani tekst predstavlja optimalnu reaktivnost za „gas blokove“



Sl. 5. Kriva reaktivnosti CaO-kreča na šahtnoj peći tipa Forindus u zavisnosti od potrošnje energije 5,08 KJ/kg

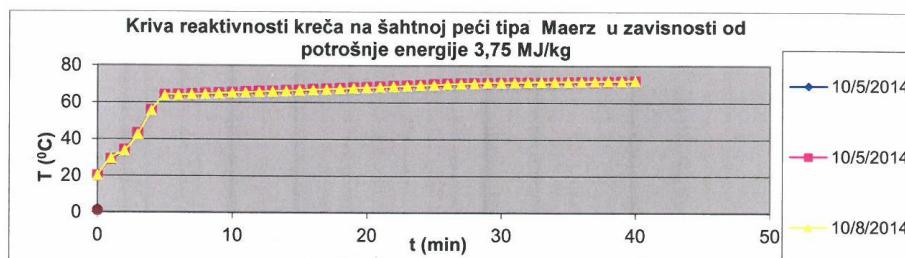


Sl. 6. Kriva reaktivnosti CaO-kreča na šahtnoj peći tipa Forindus u zavisnosti od potrošnje energije 5,50 KJ/kg

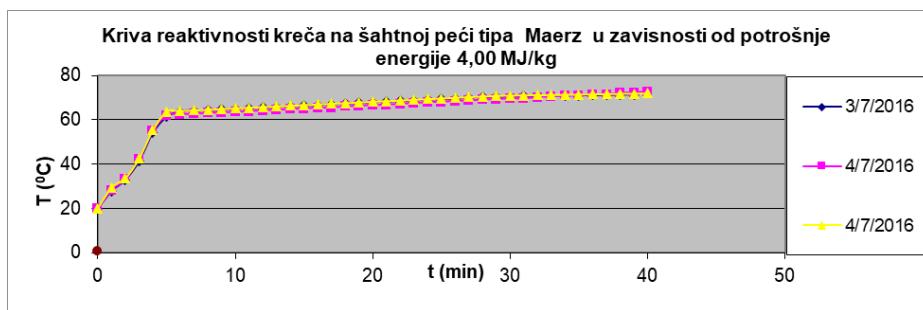
U tabeli broj 5 i na slikama 7 i 8 predstavljen je uticaj konstrukcije agregata i potrošnje energije po jedinici težine (kg) na reaktivnost tako dobijenog kreča - CaO na šahtnoj peći tipa Maerz.

Tabela 5. Reaktivnost kreča na šahtnoj peći Maerz u zavisnosti od potrošnje energije u jedinici proizvoda

Redni broj	Temperatura kalcinacije	Granulacija mm	Potrošnja energije MJ/kg	T _{2min}	T _{5min}	T _{60min}	T _{max}
1	1250-1300	40 - 80	3,75	33,4	63,5	4 min 51 sek	71,6
2	1250-1300	40 - 80	3,75	34,1	63,9	4 min 52 sek	71,8
3	1250-1300	40 - 80	3,75	33,7	63,7	4 min 52 sek	72
4	1250-1300	40 - 80	4,00	33	61,4	4 min 55 sek	71,6
5	1250-1300	40 - 80	4,00	33,2	62,1	4 min 52 sek	72,6
6	1250-1300	40 - 80	4,00	33,7	63,7	4 min 50 sek	72



Sl. 7. Kriva reaktivnosti CaO-kreča na šahnoj peći tipa Maerz u zavisnosti od potrošnje energije 3,75 KJ/kg



Sl. 8. Kriva reaktivnosti CaO-kreča na šahnoj peći tipa Maerz u zavisnosti od potrošnje energije 4,00 KJ/kg

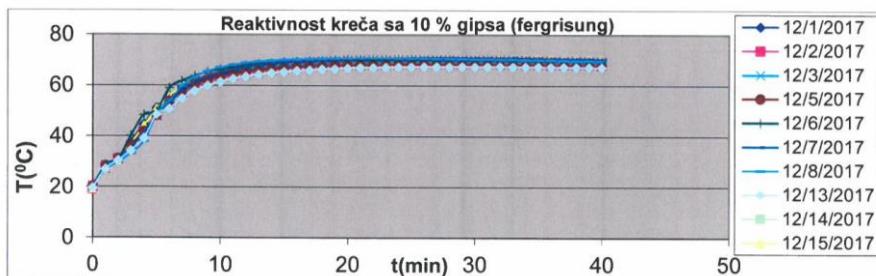
2.6. Eksperimentalno ispitivanje kako reaktivnost mikronskog kreča utiče na ravnomerno izdvajanje H₂ kod čelijastih blokova „gas betona“

Iz tabele 1, 3, 4 i 5 vidimo da je iz procesa proizvodnje na šahtnim pećima Forindus i Wermestell moguće dobiti direktno iz procesa proizvodnje kreč potrebne reaktivnosti za ravnopravno izdvajanje H₂ gde je definisana optimalna reaktivnost koja omogućuje da se ravnopravno izdvaja H₂, samim tim i „supljikavost“ blokova se ravnopravno raspoređuje po celoj površini, a prema merenju tako nastalog bloka vidi se da 40 do 50 % zapremine bloka zauzima „zarobljeni gas“. Takav „gas blok“ ima dobru topotnu i zvučnu izolaciju.

U tabeli 6 i na slici 9 se vidi kada je postignuta potrebna reaktivnost kreča. Uz potrebnu reaktivnost kreča postiže se i ravnopravno izdvajanje H₂, što su i eksperimentalni rezultati potvrdili. Naravno, treba naglasiti da je za eksperimentalno ispitivanje mikronskog kreča korišćen samo onaj kreč u grumenu koji ima odgovarajuću reaktivnost i koji je nakon toga mikronizovan (prikazano boldirano u tabelama 3 i 4).

Tabela 6. Uticaj odgovarajuće reaktivnost CaO – kreča na ravnomerno izdvajanje H₂

Redni broj	Težina D ₁ dm ³ punog bloka (kg)	Težina D ₂ dm ³ čelijastog bloka (kg)	% H ₂ 100 –(D ₂ /D ₁)	T _{2 min}	T _{5 min}	T _{60 min}	T _{max}
1	0,450	0,230	49	30,9	51,2	7 min 31 sek	69,7
2	0,450	0,240	47	31	48,3	8 min 29 sek	68,3
3	0,450	0,250	43	30,8	50,8	7 min 26 sek	70
4	0,450	0,250	43	30,7	47,9	8 min	69,1
5	0,450	0,245	46	30,9	48,2	7 min 34 sek	69,6
6	0,450	0,260	42	31,1	48,2	7 min 54 sek	67,8
7	0,450	0,250	43	31,2	49,8	7 min 54 sek	69,6
8	0,450	0,270	40	30,8	48,4	7 min 41 sek	70,5
9	0,450	0,230	49	29,8	48,5	7 min 7 sek	69,8
10	0,450	0,250	43	30,5	48,6	9 min 5 sek	67,2



Sl. 9. Kriva reaktivnosti mikronskog CaO-kreča sa dodatkom gipsa u procesu proizvodnje ravnomernog izdvajanja H₂ u „gas bloku“

ZAKLJUČAK

U zavisnosti od tipa krečne peći moguće je izračunati koju količinu energije po jedinici proizvoda je potrebno dodati u procesu kalcinacije da bi dobili CaO – kreč približno potrebnih karakteristika reaktivnosti.

Međutim, kod nekih konstrukcija agregata ekonomski je neisplativo da se dodaje velika količina energije da bi se dobila potrebna reaktivnost CaO – kreča kao što je to slučaj kod šahtne peći tipa Maerz (peć konstruisana za dobijanje visoko reaktivnog kreča).

U tom slučaju se CaO - kreč prosejava i „bira“ se granulacija koja ima potrebnu reaktivnost za koju je izdvajanja H₂ optimalno.

Samo kod prstenasto šahtnih peći tipa Forindus i Warmestell (peći konstruisane za srednje reaktivni kreč) moguće je iz direktnog procesa proizvodnje i ekonomski isplativo dobijanje reaktivnosti koja je potrebna za ravnometerno izdvajanje H₂ kod „gas blokova“.

LITERATURA

- [1] N. Benhidjeb, R. Gadiou, J.F. Brilhac, G. Prado, Modelling of the Pore Sulphation Behaviour of Porous CaO Particles in a Fixed Bed Reactor, Environ. Comb. Technol., 2 (2001) 255– 275.
- [2] P. Petrovski, M. Gligorić, M. Nišević, M. Begagić, Usage of Serpentine for MgO and Active SiO₂, Production, Proceeding of the World Congres on HT Ceramics, 6th CIMETEC, Milano, June 1986, High Tech Ceramics edited by P. Vineenzini Elsevier Science publishers B.V., Amsterdam, 1987, pp. 2267-2278.
- [3] M. Perušić, D. Lazić, M. Gligorić, Ž. Živković, Influence of Fluoride on the Change of Specific Surface Area of Aluminum Hydroxide Particles During the Calcination Process, Journal of Metallurgy, Volume 7, 4 (2001) 239-248, in Serbian.
- [4] I. Ar, G. Dogu, Calcination Kinetics of High Purity Limestone"; The Chemical Engineering Journal, Vol.83, 2 (2001).
- [5] G.D. Silcox, J.C. Kramlich, D.W. Pershing, A Mathematical Model for the Flash Calcination of Dispersed CaCO₃ and Ca(OH)₂ Particles, Ind. Eng. Chem. Res., 28 (1989) 155–160.
- [6] F. García-Labiano, A. Abad, F. de Diego, P. Gayán, J. Adánez, Calcination of Calcium-Based Sorbents at Pressure in a Broad Range of CO₂ Concentrations
- [7] S.K. Bhatia, D.D. Perlmutter, The Effect of Pore Structure on Fluid–Solid Reactions: Application to the SO₂- Lime Reaction, AIChE J., 27 (1981) 226– 234.
- [8] K. Dam-Johansen, K. Østergaard, High Temperature Reaction Between Sulphur Dioxide and Limestone - Comparison of Limestones in two Laboratory Reactors and a Pilot Plant, Chem. Eng. Sci., 46 (1991) 827– 837.
- [9] J.Y. Xie, B.J. Zhong, W.B. Fu, Y. Shi, Measurement of equivalent diffusivity during the calcination of limestone, Combust. Flame, 129 (2002) 351–355.
- [10] B.R. Stanmore, P. Gilot, Fuel Processing Technology, 86 (2005) 1707-1743.
- [11] S.M. Klara, R.D. Srivastava, H.G. McIlvried, Integrated Collaborative Technology Development for CO₂ Sequestration in Geologic Formations—United States Department of Energy R&D, Energy Convers. Manag., 44 (2003) 2699–2712.

BAKAR 47 (2022) 1 COPPER

UDK: 621.313.12(045)=163.41

Primljen: 02.03.2022.

NAUČNI RAD

Prerađen: 01.04.2022.

Oblast: Energetika

Prihvaćen: 14.04.2022.

DOPRINOS U OTKLANJANJU SMETNJI NA MERENJE FREKVENCIJE TROFAZNOG AC GENERATORA

CONTRIBUTION IN ELIMINATION OF INTERFERENCE FOR FREQUENCY MEASUREMENT OF THREE-PHASE AC GENERATOR

Ivana Randelović¹, Miroljub Pešić¹, Viša Tasić²,
Marijana Pavlov-Kagadejev², Vladan Miljković²

¹Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, Niš

²Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor
E-mail: visa.tasic@irmbor.co.rs

Izvod

Poslednjih godina se posebna pažnja posvećuje razvoju obnovljivih izvora energije. Uzimajući u obzir ovaj trend razvoja kao deo brzog razvoja industrije, predlaže se doprinos u radu uređaja za merenje frekvencije trofaznog vetrogeneratora u cilju smanjenja uticaja smetnji na merenje frekvencije. Prezentovano je detaljno rešenje samog uređaja za merenje frekvencije trofaznog AC generatora iz opsega 1-100 Hz. Ovaj uređaj koristi međufazni naizmenični napon i na svom izlazu daje jednosmerni napon u opsegu 0-5V DC, koji je proporcionalan frekvenciji 1-100 Hz i galvanski je izolovan od ulaznog signala. Tako dobijen izlazni signal je pogodan za dalju obradu u distribuiranim sistemima upravljanja. Smetnje koje nastaju u samom generatoru ili okolnim uređajima se mogu superponirati izlaznom naponu generatora i time mogu da značajno umanju tačnost merenja. Zato se u radu predlaže dodatno niskofrekventno filtriranje signala čime bi se značajno smanjila moguća greška merenja perioda ulaznog signala.

Ključne reči: merenje, frekvencija, vetrogenerator

Abstract

In recent years, a special attention has been paid to the development of renewable energy sources. Taking into account this development trend as a part of the rapid industry development, it is proposed to contribute to the operation of devices for measuring the frequency of three-phase wind turbines in order to reduce the impact of interference on frequency measurement. It presents a detailed solution of a device for measuring the frequency of a three-phase AC generator in the range of 1-100 Hz. The device uses an intermediate phase AC voltage which at its output gives a DC voltage in the range 0-5V DC that is proportional to the frequency 1-100 Hz and is galvanically isolated from the input signal. The output signal thus obtained is suitable for further processing in distributed control systems. Interferences occurring in the generator itself or surrounding devices can be superimposed on the generator output voltage and thus can significantly reduce the measurement accuracy. Therefore, the paper proposes an additional low-frequency signal filtering, which would significantly reduce the possible error of measuring period of the input signal.

Keywords: measurement, frequency, wind generator

1. UVOD

Obnovljivi izvori energije su danas sve više prisutni kao izvori energije u savremenim distributivnim sistemima, a među njima posebno se ističu i vetroturbine čiji je napredak u tehničkom i tehnološkom smislu nastao kao posledica ekoloških i energetskih problema [1,2]. Najbrži rastući izvor energije predstavlja energija vetra koja se do sada pokazala kao ozbiljan obnovljiv izvor energije. Očekuje se da će energija vetra kao novi izvor obnovljive energije postati ekonomski konkurent konvencionalnim izvorima energije. Sa ekološkog aspekta, energija vetra je čista, ne zagađuje vazduh, ne proizvodi otpad. Zasniva se na principu pretvaranja kinetičke energije u mehaničku, a potom transformacijama u električnu energiju koja se potom distribuira energetskom sistemu. U cilju obezbeđenja pouzdanog rada vetroturbina u uslovima promenljivog vetra potrebno je razmatrati parametre kao što su napon, frekvencija, vibracije, itd. U skladu sa tim, u radu se predlaže dogradnja uređaja za merenje frekvencije trofaznog vetrogeneratora u cilju smanjenja uticaja smetnji na merenje frekvencije.

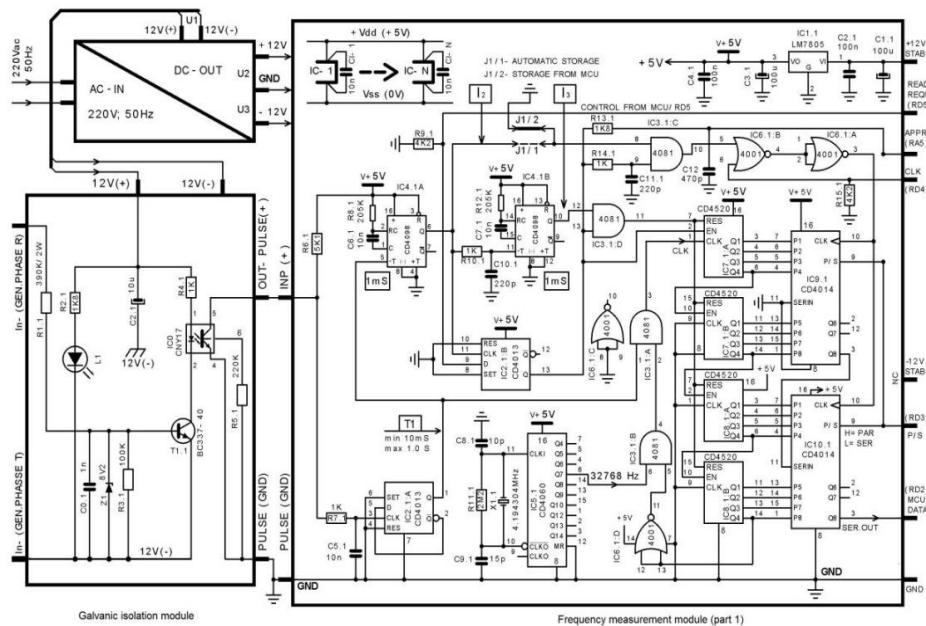
2. ANALIZA RADA UREĐAJA ZA MERENJE FREKVENCije TROFAZNOG AC GENERATORA U CILJU SMANJENJA UTICAJA SMETNJI NA MERENJE FREKVENCije

Merenjem trajanja perioda određuje se frekvencija trofaznog AC generatora. Uredaj za merenje frekvencije prikazan u referenci [1] sastoji se od modula za napajanje, modula za galvansku izolaciju i modula za merenje frekvencije sastavljenog iz dva dela: merenje periode ulaznog signala i pretvaranje vremena u analogni signal, gde je prvi deo prikazan na slici 1.

Pri merenju se napon između dve faze jednostrano ispravlja i preko optokapera prenosi kao galvanski izolovan logički signal TTL nivoa, čija se frekvencija meri digitalnim logičkim kolima. Princip merenja se sastoji u sledećem: logički signal na prijemnoj strani optokaplera dobija se jednostranim ispravljanjem napona između dve faze; zatim se signal vodi na T-flip flop (reaguje na prednju ivicu) koji njegovu frekvenciju deli sa 2, čime se dobija logička jedinica trajanja T_x čije se trajanje meri, i koja se vodi na jedan ulaz I kola IC3.1A. Na drugi ulaz tog gejta se vodi takt frekvencije 32768 Hz. Perioda signala je direktno srazmerna broju taktnih impulsa propuštenih kroz gejt IC3.1A.

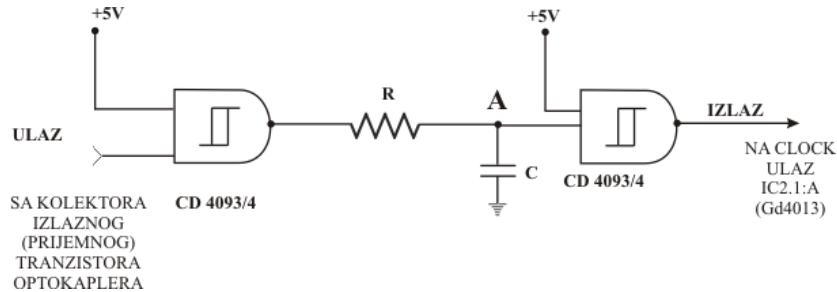
Smetnje koje nastaju u samom generatoru ili okolnim uređajima se mogu superponirati izlaznom naponu generatora i mogu da značajno umanju tačnost merenja. Uticaj impulsnih smetnji se može smanjiti niskofrekventnim filtrima čiju vremensku konstantu treba pažljivo odabratи kako se ne bi stvarala dodatna greška izobličavanjem signala T_x .

Na osnovu električne šeme sa slike 1, može se videti da na predajnoj strani optokaplera postoji vremenska konstanta od $\approx 80\mu\text{s}$ ($R_{1,1}=390\text{k}\Omega$, $R_{3,1}=100\text{k}\Omega$ i $C_{0,1}=1\text{nF}$) koja predstavlja niskofrekventni filter. Takođe, na prijemnoj strani optokaplera postoji vremenska konstanta od $10\mu\text{s}$ ($R_{7,1}=1\text{k}\Omega$ i $C_{5,1}=10\text{nF}$). Ove RC konstante mogu da filtriraju uže impulsne smetnje, ali impulsne smetnje dužeg trajanja ipak mogu da prođu dalje i izazovu grešku merenja T_x . Uticaj impulsnih smetnji se može smanjiti niskofrekventnim filtrima čiju vremensku konstantu treba pažljivo odabratи kako se ne bi stvarala dodatna greška izobličavanjem signala T_x .



Sl. 1. Električna šema uređaja za merenje frekvencije – merenje periode ulaznog signala [1]

Zato se predlaže dodatno niskofrekventno filtriranje signala čime bi se značajno smanjila moguća greška merenja T_x . To se najjednostavnije može uraditi iza prijemne strane optokaplera, gde bi se umesto $R_{7,1}$ i $C_{5,1}$ ugradilo kolo prikazano na slici 2.

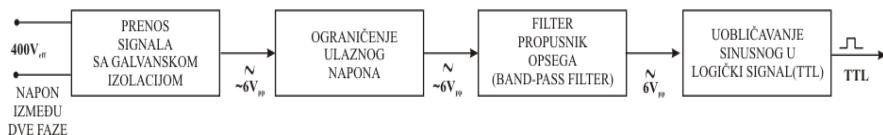


Sl. 2. Šema kola za dodatno niskofrekventno filtriranje signala

Realizovano kolo je kombinacija dva CMOS NI kola sa Šmitovim ulazima između kojih je umetnuto RC kolo koje predstavlja niskofrekventni filter. Pogodnim izborom vrednosti RC konstante mogu se efikasno filtrirati i impulsne smetnje dužeg trajanja. Na ovaj način, impulsni smetnji su eliminisani iz izlaznog signala pogodnim izborom RC konstante. Ukoliko je potrebno sačuvati širok opseg merenja (1-100) Hz, tada vremenska konstanta RC treba da bude do oko 1.5ms. (npr., 150k Ω i 10nF) kako bi se signal od 100 Hz verno preneo na merenje T_x . U slučaju manjeg opsega merenja, npr. do 60 Hz, vremenska konstanta bi trebalo da iznosi do oko 2.7 ms (npr., 270k Ω i 10nF).

Kada se frekvencija trofaznog generatora menja u širokom opsegu od reda 1Hz i sve do 100Hz, tada se koristi sprega pomoću optokaplera jer se jedino tako mogu prenositi niske frekvencije reda Hz. Transformatorska sprega se ne može koristiti za prenos signala vrlo niske frekvencije. Ukoliko se frekvencija generatora kreće u opsegu viših frekvencija, na primer od 45Hz do 55Hz, tada se za merenje perioda T_x može primeniti transformatorska sprega.

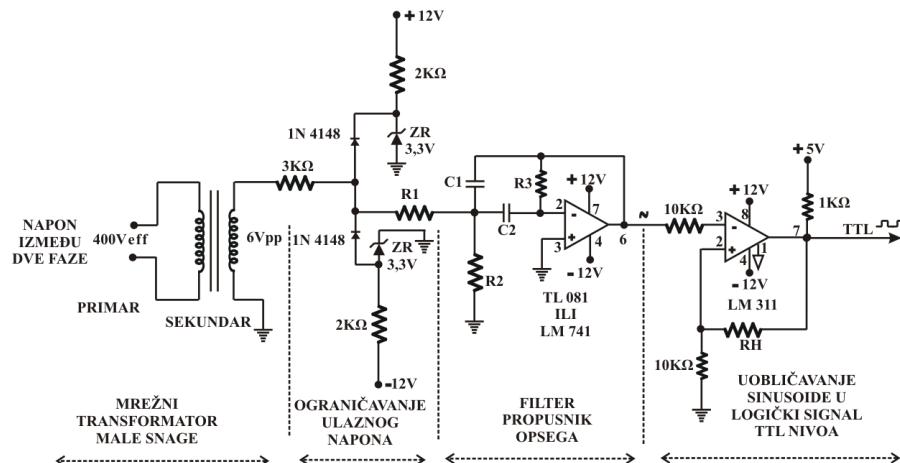
Pored toga, može se obaviti potiskivanje impulsnih smetnji, ali i filtriranje viših harmonika i dobijanje vrlo „čistog“ signala u slučaju kada generator daje signal sa izobličenjima (odstupanje od idealne sinusoide) koja takođe mogu dovesti do greške u merenju. Prenos signala sa generatora do kola za merenje (filtriranje smetnji i uobičavanje sinusnog signala u logički TTL signal) prikazano je blok šemom na slici 3, dok je detaljna električna šema data na slici 4.



Sl. 3. Blok šema prenosa signala

Prenos signala frekvencije trofaznog generatora se vrši pomoću mrežnog transformatora male snage, dovoljno je 1W. Primar se vezuje za napon između dve faze i projektuje se za 400 V_{eff}. Kako se prenosi samo signal frekvencije generatora, dovoljno je da je napon sekundara 6 V_{pp}, tj. 2.12 V_{eff}. Ovakav način prenosa merne

informacije, tj. frekvencije generatora, obezbeđuje galvansku izolaciju između generatora i mernog kola.



Sl. 4. Električna šema prenosa signala frekvencije trofaznog generatora

Na sekundar transformatora prikazanog na slici 4 se mogu preneti i impulsne smetnje koje mogu izlaz operacionog pojačavača za dalju obradu signala odvesti u zasićenje ili čak oštetiti njegov ulazni stepen. Zato se iza sekundara stavlja stepen za ograničavanje ulaznog napona. Stepen je sa zener diodama od 3.3V i komutirajućim diodama 1N4148. Na ovaj način se nakon otpornika od $3\text{k}\Omega$ dobija sinusni signal koji može da varira u opsegu od oko -4V do oko +4V. Ograničavač ulaznog napona elimiše veće impulsne smetnje i signal ograničava do vrednosti ± 4 V, ali i dalje postoji mogućnost da je napon na sekundaru izobličen u odnosu na idealnu sinusoиду. Ovakvo izobličenje stvara više harmonike mrežne frekvencije i to može, takođe, dovesti do grešaka u merenju. Zato se merni signal nakon ograničenja amplitude ulaznog signala vodi na filter propusnik opsega frekvencije (band-pass filter) koji propušta samo osnovni harmonik frekvencije generatora i skoro potpuno filtrira više harmonike. Filter propusnik opsega frekvencije je realizovan sa brzim operacionim pojačavačem TL081 koji se napaja sa ± 12 V DC. Otpornik od $3\text{k}\Omega$ iz ograničavača ulaznog napona je deo otpornika R_1 . Filter se projektuje npr. za sledeće parametre: centralna frekvencija $f_0=50\text{Hz}$; pojačanje na f_0 je približno 1; propusni opseg $B=10\text{ Hz}$ (od 45 Hz do 55 Hz). U referenci [3] date su preporuke kao i izrazi za brzo nalaženje pasivnih elemenata filtra R_1 , R_2 , R_3 , C_1 , i C_2 . Željeni filter propusnik opsega se dobija za vrednosti parametara $R_1=33\text{k}\Omega$ (redna veza $3\text{k}\Omega$ i $30\text{k}\Omega$); $R_2=750\Omega$, $R_3=62,56\text{k}\Omega$ (redna veza $62\text{k}\Omega$ i 560Ω); $C_1=C_2=0,47\mu\text{F}$. Centralna frekvencija filtra $f_0=49.995\text{ Hz}$ se dobija za nominalne vrednosti navedenih pasivnih komponenata. Propusni opseg i centralna frekvencija se mogu zadati i sa drugaćijim vrednostima. Signal frekvencije trofaznog

generatora očišćen od impulsnih smetnji i viših harmonika se konačno vodi na naponski komparator LM311 kako bi se ubolio u pravougaoni impulsni signal TTL nivoa, koje se vode na merenje T_x/f_x . Izlaz LM311 je sa otvorenim kolektorom i sa pratećim otpornicima kao na slici 4, gde se direktno dobijaju pravougaoni impulsi TTL nivoa. Ukoliko se želi naponski histerezis ΔV_H u kolu naponskog komparatora tada se vrednost otpornika R_H određuje prema formuli (1):

$$\Delta V_H = \frac{10k\Omega}{10k\Omega + R_H} \Delta V_{OUT} \quad (1)$$

gde je $\Delta V_{OUT} = 5V DC$. Ukoliko histerezis nije potreban R_H se izostavlja iz kola ($R_H = \infty$).

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu predlaže se poboljšanje uređaja za merenje frekvencije trofaznog vetrogeneratora u cilju smanjenja uticaja smetnji na merenje frekvencije. Smetnje koje nastaju u samom generatoru ili okolnim uređajima se mogu superponirati izlaznom naponu generatora i time mogu da značajno umanju tačnost merenja. Predloženo poboljšanje ogleda se u primeni dodatnog niskofrekventnog filtriranja ulaznog signala čime bi se značajno smanjila moguća greška merenja periode ulaznog signala. Takođe, u radu je predložena i modifikacija uređaja za merenje frekvencije vetrogeneratora dogradnjom transformatorske sprege, za slučaj kada je potrebno meriti frekvenciju generatora iz opsega od 45 Hz do 55 Hz.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, (Ugovor o realizaciji i finansiranju naučno-istraživačkog rada u 2022. godini za Elektronski fakultet u Nišu, br. 451-03-68/2022-14/200102, i za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor br. 451-03-68/2022-14/200052).

LITERATURA

- [1] V. Tasić, R. Jeremijić, M. Pavlov-Kagadejev, V. Despotović, I. Stojković, Measurement of Three-phase Generator Frequency by Using the PIC Microcontroller, 7th International Conference on Renewable Electrical Power Sources Belgrade, October 17–18, 2019, str. 101-106, ISBN 978-86-81505-97-7.
- [2] B. Radičević, D. Mikićić, Savremena rešenja za dobijanje električne energije u vetroelektranama male i velike snage, Poljoprivredna tehnika, XXXI (2006), 3, pp. 103–111.
- [3] D.M. Pantić, J.S. Pešić, Primena linearnih integrisanih kola, 5.izdanje, Tehnička knjiga, Beograd, ISBN 86-325-0036-1.

BAKAR 47 (2022) 1 COPPER

UDK: 621.314.25(045)=163.41

Primljen: 14.03.2022.

NAUČNI RAD

Prerađen: 21.04.2022.

Oblast: Energetika

Prihvaćen: 13.05.2022.

MODELOVANJE EKSTREMNIH REŽIMA NA VODU SA RASPODELJENIM PARAMETRIMA I Π ŠEME VODA NA KOJI JE PRIKLJUČEN JEDNOFAZNI TRANSFORMATOR

MODELING OF EXTREME REGIMES ON LINE WITH DISTRIBUTED PARAMETERS AND Π SCHEMES LINE WITH CONNECTED SINGLE PHASE TRANSFORMER

Nenad Marković¹, Slobodan Bjelić², Filip Marković²

¹Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska,
Odsek Uroševac – Leposavić, 38218 Leposavić, Srbija

²Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, Univerzitet u Prištini,
Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija

E-mail: nen.mark74@yahoo.com

Izvod

U radu je prikazan adaptirani program psb11phasline-MATLAB Simulink za modelovanje tranzijentnih procesa dela mreže koga obrazuje izvor i vod sa raspodeljenim parametrima na čijim je izvodima uključen nelinearni element-jednofazni transformator koji se može naći u dva ekstremna režima: praznom hodu i kratkom spoju. U simulaciji procesa na elementima sa zadatim parametrima i frekvencijom izvedeno je poređenje do sada korišćenih zamenskih šema u teoriji električnih kola, šema sa raspodeljenim R, L i C parametrima i Π šeme vodova. Program za simulaciju tranzijentnog procesa kada osnovni harmonik izvora ima frekvenciju 50 Hz i dobijeni dijagrami napona i struja potvrđuju primenljivost modela postavljenog algoritma za proračun.

Ključne reči: modelovanje, prazan hod i kratak spoj, tranzijentni proces, raspodeljeni parametri, transformator, nelinearna induktivnost

Abstract

This paper presents the adapted program psb11phasline-MATLAB Simulink for modeling the transient processes of a part of network the form the source and line with distributed parameters whose terminals include a nonlinear element-single phase transformer that can be found in two extreme modes: idling and short circuit. In the process simulation on elements with given parameters and frequency, a comparison of the substitution schemes used recently in the theory of electric circuits, scheme with distributed R, L and C parameters and P line scheme is performed. Program for simulation the transient process when the fundamental harmonic of source has a frequency of 50 Hz and the obtained voltage and current diagrams confirm the model applicability of the set algorithm for calculation.

Keywords: modeling, idling and short circuit, transient process, distributed parameters, transformer, nonlinear inductance

1. UVOD

Dosadašnja istraživanja i analize uticaja parametara na prelazni elektromagnetni proces jednofaznog ili trofaznog transformatora pokazuju da su nesimetrije i izobličenja napona na krajevima namotaja značajni činioci koji smanjuju efikasnost njegovog rada [1,2,3]. Prisustvo nesimetrija u mrežnim naponima zbog malih vrednosti impedansi inverzognog redosleda znatno povećavaju aktivne gubitke [4,5].

Približni način rešavanja se može uspostaviti po analogiji sa tranzijentnim procesima na vodovima i u tu svrhu se koriste simulacije procesa kako je urađeno na modelu u ovom radu. Za rešavanje tih zadataka potrebno je usavršavanje postojećih i razvoj novih metoda za dijagnostiku tranzijentnih procesa elektromagnetskog polja u originalu i modelu u realnom vremenu uz poštovanje kriterijuma sličnosti originala i matematičkog modela.

Za analizu tranzijentnih procesa na električnim mrežama koje sadrže izvore, vodove i elemente snage (transformatore ili proizvoljna električna opterećenja) ranije su korišćeni eksperimenti ili mrežni analizatori [6,7]. Procedure sa eksperimentima ili mrežnim analizatorima su bile veoma komplikovane, a uticaji parametara elemenata mreže, izvora, vodova, opterećenja i frekvencija nisu bili dobijani.

Zato su i izostajali pravi odgovori na pitanje kako vrednosti pomenutih parametara utiču na vremenske oblike struja i napona. Razvijeni AI (Artifical Intelligence) metodi proverenih simulacija elektromagnetnih procesa mogu da daju veoma precizne odgovore za sve potencijalne promene parametara i varijabli (frekvencije struje, naponi) i zamenuju skupe eksperimente i nesigurne mrežne analizatore. Takvi AI metodi mogu da daju jasne odgovore u zaštiti VN vodova u kojima su definisani visoki zahtevi za detekcijom vremenskih oblika napona i struja u ekstremnim režimima: praznom hodu i kratkom spoju [8,9].

Sa modelom transformatora koji sadrži uticaj harmonika proširuje se dosadašnji opseg analize rada transformatora u tranzijentnim procesima. Efikasnost realizovanog modela je potvrđena simulacijom da bi se utvrdilo slaganje rezultata simulacije sa realnim vrednostima i utvrđeno je i u kojoj meri simulirani model odgovara stacionarnom i tranzijentnom stanju u radu transformatora.

Posle predstavljanja konvencionalnog modela transformatora (sa sinusnim oblikom veličina) mogu se predstaviti prostorni i vremenski harmonici komponenti magnetnih polja duž namotaja koje odgovaraju frekvencijama harmonika.

U radu je prikazan metod simulacije procesa u jednofaznim mrežama u programu za simulaciju psbphaseline30.mdl koji je dovoljno fleksibilan da se može prilagoditi i šemama trofaznih mreža.

2. PREGLED LITERATURNIH IZVORA

Početak razvoja transformatora je povezan sa pojavom i prenosom naizmenične struje, a prvi transformatori su rezultat rada ruskog inženjera P.N. Jablokova, zatim L. Goularda i J.D. Gibbsa, kao i S.Z. de Ferrari i W. Stanley.

O.T. Blathy, M. Dery i K. Zipernowsky iz mađarskog GANZ-a su ostvarili pravo na tri patenta za distribuciju električne energije primenom transformatora sa feromagnetskim jezgrom i gvozdenim oklopom i taj period se smatra početkom ere transformatora.

Teorija o jednofaznim i trofaznim mašinama i transformatorima je razvijena u prvoj polovini XX veka: A.I. Вольдек [10], P.A. Abeti [11], Bergeron [12] Fitzgerald [13] su samo neka imena od stotine inženjera i naučnika koji su objavljivali radove iz oblasti mašina i transformatora.

Nove doprinose dali su Match [2] i Chapman [14]. U njihovim radovima su uglavnom analizirana normalna stacionirana stanja sa jednom frekvencijom i klasičnim parametrima transformatora.

U ranim radovima i knjigama u proteklih 100 godina, većina problema i parametara kvaliteta električne energije su zanemarivani zato što pitanje kvaliteta električne energije nije bilo od velike važnosti. Danas, većina primenjenih transformatora ima velike vrednosti snage i napona, što nameće problem određivanja viših harmonika (ne samo osnovnog) napona i struja i njihove raspodele duž namotaja.

U dostupnoj literaturi se u analizi normalnih i tranzijentnih stanja uzima u obzir samo osnovni harmonik i za analizu najčešće koristi metod simetričnih komponenti.

3. PARAMETRI I VELIČINE U ELEKTRIČNOJ MREŽI

Predstavljanje šema trofaznih električnih mreža posredstvom jednofaznih, moguće je u slučaju trofaznih simetričnih sistema. Jednačine trenutnih vrednosti za struje i napone u vremenskom domenu po Kirhofovim pravilima su:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0, \quad u_1 + u_2 + u_3 = 0 \quad (1)$$

Električna veličina $v(t)$ (napon, struja) se može prikazati kao prostoperiodična funkcija $v(t) = \sqrt{2}V \cos(\omega t - \alpha) = \underline{V}$. Ova funkcija ima odraz u kompleksnom domenu. tj. $\underline{V} = V \cdot e^{j\alpha}$. Prelaz iz kompleksnog u vremenski domen vrši se prema relaciji:

$$v(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \left\{ \underline{V} \cdot e^{j\omega t} \right\} = \sqrt{2} \operatorname{Re} \left\{ \underline{V} \cdot e^{j\alpha} \cdot e^{j\omega t} \right\} = \sqrt{2}V \cos(\omega t + \alpha) \quad (2)$$

Prelaz iz kompleksnog u vremenski domen je najčešće potreban radi lakšeg računanja (na primer snage):

$$\begin{aligned} S &= 3|U_f I_f^*| = \sqrt{P^2 + Q^2} \\ P &= \operatorname{Re}(S) = 3\operatorname{Re}[U_f \cdot e^{j\alpha} I_f \cdot e^{-j(\alpha-\varphi)}] = 3\operatorname{Re}[U_f \cdot I_f \cdot e^{j\varphi}] \quad (3) \\ P &= 3 \cdot U_f \cdot I_f \cos \varphi, \quad Q = I_m \{S\} = 3 \cdot U_f \cdot I_f \sin \varphi \end{aligned}$$

gde je: I_f^* – konjugovano kompleksna veličina,
 $I_f^* = I_f \cdot e^{j(\alpha-\varphi)}$ ili $I_f^* = I_f \cdot e^{-j(\alpha-\varphi)}$.

Snage P i Q imaju isti smer struje. Na nekoj deonici mreže veličine koje opisuju proces su: S , P , Q , U_f , I_f , φ , $\sin \varphi$, $\cos \varphi$. To znači da su prilike u bilo kom čvoru sistema/mreže jednoznačno određene sa tri sistema jednačina:

- jednačinama napona,
- jednačinama struja,
- jednačinama snaga.

U radu [15] je razvijen poseban metod koji se odnosi na analizu elektromagnetnih procesa nastalih kada je na električnu mrežu uključen transformator koji je predstavljen nelinearnim opterećenjem. U teoriji električnih kola je poznato da su značajniji parametri voda, impedansa podužnih $z = r + jx_{x=\omega l}$ i admitansa poprečnih parametara $y = g + jb_{b=\omega c}$:

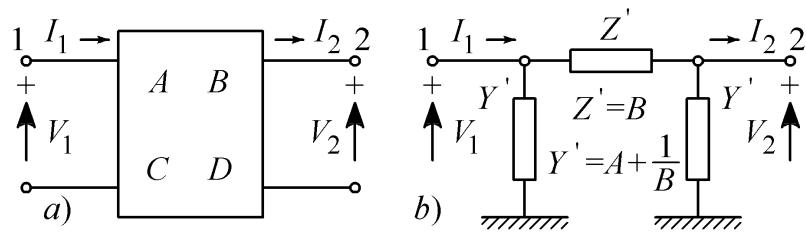
$$\begin{aligned} r &= \frac{R}{\ell}, \quad l_l = \frac{L}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_{sr}}{r} \\ c &= \frac{C}{\ell} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln[(2h_{sr}/r) - (D_{sr}/D_{sr})]} \cong \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln(D_{sr}/r)} \quad (4) \end{aligned}$$

S' obzirom da je konstanta prostiranja $\gamma \cdot \ell = \sqrt{z \cdot y} \cdot \ell$, jednačine koje sadrže veličine u električnoj mreži i jednačine napona i struja na vodu zajedno sa parametrima definisu tranzijentni proces nezavisno od metoda koji se koristi:

$$\begin{aligned} V_\ell &= (ch\sqrt{zy}\ell) \cdot V_2 + (Z_c sh\sqrt{zy}\ell) \cdot I_2 \\ I_\ell &= (ch\sqrt{zy}\ell) \frac{V_2}{Z_c} + (sh\sqrt{zy}\ell) \cdot I_2 \quad (5) \end{aligned}$$

Jednačina četvorokrajnika, slika 1.a, sa zavisno promenljivim ulaznim V_1 i izlaznim V_2 naponom i nezavisnom ulaznom I_1 i izlaznom I_2 strujom se mogu predstaviti i u matričnom obliku sistemom jednačina [5,16]:

$$\begin{aligned} V_1 &= A \cdot V_2 + B \cdot I_2 \\ I_1 &= C \cdot V_2 + D \cdot I_2 \end{aligned} \Leftrightarrow \begin{vmatrix} V_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix} \quad (6)$$



Sl. 1. a) Četvorokrajinik, b) Π šema koja odgovara četvorokrajiniku

A, B, C, D su parametri otvorenog kola napon/struja uz otvoreni izlaz $I_2 = 0$ ili ulaz $I_1 = 0$ i iznose:

$$\begin{aligned} A &= \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2=0} = ch\sqrt{zyl}, \quad B = \frac{V_1}{I_2} \Big|_{I_1=0} = Z_c sh\sqrt{zyl} \\ C &= \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} = \frac{1}{Z_c} sh\sqrt{zyl}, \quad D = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=0} = ch\sqrt{zyl} \end{aligned} \quad (7)$$

U Π šemi, slika 1.b, sa kombinovanim z , y parametrima određuju se parametri A, B, C, D na osnovu $Z_c = \sqrt{z/y}$ [15]:

$$Z' = B = Z_c sh\sqrt{zyl} = \sqrt{z/y} \cdot sh\sqrt{zyl} \quad (8)$$

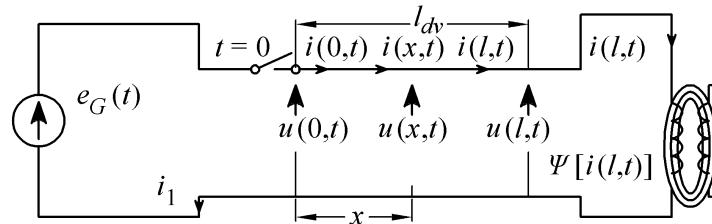
$$Y' = A + 1/B = ch\sqrt{zyl} + \frac{1}{\sqrt{z/y} \cdot sh\sqrt{zyl}} \quad (9)$$

4. ALGORITAM ANALITIČKOG METODA PRORAČUNA TRANZIJENTNOG PROCESA

Ekvivalentna električna kola koja predstavljaju namotaje i alternativno magnetno kolo uglavnom sadrže četiri osnovna koncentrisana parametra: otpornost, odvodnost, induktivnost i kapacitivnost prema masi. Elektromagnetna sprega primara i sekundara predstavljena je koeficijentom međusobne induktivnosti.

Vrednosti napona i struja u električnoj mreži sa raspodeljenim parametrima na mestu x od ulaznog kraja, za napon $\left(u, u - \frac{\partial u}{\partial x} dx\right)$ i struju $\left(i, i - \frac{\partial i}{\partial x} dx, \frac{\partial i}{\partial x}\right)$ su, slika 2 [17]:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = r \cdot i + l \frac{\partial i}{\partial t}, \quad -\frac{\partial i}{\partial x} = g \cdot u + c \frac{\partial u}{\partial t} \quad (10)$$



Sl. 2. Šema kola sa raspodeljenim parametrima i parametrom nelinearne induktivnosti [18]

Granični uslovi su:

- za $t = 0$, $u(x, t) = u(x, 0)$, $i(x, t) = i(x, 0)$,
- za $t = T$, $u(x, t) = u(x, T)$, $i(x, t) = i(x, T)$,
- za $x = x_1$, $u(x, t) = u(x_1, t)$,
- za $x = x_2$, $u(x, t) = u(x_2, t)$.

Prema I Kirhofovom zakonu mogu se napisati sledeće jednačine:

$$-\frac{\partial i}{\partial x} dx - cdx \frac{\partial v}{\partial t} - gdx \cdot v = 0 \Rightarrow -\frac{\partial i}{\partial x} = g \cdot v + c \frac{\partial v}{\partial t} \quad (11)$$

$$i = i_l + i_k, \frac{\partial i}{\partial x} = \frac{\partial i_l}{\partial x} + \frac{\partial i_k}{\partial x} \quad (12)$$

Diferenciranjem prethodnih jednačina po promenljivoj x i t dobija se:

$$-\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = r \frac{\partial i_l}{\partial x} + l \frac{\partial^2 i_l}{\partial x \partial t}, -\frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = g \frac{\partial u}{\partial x} + c \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} \quad (13)$$

Jednačine (13) su telegrafske jednačine Thomsona (1855. godina) kombinovanog elektromagnetskog modela koje se rešavaju primenom Laplas-Karsonovog metoda, ako su poznati granični uslovi i režim pod kojim se namotaj nalazi (prazan hod, kratak spoj, uzemljen izlazni kraj, itd.). Kada je transformator priključen na izvor prostoperiodične funkcije napona, radi lakšeg rešavanja se može koristiti metod transformacije iz vremenskog u kompleksni domen, a operacije se mogu uprostiti uz pretpostavku:

$$\begin{aligned} \psi &= 0, e^{j\psi} = 1 (\psi = \psi_m, i(h_w, t) > 0, \psi = -\psi_m, i(h_w, t) < 0) \\ u &= U_m \cos(wt + \psi) = U_m R_e \left\{ e^{j\omega t + \psi} \right\} = R_e \left\{ U_m e^{j\omega t} e^{j\psi} \right\} = R_e \left\{ U_m e^{j\omega t} \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

$$u = R_e \left\{ \vec{U}_m \right\}, i = R_e \left\{ \vec{I}_m \right\}, F_m = \sqrt{2} \cdot F$$

Ako se vrednosti diferenciraju po promenljivoj x i t dobija se:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \sqrt{2} R_e \left\{ \frac{d\vec{U}}{dx} e^{j\omega t} \right\}, \frac{\partial u}{\partial t} = \sqrt{2} R_e \left\{ j\omega \vec{U} \cdot e^{j\omega t} \right\} = \sqrt{2} R_e \left\{ j\omega \vec{U} \right\} \\ \frac{\partial i}{\partial x} &= \sqrt{2} R_e \left\{ \frac{d\vec{I}}{dx} e^{j\omega t} \right\}, \frac{\partial i}{\partial t} = \sqrt{2} R_e \left\{ j\omega \vec{I} \cdot e^{j\omega t} \right\} = \sqrt{2} R_e \left\{ j\omega \vec{I} \right\} \end{aligned} \quad (15)$$

Izostavljanjem oznake fazora i uvođenjem smene $p = j\omega$ sistem jednačina se svodi na:

$$\begin{aligned} -\frac{dU}{dx} &= (r + j\omega \cdot l_e) I_l \Rightarrow I_l = -\frac{1}{r + j\omega l_e} \frac{dU}{dx} \Rightarrow \frac{dI_l}{dx} = -\frac{1}{r + pl_e} \frac{d^2 U}{dx^2} \\ -\frac{dU}{dx} &= \frac{1}{j\omega k} I_k \Rightarrow I_k = -j\omega \cdot k \frac{dU}{dx} \Rightarrow \frac{dI_k}{dx} = -p \cdot k \cdot \frac{d^2 U}{dx^2} \\ -\frac{dI}{dx} &= (g + j\omega \cdot c) \cdot U \end{aligned} \quad (16)$$

Zamenom jednačina (16) u jednačinu (17) konačno se dobija:

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{r + pl_e} + pk \right] \frac{d^2U}{dx^2} = (g + pc) \cdot U \Rightarrow \frac{1}{r + pl_e} [1 + pk(r + pl_e)] \frac{d^2U}{dx^2} = (g + pc) \cdot U \\ \frac{d^2U}{dx^2} - (r + pl_e)(g + pc) \frac{1}{[1 + pk(r + pl_e)]} U = 0, \frac{d^2U}{dx^2} - \beta^2 U = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

Kompleksna vrednost γ je konstanta prostiranja koja važi za procese na vodovima:

$$\gamma^2 = (r + pl_e)(g + pc) \quad (18)$$

Izraz $\frac{d^2U}{dx^2} - \beta^2 U = 0$ predstavlja D'Alamberovu jednačinu prostiranja harmoničnih talasa i njen opšti integral je:

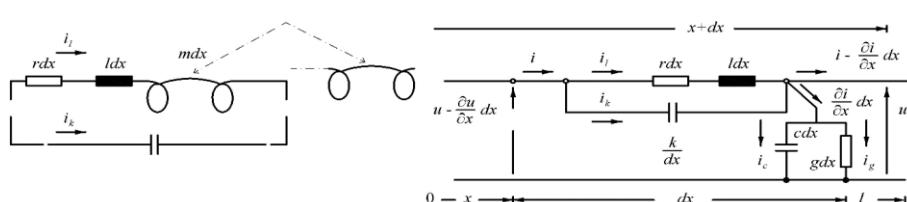
$$U = Ae^{\beta x} + Be^{-\beta x} \quad (19)$$

Jednačina (19) određuje efektivnu vrednost napona na bilo kom mestu (bilo kom navojku) na odstojanju x od ulaznog kraja, odnosno na navojku u namotaju koji odgovara tom odstojanju od početka namotavanja. Diferenciranjem jednačine (19) po promenljivoj x dobija se:

$$\frac{dU}{dx} = \beta(Ae^{\beta x} - Be^{-\beta x}) \quad (20)$$

Jednačina (20) predstavlja prepostavljeni model, slika 1, koji je testiran u rešavanju tranzijentnog procesa.

Ova jednačina važi uz uslov da su u modelu, grane koje sadrže vrednosti parametara $r + pl_e = \infty$ i grane sa raspodeljenim parametrima otvorene (vrednosti struja grana jednake su nuli) i da je vrednost parametra $g = 0$, slika 3.



Sl. 3. Ekvivalentna šema parametra voda sa raspodeljenim parametrima i jednofaznim transformatorom

Rezultati dobijeni po ovom modelu upoređeni su sa modelom uspostavljenim u jednačini [11] i dobijena su identična rešenja za napon procesa što se vidi iz sledeće kratke analize.

Prema jednačini (17) možemo napisati:

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{r + pl_e} + pk \right] \frac{d^2U}{dx^2} &= (g + pc) \cdot U \Leftrightarrow \left[\frac{1}{\infty} + \frac{1}{\infty} + pk \right] \frac{d^2U}{dx^2} = (0 + pc)U \\ pk \frac{d^2U}{dx^2} &= pcU \Rightarrow \frac{d^2U}{dx^2} - \frac{c}{k}U = 0, \beta = \sqrt{\frac{c}{k}}, \frac{d^2U}{dx^2} - \beta^2U = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

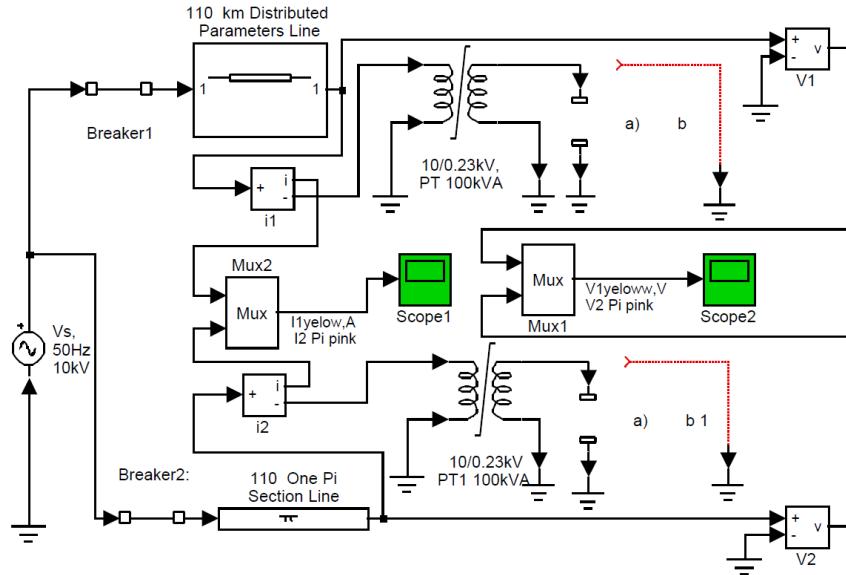
Rešenja procesa u ekvivalentnim magnetnim i električnim kolima transformatora su dobijena iz diferencijalnih jednačina i primenom metoda zamene nelinearnih elektromagnetskih karakteristika linearnim, metoda parcijalne-linearne aproksimacije, metoda integracije nelinearnih funkcija i metoda uzastopnih približenja. Podaci koji su poslužili za rešavanje su koeficijenti parametara i početni i granični uslovi. Analizom rešenja i rezultata ocenjen je uticaj osnovnih parametara na tranzijentne procese u ekvivalentnim kolima.

5. SIMULACIJA TRANZIJENTNOG PROCESA I REZULTATI

Simulacija tranzijentnog procesa zamenjuje klasičan metod (proračun i merenje) i pruža sliku o ponašanju dela mreže [18]. Izabrani deo programskog paketa psb11phasline-MATLAB Simulink je adaptiran za algoritam za određivanje generisanih vrednosti struja i napona i tako se zna koji su harmonici generisani pored osnovnog harmonika $f = 50$ Hz [19]. Sistem prethodno izvedenih jednačina je implementiran u blokove koje nudi softverski paket MATLAB Simulink.

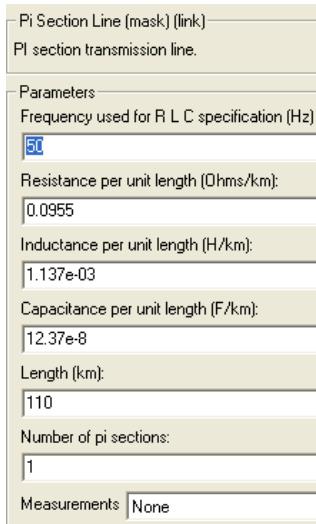
Program se zasniva na brzoj Furierovoj transformaciji i algoritmu proračuna tranzijentnih procesa. Po završetku programa, na oba Scope-a, prikazani su harmonici struje i napona dominantnog signala i 3. harmonika. Poređenjem vrednosti koje su zadate u programu za obradu podataka može se potvrditi da program funkcioniše ispravno (veličine indeksa „1“ su veličine raspodeljenih parametara, veličine indeksa „2“ su veličine Π šeme).

Zatim su simulirane stvarne vrednosti struja i napona na kraju voda pri zadatoj frekvenciji. Model za simulaciju je aktivan i može se korigovati u odnosu na očekivane rezultate, slika 4.

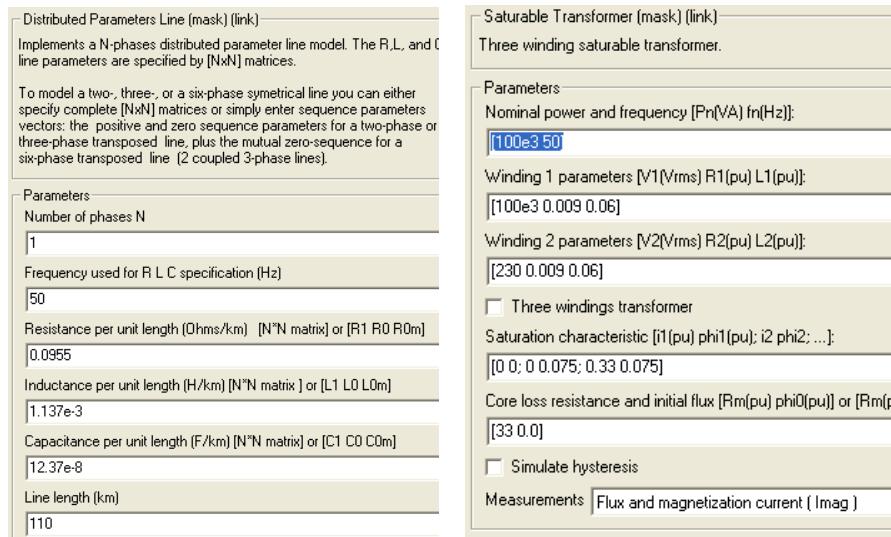


Sl. 4. Ekvivalentna šema tranzijentnog procesa: a) prazan hod, b) kratak spoj

Za demonstraciju i verifikaciju novog modela i algoritma tranzijentnih procesa adaptiran je poseban program u MATLAB Simulinku, gde su izabrani parametri II šeme voda, parametri mreža voda sa raspodeljenim parametrima, i jednofazni transformator parametara koji su dati u tabelama u nastavku, slika 5 i 6, respektivno.



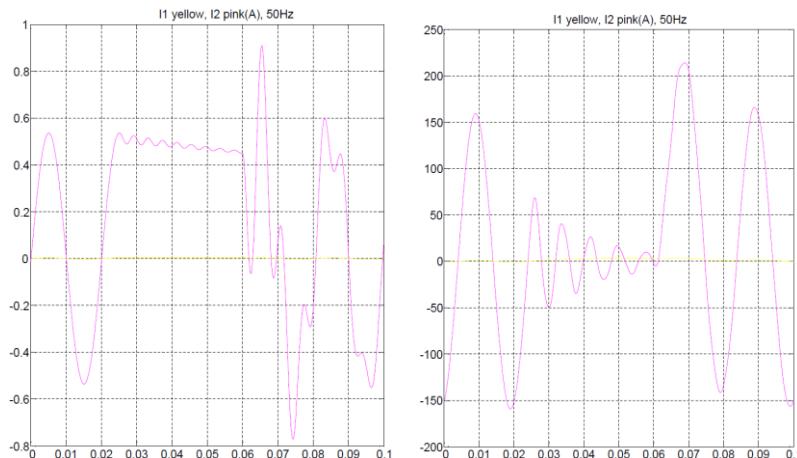
Sl. 5. Parametri II šeme voda



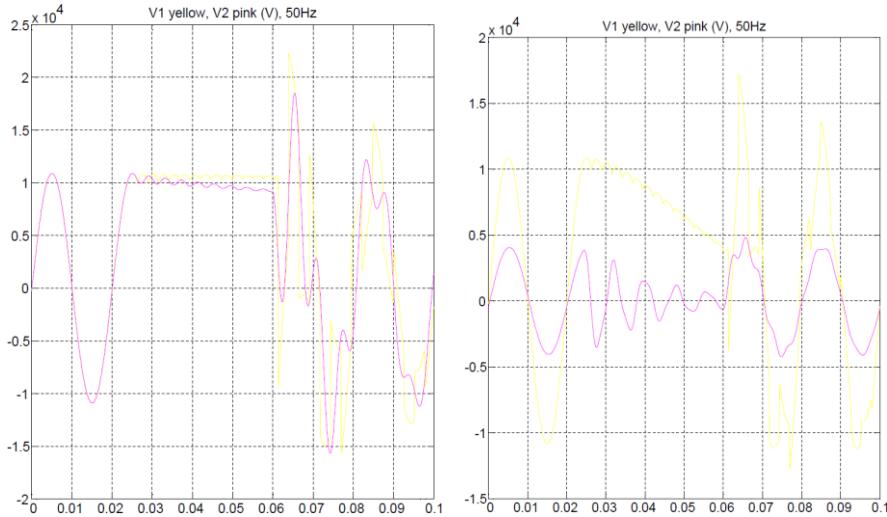
Sl. 6. Parametri mreža voda sa raspodeljenim parametrima i parametri zasićenog transformatora

Kao što se iz prethodnih tabela može videti MATLAB Simulink programi imaju posebne prednosti kao što je detaljan uvid u sve komponente modela i programa i unošenje različitih izmena koje se inače ne bi mogle uneti u raspoložive programske pakete.

U nastavku su dati simulacioni dijagrami struje i napona praznog hoda, slika 7, kao i simulacioni dijagrami struje i napona kratkog spoja, slika 8.



Sl. 7. Simulacija struja praznog hoda i kratkog spoja transformatora na vodu sa raspodeljenim parametrima, $f = 50 \text{ Hz}$



Sl. 8. Simulacija napona praznog hoda i kratkog spoja transformatora na vodu sa raspodeljenim parametrima, $f = 50 \text{ Hz}$

Dobijeni oblici struja i napona za $f = 50 \text{ Hz}$, slike 7 i 8, su dovoljno verni pa se mogu detektovati na monitorima savremenih računara za električna merenja i zaštitu odgovarajućih deonica distributivnih električnih mreža. Takođe, možemo reći da su simulacione šeme dovoljno fleksibilne za dobijanje rezultata koji se odnose na razvoj viših harmonika u mrežama (3. – 150 Hz, 5. – 250 Hz, 7. – 350 Hz) koji imaju veliki značaj u relejnoj zaštiti.

Prednosti MATLAB-a su veliki broj mogućih simulacija, a rezultati tih simulacija, oblici i karakteristične vrednosti dobijenih dijagrama struja i napona praznog hoda i kratkog spoja verifikuju predloženi metod za modelovanje ekstremnih režima na vodu sa raspodeljenim parametrima i Π šemi voda na koji je priključen jednofazni transformator.

6. ZAKLJUČAK

Problemi pri proračunu važnih vrednosti za relejnu zaštitu i automatizaciju električnih mreža i najvažnijih električnih kola sa nelinearnim elementima se prevazilaze primenom računarske tehnike simulacija i novorazvijenih AI metoda.

Rešenja (u kojima su relacije složene) se uglavnom dobijaju primenom analitičkih metoda, među kojima su popularne metode različitih transformacija i primene različitih komponenti, ali sa relativno prostim uslovima i mnogobrojnim pretpostavkama. Iako mogu da unesu izvesne nepreciznosti, rešenja pružaju objektivniju sliku u odnosu na rešenja struje sa ekvivalentnim

šemama. Pokazano je i da harmonici i realni nelinearni element na kraju voda imaju veliki uticaj na oblik struja i napona. Promena nekog parametra u kolu zahteva novi proračun stanja kola od početka zbog njegovih početnih uslova.

Bazni analitički model koji proizilazi iz teorije električnih kola je potreban u prvom koraku za bilo koji metod, jer se iz njega stiču i potrebna znanja. Prikazan je i primer komparacije primenjene u simulaciji jednofaznog kola sa šemom voda sa raspodeljenim parametrima i Π šemom voda, kao i transformator sa nelinearnom karakteristikom magnećenja. Prikazana metoda, urađeni algoritam i dobijena simulacija omogućavaju određivanje veličina pri tranzijentnim procesima u električnim kolima sa nelinearnim elementom. Dobijeni model je univerzalan, a prikazani algoritam se može koristiti i za razne režime u kojima se električni vod može naći.

MATLAB program je imao dvostruku namenu: prvo da posluži proračunu i simulaciji veličina koje se dobijaju ispitivanjem ili merenjem i drugo, uspostavljen je algoritam i verifikovan predloženi metod. Simulacija je zamenila tipska ispitivanja na transformatorima koji u principu predstavljaju nelinearni element u električnom kolu.

LITERATURA

- [1] P.C. Krause, O. Wasynczuk, S.D. Sudhoff, S. Pekarek, Analysis of Electric Machinery and Drive Systems, 3rd Edition, IEEE Press/Wiley, 2013.
- [2] L.W. Match, J.D. Morgan, Electromagnetic and Electromechanical Machines, Third Edition, Harper & Row Publishers, New York, 1986.
- [3] J. Surutka, Elektromagnetika, Akademska misao, Beograd, 2006.
- [4] B. Mitraković, Ispitivanje električnih mašina, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [5] A. Veverka, Technika visokih napetih, SNTL/ALFA DT 621.3.027.3.621.315.21, Praha, 1982.
- [6] P. Gill, 1. Electric Power Systems-Testing, 2. Electric Power Systems-Maintenance and Repair and Title, 2nd ed. ISBN 978-1-57444-656-2, 2009.
- [7] N. Marković, S. Bjelić, F. Marković, Predprocesiranje u analizi uticaja kapacitivnih parametara vodova na rad elektroenergetske mreže, BAKAR COPPER, 46 (2021) 1, 57–70.
- [8] S. Bjelić, Z. Bogićević, Computer Simulation of Theoretical Model of Electromagnetic Transient Processes in Power Transformers, International Journal of Information Technology and Computer Science-IJTCS, 6 (2013) 1, 1–12.

- [9] Z. Bogićević, S. Bjelić, P. Spalević, M. Mišić, Graph-Analytical Method of Determining Impedance in Electrical Transformers, Mathematical Problems in Engineering, Article ID 745629, (2015) 11.
- [10] А.И. Вольдек, Электрические машины, Ленинградское отделение Энергия, 1974.
- [11] P.A. Abetti, Transformer Models for The Determination of Transient Voltages, Transformers ATEE 1953, part III, vol 72.
- [12] L. Bergeron, ‘Du coup de Belier en hydraulique au coup de foudre en electricité’s (Dunod, 1949). (English translation: ‘Water Hammer in hydraulics and wave surges in electricity’, ASME Committee, Wiley, New York, 1961.).
- [13] A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, S.D. Umans, Electric Machinery, Fifth Edition, McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1990.
- [14] S.J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals, Fourth Edition, McGraw Hill, 2005.
- [15] S. Bjelić, B. Prlinčević, N. Marković, N. Milenković, Comparison of Schemes with Distributed Parameters and Π Scheme of Circuits that are Closed by Nonlinear Inductance, Telfor, 2019.
- [16] S. Bjelić, Protection Techniques in Electrical Energy Networks, Kvark, Kraljevo, 2018.
- [17] S. Bjelić, N. Marković, J. Živanić, Jedan metod za analizu prelaznog procesa u kolu sa raspodeljenim parametrima i nelinearnom koncentrisanom induktivnošću, TIO, rad 2.21 (2012), 185–192.
- [18] S. Bjelić, N. Marković, I. Bjelić, Z. Bogićević, U. Jakšić, B. Jovanović, Detection of Inverse Current Component of the Designed Current Filter of 100 Hz, Telfor, 2016.
- [19] MATLAB SIMULINK Sim Power System, Copyright 1984-2002 The Math Works, Version 6.5.0,180913a, June 2, 2000.

BAKAR 47 (2022) 1 COPPER

UDK: 331.567(045)=163.41

Primljen: 16.03.2022.

NAUČNI RAD

Prerađen: 03.05.2022.

Oblast: Ekonomija i menadžment

Prihvaćen: 18.05.2022.

TRANZICIJA NEZAPOSENOSTI KAO FAKTOR RASTA METALURUŠKE INDUSTRIJE

TRANSITION OF UNEMPLOYMENT AS A FACTOR OF GROWTH THE METALLURGICAL INDUSTRY

Aleksandar Savić¹, doc. dr Radan Kostić²

¹Vojnotehnički institut Ministarstva odbrane, Beograd

²Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

E-mail: aleksandar22071993@gmail.com

Izvod

U poslednje vreme svedoci smo da radno sposobno stanovništvo odlazi u razvijenim zemljama tražeći posao i osnovne uslove za život i rad zbog nemogućnosti zapošljavanja u svojoj zemlji. Zemlje u razvoju, kao što je i Republika Srbija, suočavaju se sa kreiranjem niza mera, koje će omogućiti stanovništvu da ostane i radi u svojoj zemlji. Visoka stopa nezaposlenosti podstiče razvoj preduzetništva, odnosno dolazak stranih investitora, naročito u oblasti metaluruške industrije. U radu je predstavljena deskriptivna analiza stope nezaposlenosti u zemljama Evrope i Republici Srbiji. Izvršena je analiza uzoraka koji dovode do rasta stope nezaposlenosti i njeno kretanje u odnosu na inflaciju putem Filipsove krive.

Ključne reči: nezaposlenost, inflaciona inercija, agregatna ponuda, aggregatna tražnja

Abstract

Recently, we are the witnesses that the working age population goes to the developed countries in search of work and basic living and working conditions due to the inability to find the employment in their country. Developing countries, such as the Republic of Serbia, are facing creation of a series of measures that will enable the population to stay and work in their country. The high unemployment rate encourages the development of entrepreneurship, i.e. the arrival of foreign investors, especially in the metallurgical industry. This paper presents a descriptive analysis of unemployment rate in the European countries and Republic of Serbia. An analysis of the patterns leading to an increase in the unemployment rate and its movement in relation to the inflation using the Phillips curve was performed.

Keywords: unemployment, inflation inertia, aggregate supply, aggregate demand

1. UVOD

Nezaposlenost nastaje usled nemogućnosti zapošljavanja radno sposobnog stanovništva na radnim mestima prema njihovoj kvalifikaciji, sposobnosti i odgovarajućoj zaradi. Radna snaga sastoji se od radno sposobnog stanovništva, uključujući i zaposlene i nezaposlene. Sa stanovišta makroekonomске politike,

stopa nezaposlenosti je značajan ekonomski pokazatelj i definisana je kao odnos broja nezaposlene radne snage i ukupne radne snage [1]. U poslednje vreme, nezaposlenost je sve veća i predstavlja značajan problem ne samo pojedinačnih privreda već i ukupne svetske ekonomije. Osnovni razlozi zbog kojih povećanje nezaposlenosti predstavlja značajan problem privrede i zbog kojih se nalazi na prioritetnoj listi zadataka su [2]:

- nezaposlenost znači da određeni resursi privrede nisu angažovani – neupošljavanje;
- nezaposlene radne snage za posledicu imaju nepovratan gubitak dela proizvodnje;
- društvo mora da zbrine svoje nezaposlene članove - socijalna davanja i dodatne povlastice koje nezaposleni dobijaju predstavljaju dodatne troškove koje država mora da pokrije iz javnih prihoda;
- nezaposlenost kao posledica gubitka posla dovodi do gubitka dohotka radnika i njegove porodice, ali i do straha, neizvesnosti, emocionalnog i psihološkog stresa;
- previše duga nezaposlenost radnika dovodi do gubitka sposobnosti i zastarevanja znanja; itd.

Države se na različite način bore protiv nezaposlenosti i njenih negativnih posledica. Mere koje zemlje uobičajeno koriste dele se na:

- pasivne mere - odnose se na materijalno osiguranje za vreme trajanja nezaposlenosti (pravo na različite vrste naknada i novčanu pomoć);
- aktivne mere - obrazovanje, prekvalifikacija, dokvalifikacija, dodatno stručno ospozobljavanje i druge mere kojima se povećava profesionalna pokretljivost i mogućnosti zapošljavanja [3].

2. TRŽIŠTE RADNE SNAGE I UZROCI NEZAPOSLENOSTI

Pitanje koje se neminovno postavlja je pitanje uzroka pojave nezaposlenosti u privredi. Deo odgovora na to pitanje leži u samoj prirodi tržišta radne snage kao tržišta na kome se javlja potreba za ponudom i tražnjom radne snage.

Tržište radne snage je specifično tržište koje ne funkcioniše na isti način kao robno tržište. Na robnom tržištu cena robe se formira pod uticajem ponude i tražnje. Ako postoji neravnoteža odnosno nejednakost između ponude i tražnje za određenom robom, procesom usklađivanja tržišnih cena došlo bi do ponovnog uspostavljanja ravnoteže [4]. Kada je tražnja za robom manja od ponude cena te robe opada, smanjuje se ponuda i tražnja i ponuda se usklađuju. Tržišni mehanizam na tržištu radne snage ne funkcioniše, međutim, toliko slobodno kao na robnom tržištu.

Na tržištu radne snage subjektivan faktor proizvodnje odnosno radni ljudi

nude svoje usluge u obliku rada na određeni vremenski period i za to dobijaju naknadu u vidu zarade. Kada bi se zarade kao cena radne snage slobodno formirale tada bi u slučaju nezaposlenosti na tržištu postojao višak ponude radne snage [5]. Tada bi se plate smanjile, pojavila bi se preduzeća koja su spremna da zapošljavaju radnike sa tim nižim platama (rast tražnje), jedan deo nezaposlenih koji imaju druge izvore prihoda odustao bi od traženja posla (pad ponude) i to sve bi dovelo do usklađivanja ponude i tražnje za radnom snagom.

Na tržištu radne snage se visina plata, međutim, ne određuje u zavisnosti od ponude i tražnje za radnom snagom. Plate su rigidne u kretanju nadole odnosno plate se teško smanjuju čak i kada je nezaposlenost u privredi veoma visoka [6]. Razlozi za to se mogu naći u delovanju sindikata koji se suprotstavljaju smanjenju plata, jer smanjenje plata predstavlja direktni udarac na životni standard radnika.

U privredi se nezaposlenost, dakle, javlja kada su plate određene iznad nivoa koji bi bio određen ravnotežom ponude i tražnje na tržištu rada. Kada je plata na tržištu rada iznad ravnotežne tada se smanjuje tražnja za radom (preduzeća su manje motivisana da zapošljavaju) i pojavljuje se nezaposlenost. Prirodni priraštaj, sa druge strane, neprekidno povećava ponudu rada. Upravo te dve pojave - zarade iznad ravnotežnih i neprekidno povećavanje ponude radne snage dovode do stalnog problema nezaposlenosti u privredi [7].

2.1. Vrste nezaposlenosti

Postoje dve osnovne vrste nezaposlenosti - otvorena i prikrivena [8].

Otvorena nezaposlenost je čest pratilac kriza i perioda privredne recesije, pojave novih tehnoloških dostignuća i njihovog uvođenja u proizvodnju, prirodnih katastrofa, ratnih sukoba itd. [9]

Otvorena nezaposlenost se može javiti u četiri oblika:

1. frikcijska nezaposlenost - to je nezaposlenost radnika koji su u procesu menjanja posla ili zaposlenje privremeno prekidaju na primer zbog nedostatka materijala. Ovaj oblik nezaposlenosti proizlazi iz neuravnoteženosti ponude i tražnje za radom;
2. sezonska nezaposlenost - nezaposlenost koja proizlazi iz sezonskog karaktera delatnosti;
3. tehnološka nezaposlenost - nastaje zbog tehnološkog usavršavanja proizvodnje što zaposlene radnike čini nepotrebnim ili potrebnim u manjem broju;
4. ciklična nezaposlenost - uzrokuju je privredni ciklusi odnosno privremeni privredni poremećaji koji za posledicu imaju smanjenje tražnje za radnom snagom uz nepromenjenu ponudu radne snage.

Prikrivena nezaposlenost predstavlja nedovoljno iskoriščavanje postojeće, formalno zaposlene radne snage. To je, dakle, nezaposlenost u okviru postojeće zaposlenosti. Prikrivena zaposlenost je bila jedna od karakteristika socijalističkih privreda u periodu posle drugog svetskog rata koje su, nastojeći da postignu statistički visok stepen zaposlenosti, zapošljavale radnu snagu u broju koji nije odgovarao stvarnim potrebama preduzeća.

Često se govori i o voljnoj i nevoljnoj nezaposlenosti [10]. Nevoljna nezaposlenost je karakteristična za radnu snagu koja bi htela da radi, angažuje se na traženju posla, ali do njega ne može da dođe. Voljna nezaposlenost se odnosi na radnu snagu koja iz različitih razloga (postojanje drugih prihoda koji ne potiču od rada, na primer) može, ali ne želi da radi. Izvestan broj nezaposlenih predstavlja normalnu pojavu i ta stopa nezaposlenosti predstavlja prirodnu stopu nezaposlenosti [11].

2.2. Prirodna i stvarna nezaposlenost

Prirodna stopa nezaposlenosti je normalna stopa nezaposlenosti (koja po mnogim ekonomistima iznosi između 4 i 6%), oko koje fluktuirala stvarna stopa nezaposlenosti. To je stopa nezaposlenosti koja nastaje od efekata frikcione plus strukturne nezaposlenosti [12]. Izvođenje stvarne stope nezaposlenosti iz prirodne stope nezaposlenosti naziva se ciklična nezaposlenost [13].

2.3. Autput (GDP) i nezaposlenost – Okunov zakon

U većini zemalja postoji jasan odnos između promene zaposlenosti i rasta GDP. Reč je o relaciji poznatoj kao Okunov zakon (ili „Okunovo pravilo palca“, ili „pravilo palca“), nazvan po ekonomistu Arturu Okunu, koji ga je prvi interpretirao 60 – tih godina prošlog veka [14].

Visok rast domaćeg proizvoda obično je povezan sa smanjenjem stope nezaposlenosti, a nizak rast domaćeg proizvoda je vezan za rast stope nezaposlenosti. Ako je trenutna stopa nezaposlenosti previsoka, potreban je znatno veći rast GDP za njeno smanjenje. Ako je stopa nezaposlenosti preniska, tada je potreban niži rast GDP, da bi se povećala stopa nezaposlenosti. Ako je nezaposlenost oko prirodne stope nezaposlenosti, tada bi rast GDP trebalo da bude sposoban da održi konstantnu stopu nezaposlenosti (4 - 6%). Prema tome, stopa nezaposlenosti pruža signal makroekonomistima kako funkcioniše ekonomija i koja je stopa poželjna.

Današnje analize Okunovog zakona se zasnivaju na autput gepu (odstupanje realnog GDP od potencijalnog GDP) i stopi nezaposlenosti, tako da stvarne

procene Okunovog zakona (negativan odnos između autput gepa i stope nezaposlenosti) govore da rast autput gepa od 1% smanjuje stopu nezaposlenosti za oko 0,5%. To je moderna verzija Okunovog zakona [15].

3. UZAJAMNI ODNOSSI INFLACIJE I NEZAPOSLENOSTI - – FILIPSOVA KRIVA

U savremenoj ekonomskoj literaturi odnos između stope nezaposlenosti i inflacije, razmatra se i grafički prikazuje preko Filipsove krive. A. Filips, engleski ekonomista, je utvrdio da sa porastom nezaposlenosti dolazi do usporavanja rasta cena [16], odnosno da postoji inverzan odnos između stope promene cene rada i stope nezaposlenosti.

Filipsova kriva pokazuje da između stope nezaposlenosti i stope inflacije postoji obrnuta proporcionalnost. To znači da se niža stopa nezaposlenosti postiže po ceni više stope inflacije, odnosno da stopa inflacije može biti smanjena samo uz veću stopu nezaposlenosti. Ako bi stopa nezaposlenosti bila znatno viša od prirodne stope, tada bi se mogla očekivati negativna stopa inflacije, odnosno pojava deflacija. Filipsova kriva u uslovima stagflacije počinje da se udaljava od koordinatnog početka i obe veličine (inflacija i nezaposlenost) jednovremeno rastu, što je monetariste navelo da je i teorijski i empirijski ospore.

Kasniji razvoj Filipsove krive nakon prvobitnog modela ima još dve etape: jedna je faza tzv. prirodne stope nezaposlenosti, odnosno tvrdnja da bi inflacija bila nulta mora postojati nezaposlenost, ali na nivou prirodne stope nezaposlenosti. Kasnije je uveden pojam stope nezaposlenosti koja ne ubrzava inflaciju, tako da je umesto cilja – nulte inflacije uz veoma nisku nezaposlenost, postavljen cilj – neubrzavanje inflacije sa određenog nivoa, ali uz višu stopu nezaposlenosti. Sledeća je faza tzv. racionalnog očekivanja i razbijanja tvrdnje o stabilnom (trade – off) odnosu nezaposlenost – inflacija, što onemogućava makroekonomsku politiku države da makar i privremeno „trguje“ između nezaposlenosti i inflacije. Tokovi razvoja savremenih privreda nakon 70 – ih godina 20. veka, međutim pokazuju da su inflacija i nezaposlenost paralelni procesi u gotovo svim privredama sveta. Iz toga sledi da inflacija ne samo da ne smanjuje nezaposlenost, već se ona pojavljuje kao jedan od značajnijih uzroka [17].

U svetu se postavlja jedno pitanje na koje je neophodno odgovoriti, a to je šta određuje očekivanu inflaciju? Odgovorom na ovo pitanje, Filipsova kriva bi bila funkcionalna za analizu opcija koje se nude pokretačima ekonomске politike. Jedan od načina da se odgovori na pitanje je da stanovništvo izrazi svoje

očekivanje inflacije na osnovu prethodne inflacije (npr. stanovništvo može da pretpostavi da će rast cena u ovoj godini biti približan rastu cena u prethodnoj godini). Na taj način, pretpostavlja se da inflacija zavisi od inflacije u prethodnoj godini, ciklične nezaposlenosti i skoka ponude. Cene će nastaviti da rastu po prethodnoj stopi, samo ako je održana prirodna stopa nezaposlenosti i bez naglih skokova ponude [18]. Ova inercija inflacije je značajan pokazatelj formiranja plata i cena.

U modelu agregatne ponude i agregatne tražnje, inflaciona inercija je interpretirana na sledeći način: ukoliko cene brzo rastu, ljudi će očekivati da će cene nastaviti da rastu. Budući da pozicija kratkoročne krive agregatne tražnje zavisi od očekivanog nivoa cena, kratkoročna kriva agregatne ponude će vremenom da se pomeri nagore i udesno. To pomeranje će da se nastavi sve do nekog događaja, kao što je na primer recesija, ili suprotno, sprovede se neki radikalni stabilizacioni program koji promeni inflaciju i očekivanja. I pored toga što inflacija ima inerciju, ona i raste i opada. Druga i treća komponenta Filipsove krive ukazuju na dva elementa koji mogu da utiču na promenu stope inflacije. Ciklična nezaposlenost, a to je odstupanje nezaposlenosti od njene prirodne stope, vrši pritisak nagore i nadole na inflaciju. Niska nezaposlenost pomera stopu inflacije naviše, a taj fenomen je poznat pod imenom inflacija tražnje. Glavni razlog koji podstiče ovaj tip inflacije je visoka agregatna tražnja. Visoka nezaposlenost pomera stopu inflaciju naniže.

Inflacija raste i pada zbog naglih skokova i pada ponude. Nagli pad ponude, poznat kao negativni šok ponude (npr. rast cena nafte sedamdesetih godina prošlog veka), podstiče rast inflacije odnosno rast troškova proizvodnje. Ova inflacija poznata je kao troškovna inflacija. Nagli skok ponude, poznat kao pozitivni šok ponude (npr. pad cena nafte prouzrokovani većom proizvodnjom nafte osamdesetih godina), podstiče pad inflacije. Filipsova kriva pruža kreato-rima ekonomске politike opcionalni izbor između inflacije i nezaposlenosti, kada je cilj da se izvrši uticaj na nivo agregatne tražnje. Kreatori ekonomске politike mogu da utiču na očekivanu inflaciju i nagli skok i pad ponude. Na nivo proizvodnje i nezaposlenosti kreatori ekonomске politike deluju putem monetarne i fiskalne politike. Oni mogu da se opredеле ili za povećanje agregatne tražnje, u cilju smanjivanja nezaposlenosti, ali po cenu povećanja inflacije, ili za depresiranje agregatne tražnje kako bi smanjili inflaciju, ali po cenu povećanja nezaposlenosti. Kreatori ekonomске politike mogu da upravljaju agregatnom tražnjom opredeljujući se za odgovarajuću kombinaciju inflacije i nezaposlenosti na kratkoročnoj Filipsovoj krivi [19].

4. NEZAPOSLENOST U SRBIJI I ZEMLJAMA EVROPE

Nezaposlenost se može posmatrati na nivou zemlje, regiona, opštine, itd. Na svim nivoima stanje nezaposlenosti se razlikuje i na to neposredno utiču faktori iz okruženja. Pored faktora iz okruženja na stanje nezaposlenosti utiču i globalni faktori (npr. svetska ekonomska kriza iz 2008. godine uticala je na ekonomska kretanja na globalnom nivou što je dovelo do rasta stope nezaposlenosti i drugih promena u vezi strukture i dužine trajanja nezaposlenosti) [20].

U Republici Srbiji period od 2003. do 2006.godine, smatra se najosetljivim periodom tranzicije. U tom periodu, u vreme procesa restukturiranja i privatizacije, konstantovan je pad broja zaposlenih. Maksimalna stopa nezaposlenosti u tom periodu iznosila je 28,2%, što predstavlja visoku stopu nezaposlenosti. U Republici Srbiji dve petine nezaposlenog stanovništva nalazi se na evidenciji Nacionalne službe za zapošljavanje duže od pet godina, a četvrtina manje od godinu dana. Najznačajni problem nezaposlenosti u Republici Srbiji je njena dužina trajanja [21]. Na osnovu toga, može se reći da u Republici Srbiji nije zastupljena ciklična nezaposlenost, već se radi o strukturnoj nezaposlenosti. Kod nje su mogućnosti za zapošljavanje minimalne, čime je najugroženije mlado stanovništvo, koje godinama ne uspeva da se zaposli.

U prethodnim godinama radilo se na poboljšanju glavnih indikatora privrede u Republici Srbiji, čime je privreda savladala stanje recesije, smanjila fiskalne i spoljne deficite i stopu nezaposlenosti kod Nacionalne službe za zapošljavanje. Pretpostavlja se da će se brži rast bruto domaćeg proizvoda i smanjenje nezaposlenosti postići u narednom periodu posredstvom pozitivnih kretanja u metalurškoj industriji i građevinarstvu [22].

U 2015. godini, prema zvaničnim statističkim podacima, dolazi do povećanja stope aktivnosti i stope zaposlenosti u odnosu na prethodnu godinu. Kao posledica sezonskog faktora, stopa nezaposlenosti je u drugom kvartalu 2015. godine snižena na 17,9% u odnosu na prethodni kvartal. Takođe, neformalna zaposlenost je snižena na 18,5% u drugom kvartalu 2015. godine u odnosu na drugi kvartal 2014. godine kada je iznosila 20,5%.

Posledice recesije u zemljama Evrope, kojih se svi plaše, su one kada stanje nezaposlenosti postaje dugoročno. U poređenju zemalja Evrope sa Republikom Srbijom na osnovu statističkih podataka, može se primetiti da je u 19 zemalja Evrope stopa nezaposlenosti manja. Stopa nezaposlenosti u zemljama Evrope je 9,7% i stalno je u padu od 2013. godine. U 2013. godini stopa

nezaposlenosti iznosila je 10,3%. Rast nezaposlenosti zabeležen je u sledećim zemljama: Grčka, Španija, Bugarska, Kipar, Slovenija, Španija, Litvanija i Letonija. Sa druge strane, najmanju nezaposlenost imaju Holandija, Austrija i Luksemburg [23].

5. ZAKLJUČAK

U Republici Srbiji visoka nezaposlenost radno sposobnog stanovništva uzrokovana je sporijim aktivnostima i procesima ekonomskog razvoja i reformi. Na taj način radno sposobno stanovništvo nije u potpunosti iskorišćeno, što dovodi do stvaranja socijalnih problema u društvu. Međutim, visoka stopa nezaposlenost nije trajna, jer putem ekonomskih i socijalnih razloga i evrointegracijskih procesa Republika Srbija radi na smanjenju ove stope. Sa druge strane, ne treba zanemariti visoku stopu nezaposlenosti, jer ona utiče na probleme koje nastaju u društvu i predstavlja glavnu pretnju ekonomskom i društvenom razvoju.

Prioritetni zadatak Republike Srbije treba da bude smanjenje nezaposlenosti u narednom periodu. Predlog smanjenja nezaposlenosti u Republici Srbiji je podsticaj razvoja preduzetništva, kao što je to već zastupljeno u razvijenim zemljama Evrope. Da bi se omogućilo pokretanje malih, srednjih i porodičnih preduzeća, potrebno je doneti zakonsku regulativu, koja će biti uskladena sa međunarodnim standardima i dati određene podsticaje. Republika Srbije se od ostalih razvijenih zemalja Evrope razlikuje, po tome što je cena radne snage relativno niska, što je jedan od značajnih razloga za dolazak stranih investitora.

Dobra praksa održavanja niske stope nezaposlenosti iz razvijenih zemalja Evrope, treba da bude primer svim organizacijama, organizacijama za mlade i svima ostalima koji se angažuju za smanjene stope nezaposlenosti. Na primeru prakse razvijenih zemalja, akteri treba da utiču na Vladu Republike Srbije da odvoji više finansijskih sredstava, kreira širok set mera i napravi korake u rešavanju problema visoke stope nezaposlenosti, tako što će ga uvrstiti u svojim prioritetnim ciljevima.

LITERATURA

- [1] M. Arntz, T. Gregory, U. Zierahn, Digitalization and the Future of Work: Macroeconomic Consequences, (2019)
- [2] X. Min, M. Jeanne, H. Suk, The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges, International Journal of Financial Research, (2018) 90-95.

-
- [3] <http://www.link-university.com/lekcija/Nezaposlenost-i-inflacija/3387>
 - [4] X. Chen, X. Qiangmin, L. Guoping, An Empirical Study on the Relationship Between Industrial Correlation and Spatial Distribution in Manufacturing Industry, *Geographical Studies*, (2015) 1943-1956.
 - [5] Đ. Ilić, D.G. Mrdak, M. Bojić, Sociološki aspekt apsentizma radne snage, *Oditor*, 7(1), (2021) 195-224.
 - [6] J. Avakumović, R. Tešić, D. Karić, Menadžment tranzicionim procesima u funkciji održivog razvoja, *Održivi razvoj*, 3(1), (2021) 7-16.
 - [7] <http://www.link-university.com/lekcija/Nezaposlenost-i-inflacija/3387>
 - [8] S. Marokey, M. Evermore, Unemployed Workers and Benefit Replacement Rate: An Expanded Analysis, *Tech. rep.* (2020)
 - [9] K. Shvab, Tehnologii Chetyortoy Promyishlennoy Revolyutsii, Technologies of Fourth Industrial Revolution, Moscow: Eksmo (in Russian), (2018)
 - [10] A. Dube, The Impact of the Federal Pandemic Unemployment Compensation on Employment: Evidence from the Household Pulse Survey, *Tech. rep.* (2020)
 - [11] <http://www.link-university.com/lekcija/Nezaposlenost-i-inflacija/3387>
 - [12] B. Ivanova, S. Ristić, Akumulacija i koncentracija kapitala, *Akcionarstvo*, 26(1), (2020) 26-34.
 - [13] S. Vujović, T. Vujović, Održivi marketing u funkciji održive urbane mobilnosti, *Oditor*, 7(3), (2021) 167-200.
 - [14] Li Cun Pu, He Jing, The Nonlinear Influence of Industrial Structure Upgrading on Economic Growth and Unemployment, *Statistics and Decision-Making*, 34 (22), (2018) 150-153.
 - [15] <http://www.vps.ns.ac.rs/Materijal/mat2938.pdf>
 - [16] J. Avakumović, N. Marjanović, A. Rajković, Menadžment cene kapitala u svrhu donošenja investicionih odluka preduzeća, *Akcionarstvo*, 27(1), (2021) 89-106
 - [17] M. Milanović, Osnovi ekonomije, Beograd, 2007, str. 56.
 - [18] C.B. Frey, M.A. Benedikt, The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? (2013)
 - [19] http://www.knowledge-banks.org/ekonomija_09_nfps_1_svi_05/_lekciјe/lekcija15.htm
 - [20] M. Dimić, S. Paunović, O. Arsenijević, Analysis of the Business of the Insurance Sector in the Countries of Central and Eastern Europe in the Conditions of the Crisis, *International Journal of Economics and Law* 8(22), (2018) 37-47.

- [21] S. Adžić, Ekonomска politika u uslovima globalne depresije i finansijske krize-studija slučaja za Srbiju, Ekonomija 16 (2), (2009) 559-608.
- [22] I. Rajaković, Tranzicija ka održivoj ekonomiji u Srbiji - lekcije iz Danske, Održivi razvoj, 3(2), (2021) 41-68.
- [23] <http://ipf.rs/nezaposlenost-i-posledice-nezaposlenosti/>

UPUTSTVO AUTORIMA

Časopis BAKAR izlazi dva puta godišnje i objavljuje naučne, stručne i pregledne radove. Za objavljivanje u časopisu prihvataju se isključivo originalni radovi koji nisu prethodno objavljivani i nisu istovremeno podneti za objavljivanje negde drugde. Radovi se anonimno recenziraju od strane recenzenta posle čega uredništvo donosi odluku o objavljinju. Rad priložen za objavljinje treba da bude pripunjlen prema dole navedenom uputstvu da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripunjleni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

Obim i font. Rad treba da je napisan na papiru A4 formata (210x297 mm), margine (leva, desna, gornja i donja) sa po 25 mm, u Microsoft Wordu novije verzije, fontom Times New Roman, veličine 12, sa razmakom 1,5 reda, obostrano poravnat prema levoj i desnoj margini. Preporučuje se da celokupni rukopis ne bude manji od 5 strana i ne veći od 10 strana.

Naslov rada treba da je isписан velikim slovima, bold, na srpskom i na engleskom jeziku. Ispod naslova rada piše se imena autora i institucija u kojoj rade. Autor rada zadužen za korespondenciju sa uredništvom mora da navede svoju e-mail adresu za kontakt u fusuotu.

Izvod se nalazi na početku rada i treba biti dužine do 200 reči, da sadrži cilj rada, primenjene metode, glavne rezultate i zaključke. Veličina fonta je 10, italic.

Ključne reči se navode ispod izvoda. Treba da ih bude minimalno 3, a maksimalno 6. Veličina fonta je 10, italic.

Izvod i ključne reči treba da budu date i na engleski jezik.

Osnovni tekst. Radove treba pisati jezgrovito, razumljivim stilom i logičkim redom koji, po pravilu, uključuje uvodni deo s određenjem cilja ili problema rada, opis metodologije, prikaz dobijenih rezultata, kao i diskusiju rezultata sa zaključcima i implikacijama.

Glavni naslovi trebaju biti urađeni sa veličinom fonta 12, bold, sve velika slova i poravnati sa levom marginom.

Podnaslovi se pišu sa veličinom fonta 12, bold, poravnato prema levoj margini, velikim i malim slovima.

Slike i tabele. Svaka ilustracija i tabela moraju biti razumljive i bez čitanja teksta, odnosno, moraju imati redni broj, naslov i legendu (objašnjenje oznaka, šifara, skraćenica i sl.). Tekst se navodi ispod slike, a iznad tabele. Redni brojevi slika i tabela se daju arapskim brojevima.

Reference u tekstu se navode u uglačastim zagradama, na pr. [1,3]. Reference se prilažu na kraju rada na sledeći način:

[1] B.A. Willis, Mineral Procesing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, str. 35. (za poglavje u knjizi)

[2] H. Ernst, Research Policy, 30 (2001) 143–157. (za članak u časopisu)

[3] www: <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (za web dokument)

Navodenje neobjavljenih radova nije poželjno, a ukoliko je neophodno treba navesti što potpunije podatke o izvoru.

Zahvalnost se daje po potrebi, na kraju rada, a treba da sadrži ime institucije koja je finansirala rezultate koji se daju u radu, sa nazivom i brojem projekta; ili ukoliko rad potiče iz magistarske teze ili doktorske disertacije, treba dati naziv teze/disertacije, mesto, godinu i fakultet na kojem je odbranjena. Veličina fonta 10, italic.

Radovi se šalju prevashodno elektronskom poštom ili u drugom elektronskom obliku.

Adresa uredništva je: Časopis BAKAR

Institut za rudarstvo i metalurgiju

Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

E-mail: nti@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs

Telefon: 030/454-260; 030/454-108

Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.

INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

COPPER Journal is published twice a year and publishes the scientific, technical and review paper works. Only original works, not previously published and not simultaneously submitted for publications elsewhere, are accepted for publication in the journal. The papers are anonymously reviewed by the reviewers after that the Editorial decided to publish. The submitted work for publication should be prepared according to the instructions below as to be included in the procedure of reviewing. Inadequate prepared manuscripts will be returned to the author for finishing.

Volume and Font Size. The paper needs to be written on A4 paper (210x297 mm), margins (left, right, top and bottom) with each 25 mm, in the Microsoft Word later version, font Times New Roman, size 12, with 1.5 line spacing, justified to the left and right margins. It is recommended that the entire manuscript cannot be less than 5 pages and not exceed 10 pages.

Title of Paper should be written in capital letters, bold, in Serbian and English. Under the title, the names of authors and their affiliations should be written. Corresponding author must provide his/her e-mail address for contact in a footnote.

Abstract is at the beginning of the paper and should be up to 200 words include the aim of the work, the applied methods, the main results and conclusions. The font size is 10, italic.

Keywords are listed below the abstract. They should be minimum 3 and maximum of 6. The font size is 10, italic.

Abstract and Keywords should be also given in English language.

Basic Text. The papers should be written concisely, in understandable style and logical order that, as a rule, including the introduction part with a definition of the aim or problem of the work, a description of the methodology, presentation of the obtained results as well as a discussion of the results with conclusions and implications.

Main Titles should be done with the font size 12, all capital letters and aligned to the left margin.

Subtitles are written with the font size 12, bold, aligned to the left margin, large and small letters.

Figures and Tables. Each figure and table must be understandable without reading the text, i.e., must have a serial number, title and legend (explanation of marks, codes, abbreviations, etc.). The text is stated below the figure and above the table. Serial numbers of figures and tables are given in Arabic numbers.

References in the text are cited in square brackets, e.g. [1,3]. References are enclosed at the end of the paper as follows:

[1] B.A. Willis, Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, p. 35. (*for the chapter in a book*)

[2] H. Ernst, *Research Policy*, 30 (2001) 143–157. (*for the article in a journal*)

[3] <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (*for web document*)

Citation of the unpublished works is not preferable and, if it is necessary, as much as possible completed data source should be listed.

Acknowledgement is given, as needed, at the end of the paper and should include the name of institution that funded the given results in the paper, with the project title and number; or if the work is resulted from the master thesis or doctoral dissertation, it should give the title of thesis/dissertation, place, year and faculty/university where it was defended. Font size is 10, italic.

The manuscripts are primarily sent by e-mail or in other electronic form.

Editorial Address: Journal COPPER
 Mining and Metallurgy Institute Bor
 35 Zeleni bulevar, 19210 Bor
 E-mail: nti@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs
 Telephone: +381 30/454-260; +381 30/454-108

We are thankful for all authors on cooperation.

SADRŽAJ
CONTENS

Radojko Gordić, Miladin Gligorić, Darko Reljić, Đorđe Janačković	
NAČIN DOBIJANJA CaO POTREBNE REAKTIVNOSTI ZA RAVNOMERNO IZDVAJANJE H₂ KOD GRAĐEVINSKIH „GAS BLOKOVA“	
METHOD OF CaO OBTAINING OF REQUIRED REACTIVITY FOR UNIFORMLY H ₂ DISTRIBUTION IN THE AERATED CONCRETE CONSTRUCTION BLOCKS	1
Ivana Randelović, Miroslav Pešić, Viša Tasić, Marijana Pavlov-Kagadejev, Vladan Miljković	
DOPRINOS U OTKLJANJANJU SMETNJI NA MERENJE FREKVENCIJE TROFAZNOG AC GENERATORA	
CONTRIBUTION IN ELIMINATION OF INTERFERENCE FOR FREQUENCY MEASUREMENT OF THREE-PHASE AC GENERATOR	13
Nenad Marković, Slobodan Bjelić, Filip Marković	
MODELOVANJE EKSTREMNIH REŽIMA NA VODU SA RASPODELJENIM PARAMETRIMA I II ŠEME VODA NA KOJI JE PRIKLJUČEN JEDNOFAZNI TRANSFORMATOR	
MODELING OF EXTREME REGIMES ON LINE WITH DISTRIBUTED PARAMETERS AND II SCHEMES LINE WITH CONNECTED SINGLE PHASE TRANSFORMER	19
Aleksandar Savić, Radan Kostić	
TRANZICIJA NEZAPOSLENOSTI KAO FAKTOR RASTA METALURUŠKE INDUSTRIJE	
TRANSITION OF UNEMPLOYMENT AS A FACTOR OF GROWTH THE METALLURGICAL INDUSTRY	33
