

ENERGIA

**JOURNAL
OF ENERGY**

ENERGIJA

IZDAVAČ

Hrvatska elektroprivreda d.d., Zagreb

SUIZDAVAČI

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva

ZA IZDAVAČA

Mr. sc. Ivan Mravak

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa

UREĐIVAČKI SAVJET

Mr. sc. Kažimir Vrankić, (predsjednik), Zagreb – doc. dr. sc. Ante Čurković, Zagreb – prof. dr. sc. Igor Dekanić, Zagreb – prof. dr. sc. Danilo Feretić, Zagreb – mr. sc. Nikica Grubišić, Zagreb – prof. dr. sc. Slavko Krajcar, Zagreb – doc. dr. sc. Željko Tomšić, Zagreb – doc. dr. sc. Mladen Zeljko, Zagreb

UREĐIVAČKI ODBOR

Glavni urednik – Mr. sc. Goran Slipac, Zagreb
Glavni tajnik – Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, Zagreb
Lektor – Simun Čagalj, prof., Zagreb
Metrološka recenzija – Dragan Borojević, dipl. ing., Zagreb
Prijevod – Hrvatsko društvo znanstvenih i tehničkih prevoditelja – Prevoditeljski centar, Zagreb

UREDNIŠTVO I UPRAVA

HEP d.d. – Energija
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Telefoni: +385 (1) 6171291 i 6322641
Telefaks: +385 (1) 6322143
e-mail: goran.slipac@hep.hr; slavica.barta@hep.hr
www.hep.hr

Godišnje izlazi 6 brojeva
Godišnja pretplata bez PDV-a (22 %) iznosi:
– za pojedince 250 kn
– za poduzeća 400 kn
– za studente 60 kn
Žiro račun kod Zagrebačke banke broj:
2360000-1400129978

Godišnja pretplata za inozemstvo iznosi USD 95.
Devizni račun:
Zagrebačka banka broj: 2000006299

Grafičko uređenje omota – mr. sc. Kažimir Vrankić, Zagreb
Grafičko uređivanje – Bestias dizajn, d.o.o., Zagreb
Tisak – intergrafika d.o.o., Zagreb

Naklada – 1 500 primjeraka
Godište 57(2008)
Zagreb, 2008
Broj 6., str. 484-594

Oglasi su veličine jedne stranice. Cijena oglasa je 3 000 kn bez PDV (22 %).

ENERGIJA

PUBLISHED BY

Hrvatska elektroprivreda d.d., Zagreb

CO-PUBLISHED BY

University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing
Ministry of Economy, Labour and Entrepreneurship

PUBLISHER'S REPRESENTATIVE

Ivan Mravak, MSc

SUPPORTED BY

Ministry of Science, Education and Sport

EDITORIAL COUNCIL

Kažimir Vrankić, MSc, (Chairman), Zagreb – Assistant Prof Ante Čurković, PhD, Zagreb – Prof Igor Dekanić, PhD, Zagreb – Prof Danilo Feretić, PhD, Zagreb – Nikica Grubišić, MSc, Zagreb – Prof Slavko Krajcar, PhD, Zagreb – Assistant Prof Željko Tomšić, PhD, Zagreb – Assistant Prof Mladen Zeljko, PhD, Zagreb

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief – Goran Slipac, MSc, Zagreb
Secretary – Slavica Barta-Koštrun, MSc, Zagreb
Language Editor – Simun Čagalj, prof., Zagreb
Metrology – Dragan Borojević, dipl. ing., Zagreb
Translation – Croatian Association of Scientific and Technical Translators – Croatian Translation Agency, Zagreb

HEAD OFFICE AND MANAGEMENT

HEP d.d. – Energija
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Telephone: +385 (1) 6171291 and 6322641
Fax: +385 (1) 6322143
e-mail: goran.slipac@hep.hr; slavica.barta@hep.hr
www.hep.hr

Appears 6 times a year.
Annual subscription fee excl. VAT (22 %):
– for individual subscribers HRK 250
– for companies HRK 400
– for students HRK 60
Number of fyro account whit Zagrebačka Banka:
2360000-1400129978

Annual subscription fee for the overseas: USD 95.
Number of foreign currency account whit Zagrebačka Banka:
2000006299

Cover design – Kažimir Vrankić, MSc, Zagreb
Graphic layout – Bestias Dizajn d.o.o., Zagreb
Printed by – Intergrafika d.o.o., Zagreb

Circulation – 1 500 copies
Volume 57(2008)
Zagreb, 2008
No. 6., p. p. 484-594

Ads are the size of the page. The price of an ad is HRK 3 000 excl. VAT (22 %).

SADRŽAJ

Hrnčević, L., Dekanić, I., Karasalihović Sedlar, D.
ANALIZA SIGURNOSTI OPSKRBE PRIRODNIM PLINOM U HRVATSKOJ
(pregledni članak)

Deshmukth, S. J., Bhuyar, L. B., Thakre, S. B.
PERSPEKTIVE DERIVATA BILJNIH ULJA ZA ENERGETSKE POTREBE SEOSKE POLJOPRIVREDE U INDIJI
(pregledni članak)

Štritof, I., Krajcar, S.
REGULACIJA KVALITETE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM KAO NUŽNA FUNKCIJA REGULACIJE MONOPOLNIH DJELATNOSTI
(prethodno priopćenje)

Vujević, D.
SVIČI – IZVORI HOMOGENIH MAGNETSKIH POLJA
(pregledni članak)

Trkulja, B., Štih, Ž., Berberović, S.
TERMIČKA ANALIZA UKOPANIH VISOKONAPONSKIH KABELA
(izvorni znanstveni članak)

Časopis je u bilježenu u Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa pod brojem 161 od 12.11.1992.

Časopis je indeksiran u sekundarnom bibliografskom izvoru INSPEC – The Institution of Electrical Engineering, England.

CONTENTS

Hrnčević, L., Dekanić, I., Karasalihović Sedlar, D.
AN ANALYSIS OF THE SECURITY OF NATURAL GAS SUPPLY IN THE REPUBLIC OF CROATIA
(review article)

Deshmukth, S. J., Bhuyar, L. B., Thakre, S. B.
PROSPECTS OF VEGETABLE OIL DERIVATES FOR RURAL AGRICULTURAL ENERGY IN INDIA
(review article)

Štritof, I., Krajcar, S.
REGULATION OF ELECTRICITY SUPPLY QUALITY AS A NECESSARY FUNCTION IN THE REGULATION OF MONOPOLY SERVICES
(preliminary information)

Vujević, D.
COILS – SOURCES OF HOMOGENEOUS MAGNETIC FIELDS
(review article)

Trkulja, B., Štih, Ž., Berberović, S.
THERMAL ANALYSIS OF BURIED HV CABLES
(original scientific article)

The journal is registered with the Ministry of Science, Education and Sport under No. 161 since 12.11.1992

The journal is indexed with the secondary reference source of INSPEC – The Institution of Electrical Engineering, England.

06/08

600-609

610-623

624-657

658-675

676-687



UREĐIVAČKA POLITIKA

Časopis Energija znanstveni je i stručni časopis s dugom tradicijom više od 50 godina. Pokriva područje elektroprivredne djelatnosti i energetike. Časopis Energija objavljuje izvorne znanstvene i stručne članke širokoga područja interesa, od specifičnih tehničkih problema do globalnih analiza procesa u području energetike.

U vrlo širokom spektru tema vezanih za funkcioniranje elektroprivredne djelatnosti i općenito energetike u tržišnim uvjetima i općoj globalizaciji, časopis ima poseban interes za specifične okolnosti ostvarivanja tih procesa u Hrvatskoj i njezinu regionalnom okruženju. Funkcioniranje i razvoj elektroenergetskih sustava u središnjoj i jugoistočnoj Europi, a posljedično i u Hrvatskoj, opterećeno je mnogobrojnim tehničko-tehnološkim, ekonomskim, pravnim i organizacijskim problemima. Namjera je časopisa da postane znanstvena i stručna tribina na kojoj će se kritički i konstruktivno elaborirati navedena problematika i ponuditi rješenja.

Časopis je posebno zainteresiran za sljedeću tematiku: opća energetika, tehnologije za proizvodnju električne energije, obnovljivi izvori i zaštita okoliša; korištenje i razvoj energetske opreme i sustava; funkcioniranje elektroenergetskoga sustava u tržišnim uvjetima poslovanja; izgradnja elektroenergetskih objekata i postrojenja; informacijski sustavi i telekomunikacije; restrukturiranje i privatizacija, reinženjering poslovnih procesa; trgovanje i opskrba električnom energijom, odnosi s kupcima; upravljanje znanjem i obrazovanje; europska i regionalna regulativa, inicijative i suradnja.

Stranice časopisa podjednako su otvorene iskusnim i mladim autorima, te autorima iz Hrvatske i inozemstva. Takva zastupljenost autora osigurava znanje i mudrost, inventivnost i hrabrost, te pluralizam ideja koje će čitatelji časopisa, vjerujemo, cijeniti i znati dobro iskoristiti u svojem profesionalnom radu.

EDITORIAL POLICY

The journal Energy is a scientific and professional journal with more than a 50-year tradition. Covering the areas of the electricity industry and energy sector, the journal Energy publishes original scientific and professional articles with a wide area of interests, from specific technical problems to global analyses of processes in the energy sector.

Among the very broad range of topics relating to the functioning of the electricity industry and the energy sector in general in a competitive and globalizing environment, the Journal has special interest in the specific circumstances in which these processes unfold in Croatia and the region. The functioning and development of electricity systems in Central and South East Europe, consequently in Croatia too, is burdened with numerous engineering, economic, legal and organizational problems. The intention of the Journal is to become a scientific and professional forum where these problems will be critically and constructively elaborated and where solutions will be offered.

The Journal is especially interested in the following topics: energy sector in general, electricity production technologies, renewable sources and environmental protection; use and development of energy equipment and systems; functioning of the electricity system in competitive market conditions; construction of electric power facilities and plants; information systems and telecommunications; restructuring and privatization, re-engineering of business processes; electricity trade and supply, customer relations, knowledge management and training; European and regional legislation, initiatives and cooperation.

The pages of the Journal are equally open to experienced and young authors, from Croatia and abroad. Such representation of authors provides knowledge and wisdom, inventiveness and courage as well as pluralism of ideas which we believe the readers of the Journal will appreciate and know how to put to good use in their professional work.

UVOD

INTRODUCTION

Poštovani čitatelji!

Pred Vama je i šesti broj časopisa Energija u 2008. godini. Kraj jedne godine i početak sljedeće godine uobičajeno je obilježen pitanjima i raspravama o cijeni primarnih oblika energije i pitanjima o sigurnosti opskrbe energijom. Tako je bilo i krajem 2008. godine, odnosno početkom 2009. godine. Usporedo s tim, redovito se raspravljalo i o ulaganjima u energetiku, a sve radi toga da bi se osigurao određeni stupanj sigurnosti opskrbe. Ono što možda ovo razdoblje razlikuje od dosadašnjih je globalna recesija, koja već ima, a sasvim sigurno imat će i dugoročni utjecaj na energetski sektor, bilo da je u pitanju proizvodnja i potrošnja energije ili proizvodnja i ugradnja energetske opreme. Posebno je zanimljivo kako će se ovi događaji odraziti na energetski sektor i gospodarstvo malih zemalja koje nemaju zatvoren ciklus proizvodnje energetske opreme, proizvodnje energije te investiranja u izgradnju energetskog sustava.

U ovom broju časopisa Energija objavljujemo vrlo zanimljive članke iz različitih područja, od energetskih do specijalističkih područja elektrotehnike:

- Analiza sigurnosti opskrbe prirodnim plinom u Hrvatskoj,
- Perspektive derivata biljnih ulja za energetske potrebe seoske poljoprivrede u Indiji,
- Regulacija kvalitete opskrbe električnom energijom kao nužna funkcija regulacije monopolnih djelatnosti,
- Svici - izvori homogenih magnetskih polja,
- Termička analiza ukopanih visokonaponskih kabela.

U prvom članku daje se prikaz uloge prirodnog plina u strukturi potrošnje energije danas, s projekcijom do 2050. godine. Posljednja dva desetljeća potrošnja prirodnog plina značajno raste, a prirodni plin, kao energent, poput nafte dobiva stratešku ulogu, što za male zemlje kao što je Hrvatska znači da je pitanju sigurnosti opskrbe potrebno posvetiti puno više pozornosti nego je to sada bilo uobičajeno. Osiguranje opskrbe naftom i plinom temeljna je zadaća energetske politike svake zemlje. S obzirom na činjenicu da Hrvatska oko 70 % svojih potreba u primarnoj energiji podmiruje korištenjem tekućih i plinovitih goriva, iznimno je važno raščlanjivanje potreba, okolnosti i stanja dobave prirodnog plina kao i analiza sveukupne sigurnosti opskrbe prirodnim plinom kao pretpostavkom ukupne energetske sigurnosti Hrvatske. U članku se analizira utjecaj takvih zbivanja na osjetljivost tržišta malih zemalja kao što je Hrvatska.

U ovom broju imamo i članak iz Indije koji opisuje energetski sektor jednog ruralnog područja, ako se tako može reći. Naime, temeljna teza članka je da je svijet suočen s dvojnomo krizom: krizom potrošnje i smanjenja zaliha fosilnih goriva, i krizom degradacije okoliša. U ruralnoj Indiji veliki udio potreba za naftom otpada na poljoprivrednu mehanizaciju poput traktora i vršilica. U ovom radu procjenjuje se isplativost lokalne proizvodnje biljnih ulja u jednom malom ogleđnom selu u

Dear Readers!

We are delighted to present you yet another, the sixth edition of Energija journal for the year 2008. The end of a year and the start of the next is usually accompanied by questions raised and discussions initiated about the pricing of the primary forms of energy and the security of energy supply. That's how it was at the end of 2008 and the beginning of 2009. Another topic on the agenda have been investments in the energy sector aimed to ensure a fair degree of supply security. What perhaps makes the current period different from the previous ones is the global recession which already has and will certainly have a long-term impact on the energy sector in terms of energy production and consumption as well as energy equipment manufacturing and installation. Of particular concern is how these developments will affect the energy sector and the economy of small countries that do not have a closed cycle of energy equipment manufacturing, energy production and investment in energy systems.

In this edition of Energija we are bringing very interesting articles, ranging from energy issues to specialized fields of electrical engineering:

- An analysis of the security of natural gas supply in the Republic of Croatia,
- Prospects of vegetable oil derivatives for rural agricultural energy in India,
- Regulation of electricity supply quality as a necessary function in the regulation of monopoly services,
- Coils – sources of homogeneous magnetic fields,
- Thermal analysis of buried high-voltage cables.

The first article deals with the role of natural gas in the structure of energy consumption as it is today and projected up to the year 2050. Over the past two decades the consumption of natural gas has been significantly rising and natural gas as energy source is gaining, like crude oil, a strategic importance. What it means for small countries like Croatia is that much more attention should be paid to the question of supply security than has been the case so far. Securing oil and gas supply is hence a primary task of the energy policy of any country. Considering the fact that about 70% of its primary energy needs Croatia meets by using liquid and gaseous fuels, it is extremely important to review the needs, circumstances and situations concerning natural gas supply and to analyze the overall security of natural gas supply as a prerequisite for Croatia's energy security. The article analyzes the influence of such developments on the vulnerability of the energy markets of small countries like Croatia.

This edition includes an article from India describing the energy sector of a rural area. The basic idea of the article is that the world is confronted with the twin crisis of fossil fuel depletion and environmental degradation. In rural India agricultural equipments such as tractors and threshers account for the

središnjoj Indiji. Analiziraju se metilni esteri masnih kiselina iz ulja pamukovog sjemena, sojinog ulja, ulja balanitesa i jatrofina ulja da bi se ustanovila njihova svojstva i radni učinak u dizel motoru, a procjenjuje se i potrebna površina zemljišta za uzgoj tih uljnih kultura kako bi se udovoljilo potrebama seoske poljoprivrede za gorivom. Rezultati analize u ovom prilogu navode na zaključak da esteri biljnih ulja dobiveni od lokalno uzgajanih uljarica u ruralnom području mogu zamijeniti naftni dizel primjenom jednostavne tehnologije. Osim ovoga, za lokalnu zajednicu je jednako tako značajna i ova aktivnost kao opća gospodarska djelatnost.

U trećem, vrlo zanimljivom, članku analiziraju se nedostaci regulacije cijena usluga kao funkcije regulacije monopolne djelatnosti distribucije električne energije koja ne uključuje regulaciju kvalitete opskrbe električnom energijom, a opisan je i model uvođenja regulacije kvalitete opskrbe električnom energijom s posebnim osvrtom na pouzdanost opskrbe kao značajnom području regulacije kvalitete opskrbe električnom energijom. Poseban prostor u članku je posvećen iskustvima mađarskog regulatornog tijela u sustavnom uvođenju regulacije cijena usluga te integriranju kvalitete opskrbe u model regulacije cijene usluga. U članku se predlaže mađarski primjer kao uzorak koji bi u određenoj mjeri mogla slijediti i Hrvatska u kojoj nije započeto s razvojem niti poticajne regulacije cijena usluga niti regulacije kvalitete opskrbe.

Četvrti članak u ovom broju opisuje jedno vrlo zanimljivo područje homogenih magnetskih polja koja se koriste kod različitih instrumenata. Homogena magnetska polja koja se postižu svicima ili sustavima svitaka u širokom su rasponu od reda veličine mikrotlesa, s običnim svicima, do reda veličine deset tesla sa supravodljivim svicima. Za umjeravanja instrumenata kojima se mjere magnetska polja, kao i za različite pokuse i ispitivanja u elektrotehnici, fizici, medicini, biologiji i ostalim znanstvenim i stručnim područjima, rabe se izvori poznatih homogenih magnetskih polja. Ovisno o vrijednosti željenog magnetskog polja to mogu biti permanentni ili elektromagneti te, češće, različiti svici koji se napajaju istosmjernom, izmjeničnom ili impulsnom strujom.

U zadnjem članku u ovom broju časopisa opisan je problem zagrijavanja ukopanih kabela. Naime, ukopani visokonaponski kabeli često se koriste u prijenosu električne energije u gusto naseljenim područjima. Kabeli se u pogonu zagrijavaju, a toplina se prenosi u okolno tlo, što dovodi do porasta temperature unutar kabela i u njihovoj okolini. Zbog visoke cijene ukopanih visokonaponskih kabela iznimno je važno točno proračunati maksimalno dopuštene vrijednosti konstantne struje opterećenja u stacionarnim uvjetima, kao i struje preopterećenja u termički nestacionarnim uvjetima. U članku se zaključuje je kako proračun temeljen na konstantnim vrijednostima toplinske vodljivosti tla pokazuje dobro slaganje s vrijednostima dobivenim prema IEC standardima.

Članke u ovom broju časopisa Energija potpisuju autori iz sveučilišne zajednice, ali i iz prakse, što je, sasvim sigurno, rezultiralo i kvalitetnim člancima.

Glavni urednik
Mr. sc. Goran Slipac

bulk of oil requirements. The work evaluates the feasibility of local production of vegetable oil for a small representative village in central India. Fatty acid methyl esters of cotton seed oil, soybean oil, balanites oil and jatropha oil are analyzed for their properties and diesel engine performance. The land requirement to grow these oil crops to fulfill the rural agricultural diesel need is also estimated. The results of the analysis lead to a conclusion that esters of vegetable oil, from locally grown oil crops in the rural region can substitute petroleum-based diesel by using simple technology. Besides, the local economic activity resulting from the local growth and processing is just as important.

The third, highly interesting article analyzes the shortcomings of price regulation as a function in the regulation of the monopoly activity of electricity distribution that does not include the quality regulation of electricity supply. It also describes a model for launching an electricity supply quality regulation system with special emphasis on the reliability of supply as the crucial aspect of supply quality regulation. A special space in the article is devoted to the experiences of the Hungarian regulatory authority in step-by-step introduction of price regulation and in integration of supply quality into the price regulation model. The Hungarian example is proposed as a model which to a certain may be applicable in Croatia where the development of neither incentive price regulation nor supply quality regulation has started yet.

The fourth article deals with the highly relevant area of homogeneous magnetic fields used with various instruments. The homogeneous magnetic fields attained by coils or coil systems widely vary from the microtesla order of magnitude with ordinary coils to the 10-tesla order of magnitude with superconductive coils. The sources of known homogeneous magnetic fields are used for calibration of instruments with which magnetic fields are measured and for various experiments and tests in electrical engineering, physics, medicine, biology and other scientific and technical areas. Depending on the value of the desired magnetic field, these can be permanent magnets or electromagnets and, more frequently, various solenoids fed by DC, AC or impulse current.

The last article in this edition of Energija journal is about the heating of buried cables. Buried high-voltage cables are often used for electricity transmission in densely populated areas. Cables in operation warm up and heat spreads to the surrounding soil, which leads to temperature rise inside and around the cables. Due to the high prices of buried high-voltage cables it is very important to exactly calculate maximum allowed values of constant load current in stationary conditions, as well as overload current in thermally non-stationary conditions. The conclusion is that the calculation based on constant values of the thermal conductivity of soil matches well with the values obtained according to IEC standards.

The authors of the articles in this edition of Energija are members of the academic community and practicing engineers, which lends an added value to their contributions.

Editor-in-chief:
Goran Slipac, Msc

ANALIZA SIGURNOSTI OPSKRBE PRIRODNIM PLINOM U REPUBLICI HRVATSKOJ AN ANALYSIS OF THE SECURITY OF NATURAL GAS SUPPLY IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Lidia Hrnčević – Igor Dekanić – Daria Karasalihović Sedlar,
Zagreb, Hrvatska

U suvremenom globaliziranom gospodarstvu energija nesumnjivo ima strateški karakter, a u sklopu opskrbe energijom i osiguranja primarnih izvora energije, posebnu ulogu ima nafta, te od početka XXI. stoljeća, sve više i prirodni plin. Posljednja dva desetljeća potrošnja prirodnog plina značajno raste, a prirodni plin, kao energent, poput nafte dobiva stratešku ulogu. Iako je nafta još uvijek dominantni energent u ukupnoj svjetskoj potrošnji, što se neće promijeniti ni u sljedećih nekoliko desetljeća, predviđa se da će udio prirodnog plina u svjetskoj potrošnji energije do 2050. godine porasti sa sadašnjih 23 % na gotovo 45 %.

Osiguranje opskrbe naftom i plinom temeljna je zadaća energetske politike svake zemlje. S obzirom na činjenicu da Hrvatska oko 70 % svojih potreba u primarnoj energiji podmiruje korištenjem tekućih i plinovitih goriva, iznimno je važno raščlanjivanje potreba, okolnosti i stanja dobave prirodnog plina kao i analiza sveukupne sigurnosti opskrbe prirodnim plinom kao pretpostavkom ukupne energetske sigurnosti Hrvatske.

In the global economy today energy certainly has a strategic importance, whereas in terms of energy supply and securing of primary energy sources a special role is played by crude oil and, to an increasing extent since the start of the new century, natural gas. In the past two decades the consumption of natural gas has been significantly rising and natural gas as energy source is gaining, like crude oil, a strategic importance. While oil is still a dominant energy source in the overall global consumption, which is not going to change in some decades to come, it is anticipated that the share of natural gas in the world energy consumption will go up by 2050 from the present 23 % to nearly 45 %.

Securing oil and gas supply is hence a primary task of the energy policy of any country. Considering the fact that 70 % of its primary energy needs Croatia meets by using liquid and gaseous fuels, it is extremely important to review the needs, circumstances and situations concerning natural gas supply and to analyze the overall security of natural gas supply as a prerequisite for Croatia's energy security as a whole.

Ključne riječi: energetska sigurnost; proizvodnja prirodnog plina; potrošnja prirodnog plina; sigurnost opskrbe prirodnim plinom
Keywords: energy security; natural gas production; natural gas consumption; security of natural gas supply



1 UVOD

Krajem XX. i početkom XXI. stoljeća energija i globalni prostorni raspored njenih resursa, tokova, proizvodnje i korištenja, postaju sve važniji kao glavne odrednice globalne politike i težnje za političkom moći u globaliziranom svijetu.

Tržište drugog po važnosti i sve brže rastućeg izvora energije, prirodnog plina, slijedi osnovne trendove potrošnje nafte iako su pritom zamjetne i određene razlike. Poput nafte u XX. stoljeću, početkom XXI. stoljeća prirodni plin je ušao u proces intenzivne globalizacije, osobito u svojem ukapljenom obliku. Za razliku od tržišta nafte, tržište prirodnog plina se do sada razvijalo kao skup nacionalnih tržišta čiji se stupanj integracije mogao pratiti na makro-regionalnoj, odnosno interkontinentalnoj razini. S obzirom na sve veću važnost ukapljenog prirodnog plina (UPP) (engl. *Liquefied Natural Gas* – LNG), plinsko tržište također sve više poprima globalne značajke, naročito u pogledu planiranja dobavnih pravaca i određivanja cijena.

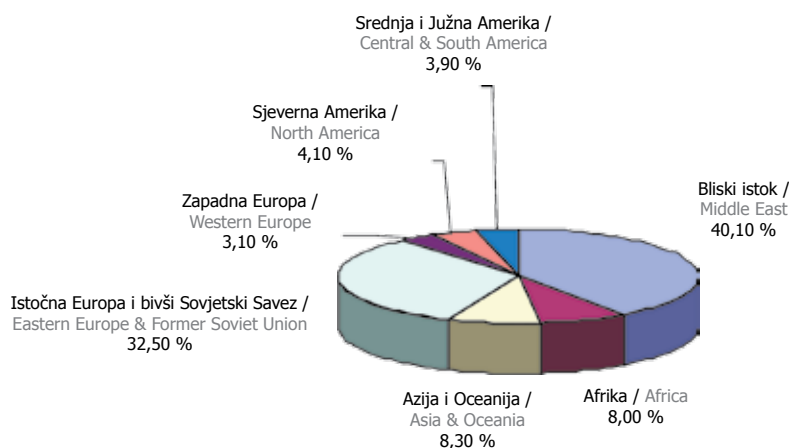
Globalna potrošnja prirodnog plina je tijekom proteklih desetak godina stalno rasla. Najveći dio potvrđenih rezervi prirodnog plina nalazi se na Srednjem istoku (oko 40 %). Na slici 1 je prikazan raspored svjetskih rezervi prirodnog plina, a na slikama 2 i 3 je prikazana svjetska potrošnja i proizvodnja prirodnog plina [2]. Kako je tržište prirodnog plina u značajnoj mjeri podložno kontinentalnim, odnosno regionalnim utjecajima, na slici 4 su prikazani glavni pravci trgovanja prirodnim plinom kao i ukapljenim prirodnim plinom. Iz slike 4 jasno se vidi ovisnost Europske unije, kao i ostalih europskih zemalja, o dobavi prirodnog plina iz Ruske Federacije i zemalja srednje Azije, odnosno Kaspijske regije [2].

1 INTRODUCTION

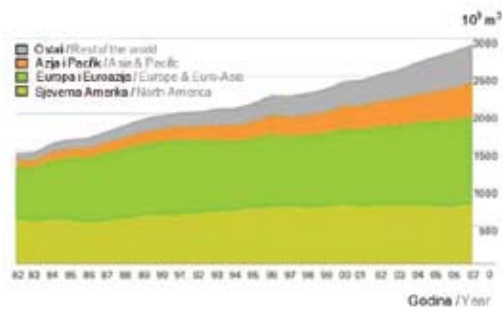
At the end of the last and the start of the present century, energy and the geographical distribution of its resources, trade movements, production and consumption have become increasingly important as key determinants of global policies and political power aspirations in a globalized world.

The market of the second in importance and faster and faster growing energy source, natural gas, follows the general trends of oil consumption, with certain differences though. Like oil in the last and present centuries, natural gas has become a part of intense globalization, especially in the field of liquefied natural gas (LNG). Unlike the oil market, the natural gas market has been developing so far as a sum of national markets, whose degree of integration could be followed at macro-regional or intercontinental level. In view of the growing importance of LNG, the natural gas market, too, is increasingly assuming global characteristics, especially in terms of planning the supply routes and pricing.

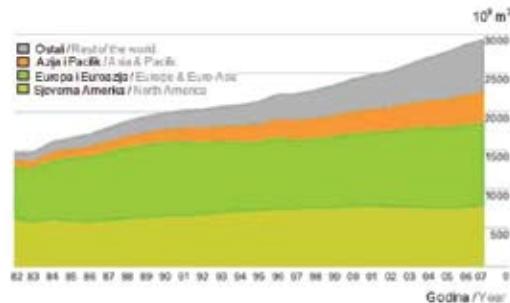
The global consumption of natural gas has been steadily rising over the past ten years or so. The highest share of natural gas reserves (about 40 %) is situated in the Middle East. Figure 1 shows the distribution of the global natural gas reserves and Figures 2 and 3 show the global natural gas consumption and production [2]. The natural gas market is significantly exposed to continental or regional influences, and Figure 4 shows the main routes of trading in natural gas as well as LNG. Figure 4 clearly illustrates the dependence of the European Union and other European countries on gas supplies from Russia and the countries of Central Asia or Caspian Sea region [2].



Slika 1 — Raspored svjetskih rezervi prirodnog plina krajem 2005. [2]
Figure 1 — Global distribution of the world's natural gas reserves at the end of 2005 [2]



Slika 2 – Potrošnja prirodnog plina u svijetu [2]
Figure 2 – World natural gas consumption [2]



Slika 3 – Proizvodnja prirodnog plina u svijetu [2]
Figure 3 – Global natural gas production by region [2]



Slika 4 – Glavni pravci trgovanja plinom [2]
Figure 4 – Main natural gas trade routes [2]

2 ANALIZA STANJA U HRVATSKOJ S CILJEM UTVRĐIVANJA KRITIČNIH ELEMENATA U OPSKRBI PRIRODNIM PLINOM

Sigurnost opskrbe prirodnim plinom u današnje vrijeme predstavlja jedan od temelja, kako energetske strategije neke zemlje, tako i strategije gospodarske i nacionalne sigurnosti. To naročito dolazi do izražaja u suvremenim gospodarskim odnosima u kojima dostatna i kontinuirana op-

2 AN ANALYSIS OF THE SITUATION IN CROATIA AIMED TO IDENTIFY THE CRITICAL POINTS IN NATURAL GAS SUPPLY

Security of natural gas supply is nowadays one of the cornerstones of both the energy policy of a country and the economic and national security strategy. This is particularly exemplified by today's economic relations where sufficient and continuous energy supply is the groundwork for normal

skrba energijom predstavlja temelj normalnog funkcioniranja gospodarstva, naročito u zemljama koje, poput Hrvatske, uvoze značajne količine energije.

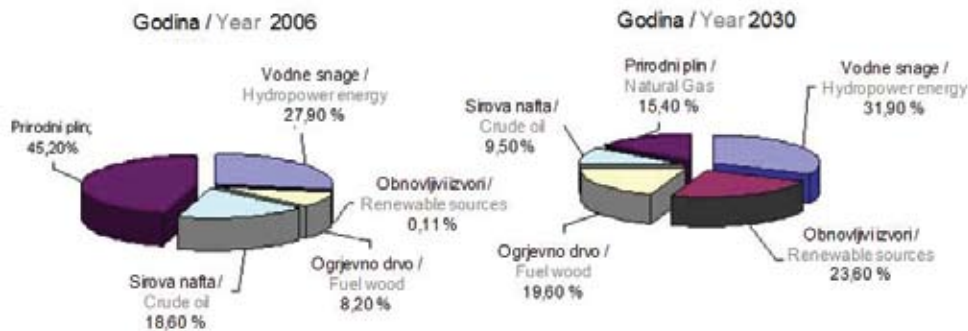
Hrvatska svoje potrebe za fosilnim gorivima samo djelomično podmiruje vlastitom proizvodnjom nafte i prirodnog plina, dok veći dio uvozi. Vlastita opskrbljenost ukupnom primarnom energijom je 1988. godine iznosila 65 %, 2000. godine 50 %, a 2005. godine oko 45 %. Prema predviđanjima, prateći dosadašnji trend smanjenja proizvodnje, 2030. godine vlastita opskrbljenost ukupnom primarnom energijom će iznositi svega 21 % do 23 %. S obzirom na navedena predviđanja, vidljivo je da će Hrvatska sve više ovisiti o uvozu energenata [3].

U domaćoj proizvodnji primarne energije najvećim udjelom sudjeluju nafta i prirodni plin, čiji će udio u razdoblju do 2030. godine biti na razini oko 25 % (slika 5). S obzirom da će nafta i prirodni plin u ukupnoj potrošnji energije 2030. godine sudjelovati s oko 60 % do 70 %, dostatne količine navedenih energenata će se osigurati uvozom [3]. Ovisnost o uvozu energije i energetske sirovine predstavlja rizik u osiguravanju ukupne potrebne energije, kako zbog tržišnih čimbenika (nestabilnosti i visoke cijene na svjetskom tržištu), tako i netržišnih čimbenika, kao što su promjena globalnih geopolitičkih odnosa, elementarne nepogode, opasnost od ratnog sukoba ili terorističkih napada i dr.

functioning of the economy, especially in countries, like Croatia, dependent on major energy imports.

Croatia meets its needs for fossil fuels only partially from domestic oil and natural gas production and imports them for a greater part. Domestic coverage of total primary energy needs amounted to 65 % in 1988, 50 % in 2000, 45 % in 2005. Judging by the diminishing production trend to date, it is anticipated that by 2030 the domestic share of total primary energy supply will be only 21 % to 23 %. In view of such forecasts, Croatia will be increasingly dependent on the imports of energy sources [3].

Oil and natural gas account for the bulk of the domestic primary energy production, and until 2030 that share will be about 25 % (Figure 5). As the share of oil and natural gas in total energy consumption will reach 60 to 70 % by 2030, sufficient quantities of these energy sources will have to be imported [3]. Dependence on the imports of energy and energy resources poses a risk in terms of meeting total energy needs, due to market factors (instability and high world market prices), as well as non-market factors, such as changes in global geopolitical balance, natural disasters, risks of war conflicts and terrorist attacks, etc..



Slika 5 – Udjeli u ukupnoj proizvodnji primarne energije u Hrvatskoj [3]
Figure 5 – Shares of energy resources in total primary energy production in Croatia [3]

2.1 Potrošnja i proizvodnja prirodnog plina u Hrvatskoj

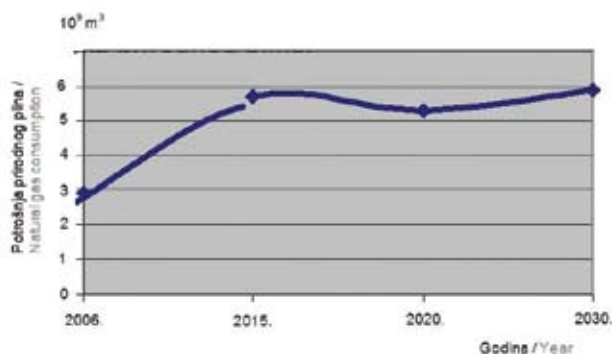
Na početku novoga stoljeća prirodni plin u Hrvatskoj u ukupnoj potrošnji energije sudjeluje s 25 %. Iako potrošnja prirodnog plina u proteklih dvadeset godina bilježi konstantan porast, s iznimkom ratnih 90-ih godina, Hrvatska je po potrošnji prirodnog plina još uvijek za otprilike 34 % ispod prosjeka potrošnje u Europskoj uniji [3].

2.1 Natural gas consumption and production in Croatia

At the start of the new century the share of natural gas in total energy consumption in Croatia stood at 25 %. Although natural gas consumption has been constantly increasing over the past twenty years, with the exception of the wartime nineties, natural gas consumption in Croatia is still by 34 % below the consumption average in the European Union [3].

Prema održivom scenariju neposredne potrošnje energije, predviđa se porast potrošnje prirodnog plina u neposrednoj potrošnji po stopi od 4,2 % godišnje do 2020. godine. Projekcija ukupne potrošnje prirodnog plina u Hrvatskoj dana je u slici 6 [4].

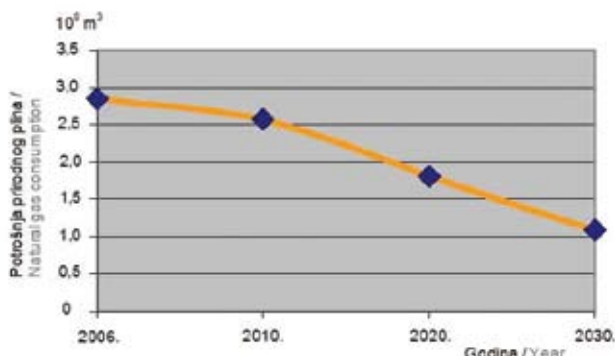
According to the sustainable scenario of direct energy consumption presented in the proposal of new Croatian energy strategy, direct natural gas consumption is expected to rise at the annual rate of 4,2 % until 2020. Figure 6 [4] shows the projected natural gas consumption in Croatia.



Slika 6 — Projekcija potrošnje plina u Republici Hrvatskoj [4]
Figure 6 — Projected natural gas consumption in Croatia [4]

U Hrvatskoj se prirodni plin proizvodi na 25 plinskih polja iz 101 plinske bušotine, čime se trenutačno podmiruje oko 60 % domaćih potreba za prirodnim plinom. Najznačajnija proizvodnja prirodnog plina je na eksploatacijskim poljima Molve, Kalinovac i Stari Gradac u sklopu kojih su izgrađena i postrojenja za preradu i pripremu plina za transport Centralne plinske stanice Molve I, II i III, te iz Sjevernog Jadrana. S obzirom na preostale rezerve, uz očekivani godišnji prirodni pad proizvodnje od 3 % do 7 %, predviđa se da će ekonomska proizvodnja prirodnog plina iz bušotina duboke Podravine trajati još oko 25 godina. Slika 7 prikazuje procjenu buduće proizvodnje prirodnog plina u Hrvatskoj u razdoblju do 2030. godine [4].

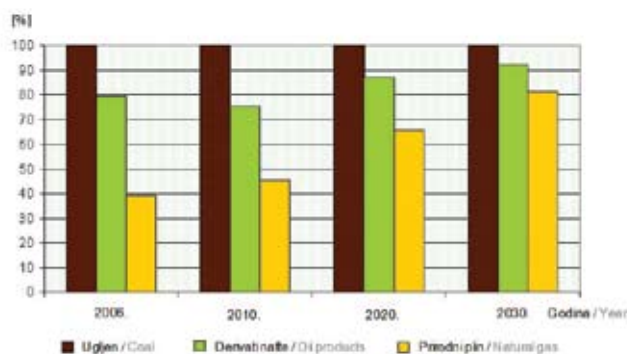
In Croatia natural gas is produced on 25 gas fields from 101 gas wells, which currently covers about 60 % of domestic natural gas needs. The most important natural gas production takes place on the exploitation fields Molve, Kalinovac and Stari Gradac (exploitation fields in geologically called Deep Podravina region) and exploitation field in northern Adriatic. On gas field Molve the Central Gas Station Molve I, II and III (gas processing plants) are built and used for processing and transport preparations of natural gas. Based on the remaining reserves and the expected production decrease at the annual rate of 3 % to 7 %, the economical production of natural gas from the wells of Deep Podravina is expected to last for another 25 years. Figure 7 shows the estimated future natural gas output in Croatia in the period up to 2030 [4].



Slika 7 — Procjena domaće proizvodnje prirodnog plina u razdoblju do 2030. godine [4]
Figure 7 — Estimated domestic natural gas production in the period up to 2030 [4]

Na temelju iznesenih procjena vidljivo je kako će nakon 2015. godine, a naročito nakon 2020. godine, proizvodnja prirodnog plina padati, a uvoz intenzivno rasti. Iz sve veće uvozne zavisnosti proizlazi i porast osjetljivosti energetskog sektora i time cjelokupnog gospodarstva Hrvatske o svim zbivanjima, pa i mogućim poremećajima, na međunarodnim tržištima energije. Posebna osjetljivost izražena je u odnosu na međunarodno tržište nafte i potom međunarodno tržište prirodnog plina. Izloženost gospodarstva Hrvatske oscilacijama međunarodnih energetskih tržišta s obzirom na uvoz prirodnog plina rast će, jer će se, prema predviđanjima, uvozom prirodnog plina 2015. godine zadovoljavati 50 % domaćih potreba za prirodnim plinom, a nakon 2020. godine 65 % domaćih potreba (slika 8).

The above estimates indicate that after 2015, especially after 2020, natural gas production is going to decrease, with imports surging. Increasing dependence on natural gas imports implies increasing vulnerability of the energy sector and thereby the entire Croatian economy to any developments, including possible disruptions, on international energy markets. Such vulnerability is particularly felt in relation to international oil market, followed by gas markets. Croatia's exposure to oscillations on international energy markets in respect of natural gas imports will grow, because, as predicted, by 2015 natural gas imports will cover 50 % of domestic needs, and after 2020 65 % (Figure 8).



Slika 8 — Ovisnost Hrvatske o uvozu energije [3]
Figure 8 — Croatia's dependence on energy imports [3]

Kao što je vidljivo iz navedenog, a i sa slike 8, predviđa se da će potrošnja prirodnog plina u Hrvatskoj sve više rasti, a posljedica će biti i povećanje uvoza prirodnog plina.

It follows from the aforesaid, and as shown in Figure 8, that natural gas consumption in Croatia will be increasing and the result of it will be an increase in natural gas imports.

Kako bi se osigurala dostatne količine prirodnog plina za zadovoljavanje buduće potrošnje, Republika Hrvatska će morati dugoročno osigurati nove dobavne pravce prirodnog plina.

In order to secure sufficient quantities of natural gas for future consumption, Croatia will have to assure new natural gas supply directions on a long-term basis.

3 OSIGURAVANJE NOVIH DOBAVNIH PRAVACA

3 ASSURANCE OF NEW SUPPLY DIRECTIONS

U Hrvatskoj više od dvije trećine prirodnog plina dolazi iz domaće proizvodnje, pri čemu se dio proizvodnje izvozi prema ugovoru o podjeli proizvodnje između INE d.d. i talijanske tvrtke Agip, koja je sudjelovala investiranjem u razradu i privođenje proizvodnji plinskih polja u Sjevernom Jadranu. Ostatak potreba se zadovoljava uvozom iz Rusije preko granične ulazne točke Rogatec u hrvatski plinski transportni sustav.

In Croatia more than two thirds of natural gas consumption is covered by domestic production, of which a part is exported under a long-term production sharing agreement between INA Co. and Agip, the Italian company which participated by investing in the joint venture project of gas exploration and production from northern Adriatic. The rest of the needs is covered by natural gas import from Russia via Rogatec border crossing point into the Croatian gas transport system.

Razvoj potreba za prirodnim plinom u Hrvatskoj i uključivanje u energetska infrastrukturu neposrednog i šireg europskog okruženja nalaže osiguranje novih pravaca uvoza prirodnog plina i dovršetak izgradnje hrvatskog transportnog sustava:

- izgradnja terminala za ukapljeni prirodni plin (UPP), izgradnja tranzitnog plinovoda i njegovo uključivanje u transportni sustav PLINACRO-a,
- dovršenje izgradnje magistralnog plinovodnog sustava tlaka 75 bara u istočnoj Slavoniji i prema Dalmaciji te izgradnja transportnog sustava na svim područjima gdje je to gospodarski opravdano u odnosu na opskrbu UNP-om,
- realizacija Jadransko – Jonskog pravca uvoza prirodnog plina.

4 POTREBE ZA IZGRADNJOM SKLADIŠNIH KAPACITETA

Hrvatska raspolaže jednim skladištem prirodnog plina (PSP) Okoli. Godišnje količine utisnutog plina u PSP Okoli kreću se u rasponu od $250 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ do $450 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, a godišnja proizvodnja plina sa PSP Okoli iznosi oko $220 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ do $380 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ [6]. S obzirom na sagledavanje budućih potreba i projekciju potrošnje te vrlo značajne sezonske razlike u potrošnji plina, koje će osobito doći do izražaja tijekom sljedećih desetak godina, bilo bi potrebno osigurati skladišne kapacitete otprilike na razini od 20 % godišnje potrošnje, što odgovara ukupnim kapacitetima skladišta od $0,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ 2010. godine te oko $1,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ skladišta u 2020. godini. To bi nalagalo izgradnju novih skladišnih kapaciteta od blizu $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ do 2010. godine, odnosno udvostručenje sadašnjeg ukupnog kapaciteta skladišta prirodnog plina do 2020. godine [4].

Direktivama Europske unije i zakonima Hrvatske nisu predviđene obvezne zalihe prirodnog plina (iako ih neke zemlje Europske unije propisuju). Sigurnost opskrbe prirodnim plinom bitno će se povećati izgradnjom terminala za UPP i njegovih velikih skladišnih kapaciteta.

Ocjenuje se stoga da je dovoljno da obvezne zalihe prirodnog plina budu na razini sedmodnevnih potreba u prosječnom, meteorološki najnepovoljnijem zimskom razdoblju, što iznosi oko 5 % godišnje potrošnje. Proizlazi da bi u 2020. godini za projiciranu razinu potrošnje prirodnog plina bilo nužno osigurati mogućnost skladištenja na razini 30 % godišnje potrošnje ili $790 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, od čega na sezonsko skladištenje otpada $660 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ [4].

Sve intenzivnija upotreba prirodnog plina, porast geopolitičke uloge prirodnog plina koji na istovr-

The growing needs for natural gas in Croatia and the inclusion in the energy infrastructure of the immediate and broader European surroundings requires new natural gas import directions and the completion of the Croatian transport system, viz.:

- construction of LNG-terminal, construction of transit gas pipe line and its connection with PLINACRO transport system,
- completion of the 75 bar gas pipeline in eastern Slavonia and towards Dalmatia, and construction of a natural gas pipeline system in all areas where commercially feasible in relation to LNG supply,
- realization of the Trans Adriatic Pipeline System project.

4 NEEDS FOR NEW NATURAL GAS STORAGE CAPACITIES

Croatia possesses one underground natural gas storage (UGS) on Okoli field. The annual natural gas injection into UGS range from $250 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ to $450 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, and the annual gas production from UGS Okoli amounts to $220 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ to $380 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ [6]. Considering the future needs and the projected consumption, plus major seasonal differences in natural gas consumption, which will be particularly felt for the next ten years, it would be necessary to provide storage capacities at the level of 20 % of annual consumption, which corresponds to total storage capacities of $0,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ in 2010 and about $1,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ in 2020. This would require the construction of new storage capacities of nearly $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ by 2010, meaning that by 2020 the present natural gas storage capacities would be doubled [4].

The EU Directives and the Croatian legislation do not provide for any obligatory natural gas reserves (although some Member States do). The security of natural gas supply will be greatly improved by the construction of the LNG terminal and its large storage facilities.

For that reason, it is considered sufficient to have the obligatory natural gas reserves at the level of 7-day needs in an average winter season, worst in terms of weather conditions, amounting to approximately 5 % of annual consumption. Therefore, in 2020 for the projected level of natural gas consumption it would be necessary to ensure storability at the level of 30 % of annual consumption, or $790 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, of which seasonal storage accounts for $660 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ [4].

The increasing consumption of natural gas, its rising geopolitical role suggesting that natural gas will have the same kind of political importance in

stan način pridonosi politizaciji plina u budućnosti, kao što je danas slučaj s naftom, plinifikacija Hrvatske kao i porast potrošnje plina nameću potrebu stvaranja strateških zaliha plina u perspektivi.

5 ZAKLJUČAK

Do 2030. godine može se računati s neizvjesnostima na globalnim energetske tržištima, povremenim nestabilnostima pa i krizama, što će svakako imati za posljedicu veću osjetljivost energetske tržišta malih zemalja poput Hrvatske, osobito u odnosu na uvoz nafte i cijene nafte. To je bitna činjenica o kojoj se mora voditi računa i koja predstavlja kritični element opskrbe prirodnim plinom Hrvatske. Stoga stvaranje osjećaja energetske sigurnosti i širenje te spoznaje u okruženju već samo po sebi pridonosi jačanju gospodarske stabilnosti te time pridonosi i sveukupnoj razini nacionalne sigurnosti u Hrvatskoj.

the future as crude oil has today, the expanding gas supply network and rising gas consumption in Croatia, all this imposes a need to create strategic gas reserves in the future.

5 CONCLUSION

What can be reckoned with in the period until 2030 are uncertainties on global energy markets, occasional instabilities and crises, which is bound to result in greater vulnerability of the energy markets of small countries like Croatia, especially with regard to oil imports and prices. This should be taken into consideration when planning future natural gas supply in Croatia. Creating conditions for safe energy supply contributes to economic stability and thereby to the overall national security of Croatia.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] DEKANIĆ, I., Nafta: blagoslov ili prokletstvo, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2007.
- [2] <http://www.bp.com>, BP Statistical Review of World Energy 2008, (26.6.2008.)
- [3] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Energija u Hrvatskoj, Godišnji energetske pregled 2006., Zagreb, 2007.
- [4] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Prilagodba i nadogradnja Strategije energetskeog razvitka Republike Hrvatske, Nacrt Zelene knjige, Zagreb: 17. srpnja 2008.
- [5] Plinsko gospodarstvo Hrvatske 2007, HSUP – Hrvatska stručna udruga za plin, Zagreb, 2008.
- [6] www.ina.hr, (23.10.2008.)

Adrese autora:

Authors' Adresses:

Dr. sc. **Lidia Hrnčević**
lidia.hrncevic@rgn.hr,
Prof. dr. sc. **Igor Dekanić**
igor.dekanic@rgn.hr,
Dr. sc. **Daria Karasalihović Sedlar**
daria.karasalihovic-sedlar@rgn.hr
Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Pierottijeva 6
10000 Zagreb
Hrvatska

Lidia Hrnčević, D.Sc.
lidia.hrncevic@rgn.hr,
Prof. **Igor Dekanić**, D.Sc.
igor.dekanic@rgn.hr,
Daria Karasalihović Sedlar, D.Sc.
daria.karasalihovic-sedlar@rgn.hr
University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6
10000 Zagreb
Croatia

Uredništvo primilo rukopis:
2009-01-22

Manuscript received on:
2009-01-22

Prihvaćeno:
2009-02-05

Accepted on:
2009-02-05

PERSPEKTIVE DERIVATA BILJNIH ULJA ZA ENERGETSKE POTREBE SEOSKE POLJOPRIVREDE U INDIJI PROSPECTS OF VEGETABLE OIL DERIVATIVES FOR RURAL AGRICULTURAL ENERGY IN INDIA

Samir J. Deshmukh – Lalit B. Bhuyar – Shashank B. Thakre, Badnera,
Amravati, Indija

Svijet je suočen s dvojnóm krízom: krízom nestajanja fosilnih goriva i krízom degradacije okoliša. Alternativna goriva, očuvanje i upravljanje energijom, energetska učinkovitost i zaštita okoliša posljednjih su godina dobili na značenju. Kao alternativa dizel gorivu dosta obećavaju esterificirana biljna ulja koja su ekološki vrlo pogodna. U ruralnoj Indiji 90 % potreba za naftom otpada na poljoprivrednu mehanizaciju poput traktora i vršilica. Poljoprivrednici koji posjeduju marginalna i velika zemljišta mogu ispuniti zahtjeve dizel goriva tako da siju uljarice na vlastitoj zemlji. U ovom radu procjenjuje se isplativost lokalne proizvodnje biljnih ulja u jednom malom oglednom selu u središnjoj Indiji. Analiziraju se metilni esteri masnih kiselina iz ulja pamukovog sjemena, sojinog ulja, ulja balanitesa i jatrofina ulja da bi se ustanovila njihova svojstva i radni učinak u dizel motoru, a procjenjuje se i potrebna površina zemljišta za uzgoj tih uljnih kultura kako bi se udovoljilo potrebama seoske poljoprivrede za gorivom. Rezultati pokazuju da kalorična vrijednost metilnih estera iznosi 93 % dizela, a i druga su svojstva posve usporediva s dizelom. Analiza radnog učinka metilnih estera u motoru pokazuje neznatno smanjenje toplinske učinkovitosti od oko 3,23 %, dok su emisije smanjene za 8 % do 10 % u usporedbi s dizelom. Izvršena je i ekonomska analiza te je ustanovljeno da je korištenje derivata biljnih ulja kao zamjene za dizel gorivo skuplje od korištenja mineralnog dizela.

The world is confronting the twin crises of fossil fuel depletion and environmental degradation. Alternative fuels, energy conservation and management, energy efficiency and environmental protection have become increasingly important in recent years. Among alternative fuels, esterified vegetable oils hold good promise as eco-friendly alternatives to diesel fuel. In rural India, 90 % of the petroleum diesel requirement is for agricultural equipment such as tractors and threshers. Marginal farmers and large landholders can meet their diesel requirement by sowing oil yielding crops on their own lands. This paper evaluates the feasibility of the local production of vegetable oil for a small representative village in central India. Fatty acid methyl esters of cottonseed oil, soybean oil, balanites oil and jatropha oil were analyzed for their properties and performance in diesel engines. The land required to grow these oil crops in order to meet rural agricultural diesel requirements was estimated. The results indicate that the calorific value of these methyl esters is 93 % that of diesel and the other properties are quite comparable with diesel. Engine performance analysis of these methyl esters indicates that there is a slight decrease in thermal efficiency of approximately 3,23 %, while emissions are reduced by 8 % to 10 % as compared to diesel. Economic analysis was also performed and it was found that vegetable oil derivatives as diesel fuel substitutes are costlier than mineral diesel.

Ključne riječi: biodizel; esteri; transesterifikacija; biljna ulja
Keywords: biodiesel; esters; transesterification; vegetable oils



1 UVOD

Dizel goriva imaju bitnu ulogu u gospodarstvu pojedine zemlje. Ona se koriste za pogon teških kamiona, autobusa u gradskom prijevozu, lokomotiva, električnih generatora, poljoprivredne mehanizacije, rudarske opreme, itd. Rastuće cijene dizel goriva i sve manje rezerve nafte potiču nas na traženje alternativnih goriva. Alternativna goriva trebaju biti lako dostupna, neškodljiva za okoliš te tehnološki i ekonomski konkurentna. Jedno od takvih goriva su trigliceridi (biljna ulja/životinjske masti) i njihovi derivati [1]. Biljna ulja imaju oko 88 % energijskog sadržaja naftnog dizela [2]. I biljna ulja i njihovi esteri obećavajuće su alternative kao goriva za dizel motore.

Problemi povezani s biljnim uljima za vrijeme ispitivanja motora mogu se svrstati u dvije velike skupine i to u probleme radne naravi i probleme izdržljivosti. Radni problemi odnose se na pokretanje motora, paljenje, izgaranje i radni učinak. Problemi izdržljivosti odnose se na formiranje naslaga, pougljenjivanje vrha sapnica za ubrizgavanje, zapinjanje prstena i razrjeđivanje ulja za podmazivanje. Primijećeno je da čista biljna ulja, kad se rabe puno sati, mogu zagušiti filter goriva zbog visoke viskoznosti i netopljivosti svojstvene čistim biljnim uljima. Visoka viskoznost, višestruko nezasićeni karakter i veoma niska hlapljivost biljnih ulja odgovorni su za radne probleme i probleme izdržljivosti u njihovu korištenju kao goriva u dizel motorima. Visoka viskoznost biljnih ulja uzrok je slabog raspršivanja goriva, velike veličine kapljica i time velike penetracije sprej mlaza. Mlaz ima tendenciju postati kruta struja umjesto sprej sitnih kapljica. Stoga se gorivo ne distribuira, odnosno ne miješa za zrakom potrebnim za izgaranje u komori izgaranja. Posljedica je toga slabo izgaranje popraćeno gubitkom snage i ekonomičnosti [3].

Različiti načini smanjenja ovih parametara uključuju razrjeđivanje, mikroemulziju, pirolizu, katalitičko krekiranje i transesterifikaciju. Zbog jednostavnosti postupka i glicerola koji se dobiva kao komercijalno vrijedan nusproizvod, postupku transesterifikacije daje se prednost pred ostalima [4]. Postupak transesterifikacije je reakcija triglicerida iz masti ili ulja s bioalkoholom, čime se formiraju esteri (biodizel) i glicerol [5]. Najbolji način korištenja biljnih ulja kao goriva jest njegova pretvorba u biodizel. Biodizel se definira kao monoalkilni esteri dugolančanih masnih kiselina dobivenih iz obnovljivih sirovina, kao što su biljna ulja ili životinjske masti za uporabu u motorima na kompresiju i paljenje [6]. Za izgaranje biodizela navodi se u više izvora da ima niže emisije u usporedbi s naftnim dizelom, odnosno niže emisije SO₂, čađe, ugljičnog monoksida (CO) i ugljikohidrata (HC). Za emisije NO_x iz biodizela navodi se da imaju raspon

1 INTRODUCTION

Diesel fuels have an essential function in the industrial economy of a country. They are used in heavy trucks, city transport buses, locomotives, electric generators, farm equipment, underground mine equipment etc. The increasing prices of diesel fuel and decreasing reserves prompt us to search for alternative fuels. Alternative fuels should be easily available, environment friendly and techno-economically competitive. Such fuels include triglycerides (vegetable oils/animal fats) and their derivatives [1]. Vegetable oils have about 88 % of the energy content of petroleum diesel [2]. Both vegetable oils and their esters are promising alternative fuels for diesel engines.

The problems associated with vegetable oils during engine tests can be classified into two broad groups, operational and durability. Operational problems are related to starting ability, ignition, combustion and performance. Durability problems are related to deposit formation, carbonization of the injector tip, ring sticking and lubricating oil dilution. It has been observed that when straight vegetable oils are used for long hours, they tend to clog the fuel filter because of their high viscosity and insolubility. The high viscosity, polyunsaturated character and extremely low volatility of vegetable oils are responsible for the operational and durability problems associated with their utilization as fuels in diesel engines. The high viscosity of vegetable oils causes poor fuel atomization, large droplet size and thus high spray jet penetration. The jet tends to be a solid stream instead of a spray of small droplets. As a result, the fuel is not distributed or mixed with the air required for burning in the combustion chamber. This results in poor combustion accompanied by decreased power and economy [3].

Various means to reduce these parameters include dilution, microemulsion, pyrolysis, catalyst cracking and transesterification. Because of the simple process and glycerol obtained as a by-product, which has commercial value, the transesterification process is preferred over others [4]. The transesterification process is the reaction of the triglycerides of the fat or oil with bioalcohol to form esters (biodiesel) and glycerol [5]. The best way to use a vegetable oil as fuel is to convert it into biodiesel. Biodiesel is defined as the mono-alkyl esters of long-chain fatty acids derived from renewable feedstock, such as vegetable oils or animal fats, for use in compression-ignition engines [6]. The combustion of biodiesel has been reported in a number of works to have lower emissions than petroleum diesel, with lower emission of SO₂, soot, carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC). NO_x emissions from biodiesel are reported

između plus ili minus 10 % u usporedbi s petrodizelom [7], [8] i [9].

U ovom se radu nastoji dati pregled mogućnosti korištenja čistih biljnih ulja i biodizela za ruralne energetske potrebe, raspoloživih postupaka i karakteristika goriva, te analiza učinka i ekonomska analiza proizvodnje biodizela.

2 ZNAČAJKE SELA I NJEGOVE ENERGETSKE POTREBE

U ovoj studiji ocjenjuje se isplativost biodizela za poljoprivredne namjene za jedno selo u ruralnom području Indije. Riječ je o selu Shivar u kotaru Amravati pokrajine Vidarbha države Maharashtra. Selo ima 1 500 jutara zemlje i 1 250 stanovnika (400 domaćinstava). Poljoprivreda je glavna gospodarska djelatnost (pamuk, soja i bijeli grah). Veliki i srednji zemljoposjednici posjeduju 80 % poljoprivrednog zemljišta, oko 25 do 30 jutara, dok mali i sitni zemljoradnici posjeduju od 1 do 7 jutara. Zastupljenost pojedinih kultura prikazana je u tablici 1.

to have a range of 10 % in comparison to petrodiesel [7], [8] and [9].

The present paper is an attempt to review the possibilities for using neat vegetable oils and biodiesel for rural energy requirements, the processes available, fuel characteristics, performance analysis and an economic analysis of biodiesel production.

2 VILLAGE CHARACTERIZATION AND ENERGY DEMAND

In the present study, the feasibility of biodiesel for agricultural applications is evaluated for a rural Indian village, Shivar, in the Amravati District, Vidarbha Region of the State of Maharashtra. This village has 1 500 acres of land and 1 250 people (400 households). The primary economic activity is agriculture (cotton, soy and gram). Large and medium-size landholders occupy 80 % of the agricultural land, owning about 25 acres to 30 acres each, while small and marginal farmers possess about 1 to 7 acres. The land occupied by various crops in the village is presented in Table 1.

Tablica 1 – Postotak zemlje zasađen različitim kulturama
Table 1 – Percentage share of land occupied by various crops

| Kultura / Crop | [%] korištene zemlje / of land occupied |
|--|---|
| Mahunarke (azijski grah, slanutak/bijeli grah) / Pulses (Mung, Tur/Gram) | 40 |
| Pamuk / Cotton | 35 |
| Soja / Soybean | 20 |
| Suncokret / Sunflower | 5 |

Kako se obrađivana zemlja ne navodnjava, opterećenje navodnjavanja iznosi nula. Stambeno korištenje odnosi se uglavnom na rasvjetu i radio/televiziju, dok se ostale energetske potrebe odnose na poljoprivredu, tj. na traktore i vršilice. U tablici 2 dan je sažetak procijenjenih energetske potreba sela.

Since 100 % of the land under cultivation is non-irrigated, the irrigation load is nil. Residential uses are mostly for lighting and radio/television. Other energy uses involve energy required for agriculture, such as for powering tractors and threshers. Table 2 summarizes the estimated power requirement for the village.

Tablica 2 – Procjena potreba za energijom u kontekstu potrošnje dizela za rasvjetu i poljoprivredu
Table 2 – Estimated energy demand in terms of diesel for lighting and the agricultural sector

| | | | | |
|--|--|---------------------------------------|--------------------------|--|
| Rasvjeta stambena / Lighting Residential | 0,08 kW/kućanstvo / house x 400 | 4 h/d / 4 h/d | 128 kWh/d / 128 kWh/d | 70 l dizela/d (25 550 l/god. / 70 l of diesel/d (25 550 lit/year) |
| Rasvjeta ulična / Lighting streetlights | 0,06 kW/rasvjeta / light x 100 | 4 h/d / 4 h/d | 24 kWh/d / 24 kWh/d | 15 l dizela/dan (5 475 l/god.) / 15 l of diesel/d (5 475 l/year) |
| Poljoprivreda: Traktori / Agricultural: Tractors | 3,75 l/jutro po / smjeni x 1 500 / 3,75 l/acre per shift x1 500 | 6 smjena/god. / shift/year | | 33 750 l dizela/god. / 33 750 l of diesel/year |
| Poljoprivreda: Vršilice / Agricultural: Threshers | 5 l/jutro kulture x 1 500 / 5 l/acre of crop x 1 500 | Srednja vrijednost / Mean value | | 7 500 l dizela/god. / 7 500 l of diesel/year |

Odgovarajuće potrebe za dizelom za rasvjetu izračunavaju se uzimajući u obzir da toplinska učinkovitost motora iznosi 25 %. Poljoprivredne potrebe za dizelom evidentiraju se putem terenskih proba i zatim se izračunavaju tako da se uzima prosjek radova obavljenih traktorima i vršilicama. Budući da se dio poljoprivrednih djelatnosti obavlja pomoću volovske zaprege, opterećenje traktora razmjerno se smanjuje. Energetska potreba iznosi oko:

31 025 l (rasvjeta) + 41 250 l (poljoprivreda)
= 72 275 l dizela.

Kad se doda 5 % s obzirom na niže toplinske vrijednosti biodizela i 6 % na eventualno dodatno opterećenje, potražnja za biodizelom doseže 80 000 litara godišnje.

3 BIODIZELSKI SUSTAV

Ruralni biodizelski sustav obuhvaća uzgoj uljarica, prešanje sjemenki u ulje, obradu ulja u biodizel transesterifikacijom, uporabu tog biodizela za pogon poljoprivrednih strojeva i proizvodnju električne energije pomoću agregata, kao što je prikazano na slici 1.

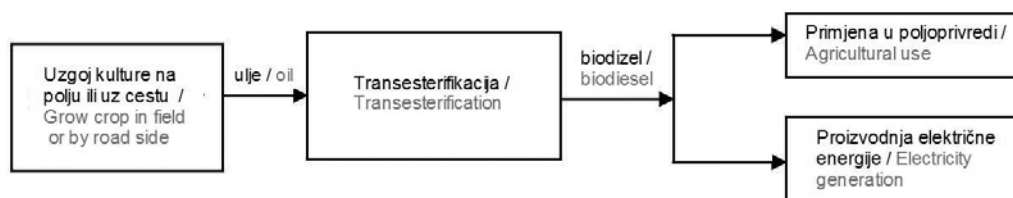
The equivalent diesel requirement for lighting purposes is calculated, assuming the thermal efficiency of the engine to be 25 %. The agricultural diesel requirement is recorded by conducting field trials and then calculated by taking the average of the work performed by tractors and threshers. Since part of the agricultural activity is shared by bullock-drawn implements, the tractor load is reduced somewhat to the said value. The energy required is about

31 025 l (lighting) + 41 250 l (agricultural)
= 72 275 l of diesel.

Adding 5 % due to the lower heating values of biodiesel and 6 % for the additional load, if any, the biodiesel requirement reaches 80 000 l/year.

3 BIODIESEL SYSTEM

The rural biodiesel system involves growing oil crops, pressing the seeds into oil, processing the oil into biodiesel by transesterification, using this biodiesel to power agricultural equipment and employing generators for electricity generation as shown in Figure 1.



Slika 1 – Opći dijagram protoka za ruralnu proizvodnju biodizela
Figure 1 – General flow diagram for rural biodiesel production

3.1 Ulja za proizvodnju biodizela

Glavni resursi biljnih ulja koji se uzgajaju u dotičnom području jesu pamuk, suncokret i soja, dok je ulje balanitesa potpuno neiskorišteni prirodni resurs. Balanites ili hingan je višenamjensko drvo poznato po svojoj mnogostrukoj uporabi kao ogrjevno drvo, drveni ugljen, građevno drvo, krma i dr. Plodovi su mu jestivi, a sjeme se drobi za proizvodnju ulja. U suhom stanju koštica teži 15 % do 18 % težine ploda, te sadrži 45 % do 47 % ulja [10]. U dotičnom području toga drveta ima u izobilju uz ceste. Prosječni prinos ulja od različitih uljnih sjemenki u tom području zajedno s jatrofom izračunava se putem istraživanja provedenih u selu, a podaci o prinosu uzimaju se kao prosjek prinosa zadnje tri godine. Sastav masnih kiselina tih ulja naveden je u tablici 3.

3.1 Oils for biodiesel production

The primary resources of vegetable oil cultivated in the said area are cotton, sunflower and soy, whereas balanites oil is a natural resource that is totally unutilized. Balanites or hingan is a multipurpose tree known for its many uses as fuel wood, charcoal, timber, fodder etc. The fruits are edible and the seeds are crushed to produce oil. On a dry basis, the kernel weight is 15 % to 17 % of the fruit, which contains 45 % to 47 % oil [10]. It is abundantly available in the said area along the roadside. The average oil yields from various oil seeds available in the said area along with jatropa were calculated by conducting a survey in the village and the data for the yield were taken as the average of the last three years' yield. The fatty acid compositions of these oils are given in Table 3.

Tablica 3 – Sastav masnih kiselina sirovog pamukovog sjemena, sojinog ulja, ulja suncokreta i ulja balanitesa
Table 3 – Fatty acid compositions of crude cottonseed, soybean, sunflower and balanites oils

| Sastav masnih kiselina (težinski %) / Fatty acid Composition (wt %) | Ulje pamukovog sjemena / Cotton seed oil | Sojino ulje / Soybean oil | Ulje suncokreta / Sunflower oil | Ulje balanitesa / Balanites oil | Jatrofino ulje / Jatropha oil |
|--|--|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Palmitinska kiselina / Palmitic (C _{16:0}) | 11,67* | 11,75 | 6,0 | 17 | 14,2 |
| Palmitolinska kiselina / Palmitolic (C _{16:1}) | – | – | – | 4,3 | 1,4 |
| Stearinska kiselina / Stearic (C _{18:0}) | 0,89** | 3,15 | 3,0 | 7,8 | 6,9 |
| Oleinska kiselina / Oleic (C _{18:1}) | 13,27 | 23,26 | 17,0 | 32,4 | 43,1 |
| Linolna kiselina / Linoleic (C _{18:2}) | 57,51*** | 55,53 | 74,0 | 31,3 | 34,4 |
| Linolinska kiselina / Linoleic (C _{18:3}) | – | 6,31 | – | 7,2 | – |
| Zasićena / Saturated | 12,56 | 14,9 | 26,0 | 24,8 | 21,1 |
| Nezasićena / Unsaturated | 87,44 | 85,1 | 74,0 | 75,2 | 78,9 |

* 2002.: 22 – 28 [2]

** 2002.: 1 – 2 [2]

*** 2002.: 58 – 59 [2]

Budući da je udio uzgoja ricinusa i suncokreta u dotičnom području manji zbog neizvjesnosti uroda, ta se ulja ne uzimaju u obzir za proizvodnju biodizela. Biodizel ulja pamukovog sjemena, sojinog ulja, ulja balanitesa i jatrofina ulja izrađen je i ispitan kako bi se ustanovile osobine i učinske karakteristike u dizel motoru. Izračunat je trošak proizvodnje biodizela s obzirom na tržišnu cijenu ulja pamukovog sjemena, sojinog ulja, ulja balanitesa i jatrofina ulja (tablica 4 i tablica 5).

Since the cultivation share of castor and sunflower in the said area is lower due to the uncertainty of the yield, these oils are not considered for biodiesel production. Biodiesels of cottonseed oil, soybean oil, balanites oil and jatropa oil were prepared and tested for properties and performance analysis of a diesel engine. The costs of making biodiesel, taking into account the market prices for cottonseed oil, soybean oil, balanites oil and jatropa oil, are calculated (Tables 4 and 5).

Tablica 4 – Trošak biodizela proizvedenog iz različitih ulja s obzirom na tržišnu cijenu ulja u rupijama [INR]
Table 4 – Costs of biodiesel produced from various oils, taking into account the market prices of oils in [INR]

| Pojedinosti / Particulars | Soja / Soyabean | Pamukovo sjeme / Cottonseed | Balanites / Balanites | Jatrofa / Jatropha |
|--|-----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Trošak ulja (90 % prinosa estera / yield of ester) / Oil cost/l [INR/l] | 55,00 | 45,00 | 45,00 | 50,00 |
| Metanol / Methanol | 4,05 | 4,05 | 4,05 | 4,05 |
| Reagensi / Reagents | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| Električna energija / Electricity | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Pročišćavanje / Purification | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Radna snaga / Labor | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| Ukupno / Sub total | 61,65 | 51,65 | 51,65 | 56,65 |
| Dohodak od prodaje nusproizvoda (glicerola) / Revenue from by-product (glycerol) sales | 4,35 | 4,35 | 4,35 | 4,35 |
| Sveukupno (trošak minus dohodak po litri biodizela u rupijama / Total (cost less revenue)/ litre of biodiesel in [INR/l] | 57,3 | 47,30 | 47,30 | 52,3 |
| Sveukupno (trošak minus dohodak po litri biodizela / Total (cost less revenue)/ litre of biodiesel [USD/l] | 1,32 | 1,09 | 1,09 | 1,21 |

Tablica 5 – Prinos ulja po jutru za razne sorte uljnog sjemena u dotičnom području
Table 5 – Oil yields per acre for various oil seeds in the said area

| Kultura / Crop | Prinos ulja / Oil yield [kg/ha] | Biodizel ^a / Biodiesel (BD) [kg/ha] | Prinos BD-a u l/jutro / BD yields l/acre ^b | Jutra zemlje potrebna za 80 000 l BD-a / Acres needed per 80 000 l of BD |
|-----------------------|---------------------------------|--|---|--|
| Pamuk / Cotton | 325 | 309 | 138 | 580 |
| Soja / Soybean | 446 | 424 | 188 | 426 |
| Suncokret / Sunflower | 952 | 904 | 401 | 200 |
| Ricinus / Castor | 1413 | 1342 | 596 | 134 |
| Balanites / Balanites | 1800 | 1710 | 760 | 106 |
| Jatrofa* / Jatropha* | 1892 | 1798 | 799 | 100 |

*još nema izvješća o sadnji iste u navedenom području, a – za 95 % iskorištenja, b – pretpostavlja se 0,9 kg/l /
*No plantation reported yet in the said area, a – 95 % recovery, b – 0,9 kg/l assumed

4 POKUSI

Ova studija podijeljena je na tri dijela, kako slijedi: prvo, esterifikacija, drugo, utvrđivanje svojstva i treće, analiza radnog učinka u motorima na kompresiju i ubrizgavanje i isplativosti u ruralnom području.

4.1 Transesterifikacija

Najčešći derivati poljoprivrednog ulja za gorivo jesu metilni esteri. Oni se formiraju transesterifikacijom ulja s metanolom ili etanolom u prisutnosti nekog baznog katalizatora da bi se dobili metilni ili etilni esteri i glicerol. U ovoj studiji koristi se

4 EXPERIMENTAL

The present study is divided into three basic parts: esterification, property determination, performance analysis of a CI engine and feasibility in a rural area.

4.1 Transesterification

The most common derivative of agricultural oil for fuel is methyl esters. These are formed by the transesterification of the oil with methanol or ethanol in the presence of a base catalyst to yield methyl or ethyl esters and glycerol. In the present study, a simple alkaline transesterification pro-

jednostavni postupak alkalne transesterifikacije da bi se proizveo metilni ester od ulja pamukovog sjemena, sojinog ulja i ulja balanitesa. Katalizator koji se koristi u toj reakciji jest kalijev hidroksid (KOH). Kemijska reakcija postupka transesterifikacije [11] prikazana je pomoću donjih triju konsekvutivnih i reverzibilnih jednadžbi:



cess as discussed in [tobacco] is used to prepare methyl ester from cottonseed oil, soybean oil and balanites oil. The catalyst used in the reaction is potassium hydroxide (KOH). The chemical reaction of the transesterification process [11] is represented by the three consecutive and reversible equations below:

4.2 Utvrđivanje gorivih svojstava estera i dizela

Metilni ester ulja pamukovog sjemena (CSOME), metilni ester sojinog ulja (SOME), metilni ester jatrofina ulja (JOME) i metilni ester ulja balanitesa (BOME) ispituju se kako bi se ustanovile njihove učinske i emisijske karakteristike u četverotaktnom dizel motoru s jednim cilindrom i to usporedilo sa standardnim podacima za dizel gorivo. Gustoća različitih goriva mjerila se pomoću boce za određivanje specifične težine. Kinematička viskoznost mjerila se pomoću Redwoodovog viskozimetra broj 1. Kalorična vrijednost i palište mjerili su se pomoću kalorimetrijske bombe, odnosno Pensky-Martensovog uređaja za određivanje temperature paljenja u zatvorenoj posudi. Dean-Starkov aparat korišten je za mjerenje sadržaja vode. Sadržaj koksa mjereno je Conradsonovim ispitivačem udjela ugljika. Za mjerenje sadržaja pepela u lonac za taljenje stavljen je uzorak goriva od 10 g i grijan na 600 °C u Muffleovoj peći u trajanju od dva sata. Pepeo koji se formirao nakon grijanja i izgaranja vagan je da bi se utvrdio sadržaj pepela u gorivu. Uređaj za određivanje stiništa korišten je za mjerenje stiništa različitih goriva. U tablici 6 prikazana su razna svojstva utvrđena za estere i dizel.

4.3 Analiza učinka motora

S obzirom na specifične značajke dizel motora, tj jedan cilindar, konstantan broj okretaja (1 500 o/min), vodeno hlađenje, direktno ubrizgavanje uz nominalnu snagu od 3,7 kW, za ovo istraživanje odabran je motor na kompresiju i ubrizgavanje koji je u širokoj uporabi u poljoprivrednom

4.2 Determination of the fuel properties of esters and diesel

Cottonseed oil methyl ester (CSOME), soybean oil methyl ester (SOME), jatropha oil methyl ester (JOME) and balanites oil methyl ester (BOME) were studied for the performance and emission characteristics of a single-cylinder four-stroke diesel engine and compared with baseline data for diesel fuel. The densities of the fuels were measured using a relative density bottle. Kinematic viscosity was measured using a No. 1 Redwood viscometer. Calorific value and flash point were measured using a bomb calorimeter and Pensky-Martens closed cup flash point apparatus, respectively. A Dean & Stark apparatus was used to measure water content. Carbon residue was measured using a Conradson carbon residue tester. To measure ash content, a 10 g sample of fuel was taken in a crucible and heated at 600 °C in a Muffle furnace for 2 h. The ash formed after heating and combustion was weighed to determine the ash content of the fuel. A pour point apparatus was used to measure the pour points of the various fuels. Table 6 presents the properties determined for the esters and diesel.

4.3 Engine performance analysis

Considering the specific features of a diesel engine, i.e. single cylinder, constant speed (1 500 rpm), water cooled and direct injection with a rated output of 3,7 kW, a CI engine that is widely used in the agricultural sector was selected for this investigation. The engine was coupled to an electrical generator. The major pollutants in the exhaust of a diesel engine are smoke and nitrogen oxides. A

sektoru. Motor je spojen s agregatom. Glavni za-
gađivači u ispuhu dizel motora jesu dim i dušični
oksidi. Nissan-Boschov mjerač dima korišten je za
mjerenje gustoće ispušnog dima iz dizel motora.

Motor je radio najprije na dizel, potom na metilne
estere biljnih ulja. Učinski podaci analizirani su
zatim temeljem grafičkih prikaza toplinske učin-
kovitosti, omjera potrošnje goriva i proizvedene
snage, te gustoće dima za sva goriva.

4.4 Prinos ulja za različite kulture u dotičnom području

Što se tiče uljnog prinosa pamuka, ricinusa, sun-
cokreta i balanitesa, provedeno je detaljno ispiti-
vanje u dotičnom području te je u svrhu proračuna
razmatran prosječan prinos u posljednje tri go-
dine, pri čemu su podaci o prinosu jatrofina ulja
preuzeti iz dostupne literature.

5 REZULTATI I RASPRAVA

5.1 Transesterifikacija:

Izvedena transesterifikacijska reakcija pokazuje
da, kad molarni omjer metanola i ulja iznosi oko
6:1 uz 1 do 1,25 težinskog postotka katalizatora
KOH, dobiva se prinos estera veći od 95 %: bilanca
mase za transesterifikaciju izvedenu za sva tri ulja
na prosječnoj osnovi dana je u donjoj jednadžbi:



5.2 Svojstva estera:

Značajna svojstva estera CSOME, SOME, JOME i
BOME u usporedbi s dizelom prikazana su u ta-
blici 6. Svojstva metilnih estera sojinog ulja, ulja
pamukovog sjemena i ulja balantinesa posve su
usporediva s dizelom.

Nissan Bosch smoke meter was used to measure
the smoke density of the exhaust from the diesel
engine.

The engine was first operated on diesel and then
on vegetable oil methyl esters. The performance
data were analyzed from graphs recording the
thermal efficiency, brake-specific fuel consump-
tion and smoke density for all the fuels.

4.4 Oil yield for various crops in the region

To determine the oil yields of cotton, soybean, ca-
stor, sunflower and balanites, a detailed survey
was conducted in the said area and the average
yields of the last three years were used for calcu-
lation purposes. The jatropha oil yield was taken
from the available literature.

5 RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Transesterification

The transesterification reaction performed shows
that methanol to oil in the molar ratio around 6:1
together with 1 wt % to 1,25 wt % of catalyst KOH
results in an ester yield of over 95 %. The avera-
ge mass balance for the transesterification of all
three oils is given in the equation below:

5.2 Properties of esters:

The important properties of CSOME, SOME, JOME
and BOME in comparison to diesel are given in Ta-
ble 6. The properties of the methyl esters of CSO,
SO and CBO are quite comparable to diesel.

Tablica 6 – Fizikalno-kemijska svojstva različitih metilnih estera
Table 6 – Physico-chemical properties of various methyl esters

| Svojstvo / Property | CSOME | SOME | JOME | BOME | Dizel / Diesel |
|---|------------------|-------------------|-------|-------|----------------|
| Gustoća / Density, [kg/m ³] | 882 ¹ | 885 | 879 | 860 | 850 |
| Viskoznost ^a / Viscosity ^a , Cst [mm ² /s] | 4,0 | 4,08 ² | 4,4 | 3,98 | 2,60 |
| Kalorična vrijednost / Calorific value [MJ/kg] | 40,32 | 39,76 | 39,85 | 39,65 | 43,5 |
| Kiselost / Acid value [mgKOH/g] | 0,32 | 0,15 | 0,28 | 0,34 | – |
| Palište / Flash point [°C] | 70 ³ | 145 ⁴ | 163 | 75 | 52 |
| Stinište / Pour point [°C] | –3 ⁵ | –16 ⁶ | –10 | –2,5 | –17 |
| Sadržaj vode / Water content [%] | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | – |
| Sadržaj pepela / Ash content [%] | 0,02 | 0,012 | 0,014 | 0,017 | 0,01 |
| Ostatak koksa / Carbon residue [%] | 0,1 | 0,1 ⁷ | 0,1 | 0,19 | 0,15 |

a – mjereno pri 40 °C

1 – 873 (2001); 2 – (3,05 – 4,08); 3 – 110 (2001); 4 – (141 – 171) (2001); 5 – (–4); 6 – [(–3) – (–1)] (2001); 7 – 0,3 (2001)

5.3 Analiza učinka i emisije motora:

Pokusi na motoru obavljani su uz različita opterećenja. Variranje različitih parametara motora i emisije grafički je prikazano u odnosu na primijenjeno opterećenje u kW.

5.3.1 Omjer potrošnje goriva i proizvedene snage (BSFC)

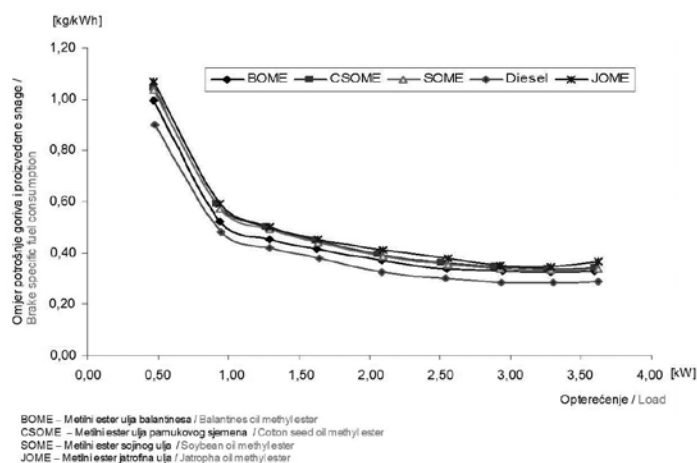
Variranje omjera potrošnje goriva i proizvedene snage s primijenjenim opterećenjem za različite estere prikazano je na slici 2. Trendovi su posve slični za sva goriva. Omjer potrošnje goriva i proizvedene snage (BSFC – Brake-Specific Fuel Consumption) za sve je metilne estere malo viši nego kod dizela u odnosu na primijenjeno opterećenje. To je zbog činjenice što esteri imaju manju kaloričnu vrijednost u usporedbi s dizelom i stoga treba nešto malo više goriva na bazi estera da bi se održala snaga.

5.3 Performance and emission analysis on an engine:

Engine experiments were conducted at various loads. The variation of the engine and emission parameters is plotted against the applied load in kW.

5.3.1 Brake-specific fuel consumption (BSFC)

Variations in brake-specific fuel consumption with applied load for various esters are shown in Figure 2. The trends are quite similar for all the fuels. The brake-specific fuel consumption for all the methyl esters is slightly higher than diesel, corresponding to the applied load. This is due to the fact that the esters have lower calorific values than diesel. Therefore, slightly more ester-based fuel is needed to maintain power.



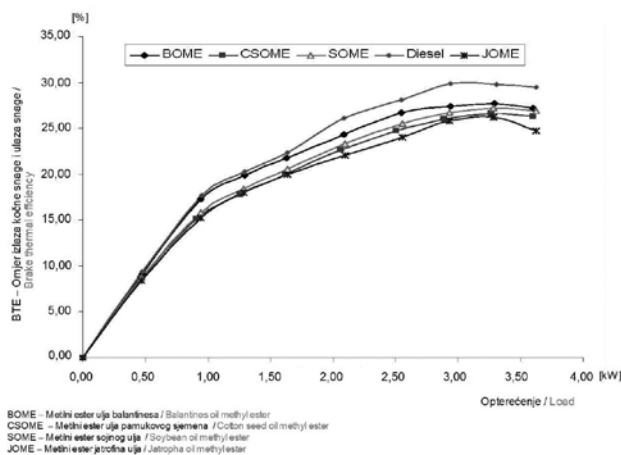
Slika 2 – Variranje BSFC-a s primijenjenim opterećenjem za različite estere
Figure 2 – Variation of BSFC with applied load for various esters

5.3.2 Omjer izlaza kočne snage i ulaza snage (BTE)

Variranje omjera izlaza kočne snage i ulaza snage (BTE - Brake Thermal Efficiency) s opterećenjem za CSOME, SOME, BOME, JOME i dizel prikazano je na slici 3. BTE jednog motora ovisi o više faktora osim toplinske vrijednosti, a specifična težina određenog goriva igra značajnu ulogu u poboljšanju tog omjera. BTE ima tendenciju porasta s porastom primijenjenog opterećenja. Na slici se jasno vidi da je do 20 % opterećenja BTE dizela i raznih estera isti, no kako se opterećenje povećava, krivulje BTE svrstavaju se prema donjoj strani. Glavni razlog nižeg BTE-a u slučaju estera jest porast potrošnje goriva i njegova niža kalorična vrijednost u usporedbi s dizelom. Maksimalni BTE od 27,12 % uočava se na opterećenju od 80 % za estere, što je 3,45 % manje nego kod dizela u istim uvjetima opterećenja. No, u cjelini esteri se ponašaju slično kao i dizel gorivo.

5.3.2 Brake Thermal Efficiency (BTE)

Variations in brake thermal efficiency (BTE) with load for CSOME, SOME, BOME, JOME and diesel are shown in Figure 3. The brake thermal efficiency of an engine depends on a number of factors but the heating value and specific gravity of a particular fuel play an important role in improving it. The BTE has a tendency to increase with an increase in the applied load. It can be clearly seen from the figure that at up to 20 % load conditions the BTEs of diesel and various esters are the same but as the load increases the brake thermal efficiency curves diversify toward the lower side. A prominent reason for lower BTE in the case of esters is the increase in fuel consumption and its lower calorific value in comparison to diesel. The maximum BTE of 27,12 % is observed at a load of 80 % for esters, which is 3,45 % lower than that of diesel for the same load conditions. However, overall the esters behave similarly to diesel fuel.



Slika 3 – Variranje BTE-a s primijenjenim opterećenjem za različite estere
Figure 3 – Variation of BTE with applied load for various esters

5.3.3 Dim

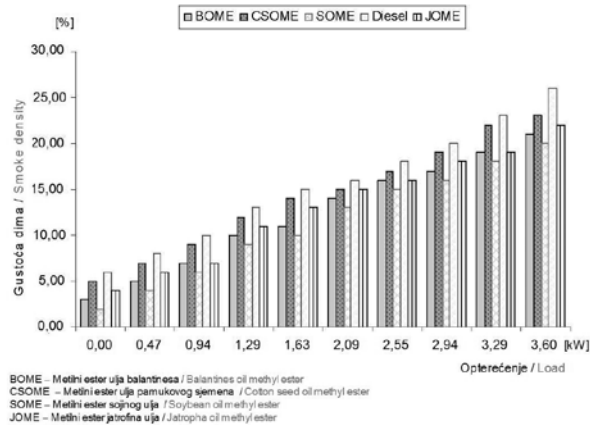
Dim iz motora funkcija je opterećenja motora. Na slici 4 vidljivo je da u istim uvjetima opterećenja esteri proizvode manje dima od dizela. Razlog je tome prisutnost molekula kisika u lancu estera, što pojačava ukupno izgaranje u usporedbi s dizelom.

Iz gornjih je rezultata posve jasno da esteri biljnih ulja mogu zamijeniti dizel kao gorivo.

5.3.3 Smoke

The smoke from an engine is a function of the engine load. From Figure 4, it can be seen that esters produce less smoke than diesel for the same load conditions. This is due to the presence of oxygen molecules in the esters chain, which enhances its complete combustion as compared to diesel.

From the above results, it is very clear that esters of vegetable oils can replace diesel as fuel.



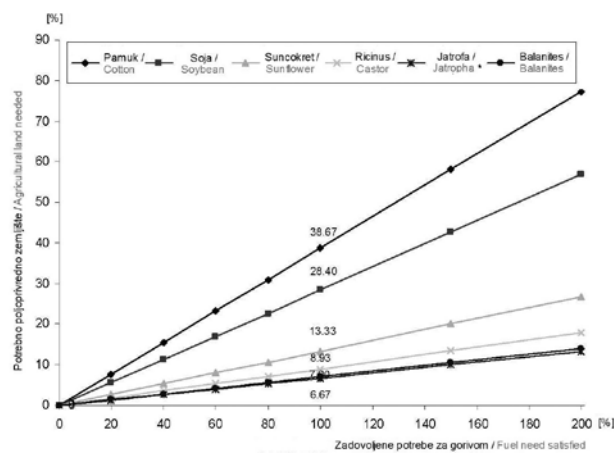
Slika 4 — Emisija dima u usporedbi s primijenjenim opterećenjem za različite estere
Figure 4 — Smoke emission in comparison to applied loads for various esters

5.4 Trošak ulja i korištenje zemlje radi zadovoljenja potreba sela za dizelom

U tablici 4 prikazan je trošak raznih metilnih estera proizvedenih prema tržišnoj cijeni ulja koja se mogu nabaviti u Indiji. Trošak biljnih ulja nešto je veći od dizela zbog rascjepkanosti tržišta biljnih ulja. Potrebe za zemljištem kako bi se 100 % ispunile potrebe za energijom dane su u tablici 5 zajedno s budućim povećanjem potreba za istom površinom, te procentualno korištenje zemlje grafički prikazano na slici 5 pokazuje da su potrebe za zemljom za različite kulture uljarica različite, i to najveće za pamuk, a najmanje za jatrofu. Premda su potrebe za zemljom pamuka, soje i balanite-sa veće, te nam kulture daju jednako važne nusproizvode, pa je ukupna cijena ulja za iste nešto manja u usporedbi s jatrofom koja se sadi samo zbog ulja.

5.4 Oil cost and land utilization to meet village biodiesel demand

Table 4 shows the cost of various methyl esters produced as per the market price of the oils available in India. The cost of vegetable oils is slightly higher than diesel because of the fragmented nature of the vegetable oil market. The land required to meet 100 % of the energy requirement is given in Table 5 along with the future increase in demand for the same area. The percentage of land utilization plotted in Figure 5 shows the land required for various oil crops varies, the most for cotton and the least for jatropha. Although more land is required for cotton, soybean and balanites, these crops give us important by-products and hence their total oil cost is somewhat lower than for jatropha, which is planted only for the oil.



Slika 5 — Potrebe za poljoprivrednim zemljištem u odnosu na postotak zadovoljene potrebe za gorivom
Figure 5 — Agricultural land required against the % fuel requirement met

6 ZAKLJUČCI

Rezultati analize u ovom prilogu navode na zaključak da esteri biljnih ulja dobiveni od lokalno uzgajanih uljarica u ruralnom području mogu zamijeniti naftni dizel primjenom jednostavne tehnologije. Odabir ulja za proizvodnju biodizela ovisi o raspoloživosti i prinosu uljarica u dotičnom području. Cijena proizvedenog biodizela iznosi oko 1,17 USD, što iznosi više od 0,85 USD koliko stoji dizel. Potrebe za zemljom više su za pamuk u usporedbi s drugim uljaricama, no kako je pamuk značajna kultura u dotičnom području i uzgaja se uglavnom radi pamučnog vlakna, uzima se u obzir kao uljarica od interesa za ovo područje. Ima, međutim, značajnih koristi od biodizela, koje se ne smiju ispustiti iz vida. Biodizel se može smatrati klimatski neutralnim, jer ugljični dioksid koji se oslobađa u izgaranju prethodno se odvaja tijekom uzgoja kulture. Isto je tako značajna lokalna gospodarska djelatnost temeljena na uzgoju i obradi.

6 CONCLUSIONS

The results of the analyses presented in this paper demonstrate that esters of vegetable oils from locally grown oil crops in the rural region can be substituted for petroleum-based diesel using simple technology. The selection of the oil for biodiesel preparation depends on the availability and yield of the oil crops in the region of interest. The price of the biodiesel produced is about 1,17 USD, which is higher than 0,85 USD for diesel. More land is required for cotton than for the other oil yielding crops. However, since cotton is the major crop in the given region and is cultivated mainly for the cotton fiber, it is considered to be the oil of interest for this region. Nonetheless, there are important benefits from biodiesel that should not be overlooked. Biodiesel can be considered climate neutral because the carbon dioxide released during combustion was sequestered previously during crop growth. The local economic activity resulting from local growth and processing is important as well.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] AGRAWAL, A., Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, 2006, 33:233 – 27
- [2] DEMIRBAS, A., Studies on Cottonseed Oil Biodiesel Prepared in Non-catalytic SCF Conditions, *Biore-source Technology*, 2008, 99, 5, 1125 – 1136.
- [3] AGARWAL, A. K., AGRAWAL, D., LOKESH, K.. Performance Evaluation of a Vegetable Oil Fuelled Compression Ignition Engine, *Renewable Energy*, 2008, 33, 6, 1147 – 1156
- [4] SHARMA, Y. C., SINGH, B., Development of Biodiesel from Karanja, a Tree Found in Rural India, *Fuel*, 2008, 87:1740 – 42
- [5] AGARWAL, A. K., DAS, L. M.. Biodiesel Development and Characterization for Use as a Fuel in Compression Ignition Engine, *ASME*, 2001, 123:440 – 447
- [6] KRAWCZYK, T., Biodiesel–alternative Fuel Makes Inroads but Hurdles Remain, *INFORM 7 (1996) (8)*, pp. 800 – 815
- [7] RAHEMAN H., PHADATARE A. G., Diesel Engine Emissions and Performance from Blends of Karanja Methyl Ester and Diesel, *Biomass and Bioenergy* 2004, 27, 393 – 397
- [8] GADGE, S.V., RAHEMAN, H., Biodiesel Production from Mahua (*Madhuca Indica*) Oil Having High Free Fatty Acids, *Biomass & Bioenergy*, 2005, 28:601 – 605
- [9] SRIVASTAVA, P.K., Verma, M., Methyl Ester of Karanja Oil as an Alternative Renewable Source Energy, *Fuel*, 2008, 87:1673 – 1677
- [10] DESHMUKH, S. J., BHUYAR, L. B., Transesterification of Hingan (*Balanites*) Oil as Fuel for Compression Ignition Engine, *Biomass and Bioenergy*, Article in press, 2008 <http://www.elsevier.com/locate/biom-bioe>
- [11] OTERA, J., Transesterification, *Chem Rev* 1993, 93, 4, 1449 – 1470

Adrese autora:

Authors' Adresses:

Samir J. Deshmukh, Assistant Professor,
aryasamir@yahoo.co.in
Lalit B. Bhuyar, Professor and Head
Shashank B. Thakre, Professor
sbthakre2007@rediffmail.com
Department of Mechanical Engineering,
PRM Institute of Technology and Research,
Badnera,
Amravati, (M.S.)
444702 India

Samir J. Deshmukh, Assistant Professor
aryasamir@yahoo.co.in
Lalit B. Bhuyar, Professor and Head
Shashank B. Thakre, Professor
sbthakre2007@rediffmail.com
Department of Mechanical Engineering
PRM Institute of Technology and Research
Badnera
Amravati, (M.S.)
444702 India

Uredništvo primilo rukopis:
2008-11-31

Manuscript received on:
2008-11-31

Prihvaćeno:
2008-12-26

Accepted on:
2008-12-26

REGULACIJA KVALITETE OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM KAO NUŽNA FUNKCIJA REGULACIJE MONOPOLNIH DJELATNOSTI REGULATION OF ELECTRICITY SUPPLY QUALITY AS A NECESSARY FUNCTION IN THE REGULATION OF MONOPOLY SERVICES

Ivona Štritof – Slavko Krajcar, Zagreb, Hrvatska

U članku se analiziraju nedostaci regulacije cijena usluga kao funkcije regulacije monopolne djelatnosti distribucije električne energije koja ne uključuje regulaciju kvalitete opskrbe električnom energijom. Nadalje, analizira se konceptijski model uvođenja regulacije kvalitete opskrbe električnom energijom s posebnim osvrtom na pouzdanost opskrbe kao najznačajnije područje regulacije kvalitete opskrbe električnom energijom. Razvoj regulacije pouzdanosti opskrbe u konačnici omogućava uvođenje integralnog modela regulacije cijene usluga i kvalitete opskrbe električnom energijom. U članku se također daje prikaz iskustava mađarskog regulatornog tijela u sustavnom uvođenju regulacije cijena usluga te integriranju kvalitete opskrbe u model regulacije cijene usluga.

The article analyzes the shortcomings of price regulation as a function in the regulation of the monopoly activity of electricity distribution that does not include the quality regulation of electricity supply. Also analyzed is a conceptual model for launching an electricity supply quality regulation system with special emphasis on the reliability of supply as the crucial aspect of supply quality regulation. Developing the continuity of supply regulation will ultimately facilitate the introduction of an integrated regulation model comprising electricity price and electricity supply quality. The article also describes the experiences of the Hungarian regulatory authority in step-by-step introduction of price regulation and in integration of supply quality into the price regulation model.

Ključne riječi: distribucija električne energije; regulacija cijene usluga; regulacija kvalitete opskrbe; regulirani subjekt

Keywords: electricity distribution; price regulation; supply quality regulation; regulated undertaking



1 UVOD

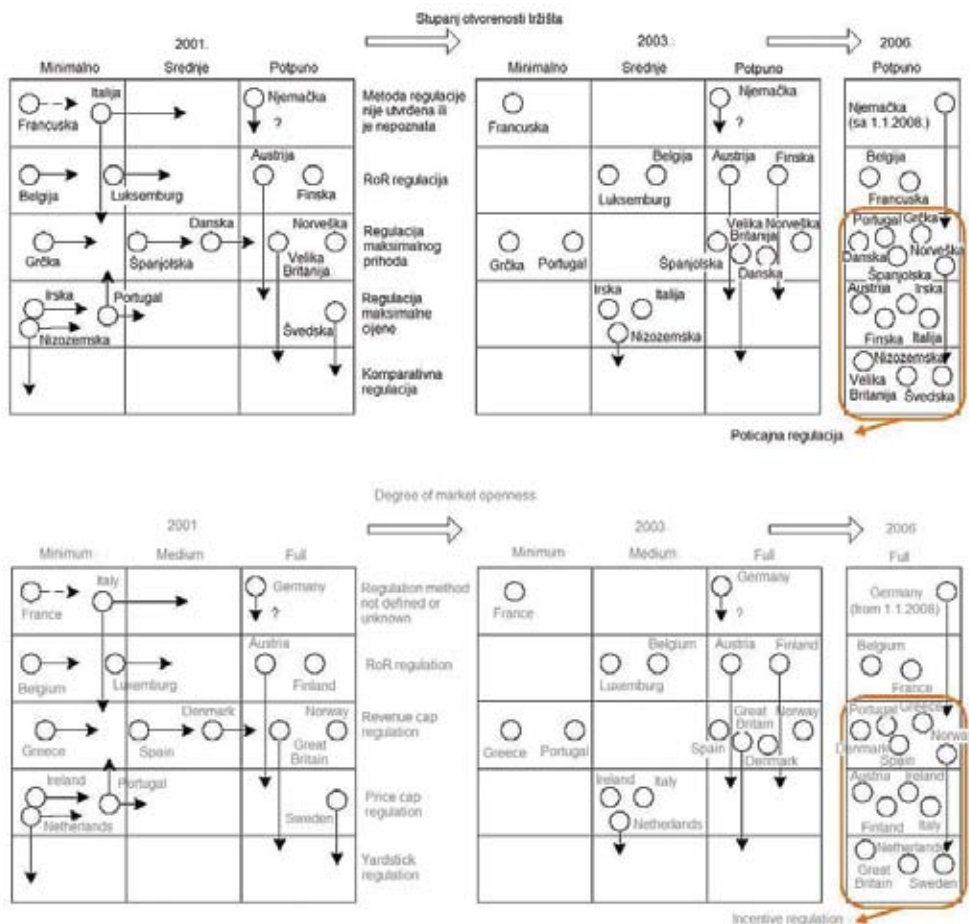
Za razliku od klasične regulacije cijena usluga stopom povrata (engl. *Rate of Return – RoR ili Cost plus regulation*), koja je u mnogim slučajevima rezultirala prekomjernim troškovima, tj. prekomjernim investiranjem, poticajna regulacija cijena usluga nastoji smanjiti troškove poslovanja i povećati učinkovitost reguliranih subjekata [1]. Poticajna regulacija počela se primjenjivati kao odgovor na nedostatke klasične metode regulacije cijena usluga monopolnih djelatnosti, a posebice naknade za korištenje distribucijske mreže.

Razvojem naprednih metoda regulacije cijena usluga (slika 1) uočavaju se i njihovi nedostaci. Prije svega to se odnosi na primjenu CPI-X indeksa (CPI – engl. *Consumer Price Index, X – faktor učinkovitosti*) kojim se nastoji povećati učinkovitost reguliranih subjekata. Naime, inzistiranje regulatornih tijela na smanjenju troškova reguliranih subjekata povećanjem učinkovitosti poslovanja u duljem vremenskom razdoblju u mnogim slučajevima

1 INTRODUCTION

Unlike the conventional price regulation through the rate of return (RoR) method, which in many cases has resulted in excessive costs and investment, the incentive price regulation strives to reduce operating costs and increase the efficiency of regulated undertakings [1]. The incentive regulation came into use as a response to the defects of the conventional method of price regulation of the services provided by monopoly enterprises, especially with regard to the distribution network usage fees.

With the development of advanced price regulation methods (Figure 1) their weakness were also becoming manifest. This applies first of all the use of the CPI-X Index (CPI- Consumer Price Index, X – Efficiency Factor) with which the efficiency of regulated undertakings is to be improved. Namely, the insistence of the regulatory authorities that regulated undertakings should cut back on their costs by raising their business efficiency



Slika 1 – Razvoj metoda regulacija cijena usluga u EU-15 i Norveškoj [2], [3]
 Figure 1 – Development of price regulation methods in the EU-15 and Norway [2], [3]

vima primjene poticajnih metoda regulacije dovelo je do smanjenja kvalitete opskrbe električnom energijom (dalje u tekstu: kvaliteta opskrbe). Stoga se regulacija kvalitete opskrbe nametnula i kao posljedica uvođenja poticajne regulacije cijena. Poglavitito je to izraženo u državama koje su privatizirale tvrtke za distribuciju električne energije, a da prije toga nisu ustrojile funkcionalna regulatorna tijela i nisu razvila cjelovite modele regulacije cijene usluga i kvalitete opskrbe (npr. Mađarska) (tablica 1). Ujedno je to i razlog što se u članku, kao primjer razvoja i primjene integralnog modela regulacije cijene usluga i kvalitete opskrbe, koristi iskustvo mađarskog regulatornog tijela (mađ. *Magyar Energia Hivatal*, MEH).

Regulatorna tijela koja su naknadno počela s uvođenjem poticajne regulacije cijena usluga, nakon što su već uočeni mogući nedostaci poticajne regulacije cijene usluga, paralelno su razvijala i regulatorni sustav praćenja kvalitete opskrbe. Na taj način moguće je već nakon prvog, odnosno najkasnije drugog, regulatornog razdoblja (3 do 5 godina) uvesti integralni sustav regulacije cijena usluga i kvalitete opskrbe. No, valja kazati da je njegovo uvođenje i razvoj složen i dugotrajan proces. Ovakav integralni sustav specifičan je za djelatnost distribucije električne energije.

over a longer period of time has led in many cases of practiced incentive regulation methods to a diminishing electricity supply quality (hereinafter: supply quality). Thus the supply quality regulation is also a result of introducing the incentive price regulation. It is primarily noticeable in the countries that have privatized the electricity distribution companies without having previously established functioning regulatory authorities and developed comprehensive price and supply quality regulation models (Hungary, for instance) (Table 1). At the same time, this is the reason why as an example of the development and application of an integrated price and supply quality regulation model the experience of the Hungarian regulatory authority *Magyar Energia Hivatal*, MEH) is used in the present article.

The regulatory authorities which started introducing the incentive price regulation at a later date, once potential weaknesses of such regulation became visible, have been simultaneously developing a supply quality monitoring system. In this way it is possible, as early as after the first or after the second regulatory period (3-5 years) at the latest, to introduce an integrated regulation system covering prices and supply quality. It should be noted, however, that its introduction and development is a complex and long process. Such an integrated system is specific to the electricity distribution sector.

Tablica 1 – Kronološki razvoj regulatornih funkcija u Mađarskoj u odnosu na druge procese vezane uz liberalizaciju i privatizaciju
Table 1 – History of regulatory functions in Hungary in relation to other liberalization and privatization processes

| Razdoblje / Period | Aktivnost / Activity |
|--------------------|---|
| 1994. | Osnovano regulatorno tijelo / Regulatory authority established |
| 1995.–1997. | Privatizacija elektroenergetskog sektora / Privatization of electricity sector |
| 1995. | Početak praćenja kvalitete opskrbe / Supply quality monitoring launched |
| 1996. | Donesena Direktiva 96/92/EZ / Directive 96/92/EC adopted |
| 1997.–200. | Prvo regulatorno razdoblje / First regulatory period |
| 2001.–2004. | Drugo regulatorno razdoblje / Second regulatory period |
| 2003. | Donesena Direktiva 2003/54/EZ / Directive 2003/54/EC adopted Otvaranje mađarskog tržišta električnom energijom / Opening of the Hungarian electricity market |
| 2005.–2008. | Treće regulatorno razdoblje / Third regulatory period |

2 OSNOVNE ZNAČAJKE I NE-DOSTACI METODA REGULACIJE CIJENE USLUGA

2.1 Metoda regulacije stopom povrata

Osnovna je značajka metode regulacije stopom povrata da regulatorno tijelo utvrđuje određenu stopu povrata na investirani kapital koja će reguliranom subjektu omogućiti pokrivanje troškova koji se javljaju pri obavljanju energetske djelatnosti kao i uključiti odgovarajući povrat na uloženu imovinu [1]. Regulatorno razdoblje, odnosno razdoblje za koje se određuje trošak usluge reguliranog subjekta, u pravilu se uzima kao jedna kalendarska godina za koju regulatorno tijelo definira sve potrebne elemente RoR regulacije. Potom se radi njihova revizija i određuju elementi za iduću godinu.

Regulacija stopom povrata dozvoljava subjektu koji obavlja mrežnu djelatnost pokrivanje svih operativnih troškova kao i troškova kapitala kroz stopu povrata na imovinu. Zadaća je pak regulatornog tijela da ocijeni opravdanost tih troškova. Primjena ove metode podrazumijeva da regulatorno tijelo duboko i detaljno poznaje poslovanje subjekta (vidi primjer SAD-a [1]).

Standardna formula za izračun godišnjeg prihoda subjekta za ciljane stopu povrata, uzimajući u ob-

2 BASIC FEATURES AND SHORTCOMINGS OF THE PRICE REGULATION METHODS

2.1 RoR regulation method

The basic feature of the rate of return regulation method is that the regulatory authority determines a certain rate of return for invested capital that will enable the regulated undertaking to cover the cost incurred in the provision of energy service, as well as include an appropriate return on invested assets [1]. The regulatory period, i.e., the period for which service cost of the regulated undertaking is defined, is normally one calendar year for which the regulatory authority defines all required RoR regulation elements. After that the elements are reviewed and defined for the next year.

The RoR regulation allows the network service provider to cover all operating and capital costs through the rate of return on assets. The task of the regulatory authority is to assess if these costs are justified. The application of this method presupposes that the regulatory authority has a detailed and in-depth knowledge of the regulated undertaking's operation (see U.S. example [1]).

The standard formula for calculating the regulated undertaking's annual income for a target rate of return, taking into account the planning and/or

$$DP_{t+1} = OT_t + A_t + PR_t + (RO_t \cdot SP_t), \quad (1)$$

zir planske i/ili povijesne troškove poslovanja, je: gdje je:

DP_{t+1} – dozvoljeni prihod u razdoblju $t+1$,
 OT_t – operativni troškovi u razdoblju t ,
 A_t – trošak amortizacije u razdoblju t ,
 PR_t – trošak plaćanja poreza u razdoblju t ,
 PO_t – regulatorna osnovica (obuhvaća imovinu reguliranog subjekta u razdoblju t) i
 SP_t – stopa povrata u razdoblju t .

Regulacija stopom povrata pokazala se kao dobar model regulacije u početku njene primjene. No, tijekom vremena pojavili su se nedostaci i manjkavosti. Kada se govori o nedostacima, prije svega se misli na:

- nedostatak poticaja za smanjenje troškova,
- nedostatak poticaja za poboljšavanje učinkovitosti poslovanja i

historical operating costs, is as follows: where:

DP_{t+1} – approved income in the period $t+1$,
 OT_t – operating costs in the period t ,
 A_t – depreciable cost in the period t ,
 PR_t – taxation cost in the period t ,
 PO_t – regulatory asset base (comprising the regulated undertaking's assets in the period t), and
 SP_t – rate of return in the period t .

The RoR regulation proved to be a good regulation model at the beginning of its application. However, with the passage of time some of its defects and weaknesses have surfaced, first of all the following:

- lack of incentive for price reduction,
- lack of incentive for improving business efficiency, and

— visok trošak regulacije.

Nedostatak poticaja za smanjenje troškova ključan je problem regulacije stopom povrata, budući da su regulirane cijene usluga izravno povezane s pojedinačnim troškovima svakog reguliranog subjekta. Ukoliko regulirani subjekt ostvaruje sve veće i veće troškove, dozvolit će mu se podizanje cijena usluge u skladu s porastom troškova. Također, ako više investira povećava mu se i regulatorna osnovica, što nadalje utječe na povećanje cijene usluge.

Ovakvo ponašanje je u suprotnosti s onim koje bi vladalo na potpuno konkurentnom tržištu, na kojem nepotrebni troškovi i ulaganja uvijek za rezultat imaju smanjenje dobiti tržišnog sudionika. Na konkurentnim tržištima tržište je to koje diktira cijene, a ne pojedinačni subjekti. Stoga su, općenito govoreći, profit i troškovi obrnuto proporcionalni. Kada se troškovi tvrtke povećaju, a cijene ostaju iste, profit se smanjuje. Ova je veza snažan poticaj konkurentskim tvrtkama da smanje troškove. Za regulirane je subjekte veza između troškova i zarade proporcionalna, čime se smanjuje poticaj za smanjenje troškova. Što regulatorno tijelo dozvoli veće troškove, subjekt će moći kupcima zaračunavati više cijene svojih usluga.

Nedostatak poticaja za poboljšavanje učinkovitosti poslovanja leži i u nepostojanju konkurencije. Ovaj se stav često zasniva na mišljenju da će se profit od neobičajeno uspješnih inovacija ograničiti regulacijom, a dioničari će biti prisiljeni snositi posljedice neuspješnih inovacija, naročito ako se utvrdi da investicija nije korištena i korisna. Stoga uprava reguliranog subjekta ne prihvaća lako inovacije, pogotovo ako uoči nedostatak simetrije između rizika i eventualnih nagrada za takve poslovne pothvate.

Visok trošak regulacije daljnji je nedostatak regulacije stopom povrata. Budući da je regulatorno razdoblje jedna godina, primjena ove metode zahtijeva učestale revizije troškova i cijena usluga što zahtijeva zapošljavanje više stručnjaka za kontrolu troškova usluge reguliranog subjekta i kod regulatornog tijela i kod reguliranih subjekata. Ovakav pristup može izazvati situaciju u kojoj su troškovi regulacije veći od koristi koja bi trebala proizaći iz regulacije. U uvjetima u kojima postoji tržišno natjecanje, veliki bi dio tog troška i truda bio nepotreban, s obzirom da bi kupce štitila nevidljiva ruka konkurencije, a ne vidljiva ruka regulatornog tijela.

Zbog navedenih problema u primjeni metode regulacije stopom povrata, regulatorna tijela su s ciljem obavljanja kvalitetnije i učinkovitije regulacije, posebice u smislu povećanja učinkovitosti reguliranih subjekata, počela uvoditi nove,

— high cost of regulation.

Lack of incentive for price reduction is the key problem of the RoR regulation, because regulated prices are directly linked to the individual costs of each regulated undertaking. If a regulated undertaking is incurring increasing costs, it will be allowed to raise its prices in proportion to cost increase. Likewise, the more the undertaking invests, the higher its regulatory asset base will be, which in turn impacts the price increase.

Such a behavior is opposed to the one prevailing on a fully competitive market where unnecessary costs and investments always result in shrinking profits of the market participant concerned. On competitive markets it is the market that determines prices, not individual companies. For that reason, generally speaking, profit and cost are inversely proportional. When corporate costs rise and prices remain the same, profit will decline. This linkage is a powerful incentive to competitive enterprises to cut back on costs. For the regulated undertakings this linkage is proportional, whereby the incentive to cut back on costs is weakened. The higher the costs approved by the regulatory authority, the higher the prices that the regulated undertaking will be able to charge to its customers.

The lack of incentive for improving business efficiency also stems from non-existent competition. This attitude is often based on the notion that profits from exceptionally successful innovations will be limited by regulation and that stakeholders will be forced to bear the consequences of unsuccessful innovations, especially if found that an investment has not been used and useful. That is why the management of the regulated undertaking is quite reluctant to accept innovations, especially if a lack of symmetry is seen between the risk taken and the reward, if any, for such business ventures.

The high cost of regulation is another weakness of the RoR regulation. As the regulatory period is one year, the application of this method requires repeated cost and price auditing and employment of more experts to control the costs of the regulated undertaking's services at both ends, the regulatory authority and the regulated undertaking. Such an approach may lead to a situation where the regulation costs exceed the expected benefits of regulation. In the conditions of market competition a great part of this cost and effort would be unnecessary, because customers would be protected by the invisible hand of competition, not the visible hand of the regulatory authority.

Due to the mentioned problems encountered in the application of the RoR regulation method, the regulatory authorities, with a view to ensuring better and more efficient regulation, especially in respect of improved efficiency of the regulated undertakings,

složenije metode regulacije cijena usluga. Uvođenjem poticajne regulacije nastojalo se otkloniti nedostatke koji su specifični za regulaciju stopom povrata.

2.2 Metode poticajne regulacije

U načelu svaka metoda kojom se nastoji izbjeći navedene probleme regulacije stopom povrata predstavlja određeni oblik poticajne regulacije. Poticajna je regulacija ona regulacija koja reguliranim subjektima omogućuje porast profita ostvarenog kroz snižavanje cijena, ali im istodobno nametne povećanje učinkovitosti. Regulirani subjekti najbolje poznaju mogućnosti smanjenja troškova, a poticajna regulacija ih u tome stimulira. Za ove metode regulacije specifično je da se osim utvrđivanja dozvoljene početne razine prihoda uvodi i dinamički faktor korekcije cijena kojim se nastoji povećati učinkovitost, odnosno smanjiti troškove tijekom regulatornog razdoblja.

Postoji nekoliko različitih metoda poticajne regulacije [1]. Jedna od najprimjenjivijih je metoda maksimalne cijene. Glavna je značajka metode maksimalne cijene da na početku svakog regulatornog razdoblja regulatorno tijelo određuje opravdanu razinu cijena. Cijena se u pojedinoj godini regulatornog razdoblja korigira za primijenjeni indeks i faktor učinkovitosti X_t . Maksimalna cijena za svaku godinu t regulatornog razdoblja utvrđuje se na osnovi maksimalne cijene u prethodnoj go-

set about introducing new, more complex method of price regulation. The introduction of incentive regulation was aimed to eliminate deficiencies specific to RoR regulation.

2.2 Incentive regulation methods

In principle, any method designed to avoid the mentioned problems of RoR regulation represents a certain form of incentive regulation. Incentive regulation is one which enables the regulated undertakings to increase profits through price decrease, but at the same time requires them to improve efficiency. The regulated undertakings know best how to reduce costs and incentive regulation encourages them in this endeavor. A specificity of these regulation methods is that apart from determining the approved initial income level the dynamic price correction factor is also introduced with the intent to raise efficiency or to cut costs during the regulatory period.

There are several different incentive regulation methods [1]. The mostly used one is the Price Cap Regulation. Its main feature is that at the beginning of every regulatory period the regulatory authority defines a justified price level. The price in a particular year of the regulatory period is corrected by the applied index and efficiency factor X_t . Maximum price for each year t of the regulatory period is determined on the basis of the maximum price in the previous year ($t-1$) by means of the

$$C_{\max t} = (1 + CPI_t - X_t) \cdot C_{\max(t-1)} - KC_t, \quad (2)$$

dini ($t-1$) i to na osnovi sljedeće formule: gdje je:

$C_{\max t}$ – prodajna cijena u godini t ,
 $C_{\max(t-1)}$ – prodajna cijena u godini $t-1$,
 CPI_t – indeks potrošačkih cijena u godini t ,
 X_t – faktor učinkovitosti u godini t ,
 KC_t – faktor korekcije u godini t .

Prodajna se cijena, $C_{\max t}$, može korigirati i za faktor korekcije KC_t . Faktor KC_t predstavlja eksterne događaje koji utječu na poslovanje reguliranog subjekta. Faktor X_t odražava očekivano godišnje ciljano smanjenje ukupnih troškova i sličan je godišnjem dugoročnom dobitku iz povećanja učinkovitosti. U početku se može odrediti kao nula, ako država ili regulatorno tijelo ne žele provoditi regulaciju koja ide ka poticanju učinkovitosti.

$CPI_t - X_t$ mehanizam daje mogućnost poticaja povećavanjem učinkovitosti regulirane djelatnosti

following formula: where:

$C_{\max t}$ – price in year t ,
 $C_{\max(t-1)}$ – price in year $t-1$,
 CPI_t – consumer price index in year t ,
 X_t – efficiency factor in year t ,
 KC_t – correction factor in year t .

The price, $C_{\max t}$, can also be corrected by the correction factor KC_t . Factor KC_t stands for external events which affect the regulated undertaking's operation. Factor X_t reflects the expected annual target reduction in total costs and is similar to annual long-term gains from improved efficiency. At the start it may be defined as zero, if the government or the regulatory authority does not want regulation aimed at enhancing efficiency.

The $CPI_t - X_t$ mechanism offers an opportunity to provide incentives through improved efficiency of

što ima utjecaja na kupce na način da u dugom roku dolazi do smanjivanja cijene usluga.

Ono što je specifično za metodu regulacije maksimalnom cijenom je činjenica da regulirani subjekt tijekom regulatornog razdoblja zadržava za sebe, u većem ili manjem dijelu, sve uštede ostvarene na osnovi smanjenja troškova i povećanja učinkovitosti. Postoji, međutim, i mogućnost da se prekomjerni profit koji ostvari regulirani subjekt iznad neke utvrđene stope dijeli s kupcima.

Iako se poticajnom regulacijom nastojalo izbjeći nedostatke klasične regulacije stopom povrata, u praksi se pojavio novi niz :

- nedostatnost utvrđene cijene da pokrije ukupne troškove reguliranog subjekta,
- suprotnost s drugim programima povećanja učinkovitosti,
- utvrđivanje optimalne dužine trajanja regulatornog razdoblja i
- smanjenje kvalitete opskrbe električnom energijom na račun smanjenja troškova reguliranog subjekta.

Nedostatnost utvrđene cijene da pokrije ukupne troškove reguliranog subjekta jest nedostatak koji se javlja u slučaju u kojem zbog smanjene potrošnje regulirani subjekt ostvaruje manje prihode od planiranih, što se odražava na mogućnost pokrivanja troškova koji je odobrilo regulatorno tijelo, a koji se neće ponovno odobriti u sljedećem regulatorijskom razdoblju.

Suprotnost s drugim programima povećanja učinkovitosti

S obzirom da se primjenom metode regulacije maksimalne cijene gornja granica postavlja na cijenu usluga, reguliranom subjektu u interesu je povećati količinu isporučene energije kako bi ostvario veće prihode, odnosno profite. Međutim, u pojedinim državama, osobito u SAD, javlja se prepreka ovakvim razmišljanjima, što otežava uvođenje i primjenu ove metode. Naime, ovakvo je razmišljanje u suprotnosti sa socijalnim i ekološkim programima, odnosno programima povećanja učinkovitosti, kao što je to npr. program upravljanja potražnjom (engl. *Demand Side Management*).

Utvrđivanje optimalne dužine trajanja regulatornog razdoblja

Utjecaj primjene regulacija maksimalne cijene ovisi u velikoj mjeri o duljini regulatornog razdoblja. Uobičajeno je da to razdoblje traje između 3 i 5 godina. Ako je, npr. to razdoblje dugo godinu dana, između regulacije maksimalne cijene i regulacije stopom povrata nema značajnih razlika. Stoga, što je regulatorno razdoblje dulje, regulirani subjekt ima više interesa da smanji troškove, s obzirom da se profit, tj. prihod subjekta neće revi-

a regulated activity, which has an influence on customers by way of leading in the long run to reduced prices of services.

What is specific to the Price Cap Regulation method is the fact that during the regulatory period the regulated undertaking keeps for itself, for a greater or smaller part, all savings earned through cost reduction and improved efficiency. There is also a possibility, however, that a profit scored by the regulated undertaking in excess of a defined profit rate is shared with customers.

Although incentive regulation was designed to avoid the shortcomings of the conventional rate of return regulation, in practice a new series has appeared:

- inadequacy of the set price to cover the total costs of the regulated undertaking,
- collision with other efficiency improvement schemes,
- determining optimum duration of the regulatory period, and
- lower quality of electricity supply on account of the regulated undertaking's reduced costs.

The inadequacy of the set price to cover the total costs of the regulated undertaking is a drawback appearing when due to reduced consumption the regulated undertaking earns less income than planned, which affects its ability to cover the costs the regulatory authority has approved and will not approve again in the next regulation term.

Collision with other efficiency improvement schemes

Since the application of the Price Cap Regulation method sets the upper price limit, it is in the interest of the regulated undertaking to supply more electricity in order to earn more income or higher profits. However, in some countries, especially USA, such reasoning encounters certain obstacles that hamper the introduction and application of the method. The reason is that such line of thinking collides with social and environmental as well as efficiency improvement schemes, such as the Demand Side Management.

Determining optimum duration of the regulatory period

The impact of the Price Cap Regulation greatly depends on the length of the regulatory period, this being normally 3 to 5 years. If the term is one year long, for example, there are no significant differences between the Price Cap Regulation and the rate of return regulation. Therefore, the longer the regulatory period, the more interested is the regulated undertaking to cut back on costs, because the undertaking's profit or income will not be audited in the current year, instead the audit will

dirati u tekućoj godini, već je revizija odgođena za kraj regulatornog razdoblja. No, s druge pak strane predugačka regulatorna razdoblja omogućavaju stope prinosa puno više od dozvoljenih, odnosno opravdanih u smislu tržišnih uvjeta. Nadalje, kada se koristi dugačko regulatorno razdoblje, kako se približava vrijeme revizije, subjektu nije više u interesu smanjivati troškove, već mu je interes prikazati poslovanje kroz ostvarene visoke troškove, budući da će se prema njima usklađivati početna cijena novog regulatornog razdoblja. Poticaji za smanjenje troškova najveći su ukoliko cijena na početku novog regulatornog razdoblja ostaje nepromijenjena. U tom slučaju, reguliranom subjektu pripadaju sve buduće uštede, pa će se stoga potruditi da povećava profitabilnost smanjivanjem troškova.

Kao četvrti, a ujedno i najveći, nedostatak poticajne regulacije cijena usluga je činjenica da se na račun povećanja učinkovitosti reguliranog subjekta može potaknuti regulirane subjekte da smanje kvalitetu opskrbe na način da smanje troškove investicija, održavanja ili zaposlenika, a sve s ciljem povećanja dobiti [4]. Dakle, primjena poticajne regulacije dovela je do situacija u kojima kupci u konačnici plaćaju manju cijenu usluga, ali u isto vrijeme kvaliteta opskrbe električnom energijom nije na razini koja bi bila zadovoljavajuća niti s tehničkog stajališta niti prihvatljiva kupcima. Stoga se regulacija kvalitete opskrbe nametnula kao nužnost i kao sastavni dio regulacije cijena usluga.

3 KVALITETA OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

3.1 Uvod

Prethodna analiza metoda regulacije cijena bez regulacije kvalitete opskrbe električnom energijom ukazala je na činjenicu da je paralelno regulaciji cijene usluga nužno regulirati i kvalitetu opskrbe električnom energijom. Teorijska razmatranja i empirijske analize primjene regulacije cijena usluga u drugim monopolističkim djelatnostima i sektorima potvrđuju činjenicu da u slučaju primjene metode poticajne regulacije (poznate pod nazivom metoda maksimalne cijene) vode ka smanjenju kvalitete monopolnih djelatnosti [5] i [6]. Empirijske su analize učinaka poticajne regulacije na smanjenje kvalitete u elektroenergetskom sektoru vrlo rijetke [7], stoga su analitička iskustva provedena u drugim sektorima, koji su u ranijoj fazi liberalizirali svoja tržišta ili su ranije započela s konceptom regulacije i primjenom poticajne regulacije, od značenja i za analize u elektroenergetskom sektoru.

Za razliku od regulacije cijena usluga koja se smatra jednodimenzionalnom funkcijom (ekonomski

be deferred until the end of the regulatory period. On the other hand, however, too long regulatory periods give rise to rates of return much higher than approved, or justified in the sense of market conditions. Moreover, when a long regulatory period is practiced, with the approach of the audit time the undertaking is no longer interested to reduce costs, it is interested to present its operations in the light of high costs incurred, because it is according to them that the initial price of the new regulatory period will be adjusted. The incentives to reduce costs are the highest if the price at the start of the new regulatory period remains unchanged. In that case, all future savings belong to the regulated undertaking, so it will endeavor to raise profitability by slashing costs.

The fourth and worst defect of the incentive price regulation is the fact that on account of higher efficiency the regulated undertakings may be prompted to lower the quality of electricity supply by reducing investment, maintenance or labor costs, all with a view to increasing their profits [4]. Therefore, the use of incentive regulation has brought about the kind of situations where at the end of the day customers pay a smaller price of services, but at the same time the quality of electricity supply is not at a satisfactory level from the technical point of view nor is it acceptable to customers. Hence the supply quality regulation has arisen as both a necessity and a constituent part of price regulation.

3 QUALITY OF ELECTRICITY SUPPLY

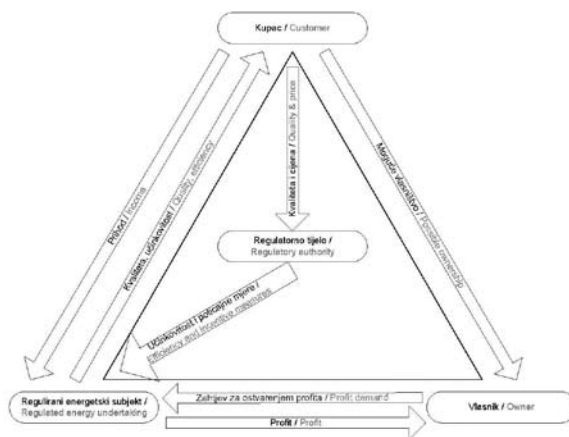
3.1 Introduction

The foregoing analysis of price regulation methods that do not incorporate regulation of electricity supply quality has highlighted the fact that along with price regulation it is necessary to regulate electricity supply quality. Theoretical considerations and empirical analyses about the application of price regulation in other monopoly activities and sectors confirm the fact that the application of the incentive regulation method (known as the Price Cap Regulation) leads to a drop in the quality of monopoly activities [5] and [6]. There are very few empirical analyses of the impacts of incentive regulation on the quality drop in the electric power sector [7], so that the analytical experiences gathered in other sectors, which at an earlier stage liberalized their markets or started with the regulation concept and the application of incentive regulation, are quite relevant to the analyses of the electric power sector.

Unlike the price regulation, which is considered a one-dimensional function (economic aspect) and

aspekt) te na objektivni način mjerljivom aktivnošću, regulaciju kvalitete opskrbe električnom energijom treba promatrati kao višedimenzionalnu funkciju (tehnički aspekt, sociološki aspekt, troškovna efikasnost). Ovakvo promatranje otežava primjenu i teže ju je provesti, posebice ako se u obzir uzme da je u primjeni funkcionalnog modela regulacije kvalitete subjektivno mišljenje kupaca značajan čimbenik. Nadalje, prilikom provođenja regulacije kvalitete opskrbe nameće se i pitanje optimalne razine kvalitete opskrbe i po kojoj je cijeni ponuditi kupcima. U slučaju tržišnih djelatnosti ovo pitanje se ostavlja načelima tržišta. U monopolističkim djelatnostima, gdje tržišna utakmica nije moguća, a s ekonomske strane nije opravdana, regulacija energetske djelatnosti je ta aktivnost koja osigurava optimalni odnos cijena usluga i kvalitete opskrbe električnom energijom. Naime, ulogu regulatornog tijela i svrhu regulacije trebalo bi promatrati na svojevrsan način kao težište jednakostraničnog trokuta na čijem su vrhovima dionici – kupac, regulirani subjekt i vlasnik reguliranog subjekta. Svaki od njih ima svoje obveze i očekivanja koje bi trebali uravnotežiti regulatorni postupci i instrumenti (slika 2).

an objectively measurable activity, the regulation of electricity supply quality should be viewed as a multidimensional function (technical aspect, sociological aspect, cost effectiveness). Such a view hampers application and makes it more difficult to carry out, especially if we bear in mind that in the application of a functional quality regulation model the personal opinion of customers is an important factor. Moreover, in the implementation of supply quality regulation a question arises concerning the optimum level of supply quality and the price at which it should be offered to customers. In the case of market activities, this issue is left to the free market principles. In the monopoly activities where no market competition is possible, and is not justified from the economic point of view, the regulation of energy undertakings is an activity that ensures optimum balance between prices and electricity supply quality. Indeed, the role of the regulatory authority and the purpose of regulation should be viewed analogously to the center of an isosceles triangle, at the apices of which are the stakeholders – customers, the regulated undertaking and the owner of the regulated undertaking. Each of them has its obligations and expectations that the regulatory procedures and instruments should bring into an equilibrium (Figure 2).



Slika 2 — Dionici i njihova očekivanja u procesu regulacije cijena usluga i kvalitete opskrbe električnom energijom
Figure 2 — Stakeholders and their expectations in the process of price and electricity supply quality regulation

3.2 Konceptijski model za uvođenje regulacije kvalitete opskrbe

Regulacija kvalitete opskrbe treba se koncentrirati na čimbenike koji su:

- važni kupcima,
- moguće ih je kontrolirati od strane energetskih subjekata i
- mjerljivi su od strane regulatornog tijela.

Koliko je pojedini čimbenik kvalitete opskrbe važan kupcima moguće je utvrditi putem upitnika/istra-

3.2 Conceptual model for introducing supply quality regulation

Supply quality regulation should concentrate on the factors which are:

- important to customers,
- controllable by energy undertakings, and
- measurable by regulatory authorities.

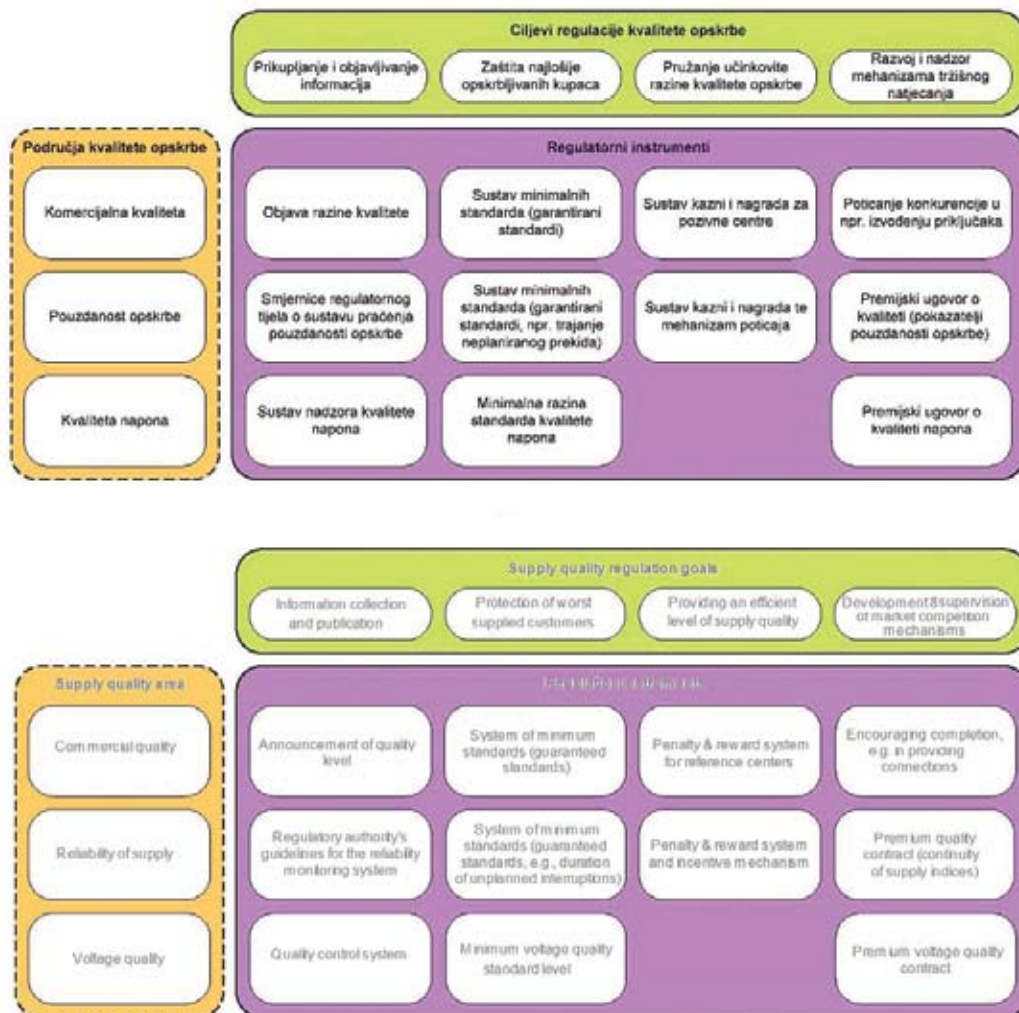
How much a supply quality factor matters to customers can be found through a public survey and on the basis of information provided by supply

živanja javnog mnijenja te na osnovi informacija o zahtjevima za kvalitetom opskrbe dobivenih od različitih interesnih skupina. Ukupna razina kvalitete opskrbe koju kupac percipira obično odražava ponašanje nekoliko energetske subjekata. Stoga regulatorna tijela trebaju prepoznati što je odgovornost pojedinog subjekta te utvrditi regulacijske instrumente za svakog od njih.

Moderne metode regulacije kvalitete opskrbe nastoje se usredotočiti na izlazne parametre (učinke na kupce) više nego na ulazne parametre ili troškove. Regulatorna tijela ne bi trebala utjecati na izbor tehničkih rješenja ili odlučivati o investicijskim planovima, već se trebaju usredotočiti na izlazne parametre ukoliko su mjerljivi. Energetski

quality demands received from various interest groups. Customer-perceived total supply quality level usually reflects the behavior of several energy undertakings. For that reason the regulatory authorities should be aware of what is the responsibility of an undertaking and define regulation instruments for each of them.

Modern supply quality regulation methods tend to focus on output parameters (effects on customers) rather than input parameters or costs. The regulatory authorities should not influence the choice of technical solutions or decide on investment plans, they should focus instead on output parameters, if measurable. An energy underta-



Slika 3 —Konceptijski model razvoja i provođenja regulacije kvalitete opskrbe
Figure 3 — Development and implementation of supply quality regulation – conceptual model

subjekt koji se bavi opskrbom, odnosno distribucijom električne energije, može se isto tako okoristiti ukoliko su izlazni parametri regulirani, na način da poboljša troškovnu učinkovitost koristeći sustave upravljanja kvalitetom opskrbe. Upravljanje kvalitetom opskrbe od strateškog je značenja za energetski subjekt koji se bavi opskrbom, odnosno distribucijom električne energije.

Kao ishodište za razmatranje konceptijskog modela za uvođenje regulacije kvalitete opskrbe može poslužiti literatura pod [8]. Navedeni izvor sistematizira teorijska razmatranja, dosadašnju praksu regulatornih tijela u provođenju regulacije kvalitete opskrbe kao i rad CEER-a (engl. *The Council of European Energy Regulators*) na području kvalitete opskrbe. Konceptijski model koji je razvijen na taj način povezuje različite elemente kvalitete opskrbe s ciljevima koje regulacija kvalitete opskrbe treba postići primjenjujući pri tome različite regulatorne instrumente (slika 3).

3.2.1 Ciljevi regulacije kvalitete opskrbe

Teorijska razmatranja ciljeva regulacije kvalitete opskrbe odnose se na četiri glavna aspekta:

- prikupljanje i objavljivanje informacija,
- zaštitu najlošije opskrbljivanih kupaca,
- pružanje učinkovite razine kvalitete opskrbe i
- razvoj i nadzor mehanizama tržišnog natjecanja.

Prikupljanje pouzdanih informacija o stvarnoj razini kvalitete opskrbe i njihovo objavljivanje, odnosno upoznavanje interesnih strana s predmetnim informacijama, prvi je od ciljeva kojem bi regulatorno tijelo trebalo težiti. Na taj način podiže se, s jedne strane svijest kupaca o važnosti kvalitete opskrbe, a s druge strane regulirane subjekte potiče da ulažu više u kvalitetu opskrbe. Da bi se prikupili što pouzdaniji i točniji podaci, regulatorna tijela često su upravo onaj subjekt koji izrađuje napatke po kojima bi regulirani subjekti trebali prikupljati i obrađivati podatke. Na taj način omogućuje se da svi opskrbljivači ili operatori distribucijskih sustava podatke prikupljaju i obrađuju na istovjetan način koji omogućuje daljnje uspoređivanje pokazatelja kvalitete između pojedinih subjekata.

Razina se kvalitete opskrbe koju subjekt pruža svakom od kupaca razlikuje i kreće se u širokom rasponu. Regulatornim tijelima trebalo bi biti od važnosti upravo ona skupina kupaca kojoj je opskrbljivanje električnom energijom nezadovoljavajuće kvalitete ili postojeći odnos regulirani subjekt – kupac neprihvatljiv. Stoga je kao drugi cilj navedena zaštita najlošije opskrbljivanih kupaca.

Treći cilj u načelu se odnosi na prosječnu vrijednost elemenata kvalitete opskrbe koju pruža regulirani subjekt. Riječ učinkovitost u ovom cilju odnosi se

king engaged in electricity supply or distribution may likewise benefit from regulated output parameters by improving cost effectiveness using quality management systems. Quality management is of strategic importance for an energy undertaking engaged in electricity supply or distribution.

Literature under [8] may serve as a starting point in reviewing the conceptual model for introducing supply quality regulation. The mentioned reference sums up the theoretical thinking, previous practice and work of the Council of European Energy Regulators (CEER) in the area of supply quality regulation. The conceptual model thus developed combines different supply quality elements with the goals that supply quality regulation should reach by using various regulation instruments (Figure 3).

3.2.1 Objectives of supply quality regulation

Theoretical studies of the objectives of supply quality regulation are focused on four main aspects:

- information collection and publication,
- protection of worst supplied customers,
- providing an efficient level of supply quality, and
- development and control of market competition mechanisms.

Collection of reliable information on the actual quality of supply and its publication or making the interested parties acquainted with such information is among the first goals that the regulatory authority should strive for. In this way, customer awareness of the importance of supply quality is raised, on one hand, and, on the other, the regulated undertakings are encouraged to invest more in supply quality. In order to gather data as reliable and accurate as possible, the regulatory authorities often provide instructions according to which the regulated undertakings should gather and process data. All suppliers or distribution system operators are thus enabled to gather and process data in the same way that in turn further allows to compare quality indices among individual undertakings.

The supply quality level that an undertaking offers to every customer varies widely. The regulatory authorities should be particularly concerned about the group of customers to whom electricity supply quality or the existing relationship with the regulated undertaking unacceptable. Hence the protection of worst supplied customers is specified as the second objective.

The third objective is related in principle to the average value of the supply quality elements offered by the regulated undertaking. The concept of efficiency in this objective applies to two aspects

na dva aspekta – troškove koje regulirani subjekt snosi zbog povećanja kvalitete opskrbe i troškove koje snosi kupac zbog loše kvalitete opskrbe.

Posljednji cilj odnosi se na kupce koji zahtijevaju visoku razinu kvalitete opskrbe i koji su ju spremni dodatno platiti. Takvim kupcima potrebno je osigurati tržišne uvjete u kojima oni mogu pregovarati o višoj razini kvalitete opskrbe i uvjete po kojima im regulirani subjekt može osigurati traženu razinu kvalitete opskrbe.

Da bi se postigli navedeni ciljevi, odnosno da bi se osigurali uvjeti za uspješnu primjenu sustava regulacije kvalitete opskrbe, po dosadašnjim iskustvima regulatornih tijela potrebno je voditi računa o više komponenata. Prije svega uvođenje i praćenje sustava kvalitete opskrbe treba promatrati kao dugogodišnji proces koji se zasniva na pouzdanim podacima te kojem je potrebna kontinuirana revizija. Stoga se kao temeljne uvjete za uspostavljenje uspješnog i funkcionalnog sustava regulacije kvalitete opskrbe može navesti sljedeće:

- sustavno i pouzdano prikupljanje podataka,
- postupnost uvođenja regulacije kvalitete opskrbe i provođenje koraka logičnim slijedom,
- regulatornu politiku potrebno je prilagoditi specifičnim uvjetima, kao što je institucionalno okruženje ili karakter potrošnje pojedine države,
- regulatorni instrumenti trebaju biti opravdani, pravični i jednostavni za primjenu,
- uvedeni sustav kvalitete opskrbe ne bi se trebao razmatrati kao trajno rješenje, već bi se trebale provoditi periodične evaluacije sustava i eventualne revizije i
- nužan je kontinuiran dijalog između dionika (slika 2).

3.2.2 Područja kvalitete opskrbe električnom energijom

Kvaliteta opskrbe koja se pruža krajnjem kupcu u opskrbnom lancu električnom energijom rezultat je mnogobrojnih čimbenika. No, kada se razmatra kvaliteta opskrbe kao regulatorna funkcija u načelu se govori samo o elementima kvalitete opskrbe koji se odnose na energetske djelatnosti distribucije i opskrbe električnom energijom. Imajući to u vidu, kvaliteta opskrbe sastoji se od tri područja [9]:

- komercijalna kvaliteta,
- pouzdanost opskrbe i
- kvaliteta napona.

Komercijalna kvaliteta odnosi se na kvalitetu odnosa između opskrbljivača ili distributera i kupca. Komercijalna je kvaliteta važna kupcu prije sklapanja ugovora o opskrbi i ugovora o korištenju mreže, odnosno odabira opskrbljivača. Komer-

— costs born by the regulated undertaking due to increased quality of supply and cost born by customers due to poor quality of supply.

The fourth objective is related to customers who demand a high level of supply quality and who are ready to pay extra for it. For such customers a kind of market conditions should be created where they can negotiate a higher supply quality level including terms under which the regulated undertaking can assure the demanded level.

In order to attain the mentioned objectives, to ensure conditions for a successful application of the supply quality regulation system, according to the existing experience of the regulatory authorities it is necessary to take heed of a number of components. First of all, the introduction and monitoring of the supply quality system should be viewed as a long-term process based on reliable information and requiring continuing revision. As basic conditions for the establishment of a successful and functioning supply quality regulation system the following can be pointed out:

- systematic and reliable data collection,
- step-by-step introduction of supply quality regulation and proceeding in a logical order,
- regulatory policy suited to specific circumstances, such as institutional environment or the nature of consumption in a country,
- regulation instruments which are justified, fair and simple to apply,
- the introduced supply quality system not to be taken as a permanent solution, instead periodical reviews and revisions, if required, should be conducted, and
- continuous dialogue between the stakeholders (Figure 2).

3.2.2 Areas of electricity supply quality

Supply quality being offered to end customers in the electricity supply chain is a result of many factors. But when it comes to supply quality as a regulation function, in principle reference is made only to the supply quality elements relating to the energy activities of distribution and supply. Keeping that in mind, supply quality consists of three areas [9]:

- commercial quality,
- continuity of supply, and
- voltage quality.

Commercial quality is the quality of relations between the supplier or distributor and customers. Commercial quality matters to customers before the conclusion of the supply contract and the network usage contract, or before the choice of supplier. Commercial quality covers many aspects of relations between the supplier or distri-

cijalna kvaliteta pokriva mnoge aspekte odnosa opskrbljivač ili operator distribucijskog sustava – kupac. No, samo neki od njih mogu se mjeriti i regulirati utvrđivanjem standarda ili kroz neke druge instrumente.

Standardi se mogu odnositi na opće odredbe veza-ne uz usluge (često nazivani opći standardi – OS) ili na pružanje usluga pojedinačnim kupcima (često nazivani garantirani standardi – GS). Garantirani su standardi obično povezani s nekom vrstom povrata sredstava kupcima u slučaju da se opskrbljivač ne pridržava utvrđenog standarda. Standardi mogu biti utvrđeni, npr. u smislu maksimalnog vremena u kojem je potrebno osigurati opskrbu ili očitavanje mjernog uređaja, odnosno odgovoriti na usmeni upit ili odgovoriti na žalbu kupca i slično. Tablica 2 prikazuje moguće odnose između opskrbljivača ili distributera i kupca.

buter and customers, but only some of them are measurable and regulable by setting standards or through some other instruments.

Standards can cover general terms and conditions related to services (often called general standards) or the provision of services to individual customers (often called guaranteed standards). The guaranteed standards are usually associated with some kind of refund to customers if the supplier fails to meet the agreed standard. Standards can be agreed, e.g., in terms of maximum time in which supply or meter read-out should be carried out, or an oral query or a customer complaint answered, and the like. Table 2 shows possible relations between the supplier or distributor and customers.

Tablica 2 – Prikaz komercijalnih odnosa između opskrbljivača ili distributera i kupca
Table 2 – Commercial relations between the supplier or distributor and the customer

| Odnosi prije sklapanja ugovora / Relations before the conclusion of the contract | Odnosi tijekom trajanja ugovora / Relations during the term of the contract | |
|---|---|---|
| | Redovni odnosi / Regular relations | Povremeni odnosi / Occasional relations |
| Priključenje (opskrba i brojilo) / Connection (supply & meter) | Točnost računa / Billing accuracy | Problemi s ispadom osigurača / Problems with fuse failure |
| Izračun naknade / Refund calculation | Točnost očitavanja brojila / Meter read-out accuracy | Prigovori radi kvalitete napona / Voltage quality complaints |
| Obavljanje radova / Performance of works | Usluge u centrima za odnose s kupcima / Services at customer relations centers | Problemi s brojiлом / Problems with meter |
| | Telefonske usluge / Telephone services | Upiti vezani uz cijene i plaćanja / Inquiries about prices and payment |
| | | Dogovaranje sastanka / Making appointments |
| | | Odgovaranje na žalbe kupaca / Answers to customer complaints |
| | | Odgovaranje na pisma kupaca (traženje informacija) / Answers to customer letters (seeking information) |
| | | Obavljanje radova / Performance of works |
| | | Izračun naknade / Refund calculation |

Pouzdanost opskrbe karakterizira broj i trajanje prekida. Ova vrsta kvalitete opskrbe odnosi se na djelatnost distribucije električne energije, ali ne i na opskrbu električne energije. Za ocjenjivanje pouzdanosti opskrbe u distribucijskoj mreži koristi se nekoliko pokazatelja. Uspostavljanje sustava regulacije kvalitete opskrbe u ovom segmentu mogao bi, između ostalog, težiti:

Continuity of supply is characterized by the number and duration of interruptions. This kind of supply quality covers electricity distribution, not electricity supply. For assessing the continuity of supply in a distribution network, several indices are used. The establishment of a supply quality regulation system in this segment may, *inter alia*, strive to:

- uvođenju neke vrste kompenzacije za kupce u slučaju vrlo dugačkih prekida,
- zadržavanju pod kontrolom vremena ponovnog uspostavljanja opskrbe te
- uspostavljanju poticaja za smanjenjem broja i trajanja prekida.

Problemi s kojima se regulatorno tijelo može sresti prilikom uspostavljanja sustava praćenja pouzdanosti opskrbe su različite metode i točnosti mjerenja prekida pri energetske subjektima te pripisivanje odgovornosti za svaki od prekida (npr. viša sila, treća strana, prijenosno ili distribucijsko poduzeće itd.). Ovaj dio kvalitete opskrbe smatra se najvažnijim aspektom kvalitete mrežnih djelatnosti. U načelu je to onaj aspekt kvalitete koji regulatorna tijela najviše i najdublje analiziraju te u konačnici integriraju u jedinstveni model regulacije cijene usluga i kvalitete opskrbe električnom energijom. Stoga će se ovaj aspekt u najvećoj mjeri i razmatrati u ovom članku.

Kvaliteta napona postaje sve važniji faktor u opskrbi električnom energijom i za distribucijska poduzeća i za kupce. Prvenstveno je to radi osjetljivosti uređaja krajnjih kupaca te radi mogućeg oštećenja uređaja zbog izobličenja napona. Glavni parametri kvalitete napona su frekvencija, veličina napona, privremeni ili prijelazni prenaponi i distorzije harmonika. Europska norma EN 50160 obuhvaća glavne naponske karakteristike u mrežama srednjeg i niskog napona u normalnim radnim uvjetima.

3.2.3 Instrumenti kvalitete opskrbe

Teorija regulacije kvalitete opskrbe prepoznaje četiri regulatorna instrumenta koji se mogu primijeniti u pojedinom području kvalitete opskrbe, a radi postizanja navedenih ciljeva regulacije kvalitete opskrbe:

- **Objavljivanje podatka o uspješnosti reguliranog subjekta u sferi kvalitete** (kao najjednostavniji regulatorni instrument) – za ovu vrstu instrumenta potrebno je definirati pouzdane pokazatelje kvalitete opskrbe i način njihovog prikupljanja, mjerenja, obrade i dostave regulatornom tijelu. Ovaj instrument trebao bi biti poticaj reguliranim subjektima da povećaju kvalitetu opskrbe,
- **Sustav minimalnih standarda kvalitete** – u primjeni ovog instrumenta regulatorno tijelo bi trebalo definirati minimalnu razinu pojedinog pokazatelja kvalitete opskrbe koja se očekuje od reguliranog subjekta. Ne pružanje minimalne razine kvalitete za pojedini pokazatelj u praksi podrazumijeva plaćanje kazne od strane reguliranog subjekta. Međutim, postoje i situacije u kojima su utvrđeni minimalni standardi samo indikativni i ne podliježu

- introduce a kind of compensation for customers in the event of long interruptions,
- keep the time of supply resumption under control, and
- introduce incentives for reducing the number and length of interruptions.

Problems that the regulatory authority may come across in establishing the continuity of supply monitoring system is the existence of different methods and accuracies of interruption measurement at the energy undertakings and how to qualify the responsibility for an interruption (e.g., force majeure, third party, transmission or distribution enterprise, etc.). This segment of supply quality is considered the most important quality aspect of network services. In principle, it is the quality aspect that the regulatory authorities analyze most extensively and minutely and in the end integrate into a single model for regulation of prices and electricity supply quality. For that reason, this aspect will be give some prominence below.

Voltage quality is becoming an increasingly important factor in electricity supply for both the distribution companies and customers, first of all because of the sensitive devices of end customers and possible damage on them due to voltage distortion. The main voltage quality parameters are frequency, voltage value, temporary or transitional overvoltage and harmonic distortions. The European standard EN 50160 includes the main voltage characteristics in medium and low voltage networks under normal operating conditions.

3.2.3 Supply quality instruments

The theory of supply quality regulation identifies four regulation instruments that may be used in a particular area of supply quality for the purpose of attaining the following objectives of supply quality regulation:

- **Publication of performance quality data on regulated undertakings** (the simplest regulation instrument) – this type of instrument requires a definition of reliable supply quality indices and the manner of their collection, measurement, processing and delivery to the regulatory authority. This instrument should encourage the regulated undertakings to improve the quality of supply,
- **System of minimum quality standards** – In the use of this instrument the regulatory authority should define the minimum level of a particular supply quality index expected from the regulated undertaking. What the failure to provide the minimum quality level for an index means in practice is penalty payment by the regulated undertaking. However, there are situations where the established minimum

kaznama. Potrebno je napomenuti da razvoj funkcionalnog sustava minimalnih standarda kvalitete zahtijeva poznavanje troškova koji se vežu uz pružanje kvalitete opskrbe, kao i koristi koje bi kupac mogao imati od primjene tog sustava,

- **Mehanizam poticanja kvalitete** (mehanizam nagrade i kazne) – uz definiranje razine pokazatelja regulatorno tijelo uvodi i mehanizam nagrade-kazne u slučaju da su postignute vrijednosti pokazatelja ispod, odnosno iznad, propisane razine. Ovaj mehanizam zahtijeva vrlo dobru informiranost regulatornog tijela u pogledu važnosti i vrijednosti koje kupci polažu na kvalitetu opskrbe. No, s druge pak strane, pruža mogućnost reguliranom subjektu da iskoristi prednost koju ima u odnosu na regulatorno tijelo u smislu raspoloživosti informacija o troškovima i mreži te u pogledu angažiranja sredstava,
- **Promicanje premijskih ugovora o kvaliteti između kupca i reguliranog subjekta** – ovaj instrument vrlo je bitan kupcima koji očekuju visoku razinu kvalitete za koju su spremni dodatno platiti. U ovom slučaju radi se o utvrđivanju razine kvalitete koja se pruža pojedinom kupcu, cijena pružanja takve usluge te naknada u slučaju odstupanja od ugovorene razine kvalitete. Ovaj instrument za sada se više razmatra na teorijskoj osnovi, dok je u praksi njegova primjena mala.

U slučaju drugog i trećeg instrumenta, koji se još smatraju i izravnim načinima kontrole kvalitete opskrbe, regulatorno tijelo treba imati aktivnu ulogu. Naime, ono treba utvrditi razinu pokazatelja kvalitete koje je potrebno postići te osigurati reguliranim subjektima poticaje da ih ostvare.

4 REGULACIJA POUZDANOSTI OPSKRBE

4.1 Uvod

Pouzdanost opskrbe kao element regulacije kvalitete opskrbe najznačajnije je područje regulacije monopolnih djelatnosti, stoga je i najzanimljivije s aspekta uvođenja sustava regulacije kvalitete opskrbe i njenog postupnog integriranja s regulacijom cijene usluga. Ovo područje je poprilično složeno za praćenje i analizu, budući da postoji nekoliko vrsta prekida opskrbe te da je razvijeno više načina mjerenja pouzdanosti opskrbe. Nadalje, različiti kupci različito su osjetljivi prema raznim vrstama prekida. S pozicije operatora distribucijskog sustava troškovi povezani s mjerenjem i kontrolom pouzdanosti opskrbe

standards are only indicative and do not involve penalties. It should be noted that the development of a functioning system of minimum quality standards requires acquaintance with the costs associated with quality provision and the benefits that customers could derive from the use of this system,

- **Quality incentive mechanism** (reward/penalty mechanism) – along with the definition of the level of indices, the regulatory authority introduces a reward/penalty mechanism if the reached index values go below or above the established level. This mechanism requires that the regulatory authority is very well informed about the importance and value that customers attach to quality. On the other hand, however, it gives an opportunity to the regulated undertaking to take advantage it has in relation to the regulatory authority in terms of availability of cost and network information as well as in respect of fund employment,
- **Promotion of premium quality contracts between customers and the regulated undertaking** – this instrument is essential for customers who expect a high quality level that they are ready to pay extra. This case involves a definition of quality level offered to a customer, the price of such a service and compensation in the event of withdrawal from the agreed quality level. This instrument is at present theoretically studied, whereas its application in practice is minor.

As for the second and third instruments, which in addition are considered direct ways of supply quality control, the regulatory authority is to play an active part, because it must define the level of quality indices to be reached and provide incentives for the regulated undertakings to reach them.

4 CONTINUITY OF SUPPLY REGULATION

4.1 Introduction

Continuity of supply as an element of supply quality regulation is the most important area of the regulation of monopoly services and hence the most interesting in terms of introduction of a system of supply quality regulation system and its gradual integration with price regulation. This area is quite complicated for monitoring and analysis, because there are several types of supply interruptions and a number of continuity of supply measurement methods have been developed. Furthermore, different customers are differently sensitive to different types of interruptions. From the standpoint of the distri-

ovisni su o vrsti prekida, naponskoj razini i dostupnoj tehnologiji praćenja prekida.

Glavne karakteristike pouzdanosti opskrbe su sljedeće:

- vrsta prekida: planirani ili neplanirani prekid,
- trajanje svakog prekida: kratki ili dugi prekid. Europska norma EN 50160 definira dugi prekid kao prekid koji traje dulje od 3 minute. U nekim se državama prekidi zbog automatskih ponovnih ukapčanja nazivaju prijelaznim prekidima;
- broj kupaca koji su obuhvaćeni prekidom,
- vrsta pokazatelja o pouzdanosti opskrbe - broj ili trajanje prekida (pojedina kategorija kupca je osjetljivija na ukupno trajanje prekida, odnosno na broj prekida):
 - CML (engl. *Customer Minutes Lost*) – ukupno godišnje trajanje prekida po kupcu ili SAIDI (engl. *System Average Interruption Duration Index*) – prosječno trajanje prekida u sustavu,
 - CI (engl. *Customer Interruptions*) – godišnji broj prekida po kupcu ili SAIFI (engl. *System Average Interruption Frequency Index*) – prosječan broj prekida u sustavu i
 - ENS (engl. *Energy Not Supplied*) - neisporučena energija povezana je s CML i sofisticiraniji je pokazatelj budući da uzima u obzir neisporučenu energiju zbog prekida.

Prije nego što se donesu odluke vezane uz regulaciju pouzdanosti opskrbe, nužno je da regulatorno tijelo razmotri sljedeće probleme vezane uz pouzdanost opskrbe:

- **Mjerenje prekida** – mogu se prihvatiti različite vrste pokazatelja pouzdanosti opskrbe. U državama gdje postoji više distributera električne energije nužno je uvesti konzistentni način mjerenja kod svih kao i praćenje jednakih pokazatelja pouzdanosti opskrbe,
- **Odgovornost za prekide** – neke od prekida ne uzrokuje distributer, već npr. kupac, treća strana ili drugi operator sustava,
- **Vremenske nepogode i viša sila** – mnogi prekidi uzrokovani su vremenskim prilikama, npr. munje, snježna oluja itd. Prekidi zbog vremenskih neprilika i više sile ne bi trebalo promatrati kroz prizmu utvrđenih standarda,
- **Razlika u zemljopisnim karakteristikama i strukturi mreže** – nadzemni vodovi su jeftiniji, ali i izloženiji većoj mogućnosti prekida

tribution system operator (DSO), the costs associated with the continuity of supply measurement and control are dependent on the type of interruption, voltage level and the available interruption monitoring technology.

The main characteristics of continuity of supply are:

- type of interruption: planned or unplanned,
- duration of an interruption: short or long. Under the European standard EN 50160 long interruption is one lasting more than 3 minutes. In some countries the interruptions due to automatic reconnections are referred to as transitional interruptions,
- number of customers affected by an interruption,
- type of continuity of supply index – number or duration of interruptions (some customer categories are more sensitive than others to the total duration of an interruption or the number of interruptions):
 - CML (Customer Minutes Lost) – total annual duration of interruptions per customer, or SAIDI (System Average Interruption Duration Index),
 - CI (Customer Interruptions) – annual number of interruptions per customer, or SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), and
 - ENS (Energy Not Supplied) – unsupplied energy is linked to CML and is a more sophisticated index, because it takes into account unsupplied energy due to interruptions.

Before deciding on matters concerning continuity of supply regulation, the regulatory authority has to consider the following problems associated with continuity of supply:

- **Interruption measurement** – Different types of continuity of supply indices can be adopted. In the countries with more electric power distributors it is necessary to introduce a consistent measurement method with all of them and to ensure that equal continuity of supply indices are monitored,
- **Responsibility for interruptions** – some interruptions are not caused by the distributor, but by others, say, a customer, a third party or another system operator,
- **Weather conditions and force majeure** – many interruptions are caused by weather conditions, such as lightning, snowstorms, etc. Interruptions caused by weather conditions and force majeure should not be viewed through the prism of established standards,

od kablenskog razvoda. Kabelski razvod je ekonomski isplativ samo kod odgovarajuće gustoće opterećenja. Iz tih razloga mnoga regulatorna tijela dijele područja koristeći odgovarajuće pokazatelje gustoće kupaca ili opterećenja.

Sa spomenutom problematikom europska regulatorna tijela suočila su se na različite načine. S obzirom da u većini slučajeva nije moguće uspoređivati podatke koji se odnose na pouzdanost opskrbe između različitih država (npr. ne postoji istovjetan način na koji se uzimaju zemljopisne različitosti unutar pojedine države), potrebno je uvesti neku vrstu ravnania po mjerilu (engl. *benchmarking*) pokazatelja pouzdanosti opskrbe.

4.2 Regulatorni instrumenti

Pouzdanosti opskrbe kao jedno od područja regulacije kvalitete opskrbe može se regulirati primjenjujući jedno od četiri prethodno navedena regulatorna instrumenta.

Objavljivanje podataka o pouzdanosti opskrbe i komunikacija sa svim interesnim stranama najjednostavniji je regulatorni instrument, budući da od regulatornog tijela ne zahtijeva razvijanje regulatornog pristupa, kao niti utvrđivanje standarda. Ovaj instrument ujedno je temelj za daljnje uvođenje složenijih instrumenata, kao i za razumijevanje koncepta regulacije kvalitete i razvijanje svijesti o kvaliteti opskrbe kod svih interesnih strana.

Pregled podataka o pokazateljima pouzdanosti opskrbe obično se objavljuje u godišnjim izvješćima reguliranih subjekata, u posebnim publikacijama o kvaliteti ili na internetskim stranicama regulatornog tijela ili reguliranog subjekta. Dodatno, regulatorno tijelo može zahtijevati od reguliranog subjekta da u problematiku uključi stav kupaca (konzultacije s udrugama kupaca ili sudjelovanje kupaca u savjetodavnim tijelima reguliranog subjekta). Osnovna je ideja ovog instrumenta da se regulirani subjekt na neki način 'izloži' kontroli javnosti.

Objava podataka isto tako omogućuje ravnania po mjerilu više reguliranih subjekata. U tom je slučaju potrebno pronaći različitosti kod pojedinih reguliranih subjekata, koje rezultiraju značajnim odstupanjima u razini pokazatelja, a koja su uvjetovana vanjskim faktorima kao što su gustoća i karakter kupaca, konfiguracija mreže, karakteristike zemljišta itd. Uzrok odstupanja može biti i prikupljanje i obrađivanje podataka na različite načine. Navedeni problem može se izbjeći na način da regulatorno tijelo utvrdi smjernice za mjerenje, prikupljanje i obradu podataka, kao i njihovo objavljivanje koje bi na jedinstven način

- **Difference in the geographical features and structure of a network** – overhead lines are cheaper, but also exposed to a greater risk of interruption than underground cables. Underground cables are economically feasible only with a given load density. For these reasons many regulatory authorities share areas using appropriate customer or load density indices.

With the mentioned issues the European regulators have been coping in different ways. As in most cases it is impossible to compare the continuity of supply data between different states (for example, there is no universal way of accounting for geographical diversities within a country), a kind of benchmarking for the supply quality indices should be introduced.

4.2 Regulation instruments

Continuity of supply as an area of supply quality regulation can be regulated by using one of the four above mentioned regulation instruments.

Publication of continuity of supply data and communication with all stakeholders is the simplest regulation instrument, because it does not expect from the regulatory authority to develop the regulation approach or to set standards. This instrument is also a groundwork for further introduction of more complex instruments as well as for understanding the concept of quality regulation and developing the supply quality awareness with all parties concerned.

An overview of data concerning the continuity of supply indices is usually released through annual reports by regulated undertakings, in special publications on quality issues or on web pages of the regulatory authority or regulated undertakings. In addition to it, the regulatory authority may ask the regulated undertaking to include customer opinions (consultations with customer associations or customer participation in consultative bodies of the regulated undertaking). The idea behind this instrument is to make the regulated undertaking somehow 'exposed' to public control.

Publication of data also allows benchmarking of more regulated undertakings. In that case it is necessary to identify differences with individual regulated undertakings resulting in significant deviations in the level of indices determined by external factors such as customer density and character, network configuration, land characteristics, etc. The cause of deviation may also stem from various ways of data collection and processing. The said problem can be so avoided that the regulatory authority defines guidelines for data measurement, collection and processing, as well as publication, that would be uniformly applied by all electric power distributors in a country. This would also ensure greater

primjenjivali svi distributeri električne energije u pojedinoj državi. Na taj način ujedno bi se osigurala veća pouzdanost podataka kao i mogućnost njihove provjere od strane regulatornog tijela.

Pouzdanost i provjerljivost podataka vrlo je bitan preduvjet za uvođenje složenijih regulatornih instrumenata koji imaju izravan ekonomski utjecaj.

4.2.1 Minimalni standardi pouzdanosti opskrbe

Postoje četiri glavna pristupa na kojima se temelji sustav minimalnih standarda pouzdanosti opskrbe u EU članicama [9], a to su:

- individualni standardi (standardi koji se odnose na pojedinačnog kupca),
- prosječni standardi,
- godišnja stopa poboljšanja standarda i
- razinu pouzdanosti opskrbe najlošije opskrbljivanog kupca.

Iskustva regulatornih tijela u nametanju pojedinih standarda su različita i ovise o postavljenim ciljevima. Individualni standardi i standardi koji se odnose na pouzdanost opskrbe najlošije opskrbljivanog kupca obično imaju karakter garantiranog standarda za čije su utvrđivanje potrebna pojedinačna mjerenja prekida što je zahtjevno i skupo. Prosječni standardi i godišnja stopa poboljšanja standarda su relevantniji za uvođenje općih standarda i zadržavanje određene razine pouzdanosti opskrbe. Stoga se ujedno mogu koristiti i kao pokazatelji smanjenja razlike između pojedinih područja/regija unutar države, što je u mnogim slučajevima i cilj uvođenja regulacije kvalitete opskrbe. Tablica 3 daje ilustrativni prikaz individualnog standarda – maksimalno trajanje neplaniranog prekida i kompenzacijske mehanizme [10].

Ono što je bitno s aspekta regulatornog tijela jest visina kazne koja se propisuje u slučaju neispunjenja postavljenih zahtjeva na pokazatelje kvalitete. U slučaju da je kazna preniska, utvrđena razina standarda u načelu nije vjerodostojna, budući da regulirani subjekt može odlučiti da mu je isplativije ne zadovoljiti razinu standarda. Isti se slučaj može javiti ukoliko je standard postavljen prenisko. No, s druge pak strane, ukoliko je utvrđena kazna previsoka, odnosno ukoliko je razina standarda postavljena previsoko, regulirani subjekt može se suočiti s nepovoljnim financijskim posljedicama koje u konačnici mogu utjecati na financijsku održivost reguliranog subjekta. Budući da se radi o monopolističkoj djelatnosti distribucije električne energije, politika regulatornog tijela ne bi smjela dovesti regulirani subjekt u financijski neodrživ položaj. Iz navedenog je razloga bitno da se regulatorno tijelo što

reliability of data and the possibility of their verification by the regulatory authority.

Data reliability and confidentiality is an essential precondition for the introduction of more complex regulation instruments having a direct economic impact.

4.2.1 Minimum continuity of supply standards

There are four main approaches underlying the system of minimum continuity of supply standards in the EU Member States [9], viz.:

- individual standards (those relating to individual customers),
- average standards,
- annual standard improvement rate, and
- continuity of supply level of worst supplied customers.

Experiences of the regulatory authorities in imposing individual standards are diverse and depend on the set goals. Individual standards and standards relating to the continuity of supply level of the worst supplied customers usually have the status of a guaranteed standard, the establishment of which requires individual interruption measurements, which is demanding and expensive. The average standards and annual standard improvement rate are more relevant for the introduction of general standards and for maintaining a certain level of continuity of supply. They can hence be also used as indices of reduced differences between particular areas/regions within a country, which in many cases is actually the purpose of an introduced supply quality regulation. Table 3 illustrates an individual standard – maximum duration of unplanned interruption and compensation mechanisms [10].

From the regulatory authority's point of view the essential thing is the amount of penalty imposed in the event of failure to meet quality requirements. If the penalty is too low, the defined standard level is not credible in principle, because the regulated undertaking may decide that it pays more not to comply with the standard level. The same may happen if the standard is set too low. On the other hand, if the imposed penalty is too high, or if the standard level is set too high, the regulated undertaking may become faced with adverse financial consequences that can affect its financial sustainability. As it is a case of the monopoly service of electric power distribution, the policy of the regulatory authority should not bring the regulated undertaking into a financially untenable position. For that reason it is essential that the regulatory authority is thoroughly informed about the regulated undertaking's operations. The information asymmetry between the regulated undertaking and the regulatory authority may turn out to be the main barrier to the implementation of an optimal policy.

Tablica 3 – Prikaz individualnog standarda (maksimalno trajanje neplaniranog prekida) i kompenzacijskih mehanizama
 Table 3 – Individual standard (maximum duration of unplanned interruption) and compensation mechanisms

| Država / State | Standard (trajanje u satima) / Duration in hours [h] | Uvjeti / Conditions | Kompenzacijski mehanizam / Compensation mechanism | Iznos / Amount |
|----------------------------------|--|---|--|---|
| Češka / Czech R. | NN / LV: 18 VN / HV: 12 | Izvanredni događaji (viša sila) isključeni / Contingencies (force majeure) excluded | Na zahtjev: kupac mora potraživati kompenzaciju u roku od 5 radnih dana / Upon request: customer must claim compensation within 5 working days | 10% od ukupnog iznosa koji kupac plaća DSO-u: / 10% of the total amount that the customer pays to DSO kupci na NN max. 150 EUR / LV customers max. 150 EUR kupci na VN: max 300 EUR / HV customers max. 300 EUR |
| Finska / Finland | 12 | Izvanredni događaji (viša sila) isključeni / Contingencies (force majeure) excluded | Na zahtjev: međutim mnoge tvrtke plaćaju kompenzaciju automatski / Upon request: however, many companies pay compensation automatically | za trajanje prekida / for interruption length: – 12 h to 24 h: 10% kupčevog godišnjeg troška koji plaća za mrežne usluge / 10% of the customer's annual cost paid for network services, – 24 h do / to 72 h: 25%, – 72 h do / to 120 h: 50%, – više od 120 h: 100% max 350 EUR / more than 120 h: 100% max 350 EUR |
| Francuska / France | 6 | Izvanredni događaji (viša sila) isključeni / Contingencies (force majeure) excluded | Automatski / Automatic | Za svaki raspon od 6 h 2% fiksne komponente u tarifi (npr. 4% za više od 12h itd.) / For each 6 h span 2% of fixed tariff component (e.g., 4% for more than 12 h, etc.) |
| Mađarska / Hungary | 12 h (u slučaju jednog prekida) / 12 h (one interruption) 18 h (u slučaju više smetnji) / 18 h (more disturbances) | Izvanredni događaji isključeni / Contingencies (force majeure) excluded | 1 DSO – automatski / 1 DSO – automatic 5 DSO-ova – na zahtjev / 5 DSOs – upon request | Domaćinstva: oko 8 USD, na zahtjev 20 EUR; Ostali kupci od 12 EUR do 120 EUR / Households: about 8 USD, upon request 20 EUR; other customers 12 to 120 EUR |
| Velika Britanija / Great Britain | Normalne vremenske prilike / Normal weather conditions: 18 h, Izvanredne prilike / Extraordinary conditions: od / from 24 h do / to 141 h | Ozbiljne vremenske prilike isključene / Severe weather conditions excluded Pojedini izvanredni događaji isključeni / Single contingencies excluded | Na zahtjev / Upon request Na zahtjev / Upon request | Domaćinstva: 50 GBP; ostali 100 GBP, plus 25 GBP za svakih daljnjih 12 sati / Households: 50 GBP; others 100 GBP plus 25 GBP for every next 12 hours Sve kategorije kupaca: 25 GBP plus 25 GBP za svakih daljnjih 12h do max 200 GBP / For all customer categories: 25 GBP plus 25 GBP for every next 12 hours up to max 200 GBP |

detaljnije upozna s poslovanjem reguliranog subjekta. Tu se informacijska asimetrija regulirani subjekt – regulatorno tijelo može pokazati kao glavna prepreka provođenju optimalne regulatorne politike.

Dobre strane sustava minimalnih standarda pouzdanosti opskrbe su utvrđivanje jasnih razina željene kvalitete pouzdanosti opskrbe s kojima su upoznati regulirani subjekti i kupci te uvođenje mehanizma kazni koji daje poticaj reguliranim subjektima da pruže odgovarajuću razinu pouzdanosti opskrbe. Međutim, minimalni standardi imaju i svoja ograničenja. Jedno od ograničenja je da ne postoji kontinuirana veza

The advantages of the system of minimum continuity of supply standards include the definition of clear-cut levels of desired continuity of supply quality known to the regulated undertakings and customers and the introduction of a penalty mechanism urging the regulated undertakings to provide an adequate level of continuity of supply. However, minimum standards have their limitations, too. One of them is that there is no continuous correlation between the attained index level and the price being paid for it, that the correlation is instead binary – the penalty is paid or not paid. Such a correlation may influence the behavior of the regulated undertaking in that the regulated undertaking will tend to assume an attitude of trying to ensure a level of continu-

između ostvarene razine pokazatelja i cijene koja se za to plaća, već je korelacija binarna - kazna se plaća ili ne plaća. Ovakav odnos može utjecati na ponašanje reguliranog subjekta na način da regulirani subjekt usvoji stav prema osiguranju razine pouzdanosti opskrbe na način da nastoji osigurati razinu pouzdanosti opskrbe koja je blizu razine propisanog minimuma, kako bi na taj način u što većoj mjeri smanjio svoje troškove. Dakle, regulirani subjekt neće nastojati pružiti veću kvalitetu nego što je propisano minimalnim standardima kvalitete, već će na neposredni način minimalna razina kvalitete diktirati razinu kvalitete koju će regulirani subjekt nastojati pružiti kupcu.

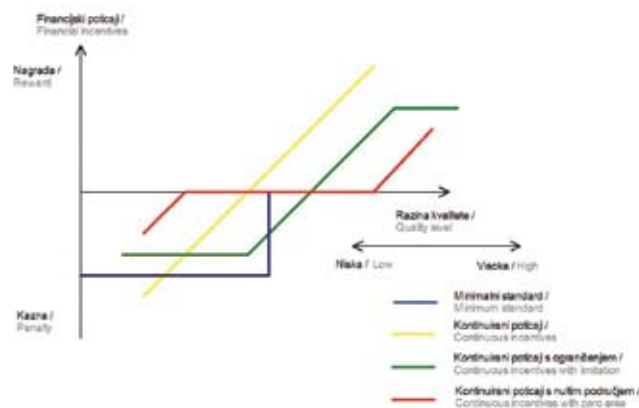
4.2.2 Mehanizam poticanja pouzdanosti opskrbe

Mehanizam poticanja pouzdanosti opskrbe može se promatrati kao svojevrsna nadogradnja sustava minimalnih standarda kvalitete. Karakteristično svojstvo nadogradnje odražava se u kontinuiranoj vezi između cijene i kvalitete. Naime, u ovom regulatornom instrumentu svaka razina pouzdanosti opskrbe u korelaciji je s financijskim poticajem. Ukoliko regulirani subjekt ostvari razinu standarda ispod utvrđene granice, poticaj za reguliranog subjekta je s negativnim predznakom, odnosno primjenjuje se novčana kazna. U suprotnom ukoliko ostvari bolje razine pokazatelja od minimalno utvrđene granice poticaj je novčana nagrada. Regulatorna tijela do sada su razvila različite poticajne mehanizme, u kojima odnos financijskih poticaja i razine kvalitete može biti prikazan različitim funkcijskim odnosima (slika 4). Odabir pojedinog odnosa ovisi o učincima koji se žele postići mehanizmom poticaja pouzdanosti opskrbe.

ity of supply close to the prescribed minimum level, with an aim to minimize costs. In other words, the regulated undertaking will not strive for greater quality than required under minimum quality standards, instead the minimum quality level will directly determine the quality level that the regulated undertaking will endeavor to offer its customers.

4.2.2 Continuity of supply incentive mechanism

The continuity of supply incentive mechanism can be viewed as a kind of upgrade of the system of minimum quality standard. The characteristic feature of the upgrade is reflected in a continuous correlation between price and quality. In this regulation instrument any continuity of supply level is correlated to a financial incentive. If the regulated undertaking attains a standard level below the set limit, the incentive for the regulated undertaking has the negative sign, meaning that a penalty will be charged. Otherwise, if index levels above minimum are attained, the incentive will be a money reward. So far the regulatory authorities have developed various incentive mechanisms in which the relation between financial incentives and quality level can be expressed by different functions (Figure 4). The choice of a relation depends on the effects one expects to achieve with the continuity of supply incentive mechanism.



Slika 4 – Mehanizmi poticanja pouzdanosti opskrbe (sustav kazne i nagrade)
Figure 4 – Continuity of supply incentive mechanisms (penalty/reward system)

Mehanizme poticaja pouzdanosti opskrbe do sada su uvele mnoge europske države [11]: Italija (2000.), Norveška (2001.), Velika Britanija (2002.), Irska (2002.), Mađarska (2003.), Švedska (2003.), Portugal (2004.), Estonija (2006.) i Nizozemska (2007.).

The continuity of supply incentive mechanisms have been introduced by quite a few European countries [11]: Italy (2000), Norway (2001), Great Britain (2002), Ireland (2002), Hungary (2003), Sweden (2003), Portugal (2004), Estonia (2006) and Netherlands (2007).

Financijski poticaji također mogu biti utvrđeni na više načina. Jedan od pristupa je utvrditi apsolutni iznos novčane kazne ili nagrade po jedinici kvalitete pokazatelja (npr. u slučaju pokazatelja SAIDI iznos bi bio fiksna po izgubljenoj minuti). Drugi je način da se financijski poticaj utvrdi kao relativni iznos (postotak) npr. prihoda ili kao povećanje/smanjenje odobrene stope povrata. Tablica 4 daje prikaz europske regulatorne prakse u primjeni mehanizama poticaja pouzdanosti opskrbe [7].

Financial incentives can also be defined in several ways. One of them is to determine the absolute amount of penalty or reward per unit of quality index (e.g., in the case of SAIDI index, the amount would be fixed per minute lost). Another way is to define the financial incentive as income percentage or as an increase/decrease in the approved rate of return. Table 4 gives an overview of the European regulatory practice in the application of the continuity of supply incentive mechanisms [7].

Tablica 4 – Prikaz europske regulatorne prakse u primjeni mehanizama poticanja pouzdanosti opskrbe
Table 4 – European regulatory practice in the application of the continuity of supply incentive mechanisms

| Država / State | Mehanizam poticaja / Incentive mechanism | Pokazatelj pouzdanosti opskrbe / Continuity of supply indices | Cilj / Objective | Kazna/nagrada / Penalty/reward |
|----------------------------------|--|---|--|---|
| Italija / Italy | Kontinuirani / Continuous | SAIDI | Godišnje poboljšanje pokazatelja pouzdanosti opskrbe do 16 % / Annual improvement of continuity of supply index up to 16 % | Kazna/nagrada oko / Penalty/reward ca. 18 EUR/kWh |
| Mađarska / Hungary | Kaskadni s ograničenjem / Cascade with limitation | SAIFI and SAIDI | Godišnje poboljšanje pokazatelja pouzdanosti opskrbe do 16 % / Annual improvement of continuity of supply index up to 16 % | Kazna do 3 % prihoda reguliranog subjekta / Penalty up to 3% of income |
| Nizozemska / Netherlands | Kontinuirani / Continuous | SAIDI | Prosječna vrijednost pokazatelja reguliranih subjekata / Average index value of regulated undertakings | Kazna ili nagrada temelji se na troškovima prekida kupaca / Penalty or reward based on customer interruption cost |
| Norveška / Norway | Kontinuirani / Continuous | ENS | Povijesna vrijednost pokazatelja / Historical index value | Kazna/nagrada / Penalty/reward: Domaćinstva / Households: 0,4 EUR/kWh Poduzetništvo / Industry: 4,5 EUR/kWh |
| Velika Britanija / Great Britain | Kontinuirani s ograničenjem / Continuous with limitation | CI and ENS | Povijesna vrijednost pokazatelja / Historical index value | Kazna ili nagrada do 2 % prihoda reguliranog subjekta / Penalty or reward up to 2 % of income |

SAIDI – prosječno trajanje prekida po kupcu / System Average Interruption Duration Index

SAIFI – prosječan broj prekida u sustavu / System Average Interruption Frequency Index

ENS – neisporučena energija / Energy Not Supplied

CI – godišnji broj prekida po kupcu / Customer Interruptions, i.e., annual number of interruptions per customer

5 ISKUSTVA MAĐARSKOG REGULATORNOG TIJELA

Mađarsko regulatorno tijelo (MEH) osnovano je 1994. godine, a već u 1995. godini značajnu pažnju posvetilo je problemima kvalitete opskrbe. MEH je temeljem vlastitih i iskustava inozemnih regulatornih tijela prepoznao kvalitetu opskrbe kao bitan čimbenik regulacije, stoga je i u mađarski energetska zakon koji se primjenjivao od 1. siječnja 2003. godine (prije usvajanja Direktive 2003/54/EZ)

5 EXPERIENCES OF THE HUNGARIAN REGULATORY AUTHORITY

The Hungarian regulatory authority (MEH) was founded in 1994 and already in 1995 it studied carefully the supply quality issues. Based on its own experience and the experiences of foreign regulatory authorities, MEH identified the supply quality as a crucial regulation factor, with the result that the Hungarian Energy Act, effective since 1 January

ugrađena odredba kojom se utvrđuje da je potrebno propisati minimalne standarde kvalitete opskrbe za svakog od subjekata kojemu je izdana dozvola za obavljanje energetske djelatnosti kao i očekivana razina kvalitete opskrbe.

Kupce električne energije u Mađarskoj opskrbljuju 6 regionalnih distribucijskih poduzeća. Kriterije kvalitete opskrbe MEH propisuje odvojeno za svako od 6 distribucijskih poduzeća. U Mađarskoj isti energetske subjekt obavlja djelatnost distribucije i opskrbe električnom energijom. Stoga su prilikom propisivanja kvalitete opskrbe obuhvaćeni standardi kvalitete opskrbe i za distribuciju i za opskrbu električnom energijom.

Tablica 5 daje kronološki prikaz uvođenja sustava regulacije kvalitete opskrbe od strane MEH-a [12] do [14].

2003 (before the adoption of Directive 2003/54/EC), incorporates a provision stipulating that minimum supply quality standards ought to be established for every undertaking to which the energy license has been issued, as well as the expected supply quality level.

Electricity customers in Hungary are supplied by six regional distribution undertakings. The supply quality criteria are set by MEH for each of the six distribution undertakings separately. In Hungary the same energy undertaking performs the functions of electricity distribution and supply. Hence the setting of supply quality standards comprises supply quality standards for both electricity distribution and supply alike.

Table 5 gives a chronological overview of supply quality regulation introduced by MEH [12] to [14].

Tablica 5 – Kronološki prikaz uvođenja regulacije kvalitete opskrbe u Mađarskoj
Table 5 – Chronological overview of supply quality regulation introduced in Hungary

| Razdoblje / Period | Aktivnost / Activity |
|--------------------|---|
| 1995.–2003. | Definiranje, prikupljanje i obrada podataka vezanih uz kvalitetu opskrbe (distribucija i opskrba) – opći standardi vezani uz uslugu distribucije i opskrbe / Definition, collection and processing of supply quality data (distribution and supply) – general distribution & supply standards |
| 1996.–2004. | Mjerenje zadovoljstva kupaca uslugama distribucije i prijenosa; istraživanja se obavljaju svake godine / Measurement of customer satisfaction with distribution & supply services: yearly surveys |
| 2003.– | Utvrđivanje minimalnih standarda i očekivane razine pokazatelja pouzdanosti opskrbe (na razini sustava) te komercijalne kvalitete / Establishing minimum standards and expected indices of continuity of supply (at system level) and commercial quality |
| 2004.– | Uvođenje mehanizma poticanja pouzdanosti opskrbe (kazna/nagrada) / Introducing the continuity supply incentive mechanisms (penalty/reward) |
| 2004.– | Utvrđivanje minimalnih zahtjeva i očekivane razine kvalitete za pojedinačnog kupca – garantirani standardi / Setting minimum requirements and expected quality level for individual customers |

Elementi koje obuhvaća sadašnji sustav kvaliteta opskrbe, a koji nadzire MEH su:

- izvješćivanje o prekidima i njihova ocjena,
- ocjenjivanje zadovoljstva kupaca s uslugama distribucije i opskrbe,
- garantirani standardi,
- opći standardi,
- obveza uvođenja sustava upravljanja kvalitetom opskrbe i
- mehanizam poticanja pouzdanosti opskrbe (nagrada-kazna).

Bitno je naglasiti MEH-ovu postupnost u uvođenju pojedinih poteza u razvoju regulacije kvalitete opskrbe, te činjenicu da su od samog početka uključeni svi dionici (energetski subjekti, kupci, regulatorno tijelo).

The elements of the current MEH-controlled supply quality system are:

- reporting on interruptions and their assessment,
- assessment of customer satisfaction with distribution and supply services,
- guaranteed standards,
- general standards,
- mandatory introduction of a supply quality management system, and
- continuity of supply incentive mechanism (reward/penalty).

It is important to note MEH's step-by-step approach in the development of supply quality regulation, as well as the fact that from the outset all stakeholders (energy undertakings, customers, the regulatory authority) were involved in the process.

5.1 Izvješćivanje o prekidima i njihova ocjena

U skladu s uvjetima iz dozvole koju izdaje MEH, energetska subjekt koji obavlja djelatnost distribucije, odnosno opskrbe, električnom energijom dužan je izraditi godišnje izvješće. Godišnje izvješće mora sadržavati i dio koji se odnosi na statistiku prekida tijekom godine. Elementi statistike utvrđeni su Odlukom MEH-a iz 1995. godine [14]:

- ukupna neisporučena energija zbog prekida [MW h],
- pokazatelj prekida [%],
- prosječno trajanje prekida [min],
- prekid po pojedinačnom kupcu [kW h/kupac],
- broj VN prekida,
- broj SN prekida,
- ukupna neisporučena energija zbog SN prekida [MW h],
- trajanje SN prekida [h],
- broj NN prekida,
- specifični broj pojedinačnih prekida (broj/1 000 kupaca) i
- specifični broj grupnih prekida.

MEH analizira dostavljena izvješća s ciljem:

- izrade izvješća o prekidima na nacionalnoj razini i
- ocjene svakog pojedinog distributera, uspoređujući ih međusobno, odnosno uspoređujući ih s nacionalnim prosjekom.

Podaci koji se odnose na NN prilike prikupljaju se i obrađuju uglavnom ručno. Stoga su značajna nastojanja od strane MEH-a usmjerena k uspostavi informacijskog sustava kojim bi se podaci automatski prikupljali, obrađivali i analizirali, što bi u velikoj mjeri povećalo pouzdanost podataka kao i dalo veću vjerodostojnost sustavu praćenja kvalitete opskrbe. Uspostavljanje jedinstvenog sustava praćenja kvalitete opskrbe u Mađarskoj se nametnuo kao prioritet već od samih početaka liberalizacijskog procesa.

5.2 Ocjenjivanje zadovoljstva kupaca s uslugama distribucije i opskrbe

MEH provodi istraživanje o zadovoljstvu kupaca s uslugama distribucije i opskrbe električnom energijom na godišnjoj razini od 1996. godine. Metodološki se istraživanje mijenjalo i usavršavalo. MEH-ova su nastojanja postići 95 % pouzdanosti u uzorkovanju. Kao posljedica takvih nastojanja u 2007. godini provedeno je istraživanje na uzorku od 7 200 kućanstava i 1 800 kupaca u kategoriji ostali [15].

Pitanja postavljena u istraživanju su koncipirana na način da pokriju sljedeće elemente:

5.1 Reporting on interruptions and their assessment

Pursuant to the terms and conditions of the energy license issued by MEH, the electric power distribution or supply system operator is required to prepare an annual report. The annual report must include the part relating to interruption statistics for the respective year. The statistics elements are defined in the MEH Decision of 1995 [14]:

- total energy not supplied due to interruptions [MW h],
- interruption index [%],
- average interruption duration [min],
- interruption by customer [kW h/customer],
- number of HV interruptions,
- number of MV interruptions,
- total energy not supplied due to interruptions [MW h],
- duration of MV interruptions [h],
- number of LV interruptions,
- specific number of individual interruptions (number/1 000 customers), and
- specific number of group interruptions.

The submitted reports are analyzed by MEH with the purpose to:

- prepare reports on interruptions at national level, and
- assess each distributor by comparing them mutually and with the national average.

Data relating to LV conditions are collected and processed manually for the most part, so major efforts are focused on the establishment of an information system for automatic data collection, processing and analysis, which would greatly enhance data reliability and lend more credibility to the quality monitoring system. Putting a central quality monitoring system in place has been seen in Hungary as a priority task from the very beginnings of the liberalization process.

5.2 Assessment of customer satisfaction with distribution and supply services

Since 1996 MEH has been conducting yearly surveys on customer satisfaction with electricity distribution and supply services. Survey methods have been subject to modifications and improvements. MEH strives for 95 % sampling reliability. That is why the survey 2007 was conducted on a sample of 7 200 households and 1 800 customers in the category others [15].

The questions asked in the survey were conceived to cover the following elements:

- kvalitetu opskrbe,
- operativne odnose s kupcima,
- komunikaciju s kupcima,
- cijene/tarife i
- zaštitu okoliša.

Odvojeni upitnici, kao i način obrade i ocjene rezultata, priređeni su za dvije kategorije kupaca: domaćinstva i ostali kupci. Svako od pitanja koncipirano je na način da kupac ocijeni svoje zadovoljstvo (*Z*) s predmetnom uslugom te da ocijeni važnost (*I*) koju ta usluga ima za njega. Za svaku od usluga na temelju odgovora računa se razlika između zadovoljstva i važnosti kako bi se utvrdile usluge koje se pružaju ispod, odnosno iznad očekivanja kupaca.

Unutar pojedinih grupa pitanja, prioriteta su dani sljedećim elementima:

- kvaliteta opskrbe:
 - područja kvalitete i
 - otklanjanje prekida,
- operativni odnos s kupcima:
 - očitavanje, ispostava računa,
 - način naplate i
 - postupanje sa žalbama,
- komunikacija s kupcima:
 - procjena broja zaposlenih,
 - pružanje informacija i
 - odnosi s javnošću,
- cijene:
 - tarifne stavke,
 - popusti i
 - tarifne zone.

- supply quality,
- operating relations with customers,
- communication with customers,
- prices/tariffs, and
- environmental protection.

For two customer categories, households and other customers, separate questionnaires and methods of processing and evaluations of results were prepared. Each question was so conceived that a subject could assess his or her satisfaction (*Z*) with the respective service and the importance (*I*) the respective service had for him or her. Based on the answers given for each of the services, the difference is computed between satisfaction and importance in order to single out the services rendered below or above customer expectations.

Within the groups of questions priorities were given to the following elements:

- supply quality:
 - quality area, and
 - interruption repair,
- operating relation with customers:
 - read-out, billing,
 - manner of payment, and
 - dealing with complaints,
- communication with customers:
 - estimated number of employees,
 - provision of information, and
 - public relations,
- prices:
 - tariff items,
 - discounts, and
 - tariff zones.

Tablica 6 – Rezultati istraživanja zadovoljstva kupaca s najvažnijim uslugama distribucije u Mađarskoj u razdoblju od 2004. do 2007. godine (kategorija domaćinstva)

Table 6 – Results of customer satisfaction survey covering the most important distribution services in Hungary in the period 2004-2007 (household category)

| Element kvalitete / Quality elements | Zadovoljstvo / Satisfaction [%] | | | | Važnost / Importance [%] | | | | Razlika / Difference [%] | | | |
|---|---------------------------------|------|------|------|--------------------------|------|------|------|--------------------------|-------|-------|-------|
| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| Kvaliteta usluga / Service quality | 79,1 | 79,8 | 79,8 | 80,7 | 86,9 | 86,7 | 85,8 | 89,3 | -7,8 | -6,9 | -6,0 | -8,6 |
| Pouzdanost napajanja / Continuity of supply | 80,3 | 81,1 | 82,5 | 82,3 | 97,3 | 96,5 | 97,4 | 96,9 | -17,0 | -15,4 | -14,9 | -14,6 |
| Oscilacije napona / Voltage oscillations | 79,8 | 79,9 | 80,5 | 82,3 | 87,9 | 89,0 | 90,2 | 92,2 | -8,1 | -9,1 | -9,7 | -9,9 |
| Mogućnost povećanja proizvodnje / Production increase possibility | 76,2 | 75,4 | 81,8 | 82,5 | 68,5 | 67,3 | 61,0 | 72,1 | 7,7 | 8,1 | 20,8 | 10,4 |
| Ponovna uspostava napajanja / Power supply resumption | 67,7 | 71,3 | 70,4 | 71,2 | 93,8 | 93,8 | 94,6 | 95,8 | -26,1 | -22,5 | -24,2 | -24,6 |
| Odnosi s kupcima / Relations with customers | 83,0 | 84,2 | 86,1 | 87,7 | 84,9 | 84,7 | 84,7 | 89,2 | -1,9 | -0,5 | 1,4 | -1,5 |
| Informacije / Information | 77,0 | 79,0 | 80,7 | 83,8 | 84,8 | 83,8 | 83,6 | 89,5 | -7,8 | -4,8 | -2,9 | -5,7 |
| Zaposlenici / Employees | 91,8 | 91,9 | 94,0 | 93,4 | 85,1 | 85,6 | 85,9 | 88,9 | 6,7 | 6,3 | 8,1 | 4,5 |

Tablica 6 prikazuje rezultate istraživanja za kategoriju domaćinstva u razdoblju od 2004. do 2007. godine za najvažnije usluge (po ocjeni kupaca) u području distribucije električne energije [15]. Rezultati pokazuju da zadovoljstvo elementima koji su predmet istraživanja uglavnom blago raste tijekom godina. No, razlika između važnosti i zadovoljstva se u pojedinim elementima istraživanja ne smanjuje budući da kupci pojedine elemente koji su predmet istraživanja smatraju sve važnijima (npr. ponovna uspostava napajanja ili oscilacija napona). Iako se postavlja pitanje koliko je povećanju zadovoljstva kupaca uslugama koje pružaju energetske subjekti pridonio rad MEH-a na uvođenju sustava praćenja kvalitete, neupitna je nužnost uvođenja kupaca kao jednog od bitnih dionika u regulaciji kvalitete opskrbe.

5.3 Garantirani standardi

Tijekom godina MEH je o problemu garantiranih standarda analizirao praksu drugih regulatornih tijela, a posebice praksu regulatornih tijela iz Engleske (OFGEM), Irske, Francuske, Australije i SAD-a. U tom kontekstu pozornost je bila usmjerena na standarde koji se nameću opskrbljivačima (komercijalna kvaliteta), značajke koje su važne kupcima, kompenzaciju u slučaju da opskrbljivač ne ispuni utvrđene standarde i slično. Tijekom 1997. godine MEH je na osnovi istraživanja, i u suradnji s domaćim stručnjacima, izradio nacrt prijedloga Garantiranih standarda koji nije naišao na pozitivni odjek kod mađarskih distributera, odnosno opskrbljivača.

Poučeni prvim iskustvima MEH je tijekom 1998. godine nizom pregovora s opskrbljivačima nastojao postići kompromis na način da se utvrde garantirani standardi koje je u praksi moguće zadovoljiti. Tijekom pregovora nastojalo se postići kompromis oko sljedećih pojedinosti:

- utvrđivanje kategorije kupaca na koje će se primijeniti garantirani standardi - npr. garantirani standardi će se primijeniti samo na kategoriju kućanstva i to samo u slučaju normalnih vremenskih prilika,
- definiranje samo garantiranih standarda koji su svima razumljivi i
- jedinstvena i ujednačena interpretacija sadržaja i načina mjerenja garantiranih standarda dat će se svim opskrbljivačima.

Ono što se pokazalo vrlo bitnim tijekom pregovora s opskrbljivačima i udrugama za zaštitu potrošača odnosi se na točnost definiranja pojma svakog pojedinog garantiranog standarda. Definiranje pojma garantiranog standarda obuhvaća definiranje terminologije, načina dostavljanja zahtjeva za kompenzacijom, roka za podnošenje žalbe, utvrđivanje prava na žalbu, te način, iznos i rok plaćanja

Table 6 shows survey results for the household category in the period 2004–2007 covering the most important services (as assessed by customers) in the area of electric power distribution [15]. The results show that, on the whole, satisfaction with the survey elements has been gently rising over years. However, the gap between importance and satisfaction is not narrowing, since certain survey elements are viewed by customers as increasingly important (e.g., power supply resumption or voltage oscillation). The question is how much MEH's work on the introduction of the quality monitoring system has contributed to customer satisfaction with services provided by energy undertakings, but there is no doubt about the need to bring customers into play as one of crucial stakeholders in the area of supply quality regulation.

5.3 Guaranteed standards

Over years MEH has been studying the problem of guaranteed standards through the practice of foreign regulatory authorities, especially those of England (OFGEM), Ireland, France, Australia and USA. In this respect the focus was on standards imposed on suppliers (commercial quality), characteristics relevant to customers, compensation if a supplier fails to comply with the defined standards, etc. In 1997, based on research and in cooperation with domestic experts, MEH prepared a draft proposal of Guaranteed Standards which did not find a favorable response among the Hungarian distributors and suppliers.

Using the lessons of initial experiences, in 1998 MEH started a series of negotiations with suppliers in an effort to reach a compromise by establishing guaranteed standards that can be met in practice. The compromise was sought on the following matters:

- defining the category of customers to whom the guaranteed standards will be applied – e.g., the guaranteed standards will be applied only to the household category and only in normal weather conditions,
- defining only those guaranteed standards which will be understandable to all, and
- a uniform and balanced interpretation of the content and method of measuring the guaranteed standards to be given to all suppliers.

During the negotiations with suppliers and consumer protection associations an accurate definition of each standard proved to be crucial. The definition of the concept of a guaranteed standard includes the definition of terms, the manner of claiming compensation, the deadline for lodging a complaint, establishing the entitlement to complaint, the method, amount and time limit of compensation payment (for example, a full definition of the gua-

kompenzacije (npr. potpuna definicija garantiranog standarda otklanjanja lokalnog prekida je: ukoliko kupac obavijesti opskrbljivača o prekidu opskrbe u svojoj zgradi, dok u susjednoj zgradi opskrbe ima, opskrbljivač je dužan poslati tehničare na lokaciju u roku od 4 sata od trenutka prijave u Budimpešti, 8 sati u gradovima i 24 sata u drugim mjestima). Nakon što su se precizno utvrdili svi navedeni elementi, MEH je u 1999. godini donio odluku o garantiranim standardima:

- otklanjanje lokalnog prekida,
- otklanjanje prekida koji je zahvatio nekoliko kupaca,
- priključenje novih kupaca na mrežu,
- informacija koja se daje u odgovoru na zahtjev kupca i
- informacija u odgovoru na pisani zahtjev.

5.4 Opći standardi

U skladu sa zakonskom obvezom MEH je tijekom 1997. godine u suradnji sa stručnjacima i na temelju inozemnih iskustava izradio prijedlog općih standarda. Usporedo s definiranjem standarda, MEH je zajedno s opskrbljivačima radio na izradi sustava za bilježenje i obradu podataka bez kojeg nije moguće pratiti podatke vezane uz opće standarde. Kao i za garantirane standarde prije donošenja odluke od strane MEH-a o praćenju općih standarda bilo je potrebno jasno definirati terminologiju i metodologiju mjerenja i računanja pojedinog standarda.

Opći standardi vezani uz distribuciju i opskrbu električnom energijom koji se prate na temelju odluke MEH-a su sljedeći:

- prosječna frekvencija prekida po kupcu,
- prosječno trajanje prekida po kupcu,
- prosječno trajanje prekida po kupcima koje je obuhvatio prekid,
- vrijeme potrebno za ponovno uspostavljanje opskrbe,
- vrijeme potrebno za ponovno uspostavljanje opskrbe kod najavljenih prekida,
- žalbe u svezi s kvalitetom napona,
- napon koji kontinuirano nije u skladu sa standardima,
- opća pouzdanost nadzemne mreže,
- opća pouzdanost kabela mreže,
- vrijeme koje je potrebno za davanje odgovora s informacijama vezanim uz novi priključak,
- priključenje na mrežu,
- prosječno vrijeme potrebno za rješavanje prigovora kupaca vezanim uz brojilo i
- parametri pozivnog centra.

Na osnovi podataka koji se prate i obrađuju, MEH je u mogućnosti provesti međunarodnu usporedbu mjerila podataka vezanih uz kvalitetu opskrbe.

guaranteed standard of repairing a local outage would be as follows: if a customer notifies the supplier about an outage in his or her building, while the adjacent building is supplied with electricity, the supplier is obligated to send technicians to the location within 4 hours of the notification in Budapest, 8 hours in other cities and 24 hours in other places). Once all the mentioned elements were precisely defined, in 1999 MEH made a decision on the guaranteed standards:

- repair of local outage,
- repair of outage affecting several customers,
- network connection of new customers,
- information given in reply to the customer's request, and
- information given in reply to a written request.

5.4 General standards

In accordance with its legal obligations, during 1997 MEH, in cooperation with experts and based on foreign experiences, prepared a proposal of general standards. Along with the work on the definition of general standards, MEH worked in conjunction with suppliers on a data recording and processing system without which it is impossible to follow up data relating to general standards. As in the case of the guaranteed standards before MEH's decision on their monitoring, it was necessary to clearly define terminology and the methodology of measurement and calculation of a standard.

General standards on electricity distribution and supply, which are monitored according to MEH's decision, are as follows:

- average interruption frequency per customer,
- average interruption duration per customer,
- average interruption duration by customers affected by interruption,
- time required for resumption of supply,
- time required for resumption of supply with announced interruptions,
- complaints about voltage quality,
- voltage continuously deviating from standards,
- general reliability of overhead network,
- general reliability of underground cable network,
- time needed for giving answers with information on new connection,
- network connection,
- average time required to solve meter complaints, and
- reference center parameters.

Owing to data being followed up and processed, MEH is able to carry out an international benchmarking of supply quality data. Upon entry into the

Ulaskom u Europsku uniju MEH je stekao pravo članstva u CEER-u, što je isto tako pogodovalo provođenju međunarodnih usporedbi po mjerilu. Iskustva i nastojanja MEH-a u uspostavljanju regulacije kvalitete opskrbe, omogućila su MEH-u da aktivno sudjeluje u projektima CEER-a kojima se nastoji izraditi vjerodostojna usporedba mjerila pouzdanosti opskrbe već od samih početaka članstva.

U prikupljanju podataka vezanih uz pokazatelje pouzdanost opskrbe, MEH se još uvijek susreće s faktorom nepouzdanosti podataka. Naime, podaci koji se odnose na broj kupaca i neisporučenu energiju u slučaju ispada pojedinog voda temelje se na procjeni. Zbog toga je i osnovana radna skupina kojoj je cilj uspostaviti sustav koji bi na jedinstven i pouzdan način primijenili svi opskrbljivači električne energije.

5.5 Obveza uvođenja sustava upravljanja kvalitetom

Jedan od uvjeta koji regulatorno tijelo može navesti u dozvoli za obavljanje energetske djelatnosti distribucije, odnosno opskrbe, električnom energijom je obveza uvođenja sustava upravljanja kvalitetom opskrbe. Na taj način regulatorno tijelo može prisiliti energetski subjekt da poboljša učinkovitost svojih aktivnosti te unaprijedi organizaciju. MEH je smatrao da nema potrebe da uvjetima iz dozvole nameće potrebu uvođenja certificiranog sustava praćenja kvalitete (ISO 9001 i sl.), već je zahtijevao od energetskih subjekata da mu na godišnjoj razini dostavljaju plan upravljanja kvalitetom opskrbe iz kojeg je vidljivo na koji način i kojom dinamikom će energetski subjekt razvijati sustav upravljanja kvalitetom te što je u međuvremenu ostvareno.

Rezultati ovakvog pristupa pokazuju da su energetski subjekti u segmentu svojih djelatnosti veliku važnost dali uspostavljanju sustava upravljanja kvalitetom. Neki su čak uveli i certificirane sustave upravljanja kvalitetom. Na taj način subjekti su se u smislu standarda svojih usluga, načina rada i organizacije u velikoj mjeri približili očekivanju kupaca te prilagodili na izazove tržišnog poslovanja.

5.6 Mehanizam poticanja pouzdanosti opskrbe (nagrada-kazna)

Energetskim zakonom iz 2003. godine MEH je za uspostavljanje mehanizama za praćenje razine kvalitete opskrbe dobio zaduženje utvrđivanja minimalnih standarda i očekivane razine opskrbe. Uvođenje minimalnih standarda i očekivane razine kvalitete opskrbe preduvjet je za uvođenje regulacije koja, osim poticajne regulacije u troškovnom smislu, sadržava i elemente kvalitete opskrbe.

European Union, MEH qualified for CEER membership, which facilitated such benchmarking. MEH's experiences and efforts in establishing a supply quality regulation system enabled MEH to take an active part in CEER projects aimed at credible continuity of supply benchmarking from the very start of EU membership.

In gathering data relating to continuity of supply indices, MEH still encounters the factor of data non-reliability. The reason is that data on the number of customers and unsupplied energy in the event of a transmission line failure are based on estimate. That is why a working group has been set up with the task to put a system in place which would be used by all electricity suppliers in a uniform and reliable way.

5.5 Mandatory introduction of a supply quality management system

One of the conditions that the regulatory authority may include in the energy license is the obligation to introduce a quality management system. In this way the regulatory authority can force the energy undertaking to improve its efficiency and organization. MEH felt that there was no need to add to the license conditions the obligation to introduce a certified quality management system (ISO 9001. etc.), instead it demanded from energy undertakings to submit annual quality management plans showing how and at which pace they will develop the quality management system and what has been done to date.

The results of such an approach show that in the segment of their activities the energy undertakings attach great importance to the establishment of the quality management system. Some of them have even introduced certified quality management systems. Anyway, in terms of the standards of their services, methods of works and organization the energy undertakings have to a considerable degree fulfilled customer expectations and adapted themselves to the challenges of market economy.

5.6 Continuity of supply incentive mechanism (reward/penalty)

Under the Energy Act 2003 MEH is tasked to establish minimum standards and expected supply quality levels as a part of quality monitoring mechanisms. The introduction of minimum standards and expected supply quality levels is a precondition for the introduction of a kind of regulation that in addition to cost incentives contains supply quality elements.

Minimum supply quality level for 2004 in the segment of continuity of supply was defined on the

Minimalna razina kvalitete opskrbe (za 2004. godinu) u segmentu pouzdanosti opskrbe utvrđena je na osnovi podataka iz prethodne tri godine:

- godišnji broj prekida po kupcu: 1,66 do 3,01,
- godišnji broj sati izgubljenih po kupcu: 3,12 do 6,27,
- uspostavljenje opskrbe u slučaju neplaniranih prekida: u 3 sata 70 % do 84 %, u 24 sata 85 % do 100 %.

MEH je uspostavio i mehanizam poticanja pouzdanosti opskrbe u smislu kaznenih mjera ukoliko se ostvare odstupanja od minimalne utvrđene razine [13]:

- odstupanje manje od 5 %: oko 200 000 EUR i
- odstupanje veće od 5 %: oko 400 000 EUR.

U prethodnom tekstu dano je obrazloženje prednosti uvođenja poticajne ekonomske regulacije povezane s kvalitetom opskrbe u odnosu na poticajnu regulaciju koja u obzir uzima samo ekonomsko-financijske aspekte, a ne i parametre kvalitete opskrbe. Sukladno tome MEH u zadnjih nekoliko godina pokušava razviti metodologiju regulacije koja se zasniva na utvrđivanju tarifa na osnovi analize izlaznih pokazatelja. Poveznica su kaznene mjere koje se izravno odnose na razinu tarifa ukoliko energetski subjekt ne zadovolji razinu kvalitete koju je MEH utvrdio. Elementi poticajnog mehanizma povezani su s pokazateljima pouzdanosti opskrbe SAIDI, SAIFI i broj ispada. Ukoliko je razina ostvarenih vrijednosti za navedene pokazatelje manja od utvrđenih minimalnih razina, smanjuje se iznos distribucijske naknade i to [13]:

- za odstupanje od 5 % do 10 % \Rightarrow 0,5 % i
- za odstupanje veće od 10 % \Rightarrow 1,0 %.

Svaki od parametara uzima se u obzir pojedinačno, što znači da je maksimalno moguće smanjenje naknade zbog ostvarene manje razine pouzdanosti opskrbe od utvrđene 3 %. Nadalje, ukoliko je ostvarena razina pokazatelja veća od minimalne za značajni postotak, moguće je energetskom subjektu, kroz tzv. bonus, dozvoliti zadržavanje većeg profita od utvrđenog (napomena: u Mađarskoj je uveden regulatorni mehanizam podjele profita - engl. *Profit-Sharing Mechanism*).

S obzirom na dugogodišnju praksu u uspostavljanju mehanizama utvrđivanja i praćenja kvalitete opskrbe, MEH-ovo je stajalište da regulatorno tijelo prilikom utvrđivanja pokazatelja kvalitete opskrbe i njihove razine, prije svega, mora biti pragmatično. Pri tome se podrazumijeva da prije utvrđivanja pokazatelja koji će se mjeriti i na kojima će se temeljiti sustav poticaja, regulatorno tijelo mora od svih interesnih strana zatražiti mišljenje. Što se tiče kupaca potrebno je ocijeniti značenje pojedinog pokazatelja kao i razinu pokazatelja s kojom su kupci zadovolj-

basis of data from three previous years:

- annual interruptions per customer: 1,66 to 3,01,
- annual hours lost per customer: 3,12 to 6,27,
- resumption of power supply in the event of unplanned interruptions: in 3 hours 70 % to 84 %, in 24 hours 85 % to 100 %.

MEH also established a continuity of supply incentive mechanism linked to penalties in the event of deviations from the defined minimum levels [13]:

- deviation less than 5 %: 200,000 EUR, and
- deviation more than 5 %: 400,000 EUR.

In the foregoing text an explanation was given of the advantages of a quality-linked incentive regulation compared to an incentive regulation solely based on economic and financial considerations to the exclusion of quality parameters. Consequently, in the past several years MEH has been trying to develop a regulation methodology based on tariffs determined by analyzing the output indices. What links them are penalties directly related to the tariff level if the energy undertaking fails to reach the quality level defined by MEH. The elements of the incentive mechanisms are linked to the continuity of supply indices, SAIDI, SAIFI and the number of interruptions. If the level of attained values for the said indices is lower than the defined minimum levels, the distribution fee is reduced as follows [13]:

- deviation 5 % to 10 % \Rightarrow 0,5 %, and
- deviation exceeding 10 % \Rightarrow 1,0 %.

Each of the parameters is taken into account separately, meaning that maximum fee reduction due to lower continuity of supply performance than established is 3 %. On the other hand, if the reached index level is higher than minimum by a wide margin, it will be possible to allow the energy undertaking to retain through a bonus a higher profit than envisaged (note: in Hungary the profit sharing mechanism has been put in place).

After years of experience with the introduction of quality control mechanisms, MEH's position is that in defining the supply quality indices and their levels the regulatory authority must be first of all pragmatic. This means that before establishing the indices which will be measured and on which the incentive system will be based, the regulatory authority must seek an opinion from all interested parties. As far as customers as concerned, it is necessary to assess

ni. S druge pak strane s energetske subjektima potrebno je utvrditi mogućnost prikupljanja potrebnih podataka i informacija. Kao treća strana nameće se i politika i njeni interesi koje je također potrebno procijeniti s obzirom da odluke MEH-a imaju značajan utjecaj na prihode energetskih subjekata, kao i na razinu investicija koje je potrebno realizirati radi postizanja određene razine kvalitete opskrbe.

Nadalje, kod uspostave sustava praćenja kvalitete opskrbe bitan segment je pouzdanost podataka koje objavljuju energetske subjekti u svojem godišnjem izvješću. Stoga je bitno da se detaljno defini- ra način prikupljanja i obrade/izračuna podataka, način izvješćivanja kao i terminologija. Zaključno, a temeljeno na iskustvu MEH-a, uvođenje financijskih poticaja moguće je tek nakon što regulatorno tijelo ima povjerenje u pouzdanost prijavljenih/ objavljenih podataka.

6 MOGUĆNOST PRIMJENE MAĐARSKOG MODELA REGULACIJE KVALITETE OPSKRBE U REPUBLICI HRVATSKOJ

MEH je u provođenju regulatorne prakse u ranoj fazi prepoznao važnost regulacije kvalitete opskrbe te je nastojao slijediti temeljne uvjete za uspostavljanje uspješnog i funkcionalnog sustava regulacije kvalitete opskrbe (potpoglavlje 3.2.1). Ovakvo postupanje regulatornog tijela rezultiralo je u funkcionalnom modelu regulacije kvalitete opskrbe integriranom u regulaciji cijene usluge. Da bi regulacija kvalitete opskrbe dobila na važnosti i da bi se u praksi mogla nesmetano provoditi nužno je da i zakonodavac prepozna njezinu važnost te da utvrdi ulogu, nadležnosti i ovlasti regulatornog tijela u zakonodavnom okviru.

Postavlja se pitanje, je li moguće mađarski primjer regulacije kvalitete opskrbe kao primjer pozitivne prakse slijediti u Hrvatskoj i koje su prepreke za primjenu takvog modela. Mogućnost primjene modela i prepreke za njegovu primjenu trebaju se sagledati s tri aspekta:

- zakonodavnog,
- regulatornog i
- tehničkog.

Problematika koja razmatra kvalitetu opskrbe električnom energijom i utvrđuje ulogu regulatornog tijela u Republici Hrvatskoj obuhvaćena je Zakonom o energiji, Zakonom o regulaciji energetskih djelatnosti, Zakonom o tržištu električne energije te pripadajućim podzakonskim aktima Općim uvjetima za opskrbu električnom ener-

the importance of a particular index and the index level with which customers are satisfied. On the other hand, with energy undertakings it is necessary to see about the potentials of required data and information collection. Coming into play as a third party is politics and its interests that should also be assessed, because MEH's decision have a significant impact on both the income of energy undertakings and the level of investments required to reach specific supply quality standards.

Furthermore, when establishing a supply quality monitoring system the crucial segment is the reliability of data released by energy undertakings in their annual reports. It is therefore essential to define in detail the way of data collection, processing and calculation, the reporting method and terminology. In conclusion, and based on MEH's experience, the introduction of financial incentives is possible only after the regulatory authority can trust the reliability of reported/released data.

6 POSSIBLE APPLICATION OF THE HUNGARIAN MODEL OF SUPPLY QUALITY REGULATION IN CROATIA

At an early stage of its regulatory practice MEH became aware of the importance of supply quality regulation and thus tried to adhere to the basic conditions for establishing a successful and functioning supply quality regulation system (section 3.2.1). This kind of attitude of the regulatory authority resulted in a functioning supply quality regulation model integrated into the price regulation system. For the supply quality regulation to gain in importance and in order to ensure its unimpeded implementation in practice, it is also necessary that the legislator recognizes its importance and defines the role and competencies of the regulatory authority within the legislative framework.

Now the question is whether the Hungarian example of supply quality regulation as an example of good practice can be followed in Croatia and what obstacles are in the way of the application of such a model. The applicability of the model and obstacles to its application should be viewed from three aspects:

- legislative,
- regulatory, and
- technical.

The issues concerning the quality of electricity supply and determining the role of the regulatory authority in Croatia are addressed by the Energy Act, the Act on Regulation of Energy Activities,

gijom i Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava. Zakon o regulaciji energetske djelatnosti [16] definira da je Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA) nadležna za nadzor nad kvalitetom usluge električne energije i za davanje mišljenja na prijedlog Općih uvjeta za opskrbu električnom energijom. Vlada Republike Hrvatske čimbenik je koji donosi standardne razine kvalitete opskrbe električnom energijom te naknade za odstupanje, a na prijedlog nadležnog ministra i uz mišljenje HERA-e [17]. Ovako definiranom nadležnošću HERA-e regulatorno tijelo nije prepoznato kao jedan od nužnih dionika (slika 2) u uspješnom uvođenju sustava kvalitete opskrbe. HERA-ina uloga kao nužnog dionika prvenstveno bi trebala biti koordiniranje i usmjeravanje procesa uvođenja sustava kvalitete opskrbe reguliranih subjekata te sagledavanja očekivanja svih drugih dionika u procesu. Iz navedenog se može zaključiti da je zakonodavni okvir prepreka za izravnu mogućnost primjene mađarskog modela u hrvatskom kontekstu.

Ova prepreka je tim naglašenija ukoliko se uzme u obzir da je jedan od temeljnih uvjeta za uspješnu regulatornu praksu i taj da uvedeni sustav kvalitete opskrbe ne bi trebalo razmatrati kao trajno rješenje, već bi se trebale provoditi periodične evaluacije sustava i eventualne revizije. Ukoliko se proces uvođenja sustava regulacije kvalitete podiže na razinu Vlade Republike Hrvatske, on dobiva na značenju, ali smanjuje se mogućnost njegove periodične evaluacije i sustavne revizije.

Regulatorna praksa MEH-a pokazuje da je ono započelo s elementima regulacije kvalitete opskrbe i prije nego što mu je zakonodavni okvir eksplicitno definirao nadležnost utvrđivanja minimalnih standarda kvalitete opskrbe. Dakle, MEH je preuzeo aktivnu ulogu u segmentima u kojima mu je to zakonski okvir dozvoljavao:

- uveo je poticajnu regulaciju cijena usluga,
- definirao je, prikupljao i obrađivao podatke vezane uz kvalitetu opskrbe (distribucija i opskrba),
- utvrdio je opće standarde vezane uz uslugu distribucije i opskrbe i
- mjerio je zadovoljstva kupaca s uslugama distribucije i prijenosa.

Uvođenje je operativnog sustava kvalitete opskrbe i njegovo integriranje s regulacijom cijena usluga dugotrajan proces. Stoga bi HERA na isti način kao MEH trebala preuzeti aktivniju ulogu u nadležnostima koje su joj već propisane zakonodavnim okvirom kao što je to utvrđivanje metodologije za izračun naknade za korištenje distribucijske mreže, davanje suglasnosti na trogodišnji plan razvoja i izgradnje distribucijske

the Electricity Market Act and pertaining subordinate legislation, the General Conditions for Electricity Supply, and the Electric Power System Grid Codes. The Act on Regulation of Energy Activities [16] stipulates that the Croatian Energy Regulation Agency (CERA) is responsible for quality control of electricity services and giving opinions on proposed General Conditions for Electricity Supply. The Croatian Government, at the proposal of the responsible minister and with CERA's opinion, decides on standard quality levels for electricity supply and compensations for deviation. [17]. With CERA's responsibility thus defined, the regulatory authority is not recognized as one of crucial stakeholders (Figure 2) in the process of putting a supply quality system in place. CERA's role as a crucial stakeholder would first of all consist in coordinating and streamlining the process and identifying the expectations of the participants in the process other than regulated undertakings. In other words, the existing legislative framework is a barrier to a direct applicability of the Hungarian model in the Croatian context.

This barrier is the more obvious if one bears in mind that one of basic conditions for the success of a regulatory practice is that the introduced supply quality system is never considered a permanent solution, that instead it should be subjected to periodical reviews and even revisions if needed. If the process of introducing a quality regulation system is raised to the level of the Croatian Government, it does gain in importance, but the room for its periodical review and systematic revision is narrowed.

MEH's regulatory practice shows that it had started with the elements of supply quality regulation even before the legislative framework defined the responsibility for laying down minimum quality standards. Therefore, MEH assumed an active role in the segments in which the legal framework allowed it to act, viz.:

- MEH introduced incentive price regulation,
- defined, collected and processed data on distribution and supply quality,
- defined general standards of distribution and supply services, and
- measured customer satisfaction with distribution and supply services.

The introduction of an operating supply quality system and its integration with price regulation is a long process. Like MEH, CERA should also assume a more active role within the responsibility already assigned to it under the existing legislative framework, such as the definition of methodology for calculating the distribution network usage fee, approval of the three-year distribution network development and construction plan, service quality surveillance, etc. This would be in line with another basic condition for good practices in the field of su-

mreže, nadzor na kvalitetom usluga i sl. Time bi se zadovoljio još jedan od temeljnih uvjeta dobre prakse uvođenja regulacije kvalitete opskrbe, a to je postupnost u uvođenju i provođenje koraka logičnim slijedom.

HERA je zadužena za utvrđivanje metodologije izračuna tarife za korištenje distribucijske mreže. HERA se u 2006. godini odlučila za primjenu RoR metode, dakle za klasičnu metodu regulacije cijena usluga, a ne za poticajnu regulaciju koja omogućava integriranje regulacije kvalitete opskrbe u model regulacije cijena usluga. Stoga bi kao prvi korak u uklanjanju jedne od regulatornih prepreka za primjenu mađarskog modela bilo uvođenje metode poticajne regulacije cijena usluga kao modela za izračun tarife za korištenje distribucijske mreže. Neke od regulatornih aktivnosti koje je nužno provesti prije uvođenja poticajne regulacije su:

- praćenje stvarnog razdvajanja između djelatnosti (posebice analiza troškova),
- analiza opravdanosti razine troškova,
- uvođenje dužeg regulatornog razdoblja,
- provođenje ravnjanja po mjerilu i sl.

Nadalje, HERA daje suglasnost na trogodišnji plan razvoja i izgradnje distribucijske mreže. U tom smislu HERA bi trebala pratiti realizaciju investicija i njihov utjecaj na poboljšanje kvalitete opskrbe.

Konačno, HERA bi trebala biti čimbenik koji će prepoznati sve dionike u procesu te u suglasju s time uključiti i stajališta kupaca u razmatranje i to prije nego što donese svoje odluke. S tim u svezi, HERA bi trebala započeti s praksom istraživanja zadovoljstva kupaca s uslugama energetske subjekata te, *inter alia*, na taj način omogućiti kontinuiran dijalog između dionika.

Kao treći aspekt razmatra se tehničko pitanje koje prije svega podrazumijeva sustavno i pouzdano prikupljanje podataka. U tom smislu značajne prepreke ne postoje, budući da je sustav praćenja pokazatelja pouzdanosti opskrbe uveden 2007. godine te da za razliku od Mađarske u Republici Hrvatskoj postoji samo jedan operator distribucijskog sustava. Stoga su smjernice za prikupljanje i obradu podataka već jedinstvene na cijelom državnom teritoriju. Međutim, HERA mora na redovitoj osnovi pratiti vjerodostojnost tih podataka i provoditi povremene audite kako bi se prikupljeni i obrađeni podaci po potrebi mogli uzeti u razmatranje prilikom uvođenja financijskih poticaja, odnosno mehanizma poticanja pouzdanosti opskrbe (nagrada-kazna). Dodatne napore trebalo bi još uložiti u sustav praćenja kvalitete usluga kao podlogu za utvrđivanje općih i garantiranih standarda.

apply quality regulation, and that is a step-by-step approach and taking action in logical order.

CERA is responsible to define methodology for calculating the distribution network usage tariff. In 2006 CERA opted for the RoR method, the conventional price regulation method, not for an incentive regulation that would help integrate supply quality regulation into the price regulation model. Therefore, one of the first steps in removing a regulatory barrier to the application of the Hungarian model would be to introduce an incentive price regulation model as a model for calculating the distribution network usage tariff. Some of the regulatory activities to precede the introduction of incentive regulation include:

- monitoring of actual unbundling (especially in respect of cost breakdown),
- cost level justification analysis,
- introduction of a longer regulatory period,
- implementation of benchmarking, etc.

Furthermore, CERA gives its approval of the three-year distribution network development and construction plan. In this connection, CERA should follow up the realization of investments and their impact on supply quality improvement.

Finally, CERA should be an actor that will heed all stakeholders and accordingly also take customer views into account before making decisions. In this regard CERA should start with surveys of customer satisfaction with the services provided by energy undertakings and thus facilitate, *inter alia*, a continuous dialogue between the stakeholders.

Considered as the third aspect is the technical issue that primarily includes systematic and reliable data collection. In this regard there are no significant barriers, because in 2007 a continuity of supply monitoring system was introduced and because, unlike Hungary, Croatia has only one distribution system operator. Thus the common guidelines for data collection and processing are already available in the whole national territory. However, CERA must follow data credibility on a regular basis and carry out occasional audits, so that collected and processed data could be taken into consideration where needed during the introduction of financial incentives or continuity of supply incentive mechanisms (reward/penalty). Extra efforts should be put into the service quality monitoring system as a basis for establishing general and guaranteed standards.

7 ZAKLJUČAK

Poticajna regulacija cijena usluga razvila se kao posljedica neučinkovite metode regulacije cijena usluga stopom povrata. Međutim, uvođenje poticajne regulacije čiji je naglasak na povećanju učinkovitosti, odnosno smanjenju troškova reguliranog subjekata, rezultiralo je u mnogim slučajevima u smanjenju kvalitete opskrbe električnom energijom. Da bi se spriječilo smanjenje kvalitete opskrbe, odnosno da bi se njena razina povećala i izjednačila na područjima sa sličnim obilježjima, regulatorna tijela uvode mehanizme za razvoj sustava praćenja kvalitete opskrbe te financijske poticaje koji bi trebali stimulirati regulirane subjekte da pruže određenu razinu kvalitete opskrbe.

U članku je detaljno analizirano iskustvo mađarskog regulatornog tijela koje je uvelo poticajnu regulaciju cijene usluga, a u kasnijoj fazi nadogradilo ju postupno i sustavno s regulacijom kvalitete opskrbe. Mađarski primjer u određenoj mjeri mogla bi slijediti i RH-a, u kojoj još nije započeto s razvojem niti poticajne regulacije cijena usluga niti regulacije kvalitete opskrbe. Stoga je nužno u RH poticati stručne diskusije i analize kojima bi cilj bio razvoj i primjena integralnog modela regulacije cijene usluga i kvalitete opskrbe. Pri tome se model mora temeljiti na pouzdanim podacima i informacijama kao preduvjetima nužnim za primjenu učinkovitog integralnog modela. Isto tako potrebno je od početka uvođenja regulacije kvalitete opskrbe uključiti sve dionike. Ovo prije svega podrazumijeva da regulacija kvalitete opskrbe mora biti prepoznata u zakonskom smislu kao nadležnost regulatornog tijela.

7 CONCLUSION

Incentive price regulation has come into being as a result of the inefficiency of the rate of return method for regulation of prices. However, the introduction of incentive regulation with emphasis on higher cost efficiency has resulted in many cases in lower electricity supply quality. In order to prevent such developments, to raise the quality of supply and bring it on par with areas having similar characteristics, the regulatory authorities are introducing mechanisms for the development of a supply quality monitoring system as well as financial incentives designed to stimulate the regulated undertakings to offer a certain level of supply quality.

This article examines in detail the experience of the Hungarian regulatory authority which introduced an incentive price regulation system and at a later stage upgraded it gradually and systematically along with supply quality regulation. To a certain extent the Hungarian example is applicable in Croatia where the development of neither incentive price regulation nor supply quality regulation has started yet. Hence the need to encourage expert discussions and analyses in Croatia with a view to developing and putting into practice an integrated price and supply quality regulation model. The model must be based on reliable data and information as a prerequisite for its efficient application. Likewise, all the stakeholders ought to be included. This means first of all that supply quality regulation must be perceived in the legal sense as the responsibility of the regulatory authority.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ŠTRITOF, I., Preduvjeti za uvođenje modela poticajne regulacije u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, studeni 2005.
- [2] E-control. Mechanismen der Anreizregulierung // Working Paper No. 5, 2002
- [3] <http://www.energy-regulators.eu> (National reports), (5.11.2008)
- [4] ROVIZZI, L., THOMPSON, D., The Regulation of Product Quality in the Public Utilities, The Regulatory Challenge, Oxford University Press, Oxford, 1995
- [5] SPENCE, A.M., Monopoly, Quality, and Regulation, Bell Journal of Economics, 6, 1975, 417– 429
- [6] SHESHINSKI, E., Price, Quality and Quantity Regulation in Monopoly Situations, Economica 43, 1976, 127 – 137
- [7] AJODHIA, V.S., HAKVOORT, A., Economic Regulation of Quality in Electricity Distribution Networks, Utilities Policy 13 (3), 2005, 211 – 221
- [8] Fumagalli, E., Lo Schiavo, L., DELESTRE, F., Service Quality Regulation in Electricity Distribution and Retail, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007
- [9] CEER, Quality of Electricity Supply: Initial Benchmarking on Actual Levels, Standards and Regulatory Strategies, 2001
- [10] CEER, Third Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply, 2005
- [11] LO SCHIAVO, L., Service Quality Regulation: An Introductory Overview, Presented at ERGEG Workshop on Continuity of Supply Regulation by Incentives - Willingness to Pay and Accept, Lisbon, 2008
- [12] TRESÓ, E., Supply Quality Standards and Regulation: Introduction of their Reflection on Prices in Hungary, Presented at ERRA Tariff/pricing Committee Meeting, Bucharest, 2004
- [13] LITVAI, P., Electricity Pricing System in Hungary, Presented at HRO CIGRÉ Workshop on The Role of Regulator in Setting Tariff Systems, Zagreb, 2007
- [14] SZÖRÉNYI, G., Discussion on Different Issues Related to the Quality of Electricity and Gas Supply-Hungarian Practice, Discussion Material Presented at USAID Workshop on Quality of Supply, Zagreb, 2004
- [15] TELESZKÓP, Results of Customer Satisfaction Survey in Relation with Electricity Supply in 2007, 2007
- [16] Zakon o regulaciji energetske djelatnosti, Narodne novine 177/2004, 76/2007
- [17] Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom, Narodne novine 14/2006

Adrese autora: Authors' Addresses:

| | |
|---|--|
| Prof. dr. sc. Slavko Krajcar slavko.krajcar@fer.hr Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva Unska 3 10000 Zagreb Hrvatska | Prof. Slavko Krajcar , D.Sc. slavko.krajcar@fer.hr Zagreb University Faculty of Electrical Engineering & Information Technology Unska 3, 10000 Zagreb Croatia |
| Mr. sc. Ivona Štritof istritof@hera.hr Hrvatska energetska regulatorna agencija Ulica grada Vukovara 14 10000 Zagreb Hrvatska | Ivona Štritof , M.Sc. istritof@hera.hr Croatian Energy Regulatory Agency Ulica grada Vukovara 14 10000 Zagreb Croatia |

Uredništvo primilo rukopis:
2009-01-27

Manuscript received on:
2009-01-27

Prihvaćeno:
2009-02-09

Accepted on:
2009-02-09

SVICI – IZVORI HOMOGENIH MAGNETSKIH POLJA COILS – SOURCES OF HOMOGENEOUS MAGNETIC FIELDS

Dušan Vujević, Zagreb, Hrvatska

Za umjeravanja instrumenata kojima se mjere magnetska polja, kao i za različite pokuse i ispitivanja u elektrotehnici, fizici, medicini, biologiji i ostalim znanstvenim i stručnim područjima, rabe se izvori poznatih homogenih magnetskih polja. Ovisno o vrijednosti željenog magnetskog polja to mogu biti permanentni ili elektromagneti te, češće, različiti svici koji se napajaju istosmjernom, izmjeničnom ili impulsnom strujom. Homogena magnetska polja koja se postižu svicima ili sustavima svitaka u širokom su rasponu od reda veličine mikrotlesle, s običnim svicima, do reda veličine deset tesla sa supravodljivim svicima.

The sources of known homogeneous magnetic fields are used for calibration of instruments with which magnetic fields are measured and for various experiments and tests in electrical engineering, physics, medicine, biology and other scientific and technical areas. Depending on the value of the desired magnetic field, these can be permanent magnets or electromagnets and, more frequently, various coils (solenoids) fed by DC, AC or impulse current. The homogeneous magnetic fields attained by coils or coil systems widely vary from the microtesla order of magnitude with ordinary coils to the microtesla order of magnitude with superconductive coils.

Ključne riječi: Helmholtzovi svici, homogeno magnetsko polje, magnetsko polje, svici
Keywords: Helmholtz coils, homogeneous magnetic field, magnetic field, coils



1 UVOD

Svi uređaji, naprave i sustavi za profesionalne i ostale primjene, koji se napajaju električnom energijom, izvori su električnih ili magnetskih polja. Električna i magnetska polja mogu biti istosmjerna ili izmjenična različitih frekvencija, a iznosi im mogu biti u širokom rasponu. Na niskim frekvencijama električna polja u osnovi su razmjerna visini priključenog napona, a magnetska jakosti struje. Oba su polja ovisna i o obliku i dimenzijama naprave, uređaja ili sustava. Električna i magnetska polja mjere se prikladnim instrumentima i mjernim metodama. Instrumenti koji su namijenjeni za mjerenje magnetskih polja nazivaju se magnetometrima. Rade na različitim načelima te ih danas ima petnaestak vrsta, od jednostavnih svitaka do veoma složenih, npr. s protonskom precesijom. Rabe se u mnogim područjima od fizike do arheologije. Najčešće mjere magnetsku indukciju B (gustoću magnetskog toka), čija je SI jedinica tesla (T). Neki od tih instrumenata umjereni su u staroj jedinici za indukciju, gauss (G). Vrijedi: $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$. Magnetometri se, kao i svi ostali instrumenti, radi provjere ispravnosti i nesigurnosti mjerenja, trebaju povremeno umjeravati.

Umjeravanja se obavljaju izvorima homogenih magnetskih polja poznate indukcije i smjera. Takvi se izvori rabe i za mnoge primjene i pokuse u elektrotehnici, fizici, medicini itd. Pod homogenosti magnetskog polja podrazumijeva se odstupanje vrijednosti magnetske indukcije B u nekoj točki P od njezine vrijednosti B_0 u referentnoj točki, obično središtu svitka, sustava svitaka, elektromagneta ili permanentnih magneta. Homogenost je ovisna o vrsti i dimenzijama svitka, sustava svitaka, ili magneta. Bolja homogenost označava manju promjenu indukcije unutar nekog obujma. Homogenost se iskazuje relativno, ili postotno. Nesigurnost vrijednosti magnetske indukcije u nekoj točki, među ostalima, ovisi o tolerancijama dimenzija svitka i stalnosti struje kroz svitke te smetnjama. Izvori smetnji mogu biti umjetni i prirodni. Umjetni su izvori razne naprave, aparati, sustavi i vodiči kojima teku električne struje, a prirodni izvor je Zemljino magnetsko polje.

U praksi se vrlo često mjere magnetske indukcije reda veličine militesla ili manje. U taj raspon spadaju npr. indukcije u blizini različitih električnih naprava i sustava [1]. Pri preciznijim mjerenjima polja tog reda veličine, poduzimaju se zahvati da se utjecaj smetnji posve otkloni, ili smanji na najmanju moguću mjeru. To se postiže npr. obavljanjem mjerenja u prostoru dovoljno udaljenom od objekata ili područja u kojima se nalaze mogući umjetni izvori smetnji. Najčešće su to priklad-

1 INTRODUCTION

All units, devices and systems for professional and other applications, when fed by electric power, are sources of electrical or magnetic fields. Electric and magnetic fields can be DC or AC of different frequencies, and their amounts can vary across a broad range. At low frequencies the electric fields are basically proportional to the value of connected voltage and the magnetic fields to the strength of current. Both fields also depend on the shape and dimensions of a unit, device or system. Electric and magnetic fields are measured by means of appropriate instruments and measuring methods. The instruments designed for the measurement of magnetic fields are magnetometers. They operate on different principles and are thus available in fifteen or so types, ranging from simple coils to highly complex, e.g., proton precession magnetometers. They find use in areas as diverse as physics and archaeology. What they typically measure is magnetic induction B (magnetic flux density), the SI unit of which is tesla (T). Some of these instruments are calibrated in gauss (G), the old induction unit. It holds: $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$. Magnetometers, like any other instruments, must be occasionally calibrated to check their reliability and measurement uncertainty.

Calibration is carried out by means of the sources of homogeneous magnetic fields of known induction and direction. Such sources are also used for many applications and experiments in electrical engineering, physics, medicine, etc. Magnetic field homogeneity means the deviation of the magnetic induction value B in a point P from its value B_0 in the reference point, usually the middle of a coil, a coil system, an electromagnet or permanent magnets. Homogeneity depends on the type and dimensions of a coil, a coil system or a magnet. Better homogeneity means less induction changes within a volume. Homogeneity expressed in relative or percental terms. Uncertainty of the magnetic induction value in a point depends, inter alia, on the dimensional tolerances of a coil, the constancy of the current flowing through the coils, and disturbances. The sources of disturbances can be artificial and natural. The artificial sources are various devices, apparatuses, systems and conductors through which electric currents flow, whereas the natural source is the Earth's magnetic field.

In practice very often measured are magnetic inductions of the millitesla or less order of magnitude. That range includes, for example, inductions occurring near various electric devices and systems [1]. For more accurate measurement of the fields of that order of magnitude, steps are taken to eliminate or minimize the effect of disturbances. The way to do it is, for example, taking measurements in places sufficiently distant from the buildings or

ni nemagnetski objekti, obično drveni, nekoliko desetaka ili stotina metara od pretpostavljenih izvora smetnji na tlu bez tragova feromagnetskih tvari. Unatoč tomu i u takvom okolišu ponekad se trebaju te smetnje kompenzirati.

2 ZEMLJINO MAGNETSKO POLJE

O izvoru Zemljinog magnetskog polja (geomagnetsko polje) još postoji mnogo nepoznanica, jer unutrašnjost Zemlje nije dovoljno poznata. Magnetsko polje na površini Zemlje sastoji se od dva dijela [2], [3] i [4]. Prvi, i to glavni dio, stvaraju, prema najčešće spominjanoj teoriji, električne struje duboko u unutrašnjosti Zemlje (dinamo učinak) te magnetske stijene i električne struje u Zemljinoj kori. Struje u Zemljinoj dubini posljedica su gibanja tekućeg željeza s dodatkom nikla (temperature 4 800 °C), u tzv. vanjskoj jezgi, na dubini od, približno, 3 000 km do 5 000 km, između središnje čvrste metalne jezgre i tzv. donjeg plašta, gornjeg plašta i kore. Razvidno je da se ta teorija teško može dokazati mjerenjima i pokusima. Glavno polje nije stalno. Dugoročna njegova promjena naziva se sekularnom varijacijom. Polje nastalo od magnetskih stijena i struja u Zemljinoj kori, relativno je slabo i vremenski stabilno. Drugi dio Zemljinog magnetskog polja nastaje od električnih struja u atmosferi i oko nje. Taj dio polja pod utjecajem je Sunca [5] i vremenski se naglo mijenja.

Zemlja djeluje kao magnetski dipol. Sjeverni i južni magnetski polovi ne podudaraju se s istoimenim geografskim polovima. Magnetski polovi, neovisno jedan o drugome, vremenski dugoročno, mijenjaju svoje položaje prema istoimenim geografskim polovima. Zemljino magnetsko polje F , najčešće se iskazuje u nanoteslama, može se rastaviti u komponente: vertikalnu Z (u literaturi se označava i sa I), usmjerenu prema tlu, i horizontalnu H (slika 1) [6]. Potonja ima sjevernu komponentu X s pozitivnim predznakom kada je usmjerena prema geografskom (pravom) sjeveru i istočnu komponentu Y s pozitivnim predznakom u smjeru istoka. Osim navedenih podataka još su važni kut između X i H , tzv. deklinacija ili varijacija D , između geografskog i magnetskog sjevernog pola, s pozitivnim predznakom u smjeru istoka te kut između H i F , iznad ili ispod horizonta tzv. inklinacija ili dip I , s pozitivnim predznakom prema dolje. Deklinacija i inklinacija iskazuju se u stupnjevima i minutama. Ove dvije veličine posebice su važne za navigaciju uz pomoć magnetskog kompasa. Nepoznate komponente Zemljinog magnetskog polja mogu se odrediti iz tri poznate. Tako je npr. $D = \arctan (Y / X)$, $Y = H \sin D$ itd. O vremenskim i

areas with potential artificial sources of disturbances. Such places are usually suitable non-magnetic structures, usually wooden, some tens or hundreds meters away from the assumed sources of disturbances on the ground without traces of ferromagnetic materials. In spite of it, in such an environment these disturbances should sometimes be compensated.

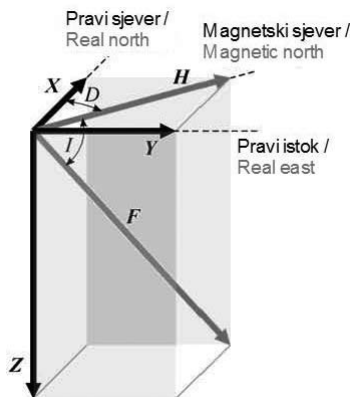
2 EARTH'S MAGNETIC FIELD

There are still quite a lot of unknown facts about the source of the Earth's magnetic field (geomagnetic field), because the Earth's interior is insufficiently known. Magnetic field at the surface of the Earth consists of two parts [2], [3] and [4]. The first and the main part is generated, according to the most quoted theory, by electric currents deep inside the interior of the Earth (dynamo effect), as well as by magnetic rocks and electric currents in the Earth's crust. Currents in the depth of the Earth are a result of the motion of liquid iron with addition of nickel (temperature 4 800 °C) in the outer core at a depth of 3 000 km to 5 000 km, between the central firm metal core and the lower mantle, upper mantle and crust. It is obviously hard to prove this theory by measurement and experimentation. The main field is not constant. Its long-term change is referred to as secular variation. The field generated by magnetic rocks and electric currents in the Earth's crust is relatively weak and stable over time. The second part of the Earth's magnetic field is generated by electric currents in the atmosphere and around. That part of the field is under the solar influence [5] and is rapidly changing over time.

The Earth acts as a magnetic dipole. The north and south magnetic poles do not correspond with the geographic poles. The magnetic poles change their positions on a long-term basis and independent of each other in relation to their geographic counterparts. The Earth's magnetic field F most often expressed in nanoteslas, can be divided into the following components: the vertical Z (in reference literature also indicated I), directed to the ground, and the horizontal component H (Figure 1) [6]. The latter has the north component X with positive sign when directed to the geographic (real) north and the east component Y with positive sign directed to the east. In addition to the mentioned values, also important are the angle between X and H , the declination or variation D , between the geographic and magnetic north poles, with positive sign in the direction of east, and the angle between H and F , above or below the horizon, the inclination or dip I , with positive sign downward. The declination and inclination are expressed in degrees and minutes. These two values are particularly important for navigation by means of the magnetic compass. The

prostornim promjenama nadležne ustanove (geomagnetski opservatorij) u određenim vremenskim razmacima objavljuju podatke.

unknown components of the Earth's magnetic field can be determined from the three known components. For example, $D = \arctan(Y/X)$, $Y = H \sin D$ etc. At certain intervals competent establishments (geomagnetic observatories) release data on spatiotemporal changes.



Slika 1 – Sastavnice Zemljinog magnetskog polja [6]
Figure 1 – Components of the Earth's magnetic field [6]

Magnetska indukcija na površini Zemlje, ovisno zemljopisnoj širini i duljini u rasponu je, približno, od 30 000 nT do 60 000 nT, odnosno od 30 μ T do 60 μ T. Istraživanja Zemljinog magnetskog polja počela su već u 13. stoljeću nakon što se u Europi kompas počeo upotrebljavati u 12. stoljeću. Sustavna mjerenja Zemljinog magnetskog polja na tlu započela su 1840. godine, a u prošlom stoljeću i iz zraka niskoletjećim zrakoplovima te kasnije sa satelita. Valja naglasiti da Zemljino magnetsko polje čuva Zemlju od bujica plazme koja dolazi sa Sunca [5].

Radi dobivanja uvida u konkretne podatke, evo rezultata mjerenja Zemljinog magnetskog polja u više točaka, obavljenog sjeveroistočno i istočno od Zagreba, u drugoj polovini 2003. godine. Izmjerena magnetska indukcija na tom području bila je u rasponu od 47,3 μ T do 47,7 μ T. Usporedbom s mjernim rezultatima iz 1927. godine na istom području ustanovljena je promjena od +40 nT godišnje [7]. Zapaženi su prostorni gradijenti od 18 nT/10 km do 37 nT/10 km te trenutačne promjene čija je srednja vrijednost približno 2 nT tijekom 15 minuta.

Smanjenje mjerne nesigurnosti zbog utjecaja Zemljinog magnetskog polja, ali i drugih izvora, pri proizvodnji, mjerenju, umjeravanju itd. magnetskih polja indukcije reda veličine 1 mT ili manjih, postiže se kompenzacijom jedne ili, češće, svih komponenti smetajućeg polja. Za kompenzaciju najčešće se rabe tri para Helmholtzovih svitaka čije se struje automatski ugađaju po veličini

The magnetic induction at the surface of the Earth, in dependence on the geographic latitude and longitude, varies approximately from 30 000 nT to 60 000 nT, or from 30 μ T to 60 μ T. Research in the Earth's magnetic field started back in the 13th century after the introduction of the mariner's compass in the century before. Systematic measurements of the Earth's magnetic field started in 1840, in the last century from low-flying aircraft, later from satellites. It should be noted that by its magnetic field the Earth is shielded from the solar winds [5].

As a concrete example, below given are the results of the measurements of the Earth's magnetic field in more points, made northeast and east of Zagreb in the second half of 2003. The measured magnetic induction in that area varied from 47,3 μ T to 47,7 μ T. A comparison with the measurement results from 1927 in the same area showed a change of +40 nT per year [7]. Space gradients from 18 nT/10 km to 37 nT/10 km were noticed, as well as instantaneous changes with the mean value of about 2 nT over 15 minutes.

A reduction in the measurement uncertainty caused by the influence of the Earth's magnetic field and other sources in the production, measurement, calibration etc. of magnetic induction fields of 1 mT order of magnitude is achieved by compensating one or, more often, all components of the disturbing field. Used most often for compensation are three pairs of the Helmholtz coils, the currents of which are automatically tuned by size and direction, so that in size the fields are the same, in direction

i smjeru, tako da su polja po veličini ista, a po smjeru suprotna smetajućim poljima [8], koja se mjere osjetljivim magnetometrima.

3 IZVORI HOMOGENIH MAGNETSKIH POLJA

Homogonena magnetska polja mogu se ostvariti permanentnim magnetima, elektromagnetima, svicima (zavojnice, solenoidi) ili sustavom svitaka, kojeg čine najmanje dva svitka, kojima teku električne struje. Permanentni magneti ili elektromagneti, kao i supravodljivi svici rabe se za indukcije od reda veličine 10^{-2} T sve do reda veličine 10 T. Takve se vrijednosti indukcija pretežito rabe u fizici, medicini (npr. za magnetsku rezonanciju-MRI) itd. Manje indukcije od reda veličine 10^{-2} T ostvaruju se svitkom ili sustavom svitaka, a vrijednosti indukcije ugađaju se u širokom rasponu regulacijom jakosti struje. Raspon ugađanja magnetskog polja ovisi o vrsti i dimenziji svitka, ili sustava svitaka, promjeru vodiča, vrsti hlađenja itd.

Ovisno o ispitivanom objektu rabe se zračni valjkasti jednoslojni svici, ali i oni višeslojni, ili sustavi svitaka poznati kao Helmholtzovi svici, Maxwelllovi svici itd. Za tijela svitaka rabe se različiti materijali, čije dimenzije trebaju biti što manje vremenski i temperaturno ovisni te bez tragova feromagnetskih tvari. Kakvoću svitka, među ostalim, označava konstanta svitka iskazana u $[T/A]$, tj. kolika se indukcija postiže, iskazana u teslama, za određenu jakost struje iskazanu u amperima. Relativna nesigurnost te konstante, a to znači i postignute indukcije, može biti i reda veličine 10^{-6} .

Udaljavanjem, u radijalnom i aksijalnom smjeru, od središnje točke svitka, ili sustava svitaka, vrijednost magnetske indukcije se mijenja ovisno o vrsti i dimenzijama svitka. U praksi je, za umjerenje i ispitivanje utjecaja magnetskog polja na neke objekte, u pravilu zanimljiva magnetska indukcija u središtu svitka ili blizu njega i to u aksijalnom smjeru, koja se najčešće označava kao z os. Razlog tomu je što se objekt koji se podvrgava utjecaju magnetskog polja stavlja u središte svitka ili sustava svitaka.

3.1 Valjkasti svici (zavojnica, solenoid)

Ako ispitivani objekt u homogenom magnetskom polju, za vrijeme pokusa, ne treba biti vidljiv, jer se na njemu ne treba očitavati odziv na polje, za stvaranje polja često se rabi valjkasti jednoslojni svitak. Za tijelo svitka u obliku šupljeg valjka rabe se različiti materijali od drveta do kremena (kvarca). Potonji se rabi za vrhunski mjerenja,

contrary to the disturbing fields [8] which are measured by sensitive magnetometers.

3 SOURCES OF HOMOGENEOUS MAGNETIC FIELDS

Homogeneous magnetic fields can be generated by permanent magnets, electromagnets, coils or a coil system composed of at least two coils through which electric currents flow. Permanent magnets or electromagnets, as well as coils, are used for inductions of 10^{-2} T order of magnitude and up to 10 T. Such induction values are largely used in physics, medicine (magnetic resonance imaging – MRI), etc. Smaller inductions of 10^{-2} T order of magnitude are generated by a coil or a coil system and the induction values are tuned across a broad range by regulating the strength of current. The tuning range of a magnetic field depends on the type and size of the coil, the conductor diameter, type of cooling, etc.

Depending on the tested object, in use are one-layer roller air coils, as well as multi-layer coils or coil systems known as Helmholtz coils, Maxwell coils, etc. For the coil bodies various materials are used with dimensions that should be time and temperature dependent to the least possible degree and without any traces of ferromagnetic materials. The coil quality is indicated, among other things, by the coil constant expressed in $[T/A]$, i.e., how much induction is attained, expressed in tesla unit, for a certain strength of current expressed in amperes. The relative uncertainty of that constant, and thereby of the attained induction, may well reach 10^{-6} order of magnitude.

With the movement in radial or axial direction away from the central point of a coil or a coil system, the value of magnetic induction is changing in dependence on the type and dimensions of the coil. What is interesting in practice for calibration and testing of the impact of magnetic field on some objects is as a rule the magnetic induction in the middle of the coil or close to it in axial direction, usually indicated as z axis. The reason is that the object subjected to the influence of a magnetic field is placed in the middle of the coil or coil system.

3.1 Roller coils

If a tested object in a homogeneous magnetic field need not be visible during the test, because the field response need not be read on it, then a one-layer roller coil is often used for field generation. For the hollow roller shaped body of the coil various materials are used, from wood to quartz, the latter for high-order measurements, such as those aimed to determine certain physical constants. The outer surface of such a hollow roller is finely polished

kao što su ona za određivanje pojedinih fizikalnih konstanti. Vanjska se površina takovog šupljeg valjka fino polira s preciznošću reda veličine mikrometra. Zatim se na njoj gusto i precizno ureže plitka helikoida za svitak, tako da su zavoji blizu jedan do drugoga. Prije i nakon obrade precizno se određuju dimenzije valjka na temelju kojih se proračunava vrijednost indukcije. Namatanje s određenom silom jednoznačno određuje položaj svakog zavoja svitka, koji se laserski provjerava s nesigurnošću reda veličine mikrometra [8], [9] i [10].

Jeftiniji postupak, ali stoga i manje pouzdan kod zagrijavanja svitka Jouleovom toplinom, temelji se na namatanju u prostoriji zagrijanoj na temperaturu od 30 °C do 35 °C, a mjerenja se obavljaju u prostoru na temperaturi oko 23 °C. Time se postiže da su zavoji učvršćeni u svojem položaju silom nastalom skraćivanjem zavoja zbog snižavanja temperature.

Potrebni se broj zavoja namata kalibriranom bakrenom žicom velike čistoće (99,99 %), ili žicom od posebne slitine velike vodljivosti, kako bi se postigla što veća gustoća struje. Ako žica nije izolirana tada je razmak između zavoja reda veličine milimetra. Promjer žice odabire se ovisno o jakosti struje koja će njome teći, odnosno o najvećoj indukciji koja se želi postići u određenom opsegu u središtu svitka. Pri tome se vodi računa da polumjer žice bude zanemarljiv prema polumjeru tijela svitka, a duljina svitka višestruko veća od njegova polumjera, kako bi homogeno polje zauzimalo što veći postotak duljine svitka. Razvijena Jouleova toplina zbog struje kroz svitak ne smije bitno utjecati na promjenu njegovih dimenzija. Svi se spomenuti postupci provode kako bi se stvarni svitak približio idealnom, odnosno proračunata magnetska indukcija u predviđenom opsegu unutar svitka bude jednaka stvarnoj.

Magnetsko polje, odnosno magnetska indukcija, svitka računa se pomoću magnetskog polja u točki P na osi z kružne strujnice polumjera a , koja se nalazi u ravnini xy . Strujnicom teče struja I . Neka je točka P na udaljenosti r od malog elementa $d\mathbf{l}$ strujnice, \mathbf{u}_t jedinični vektor u smjeru struje tangencijalno na element $d\mathbf{l}$, a \mathbf{u}_r jedinični vektor usmjeren od elementa $d\mathbf{l}$ prema točki P. Prema Biot-Savartovom zakonu magnetska indukcija u točki P je:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \oint \frac{\mathbf{u}_t \times \mathbf{u}_r}{r^2} d\mathbf{l}, \quad (1)$$

gdje je $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am permeabilnost praznine (vakuuma).

with micrometer precision. Then a shallow helico- id for the coil is carved in the surface densely and with precision, so that turns are close to each other. Before and after the treatment the roller dimensions are accurately determined, based on which the induction value is computed. Winding with a certain force unequivocally defines the position of each turn of wire, which is laser-checked within micrometer uncertainty margin [8], [9] and [10].

A more economical, but less reliable procedure involving the heating of a coil as a result of the Joule effect, is based on winding in a room heated to a temperature of 30 °C to 35 °C, with measurement being performed in a room heated to about 23 °C. This ensures that the turns of wire are fixed in their positions by the force produced by wire contraction due to falling temperature.

The required number of turns is wound with a calibrated copper wire of high purity (99,99 %), or a wire from special high-conductive alloy in order to achieve maximum current density. If the wire is not insulated, the distance between the turns of wire is within a millimeter margin. The diameter of the wire is selected in dependence on the strength of the current that will flow through it, or in dependence on maximum induction to be achieved within a certain range in the middle of the coil. It must be made sure that the wire diameter is negligible in relation to the radius of the coil body and that the length of the coil is several times greater than its radius, so that the homogeneous field may cover the highest possible percentage of the coil length. The Joule warmth generated by the passage of current through the coil must not significantly affect the size of the coil. All the mentioned procedures are carried out for the real coil to approximate the ideal coil, or for the calculated magnetic induction to equal the real induction across the planned range within the coil.

The magnetic field or magnetic induction of a coil is computed by means of the magnetic field in point P on axis z of the circular current loop with radius a on plane xy . Current I flows through the current loop. Let point P be at a distance r from the small element $d\mathbf{l}$ of the current loop, \mathbf{u}_t unit vector in the direction of the current tangentially to the element $d\mathbf{l}$, and \mathbf{u}_r unit vector directed from the element $d\mathbf{l}$ towards point P. According to the Biot-Savart Law, magnetic induction in point P is:

where $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am void (vacuum) permeability.

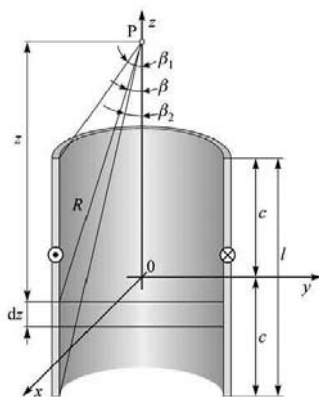
Računanje integrala u (1) za bilo koju točku je složeno [11] i [12]. Međutim za točku P na osi z je rješenje jednostavno:

Integration in (1) for any point is complex [11] and [12]. However, for point P on axis z the solution is simple:

$$B_z = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2)$$

Jednoslojni se svitak može smatrati sastavljenim od niza strujnica na zajedničkoj osi, kojima teče ista struja (slika 2).

A one-layer coil can be considered composed of a series of current loops on the common axis through which the same current flows (Figure 2).



Slika 2 — Jednoslojni svitak (zavojnica, solenoid)
Figure 2 — One-layer coil

Ukupna magnetska indukcija na osi z dobiva se zbrajanjem polja pojedinih strujnica. Neka je broj zavoja N svitka velik, a l njegova ukupna duljina. Uz pretpostavku da je polumjer žice zanemariv u usporedbi s polumjerom zavojnice a i da je gustoća strujnica n po jedinici duljine N/l , dio svitka dz ima $(N/l) \cdot dz$ strujnica. Iz (2) slijedi da taj dio svitka u točki P stvara magnetsku indukciju:

Total magnetic induction on axis z is obtained by summing up the fields of individual current loops. Let the number N of turns be great, and l the coil's total length. Given a negligible wire radius compared with coil radius a and the flux density n per unit of length N/l , the part of the coil dz has $(N/l) \cdot dz$ current loops. It follows from (2) that this part of the coil in point P generates magnetic induction:

$$dB_z = \frac{\mu_0 I n a^2 dz}{2(a^2 + z^2)^{3/2}} \quad (3)$$

Zamijeni li se varijabla z sa \hat{a} te integriranjem od \hat{a}_1 do \hat{a}_2 dobiva se:

If variable z is substituted by \hat{a} and through integration from \hat{a}_1 to \hat{a}_2 we get:

$$B_z = \frac{\mu_0 n I}{2} \left[\frac{z + c}{\sqrt{(z + c)^2 + a^2}} - \frac{z - c}{\sqrt{(z - c)^2 + a^2}} \right] \quad (4)$$

gdje je $c = l/2$, odnosno $2c = l$.

where $c = l/2$ or $2c = l$.

U središtu svitka je $z = 0$, pa se za magnetsku indukciju dobiva:

In the middle of the coil it is $z = 0$, so for magnetic induction we get:

$$B_0 = \frac{\mu_0 n I}{2} \frac{2c}{\sqrt{c^2 + a^2}} = \frac{\mu_0 N I}{l} \frac{c}{\sqrt{c^2 + a^2}}, \quad (5)$$

Za $c > a$ slijedi da je $B_0 \approx i_0 \cdot n \cdot l = i_0 \cdot l \cdot N / l$, a na krajevima svitka gdje je $z = c$, dobiva se da je $B_z \approx B_0 / 2$, tj. indukcija je na krajevima svitka dva puta manja od one u njegovom središtu.

For $c > a$ it follows that $B_0 \approx i_0 \cdot n \cdot l = i_0 \cdot l \cdot N / l$, whereas at the coil ends, where $z = c$, we get $B_z \approx B_0 / 2$, i.e., induction at the coil ends is two times smaller than the one in the middle of the coil.

Želi li se postići homogeno polje u što većem opsegu omjer l / a mora biti što veći. Za različite fizikalne pokuse, npr. određivanja nekih konstanti, potrebni su svici u kojima je relativna homogenost magnetskog polja u određenom opsegu reda veličine 10^{-7} . To se može postići svicima čija je duljina reda veličine 10^3 metara, što je tehnički i ekonomski neizvedivo. Stoga se poduzimaju različiti zahvati s ciljem da se takva homogenost postigne, u opsegu kugle polumjera nekoliko desetaka milimetra, svitkom duljine od jednog do dva metra promjera reda veličine 0,1 m. Svitak se sastoji iz više dijelova kroz koji teku struje različitih jakosti i smjerova, ili se preko temeljnog svitka namota drugi višedijelni kojim teku struje različitih jakosti [8] i [9].

If a homogeneous field is to be achieved to maximum extent, the ratio l / a must be as great as possible. For various physical experiments, such as determination of some constants, coils are needed in which the relative homogeneity of magnetic field within a certain scope is of 10^{-7} order of magnitude. This can be achieved by coils with lengths of 10^3 meter order of magnitude, which is technically and economically unfeasible. For that reason various attempts are being made aimed to achieve such homogeneity within the range of a sphere having a radius of some tens of millimeters, with a coil 1 m to 2 m long, diameter 0,1 m. The coil consists of more parts through which electric currents of varying strengths and directions are flowing, or another multi-part coil is wound over the main coil to take on currents of varying strengths [8] and [9].

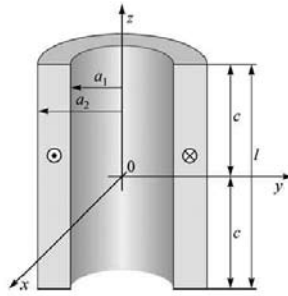
Osim jednoslojnih rabe se, posebice za veće magnetske indukcije, višeslojni valjkasti svici. Proračun magnetske indukcije za bilo koju točku unutar ili izvan takvog svitka je složen, slično kao i za jednoslojni svitak [11] i [13]. Za indukciju za bilo koju točku na osi z višeslojnog svitka (slika 3) izraz za indukciju je jednostavniji [14]:

Apart from the one-layer coils, the multi-layer roller coils are also used, especially for higher magnetic inductions. The computation of magnetic induction for any point inside or outside of such a coil is a complex procedure, just as it is for a one-layer coil [11] and [13]. The expression for induction at any point on axis z of a multi-layer coil (Figure 3) is simpler [14]:

$$B_z = \frac{\mu_0 n I}{2(a_2 - a_1)} \left[(z + c) \ln \frac{\sqrt{a_2^2 + (z + c)^2} + a_2}{\sqrt{a_1^2 + (z + c)^2} + a_1} - (z - c) \ln \frac{\sqrt{a_2^2 + (z - c)^2} + a_2}{\sqrt{a_1^2 + (z - c)^2} + a_1} \right], \quad (6)$$

gdje su a_1 unutarnji, a a_2 vanjski polumjer višeslojnog svitka duljine $l = 2 \cdot c$.

where a_1 is the inner and a_2 the outer radius of a multi-layer coil with length $l = 2 \cdot c$.



Slika 3 – Višeslojni svitak
Figure 3 – Multi-layer coil

U središtu svitka, tj. za $z = 0$, indukcija je:

In the middle of the coil, i.e., for $z = 0$, induction is:

$$B_0 = \frac{\mu_0 NI}{2(a_2 - a_1)} \ln \frac{\sqrt{a_2^2 + c^2} + a_2}{\sqrt{a_1^2 + c^2} + a_1}. \quad (7)$$

3.2 Kratki svici

Postoje niz pokusa i mjerenja u kojima objekt koji se ispituje treba biti lako dostupan i vidljiv. To je npr. slučaj kod provjere utjecaja magnetskog polja na pokazivanje analognih ili digitalnih mjernih instrumenata. Tada se na instrumentu očitava moguća razlika u pokazivanju pri isključenom i uključenom magnetskom polju određene indukcije. Stoga se, za te i slične primjene, magnetsko polje stvara jednim kratkim svitkom ili sustavima s dva ili više kratkih svitaka.

3.2.1 Jednostavni kratki svitak

Kratki svitak može biti kružni ili pravokutni. Potonji je jednostavniji za izradu, pa se stoga češće rabi. Za tijelo svitka rabe se različiti materijali, ali preteže drvo. Njegova duljina (visina) obično je manja $0,1 a$.

Indukcija u središtu kratkog kružnog svitka sa N zavoja, tj. svitka kod kojeg je $c > a$, a zanemarive površine presjeka, prema (5) je:

$$B_0 = \frac{\mu_0 NI}{2a}. \quad (8)$$

Za umjeravanje mjerila magnetske indukcije niske frekvencije međunarodna norma [15] preporučuje pravokutni svitak stranica $2a$ i $2b$ sa N zavoja. In-

3.2 Short coils

There are many experiments and measurements where the tested object must be easily accessible and visible, for example, when the influence of magnetic fields on the display of analog or digital measuring instruments is checked. Then the instrument possibly displays a difference in the turned-off and turned-on magnetic field of a certain induction. Thus for these and similar applications the magnetic field is generated by a short coil or by systems of two or more shorts coils.

3.2.1 A simple short coil

A short coil can be circular or rectangular. The latter is easier to make and thus more often used. Various materials are used for the coil body, but wood prevails. Its length (height) is usually less than $0,1 a$.

Induction in the middle of a short circular coil with N turns, i.e., the coil where $c > a$, and with negligible cross-section surface, is according to (5):

For the calibration of low-frequency magnetic induction meters the international standard [15] recommends a rectangular coil with sides $2a$ and

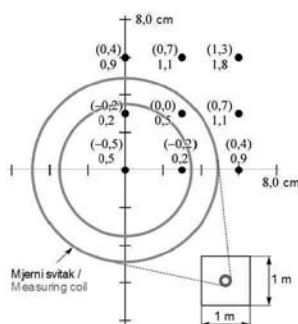
dukcija u bilo kojoj točki $P(x, y, z)$ u prostoru dana je složenim izrazom i zato se ovdje ne navodi, jer je u praksi zanimljiva indukcija u ravnini svitka, gdje se stavlja ispitivan senzor polja obično malih dimenzija. Uz pretpostavku da vodiči svitka imaju zanemarivu površinu presjeka, indukcija u smjeru osi z u središtu kvadratnog svitka duljine stranica $2a$, iskazanoj u metrima, kojim teče struja I iskazan u amperima je [15]:

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN \sqrt{2}}{\pi a} \quad (9)$$

Kako se najčešće rabi takav svitak dimenzija 1 m x 1 m ($2a = 1$ m), na slici 4 prikazana su izmjerena postotna odstupanja indukcije u točkama blizu središta svitka od one u središtu, mjernim svitkom promjera 0,10 m, u ravnini svitka. U zagradama su odstupanja 0,03 m iznad i ispod ravnine svitka [15]. Nesigurnost vrijednosti indukcije procjenjuje se $\pm 1,1$ %.

$2b$ and with N turns. Induction in any point $P(x, y, z)$ in space is given in a complex expression and hence not stated here, because what is of interest in practice is induction in the plane of the coil where a usually small-sized tested field sensor is placed. Assuming that the coil conductors have a negligible cross-section surface, induction in the direction of z in the middle of a square coil with the side length $2a$, expressed in meters, through which current I flows, expressed in amperes, [15] amounts to:

As such a coil sized 1 m x 1 m ($2a = 1$ m) is widely used, Figure 4 shows percental deviations of induction in points close to the middle of the coil from that in the middle, measured by a measuring coil of dia. 0,10 m, in the plane of the coil. Stated in brackets are $\pm 0,03$ m deviations above and below the plane of the coil [15]. The uncertainty of the induction value is assessed at $\pm 1,1$ %.



Slika 4 — Izmjerena postotna odstupanja indukcije B_z [15]
Figure 4 — Measured percental deviations of induction B_z [15]

3.2.2 Helmholtzovi svici

Sustav s dva jednaka kratka kružna ili pravokutna svitka, koji su serijski povezana, međusobno razmaknuta na određenu udaljenost, kojima teče ista struja, nazivaju se Helmholtzovim svicima u čast njemačkog liječnika i fizičara H.L.F. Helmholtza (1821. – 1894.). On je dao veliki doprinos u razvoju obje struke. Njegovi su učenici bili, kasnije poznati fizičari, među ostalima, Hertz, Pupin i Schottky.

U prostoru između svitaka postoji homogeno magnetsko polje u smjeru osi svitaka. Indukcija, koja je zbroj indukcija oba svitka, s udaljavanjem od središta prostora među svicima, manje se mijenja

3.2.2 Helmholtz coils

A system with two equal short circular or rectangular coils, serially connected, set apart at a certain distance, through which the same current flows, are referred to as Helmholtz coils in honor of the German physician and physicist H.L.F. Helmholtz (1821-1894), who significantly contributed to both disciplines. Some of his disciples, including Hertz, Pupin and Schottky, later became renown physicists.

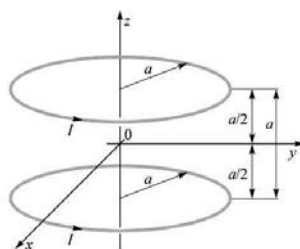
In the space between the coils there is a homogeneous magnetic field in the direction of the axis of the coils. Induction, which is a sum of induc-

nego kod jednog kratkog svitka. Postoji određena razlika u vrijednostima indukcije između kružnih i pravokutnih svitaka, no potonji su lakši za izradu. Ovisno o objektu podvrgnutom ispitivanju, Helmholtzovi svici mogu biti polumjera, odnosno duljine stranica od reda veličine centimetra do reda veličine metra. Time se postižu jednolika polja u vrlo malom opsegu sve do onih većih od 1 m^3 . Za tijela svitaka rabe se drvo, plastični materijali i metali, najčešće aluminij. Kod potonjeg se mora paziti da ne stvara kratko spojeni zavoj.

Magnetska indukcija u središnjoj točki na osi z između dva kružna svitka sa po N zavoja, svaki polumjera a , zanemarive površine presjeka, kojima u istom smjeru teče struja I , a međusobno su razmaknuti na udaljenost a (slika 5) može se odrediti iz (2) ako se uvrsti $z = a/2$:

tions from both coils, changes less while moving away from the center of the space in between the coils than it does with a single short coil. There is a certain difference in induction values between the circular and rectangular coils, but the latter are easier to make. Depending on the tested object, the Helmholtz coils can have radii or side lengths in the order of magnitude from one centimeter to one meter. Thereby uniform fields are obtained within a very small range up to those exceeding 1 m^3 . Used for the coil bodies are wood, plastic materials and metals, mostly aluminum. In the latter case it must be made sure that no short circuits are established.

Magnetic induction in the central point on axis z between two circular coils with N turns each, radius a each, of negligible cross-section surface, through which current I flows in the same direction, spaced at a distance a (Figure 5), can be determined from (2) if $z = a/2$ is substituted:



Slika 5 – Helmholtzov sustav s kružnim svicima
Figure 5 – Helmholtz system with circular coils

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I a^2}{2} \left\{ \frac{1}{\left[a^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{\left[a^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\} = \frac{\mu_0 N I a^2}{\left[a^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} . \quad (10)$$

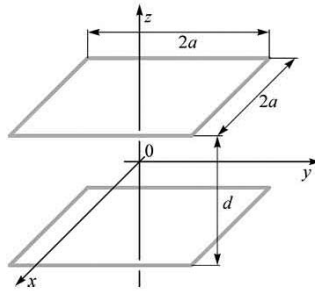
Nakon sređivanja dobva se:

After reduction we get:

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I}{a} \frac{8}{5\sqrt{5}} = 0,715542 \frac{\mu_0 N I}{a} . \quad (11)$$

Umjesto kružnih češće se rabe kvadratični svici duljine stranica $2a$ na međusobom razmaku d (slika 6).

Instead of the circular coils, preferably used are the square coils with the length of the sides $2a$ at a mutual distance d (Figure 6).



Slika 6 – Helmholtzov sustav s kvadratnim svicima
Figure 6 – Helmholtz system with square coils

Magnetska indukcija na osi z je [16]:

Magnetic induction on axis z is [16]:

$$B_z = \frac{2\mu_0 N I a^2}{\pi} \left\{ \frac{1}{\left[a^2 + \left(z - \frac{d}{2} \right)^2 \right] \sqrt{2a^2 + \left(z - \frac{d}{2} \right)^2}} + \frac{1}{\left[a^2 + \left(z + \frac{d}{2} \right)^2 \right] \sqrt{2a^2 + \left(z + \frac{d}{2} \right)^2}} \right\}. \quad (12)$$

Radi dobivena maksimuma druga derivacija tog izraza izjednači se s nulom, pa slijedi:

Due to the obtained maximum, the second derivation of that expression is zeroed, so it follows:

$$\frac{d}{2} = 0,5445a. \quad (13)$$

Dakle, razmak između dva kvadratična svitka u Helmholtzovom sustavu nešto je veći od onog kod kružnih.

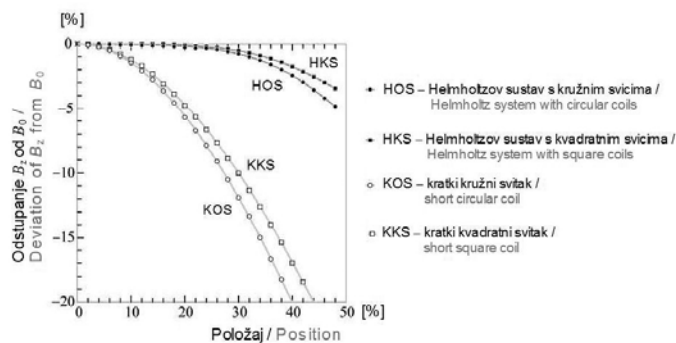
Therefore, the distance between two square coils in the Helmholtz system is a little greater than that between the circular coils.

Zanimljive su usporedbe zadnja četiri spomenuta izvora magnetskih polja, tj. kružnog i kvadratnog kratkog svitka te kružnih i kvadratičnih Helmholtzovih svitaka.

Quite interesting are comparisons of the last four mentioned sources of magnetic fields, the circular and square short coils and the circular and square Helmholtz coils.

Na slici 7 [17] prikazana su postotna odstupanja indukcije B_z uzduž osi z od vrijednosti B_0 u središtu kružnog i kvadratnog kratkog svitka ($z = 0$) te Helmholtzovih sustava s kružnim i kvadratnim svicima kao funkcije od z iskazanih u postocima polumjera a kružnog svitka i polovini duljine stranica kvadratnog svitka.

Figure 7 [17] shows percental deviations of induction B_z along axis z from value B_0 in the center of the circular and square short coils ($z = 0$) and the Helmholtz systems with circular and square coils as a function of z expressed in the percentages of radius a of the circular coil and a half of the side length of the square coil.

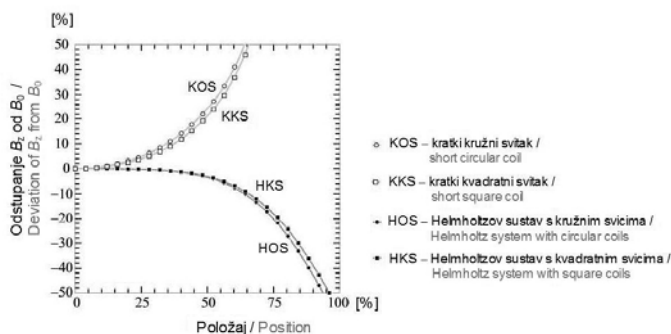


Slika 7 — Postotna odstupanja indukcije B_z uzduž osi z od vrijednosti B_0 [17]
 Figure 7 — Percental deviations of induction B_z along axis z from value B_0 [17]

Položaj na osi z iskazan je postotkom polumjera a kružnih, odnosno polovini duljine stranice a kvadratnih svitaka. Odstupanje indukcije u smjeru osi z uzduž osi x , za $z=0$, prikazana je na slici 8 [15] i [17]. Na apscisi su postoci polumjera kružnog, odnosno polovice duljine stranica kvadratnog svitka. Krivulje su normalizirane radi lakše usporedbe. Iz tih podataka slijedi da je kvadratni kratki svitak bolji je od kružnog. Također su i kvadratni Helmholtzovi svici bolji od kružnih. Kako se iz slika 7 i 8 može vidjeti, razlika kod Helmholtzovih svitaka, kružnih i kvadratnih, nije velika.

Tijekom vremena nastala su različita poboljšanja

Position on axis z is expressed by the percentage of radius a of the circular coils or a half of the side length a of the square coils. Induction deviation in the direction of axis z along axis x for $z=0$ is shown in Figure 8 [15] and [17]. On the abscise are the percentages of the circular coil and the halves of the side length of the square coil. The curves are normalized for easier comparison. What follows from these data is that the short square coil is better than the circular one. Likewise, the square Helmholtz coils are better than the circular ones. As shown in Figures 7 and 8, with the Helmholtz coils there is no great difference between the circular and square coils.



Slika 8 — Postotno odstupanje indukcije B_z uzduž osi x za od vrijednosti B_0 [15][17]
 Figure 8 — Percental deviation of induction B_z along axis x for $z=0$ from value B_0 [15][17]

temeljnih sustava svitaka. Neka od njih su, radi postizanja bolje homogenosti u većem opsegu, patentirana. Najčešće se to postiže umetanjem jednog ili više svitaka, istih ili različitih dimenzija i broja zavoja između temeljna dva svitka. Tako se npr. između Helmholtzovih svitaka stavlja još jedan par različitih dimenzija, tzv. unutarnjih i vanjskih, kružnih, paravokutnih ili kvadratnih svitaka postiže relativna homogenost reda veli-

With the passage of time the basic coil systems have undergone various improvements, some of them patented owing to the attainment of better homogeneity over a wider range. This is typically done by inserting one or more coils of the same or different dimensions and number of turns between the two basic coils. Thus between the Helmholtz coils one more pair of coils of different dimensions, the inner and outer, the circular and rectangular or square

čine 10^{-4} [18].

Poboljšanje se može postići i npr. dodatkom jednog svitka između dva Helmholtzova svitka [19]. Dodatni svitak istog je polumjera a kao i Helmholtzovi svici i udaljen od svakoga od njih $0,762 \cdot a$, dok je omjer zavoja dodatnog svitka prema vanjskima $k = 0,5315$. Indukcija u središtu tog sustava, tj. u $z = 0$, ako vanjski svici imaju po 111 zavoja, a središnji 59 zavoja je:
Usporedba poboljšanih Helmholtzovih svitaka s

ones, is inserted and thus the relative homogeneity of 10^{-4} order of magnitude is attained [18].

An improvement can also be achieved by adding a coil between two Helmholtz coils [19]. The additional coil has radius a like Helmholtz coils and its distance from each of them is $0,762 \cdot a$, whereas the turn ratio of the additional coil to the outer coils is $k = 0,5315$. Induction in the middle of this system, i.e., in $z = 0$, if the outer coils have each 111 turns and the central coil 59 turns of wire, is:

$$B_0 = 0,7704 \frac{111\mu_0 I}{a} . \quad (14)$$

onimobičnim, kao i s Maxwellovim svicima grafički je prikazana na slika 9 [19], gdje je $a = (B_z - B_0) / B_0$ relativno odstupanje indukcije po osi z od one u središtu sustava (homogenost), a udaljenost na osi z iskazana je omjerom $\zeta = z/a$. Postignuto je bitno poboljšanje homogenosti u većem opsegu (usporedba krivulja 1 i 3).

U boljim laboratorijima i za složenija ispitivanja rabe se temeljni sustavi s najmanje tri para Helmholtzovih svitaka, kako bi se dobilo homogeno magnetsko polje u tri smjera.

3.2.3 Maxwellovi svici

Sustav od tri kružna svitka, dva jednaka vanjska i jedan veći unutarnji, naziva se Maxwellovim svicima (slika 10). U literaturi se vrlo rijetko spominju u usporedbi s Helmholtzovim svicima, unatoč postizanja bolje homogenosti (slika 9).

Na slici 9 prikazana je relativna promjena indukcije B_z od ishodišta u smjeru osi z iskazanog omjerom $\zeta = z/a$ za tri sustava s kružnim svicima: Helmholtzovi svici, Maxwellovi svici te poboljšani Helmholtzovi svici [19].

Maxwellovi svici su serijski spojeni i njima teče

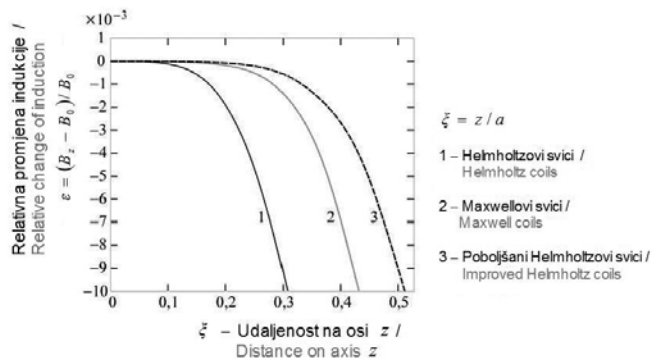
A comparison of the improved Helmholtz coils with the ordinary ones, as well as with the Maxwell coils, is graphically represented in Figure 9 [19], where $a = (B_z - B_0) / B_0$ relative induction deviation along axis z from induction in the center of the system (homogeneity), and the distance on axis z is expressed by ratio $\zeta = z/a$. A significant improvement has been achieved across a wider range (curves 1 and 3 compared).

The basic systems with at least three pairs of the Helmholtz coils are also used for more complex tests at established laboratories, in order to get a homogeneous magnetic field in three directions.

3.2.3 Maxwell coils

The system of three circular coils, two identical outer coils and a larger inner coil, is referred to as the Maxwell coils (Figure 10). Compared with the Helmholtz coils, they are rarely mentioned in literature in spite of the fact that they attain better homogeneity (Figure 9).

Figure 9 shows a relative change in induction B_z from the starting point in the direction of axis z expressed by the ratio $\zeta = z/a$ for three systems with circular coils: the Helmholtz coils, the Maxwell coils, and the improved Helmholtz coils [19].



Slika 9 – Relativna promjena indukcije B_z [19]
 Figure 9 – Relative change of induction B_z [19]

struja I . Polumjer srednjeg svitka je a , a polumjer svakog od manjih svitaka je $a_1 = (4/7)^{1/2} \cdot a = 0,756 \cdot a$. Svaki od manjih svitaka udaljeni su od većeg za $d = (3/7)^{1/2} \cdot a = 0,655 \cdot a$. Veći svitak ima 64 zavoja, a manji svaki po 49 zavoja. Magnetska indukcija u bilo kojoj točki na z osi sustava je [19]:

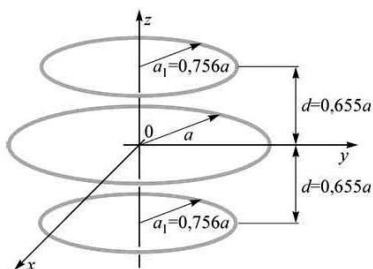
Indukcija u središtu sustava, tj. u $z = 0$ je:

The Maxwell coils are serially connected and electric current I flows through them. The radius of the middle coil is a , and the radius of each of the smaller coils is $a_1 = (4/7)^{1/2} \cdot a = 0,756 \cdot a$. The distance of each of the smaller coils from the larger one is $d = (3/7)^{1/2} \cdot a = 0,655 \cdot a$. The larger coil has 64 turns, and the smaller ones 49 turns each. Magnetic induction in any point on z axis of the system is [19]:

$$B_z = \frac{1}{2} \mu_0 I a^2 \left\{ 64(a^2 + z^2)^{\frac{3}{2}} + 28 \left[\frac{4}{7} a^2 + \left(z + \sqrt{\frac{3}{7}} a \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} + 28 \left[\frac{4}{7} a^2 + \left(z - \sqrt{\frac{3}{7}} a \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \right\}. \quad (15)$$

Induction in the center of the system, i.e., in $z = 0$ is:

$$B_0 = 60 \frac{\mu_0 I}{a}. \quad (14)$$



Slika 10 – Maxwellovi svici s tri kružna svitka
 Figure 10 – Maxwell coils with three circular coils

4 ZAKLJUČAK

Magnetske indukcije reda veličine 10^{-2} T ili manje mogu se ostvariti različitim vrstama svitaka ili sustava svitaka kojima teče električna struja. Odabir svitka ili sustava svitaka ovisi o opsegu i vrsti objekta na koji se magnetsko polje primjenjuje. Općenito vrijedi da se to bolja homogenost magnetskog polja postiže u što manjem opsegu u usporedbi s onim čitavog svitka ili sustava svitaka. Uz isti broj zavoja svitaka i struje kroz njih veća se indukcija postiže valjkastim svicima. Poboljšanja u konstrukciji i izvedbi temeljnih svitaka ili sustava svitaka omogućuju postizanje relativne homogenosti u malom opsegu, čak reda veličine 10^{-7} i nesigurnosti reda veličine 10^{-6} . Istraživanja su pokazala da su četverokutni kratki svici bolji od kružnih, a Helmholtzovi i Maxwelllovi svici, što se tiče homogenosti, bolji od kratkih svitaka.

Zahvala

Zahvaljujem se Ivici Kunštu dipl. ing. na trudu pri izradi slika.

4 CONCLUSION

Magnetic inductions of 10^{-2} T order of magnitude or less can be attained with various types of coils or coil systems through which electric current flows. The choice of the coil or coil system depends on the range and type of objects to which a magnetic field is applied. It is generally held that the best possible homogeneity of magnetic field is achieved within the narrowest possible range compared with that of the whole coil or coil system. Given the same number of the turns of wire and electric currents flowing through them, greater induction is achieved with roller coils. Improvements in the design of basic coils or coil systems make it possible to achieve relative homogeneity across a small range, even of 10^{-7} order of magnitude and uncertainty of 10^{-6} order of magnitude. Research studies have shown that the short square coils are better than the circular ones and the Helmholtz and Maxwell coils, when it comes to homogeneity, better than the short coil.

Acknowledgments

My thanks are due to Ivica Kunšt, B.Sc.Eng., for his effort in preparing the graphics.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] MILEUSNIĆ, E., Prijedlog unapređenja pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja, *Energija*, god 56(2007), broj 1., Zagreb, 2007.
- [2] GREGL T., Dnevna promjena jakosti magnetskog polja Zemlje, *Rudarsko-geološki-naftni zbornik*, Vol. 12, Zagreb, 2000.
- [3] The Earth's Magnetic Field-an Overview, <http://www.geomag.bgs.ac.uk/earthmag.html>
- [4] Geomagnetism, *Encyclopedia Britannica*
- [5] VUJEVIĆ D., Geomagnetski inducirane struje (GIS), *Energija*, god42(1993), broj 2., Zagreb, 1993.
- [6] Further Understanding of Geomagnetism, <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/geomaginfo.shtml>
- [7] VUJNOVIĆ V. et al, Results of the Preliminary Geomagnetic Field Strength Measurements in the Northern Part of Middle Croatia, *Geofizika* Vol. 21, 2004.
- [8] PARK P.G., KIM Y.G., Precise Standard System for Low DC Magnetic Field Reproduction Review of Scientific Instruments, Vol. 73, No. 8, 2002
- [9] WILLIAMS E.R. et al, A low Field Determination of the Proton Gyromagnetic Ratio in Water, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 38, No 2, 1989
- [10] KIM C.G. et al, Low-Field Method for Measuring Proton Gyromagnetic Ratio, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 44, No. 2, 1995
- [11] BOSANAC T., *Teoretska elektrotehnika 1*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [12] HAZNADAR Z., ŠTIH Ž., *Elektromagnetizam 1*, Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [13] Off-Axis Axial Field of a Finite Solenoid, <http://www.netdenizem.com/emagnet/offaxis/solenoidoffaxis.htm>
- [14] Axial field of a finite solenoid, <http://www.netdenizem.com/emagnet/solenoids/solenoidonaxis.htm>
- [15] International Standard IEC 61786, First edition, 1998
- [16] TSZ-KA LI T., Tri-axial Square Helmholtz Coil for Neutron EDM Experiment, http://www.phy.cuhk.edu.hk/sure/comments_2004/thomasli/pdf
- [17] FRIX W.M., KARADY G.G., VENETZ B.A., Comparison of Calibration Systems for Magnetic Field Measurement Equipment, *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 9, No.1, January 1994
- [18] ALLDRED J.C., SCOLLAR I., Square Cross Section Coils for the Production of Uniform Magnetic Fields, *Journal of Scientific. Instruments*. Vol. 44, 1967
- [19] WANG J., SHE S., ZHANG S., An Improved Helmholtz Coil and Analysis of Its Magnetic Field Homogeneity, *Review of Scientific. Instruments*, Vol. 73, No. 5, 2002

Adrese autora: Authors' Addresses:

Dr. sc. **Dušan Vujević**
dusan.vujevic@fer.hr
Cankareva 2a
10000 Zagreb
Hrvatska

Dušan Vujević, D.Sc.
dusan.vujevic@fer.hr
Cankareva 2a
10000 Zagreb
Croatia

Uredništvo primilo rukopis:
2008-08-22

Manuscript received on:
2008-08-22

Prihvaćeno:
2008-11-05

Manuscript accepted on:
2008-11-05

TERMIČKA ANALIZA UKOPANIH VISOKONAPONSKIH KABELA THERMAL ANALYSIS OF BURIED HIGH-VOLTAGE CABLES

Bojan Trkulja – Željko Štih – Sead Berberović, Zagreb, Hrvatska

U okviru ovog rada provedena je spregnuta elektromagnetsko – termička analiza trofaznog sustava sastavljenog od tri jednožilna kabela u konfiguraciji delta. Sustav kabela analizira se u termički stacionarnom i nestacionarnom stanju, uzimajući u obzir nelinearnost provoda topline u tlu u okolini kabela. Složeni model prijenosa topline u tlu, uzrokovan isušivanjem tla u okolini kabela izveden je primjenom dvije zone različitih toplinskih vodljivosti.

The present work includes the coupled electromagnetic/thermal analysis of a three-phase system composed of three single-core cables in trefoil configuration. The cable system is analyzed in thermally stationary and non-stationary state, taking into account the non-linearity of heat conduction in the soil surrounding the cable.

The complex model of heat transfer in soil, caused by soil drying in the cable's surrounding, has been made by applying two zones of different heat conductions.

Ključne riječi: termička analiza; visokonaponski kabeli
Keywords: thermal analysis; high-voltage cables

GCC-010 2008

ANMA-25

GCC-010 2008

ANMA-25

ANMA-25

003120

003300

FEET

GCC-010 2008

ANMA-25

GCC-010 2008

ANMA-25

FEET

003458

FEET

GCC-010 2008

ANMA-25

FEET
FEET

FEET

1 UVOD

Ukopani visokonaponski kabeli često se koriste u prijenosu električne energije u gusto naseljenim područjima. Kabeli se u pogonu zagrijavaju, a toplina se prenosi u okolno tlo, što dovodi do porasta temperature unutar kabela i u njihovoj okolini. Porast temperature treba zadržati unutar propisanih vrijednosti kako bi se osigurala pouzdanost opskrbe energijom i produžio životni vijek izolacije kabela. Imajući u vidu visoku cijenu kabela i infrastrukture, potrebno je odrediti maksimalnu struju opterećenja kabela, što osigurava optimalnu iskoristivost u prijenosu energije. Proračun maksimalnog opterećenja značajan je za termički stacionarna i nestacionarna stanja.

Različiti se pristupi primjenjuju u proračunu strujnog opterećenja kabela. Klasične procedure za proračun termičkih svojstava kabela temeljene su na konstantnim vrijednostima vodljivosti tla i rješavanju jednadžbe prijenosa topline. Najjednostavniji slučaj koji predviđa HRN IEC 60287 [1] je opterećenje kabela neprekidnom strujom konstantne vrijednosti, koja je definirana kao maksimalna dozvoljena trajna struja od strane proizvođača. Za takav proračun tlo se može smatrati uniformnim i toplinska mu je vodljivost konstantna. Struja se u uvjetima preopterećenja može izračunati prema HRN IEC 60853 [2]. Toplinska vodljivost tla je temperaturno ovisna. U razvoju točnijeg modela potrebno je uzeti u obzir temperaturnu promjenjivost toplinske vodljivosti tla.

U okviru ovog rada promjenjiva toplinska vodljivost modelirana je s dva temperaturna područja. Za vlažno tlo se pretpostavlja da ima jednoliku toplinsku vodljivost. Za granicu vlažnog i suhog tla uzima se izoterma za koju je temperatura 30 °C viša od temperature okoline [3]. Termičke prilike u okolini tri jednofazna 110 kV kabela računaju se primjenom metode konačnih elemenata koristeći simultano programske pakete MagNet i ThermNet [4], pri čemu je spregnut elektromagnetski proračun u frekvencijskoj domeni i termički proračun u vremenskoj domeni.

Analiza je za stacionarno stanje provedena za dva modela kabela. U pojednostavljenom modelu je bakreni ekran kabela modeliran cilindrom jednake površine poprečnog presjeka. U detaljnom je modelu uzeta u obzir stvarna geometrija bakrenih žica u ekranu.

U analizi kabela u termički nestacionarnom stanju proračunate su struje preopterećenja za temperaturno promjenjivi i konstantni model toplinske vodljivosti tla. Proračun je proveden za različite struje preopterećenja i struje prethodnog opterećenja kabela. Rezultati su uspoređeni s vrijedno-

1 INTRODUCTION

The buried high-voltage cables are often used for electricity transmission in densely populated areas. Cables in operation warm up and heat spreads to the surrounding soil, which leads to temperature rise inside and around the cables. Temperature increase should be kept within certain prescribed limits so as to ensure power supply reliability and to prolong the life-cycle of cable insulation. In view of the costly cabling infrastructure, it is necessary to determine maximum cable current load to ensure optimum power transmission usability. The maximum load calculation is important for thermally stationary and non-stationary states.

Different methods are applied in calculating the cable current load. Classical procedures for calculating the thermal properties of cables are based on constant values of soil conductivity and the result of the heat transfer equation. The simplest case envisaged by HRN IEC 60287 [1] is cable loading by uninterrupted current of constant value, defined as maximum constant current allowed by the manufacturer. For such a calculation soil can be considered uniform and its thermal conductivity is constant. Under overload conditions, current can be calculated according to HRN IEC 60853 [2]. The thermal conductivity of soil is temperature-dependent. In developing a more accurate model it is necessary to take into account the temperature variability of the thermal conductivity of soil.

In this work the variable thermal conductivity is modeled with a two-zone model. For damp soil a uniform thermal conductivity is assumed. For the boundary between damp and dry soil an isotherm is taken for which temperature is by 30 °C higher than the ambient temperature [3]. Thermal conditions in an environment of three 110 kV single-phase cables are calculated by the finite element method simultaneously using the coupled MagNet and ThermNet software packages [4], where the coupled electromagnetic calculation is in the frequency domain and thermal calculation in the time domain.

The analysis for the stationary state was made for two cable models. In the simplified model the copper screen of the cable was modeled by a cylinder of equal cross-section surface. In the detailed model the real geometry of copper wires in the screen was taken into account.

In analyzing the cable in the thermally non-stationary state the overload currents were calculated for a temperature variable and a constant model of the thermal conductivity of soil. The calculation was carried out for different overload currents and prior overload currents. The results were compa-

stima dobivenima prema HRN IEC 60853 [2].

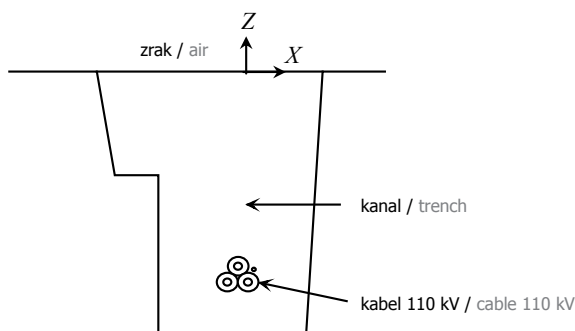
2 ANALIZA KABELA U STACIONARNOM STANJU

Analiza termičkih prilika za sustav tri jednofazna kabela 110 kV u stacionarnom stanju provedena je za konfiguraciju kabela prema slici 1.

red with the values obtained according to HRN IEC 60853 [2].

2 ANALYZING A CABLE IN THE STATIONARY STATE

An analysis of thermal conditions for a system of three 110 kV single-phase cables in the stationary state was made for a cable configuration shown in Figure 1.



Slika 1 — Tri jednožilna kabela u konfiguraciji delta u kanalu
Figure 1 — Three single-core cables in a trench

Poprečni presjek jednofaznog kabela ilustriran je slikom 2.

The cross-section of a single-core cable is shown in Figure 2.



Slika 2 — Poprečni presjek jednofaznog visokonaponskog kabela
Figure 2 — Cross-section of single-core cable

Zaštitno uže u okolini kabela modelirano je bakrenom žicom poprečnog presjeka 185 mm². Metalni ekran kabela, sastavljen od koncentričnih bakrenih žica modeliran je na dva načina:

The protection line in the surrounding of the cable is modeled by a 185 mm² cross-section copper wire. The metal screen of the cable, made up of concentric copper wires, is modeled in two ways:

2.1 Pojednostavljeni model

Za ovaj model metalni je ekran nadomješten bakrenim cilindrom jednakog poprečnog presjeka. Presjek alumijske jezgre kabela je 1 000 mm².

2.1 A simplified model

For this model the metal screen is substituted by a copper cylinder of equal cross-section. The cable core cross-section is 1 000 mm².

Najjednostavniji slučaj koji predviđa HRN IEC 60287 [1] je opterećenje kabela neprekidnom strujom konstantne vrijednosti, koja je definirana kao maksimalna dozvoljena trajna struja od strane proizvođača $I_n = 798$ A, što je dobiveno izrazom:

The simplest case according to HRN IEC 60287 [1] is cable overloading by uninterrupted current of constant value, defined as maximum constant current allowed by the manufacturer, $I_n = 798$ A, obtained by the expression:

$$I_n = \sqrt{\frac{\Delta\theta - W_d [0,5T_1 + n (T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR (1 + \lambda_1)T_2 + nR (1 + \lambda_1 + \lambda_2) (T_3 + T_4)}} = 798 \text{ A} . \quad (1)$$

Pri tom je:

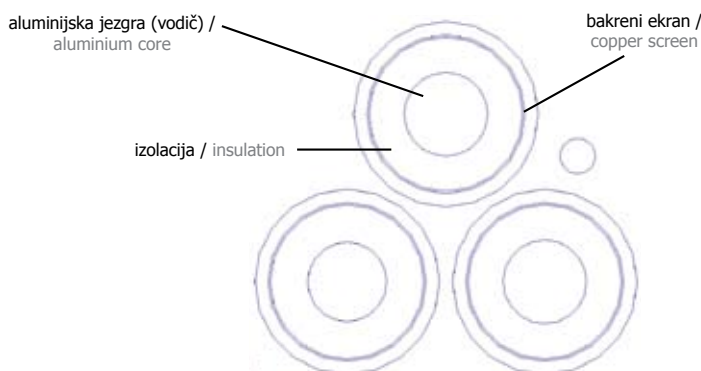
where:

- $\Delta\theta$ – porast temperature vodiča iznad temperature okoline 20 °C,
- R – električni otpor vodiča [Ω/m],
- T_1, T_2 i T_3 – termički otpori slojeva vodiča po jedinici duljine [K m/W],
- T_4 – termički otpor površine kabela prema okolini po jedinici duljine [K m/W],
- W_d – dielektrički gubici po jedinici duljine [W/m],
- n – broj vodiča protjecanih strujom u jednom kabeu
- λ_1 – omjer gubitaka u metalnom ekranu kabela i ukupnih gubitaka u vodičima,
- λ_2 – omjer gubitaka u metalnoj armaturi i ukupnih gubitaka u vodičima.

- $\Delta\theta$ – conductor temperature increase above ambient temperature 20 °C,
- R – electrical resistance [Ω/m],
- T_1, T_2 i T_3 – thermal resistances of conductor layers by unit of length [K m/W],
- T_4 – thermal resistance of cable surface against the environment by unit of length [K m/W],
- W_d – dielectric losses by unit of length [W/m],
- n – number of current-flown conductors in one cable
- λ_1 – ratio between losses in the metal screen and total losses in the conductors
- λ_2 – ratio between losses in the metal armor and total losses in the conductors

Za $I_n = 798$ A stacionarna temperatura površine aluminijskog vodiča ne bi trebala prelaziti vrijednost 90 °C prema HRN IEC 60287 [1]. Kabeli su ukopani na dubini 1,2 m. Izolacijski materijal kabela je XLPE . Pojednostavljeni model kabela u rasporedu delta prikazan je slikom 3.

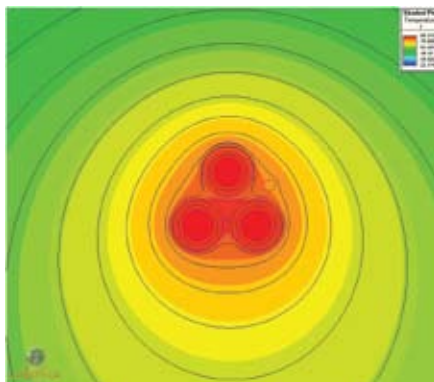
For $I_n = 798$ A the stationary temperature of the aluminium conductor surface should not exceed 90 °C according to HRN IEC 60287 [1]. The cables are buried at the depth of 1,2 m. Cable insulation material is XLPE. The simplified cable model in trefoil configuration is shown in Figure 3.



Slika 3 – Pojednostavljeni model kabela u rasporedu delta
Figure 3 – Simplified model of the cable system

Proračun temperature unutar kabela i u njegovoj okolini prikazan je slikom 4.

The calculation of temperature within the cable and in its surrounding is shown in Figure 4.



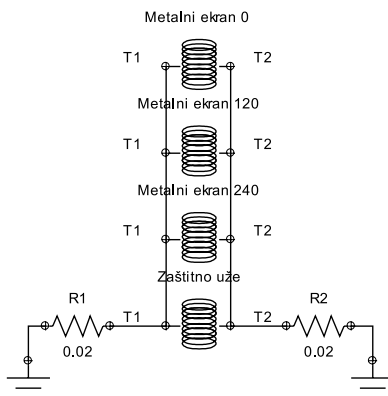
Slika 4 — Prikaz temperaturnog polja u okolini kabela
Figure 4 — Temperature field plot for a simplified model

Metalni ekrani kabela, kao i zaštitno uže uzemljeni su preko otpora uzemljenja $20\text{ m}\Omega$ na oba kraja kabela. Električni krug metalnih ekrana i zaštitnog užeta prikazan je slikom 5.

The metal screens of cables, as well as the protection line, are grounded via $20\text{ m}\Omega$ grounding resistance at both cable ends. The electric circuit of metal screens and the protection line are shown in Figure 5.

Inducirane struje u metalnim ekranima i zaštitnom užetu su temperaturno promjenjive zbog promjenjive vrijednosti električne otpornosti bakra. Za električni otpor bakrenih ekrana i zaštitnog užeta pretpostavljeno je da je linearno promjenjiv s temperaturom.

The induced currents in the metal screens and the protection line are temperature-variable due to the variable resistance values of copper. The electrical resistance of the copper screens and the protection line is assumed to be linearly variable with temperature.



Slika 5 — Električni krug metalnih ekrana i zaštitnog užeta
Figure 5 — Electric circuit of copper screens and protection line

2.2 Detaljni model

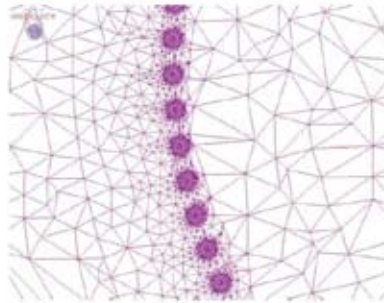
U ovom je modelu primijenjena točna geometrija metalnog ekrana. Metalni je ekran modeliran s 97 žica promjera $1,1\text{ mm}$.

2.2 Detailed model

In this model the exact metal screen geometry is applied. The metal screen is modeled with 97 wires, diameter $1,1\text{ mm}$.

Detalj mreže u metodi konačnih elemenata prikazan je slikom 6.

A detail of the mesh in the finite element method is shown in Figure 6.



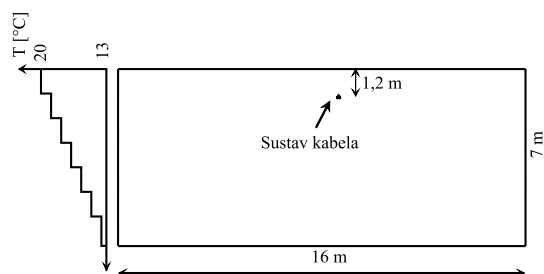
Slika 6 – Detalj mreže
Figure 6 – Detail of mesh

Kao i u jednostavnijem modelu sve su žice u metalnim ekranima zajedno sa zaštitnim užetom na krajevima kabela kratko spojene i uzemljene preko 20 mΩ.

As in a simpler model, all wires in metal screens together with the protection line are short-circuited at cable ends and grounded via 20 mΩ.

Termički su rubni uvjeti ilustrirani slikom 7. Za temperaturu tla pretpostavlja se linearni porast od 13 °C na dubini 7 m do temperature okoline 20 °C na površini zemlje. Linearni je porast približen po dijelovima stalnim iznosima prema slici 7. Na površini zemlje je za koeficijent prijenosa topline uzeta vrijednost 11 W/(m² K) [5].

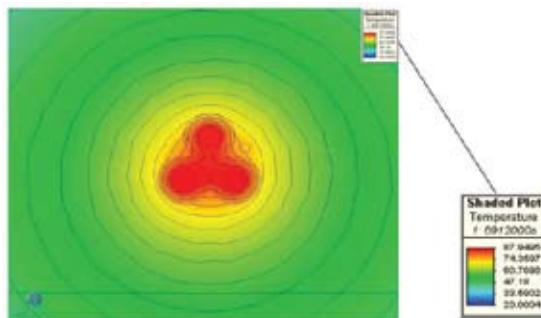
The thermal boundary conditions are shown in Figure 7. For soil temperature a linear increase from 13 °C at the depth of 7 m to ambient temperature of 20 °C on the ground surface is assumed. The linear increase is approximated by parts to constant values according to Figure 7. For the ground surface, the value 11 W/(m² K) [5] is taken for the heat transfer coefficient.



Slika 7 – Termički rubni uvjeti
Figure 7 – Thermal boundary conditions

Distribucija temperature u okolini kabela prikazana je slikom 8.

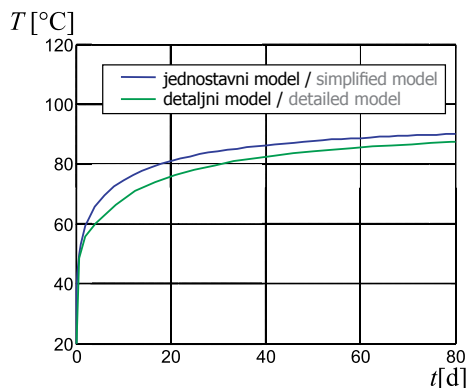
Temperature distribution in the cable surrounding is shown in Figure 8.



Slika 8 – Distribucija temperature u okolini kabela
Figure 8 – Temperature field distribution for a detailed model

Temperaturni tranzijent za pojednostavljeni i detaljni model prikazan je slikom 9.

Temperature transients for simplified and detailed models are shown in Figure 9.



Slika 9 – Temperaturni tranzijent za pojednostavljeni model i detaljni model
Figure 9 – Temperature transients for simplified and detail model

Razlika između stacionarne temperature za pojednostavljeni model i detaljni model je manje od 3 °C. Budući da je razlika u proračunu temperature pojednostavljenog i detaljnog modela mala, pojednostavljeni model može se primjenjivati u većini slučajeva. Prema tome, analiza u termički nestacionarnom stanju bit će provedena uz primjenu pojednostavljenog modela kabela.

The stationary temperature difference between the simplified and the detail model is less than 3 °C. Considering such a small difference in temperature calculation between the simplified and the detail model, the simplified model can be applied in most cases. Therefore, the analysis in the thermally non-stationary state will be made by using the simplified cable model.

3 PRORAČUN TERMIČKIH PRILIKA PREOPTEREĆENOG KABELA

3 CALCULATION OF THERMAL CONDITIONS OF AN OVER-LOADED CABLE

Preopterećenje kabela posebno je interesantno u prijenosu električne energije. Trajanje dopuštenog preopterećenja ovisno je o prethodnom opterećenju kabela i struji preopterećenja. U ovom se radu analizira dopušteno preopterećenje za različite struje prethodnog opterećenja i preopterećenja bazirano na porastu temperature unutar kabela.

Cable overload is particularly interesting when it comes to power transmission. The duration of overload depends on the prior load and the overload current. The present work analyzes the allowed overload for different currents of prior load and overload based on temperature increase within the cable.

Prema [2] maksimalna struja preopterećenja može se računati prema jednadžbi:

According to [2], maximum overload current can be calculated by means of the following equation:

$$I_2 = I_n \sqrt{\frac{h_1^2 \cdot R_1}{R_{\max}}} + \frac{\frac{R_R}{R_{\max}} \left(r - h_1^2 \frac{R_1}{R_R} \right)}{\frac{\theta_R(t)}{\theta_R(\infty)}}, \quad (2)$$

gdje su:

- I_n – maksimalna dopuštena konstantna struja,
- I_1 – struja koja prethodi preopterećenju,
- I_2 – struja preopterećenja,
- R_1 – otpor vodiča prije preopterećenja [Ω/m],
- R_R – otpor vodiča pri maksimalnoj dopuštenoj konstantnoj struji [Ω/m],
- R_{max} – otpor vodiča na kraju perioda preopterećenja [Ω/m].
- h_1 – omjer struje koja prethodi preopterećenju i maksimalne dopuštene konstantne struje

Rezultati proračuna za struje prethodnog opterećenja od 40 % I_n , 60 % I_n i 80 % I_n prikazani su u tablici 1. Dopuštena su preopterećenja pri kojima temperatura ne smije prelaziti 105 °C, na čemu su bazirani dobiveni rezultati.

Proračun dopustivih struja preopterećenja bit će proveden za konstantne i promjenjive vrijednosti toplinske vodljivosti tla.

3.1 Proračun baziran na konstantnim vrijednostima toplinske vodljivosti tla

U ovom se proračunu pretpostavlja temperaturno nepromjenjiva vrijednost toplinske vodljivosti tla. Za toplinsku je vodljivost tla pretpostavljen iznos 1 W/(K m).

Rezultati za različite prethodne struje opterećenja prikazani su slikama 10, 11 i 12.

where:

- I_n – maximum allowed constant current,
- I_1 – current prior to overload,
- I_2 – overload current,
- R_1 – conductor resistance prior to overload [Ω/m],
- R_R – conductor resistance at maximum allowed constant current [Ω/m],
- R_{max} – conductor resistance at the end of the overload period [Ω/m],
- h_1 – ratio between current prior to overload and maximum allowed constant current.

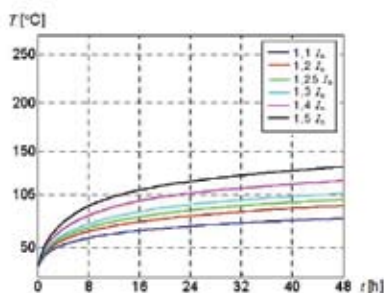
Calculation results for prior load currents 40 % I_n , 60 % I_n and 80 % I_n are shown in Table 1. Overloads are allowed where temperature may not exceed 105 °C, on which the obtained results are based.

The calculation of permissible overload currents will be carried out for constant and variable values of the thermal conductivity of soil.

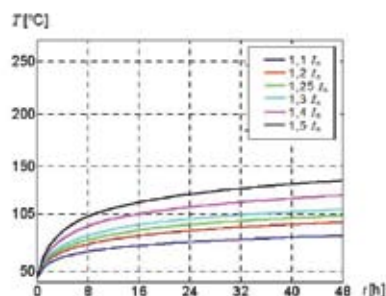
3.1 Calculation based on constant values of the thermal conductivity of soil

In this calculation a constant temperature value of the thermal conductivity of soil is assumed. The amount assumed for the thermal conductivity of soil is 1 W/(K m).

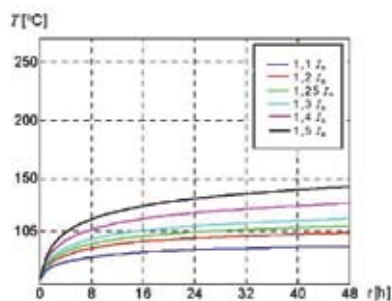
The results for different prior overload currents are shown in Figures 10, 11 and 12.



Slika 10 – Temperaturni tranzijent za prethodno opterećenje 40 % I_n
Figure 10 – Temperature transient for prior load 40 % I_n



Slika 11 – Temperaturni tranzijent za prethodno opterećenje 60 % I_n
Figure 11 – Temperature transient for prior load 60 % I_n



Slika 12 – Temperaturni tranzijent za prethodno opterećenje 80 % I_n
 Figure 12 – Temperature transient for prior load 80 % I_n

Tablica 1 – Vrijeme potrebno da temperatura vodiča dosegne 105 °C
 Table 1 – Time required for temperature to reach 105 °C

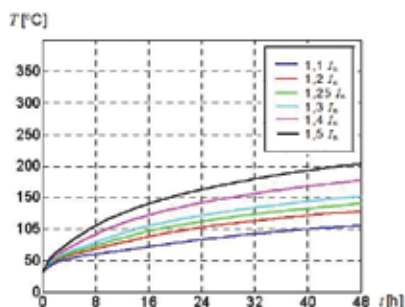
| Prethodno opterećenje / Prior load | Trajanje preopterećenja / Duration of overload [h] | | | | | |
|---------------------------------------|---|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1,1 % I_n | 1,2 % I_n | 1,25 % I_n | 1,3 % I_n | 1,4 % I_n | 1,5 % I_n |
| 40 % I_n | 536 | 136 | 79 | 50 | 22 | 12 |
| 60 % I_n | 517 | 109 | 60 | 36 | 16 | 8 |
| 80 % I_n | 458 | 62 | 31 | 18 | 7 | 4 |

3.2 Proračun baziran na promjenjivoj toplinskoj vodljivosti tla

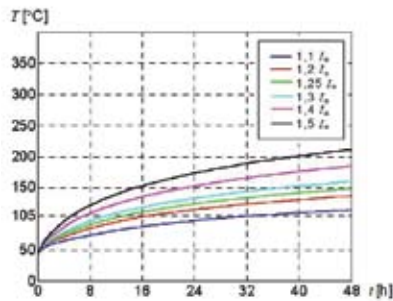
Toplinska vodljivost tla modelirana je s dvije zone. Za temperature ispod kritične izoterme na 50 °C za toplinsku vodljivost tla se pretpostavlja vrijednost 1 W/(K m). Za temperature iznad 50 °C pretpostavlja se toplinska vodljivost 0,33 W/(K m) [3]. Rezultati proračuna prikazani su na slikama 13, 14 i 15.

3.2 Calculation based on variable thermal conductivity of soil

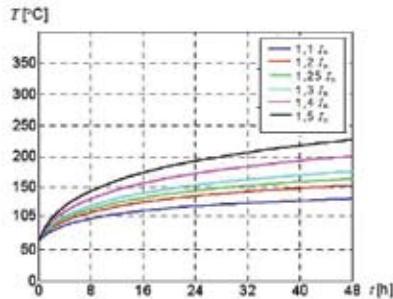
The thermal conductivity of soil is modeled with two zones. For temperatures below the critical isotherm at 50 °C, the value 1 W/(K m) is assumed for the thermal conductivity of soil. For temperatures above 50 °C the thermal conductivity of 0,33 W/(K m) [3] is assumed. The calculation results are shown in Figures 13, 14 and 15.



Slika 13 – Temperaturni tranzijent za prethodno opterećenje 40 % I_n
 Figure 13 – Temperature transient for prior load 40 % I_n



Slika 14 — Temperaturni tranzijent za prethodno opterećenje 60 % I_n
 Figure 14 — Temperature transient for prior load 60 % I_n



Slika 15 — Temperaturni tranzijent za prethodno opterećenje 80 % I_n
 Figure 15 — Temperature transient for prior load 80 % I_n

4 ZAKLJUČAK

Zbog visoke cijene ukopanih visokonaponskih kabela iznimno je važno točno proračunati maksimalno dopuštene vrijednosti konstantne struje opterećenja u stacionarnim uvjetima, kao i struje preopterećenja u termički nestacionarnim uvjetima.

Analizirani su pojednostavljeni i detaljni model kabela, a određene su vrijednosti maksimalno dopuštene stacionarne struje, kao i struje preopterećenja za različite vrijednosti struja prethodnog opterećenja, temeljene na porastu temperature unutar kabela.

Razlike u dozvoljenoj temperaturi za pojednostavljeni i detaljni model kabela nisu značajne, tako da pojednostavljeni model može biti primijenjen u većini inženjerskih zadaća. Za točnije proračune detaljni model bi trebao biti primijenjen.

Proračun baziran na konstantnim vrijednostima toplinske vodljivosti tla pokazuje dobro slaganje s vrijednostima dobivenim prema IEC standardima.

4 CONCLUSION

Due to the high prices of buried high-voltage cables it is very important to exactly calculate maximum allowed values of constant load current in stationary conditions, as well as overload current in thermally non-stationary conditions.

The simplified and detailed cable models were analyzed and the values of maximum allowed stationary current determined, and so were overload currents for different values of prior load currents, based on temperature increase inside the cable.

The differences in allowed temperature for both the simplified and the detailed cable model are not significant, so that the simplified model can be applied in dealing with most engineering tasks. For a more accurate calculation the detailed model should be applied.

The calculation based on constant values of the thermal conductivity of soil matches well with the values obtained according to IEC standards.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] HRN IEC 60287, Električni kabeli : Proračun strujne opteretivosti
 - [2] HRN IEC 60853, Proračun cikličke vrijednosti struje kabele i struje preopterećenja
 - [3] FREITAS, D.S., PRATA, A.T., DE LIMA, A.J., Thermal Performance of Underground Power Cables with Constant and Cyclic Currents in Presence of Moisture Migration in the Surrounding Soil, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No.3, July 1996
 - [4] Infolytica MagNet Tutorial, www.infolytica.com
 - [5] GARRIDO, C., OTERO, A., CIDRAS, J., Theoretical Model to Calculate Steady-State and Transient Ampacity and Temperature in Buried Cables, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol..18, No.3, July 2003
-

Adrese autora:

Authors' Addresses:

Dr. sc. **Bojan Trkulja**
bojan.trkulja@fer.hr
Prof. dr. sc. **Željko Štih**
zeljko.stih@fer.hr
Prof. dr. sc. **Sead Baerberović**
sead.berberovic@fer.hr
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Unska 3
10000 Zagreb
Hrvatska

Bojan Trkulja, PhD
bojan.trkulja@fer.hr
Prof **Željko Štih**, PhD
zeljko.stih@fer.hr
Prof **Sead Baerberović**, PhD
sead.berberovic@fer.hr
University of Zagreb
Faculty of Electrical Engineering and Computing
Unska 3
10000 Zagreb
Croatia

Uredništvo primilo rukopis:
2008-12-23

Manuscript received on:
2008-12-23

Prihvaćeno:
2009-01-30

Accepted on:
2009-01-30

UPUTE AUTORIMA

UPUTSTVO ZA RUKOPIS

1. Časopis Energija objavljuje članke koji do sada nisu objavljeni u nekom drugom časopisu.
2. Radovi se pišu na hrvatskom ili engleskom jeziku, u trećem licu, na jednoj stranici papira, počinju s uvodom i završavaju sa zaključkom. Stranice se označavaju uzastopnim brojevima.
3. Radovi u pravilu ne mogu biti dulji od 14 stranica časopisa Energija (oko 9000 riječi).
4. Ime i prezime autora, znanstvena ili stručna titula, naziv i adresa tvrtke u kojoj autor radi i e-mail adresa navode se odvojeno.
5. Iznad teksta samoga rada treba biti sažetak od najviše 250 riječi. Sažetak treba biti zaokružena cjelina razumljiva prosječnom čitatelju izvan konteksta samoga rada. Nakon sažetka navode se ključne riječi.
6. Članci se pišu u Word-u sa slikama u tekstu ili u posebnim file-ovima u tiff formatu, 1:1, rezolucije namanje 300 dpi.
7. Članci se pišu bez bilješki na dnu stranice.
8. Matematički izrazi, grčka slova i drugi znakovi trebaju biti jasno napisani s dostatnim razmacima.
9. Literatura koja se koristi u tekstu navodi se u uglatoj zagradi pod brojem pod kojim je navedena na kraju članka. Korištena literatura navodi se na kraju članka redom kojim je spomenuta u članku. Ako rad na koji se upućuje ima tri ili više autora, navodi se prvi autor i potom et al. Nazivi časopisa navode se u neskrćenom obliku.

Časopis

- [1] FRAZIER, L., FODOR, J. D., The sausage machine: A new two-stage parsing model. *Cognition*, 6 (1978)

Knjiga

- [2] NAGAO, M., Knowledge and Inference, Academic Press, Boston, 1988

Referat

- [3] R. L. WATROUS, L. SHASTRI Learning phonetic features using connectionist networks: An experiment in speech recognition. Presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, (1987) San Diego, CA

Neobjavljeno izvješće/teza

- [4] J. W. ROZENBLIT A conceptual basis for model-based system design, PhD. Thesis, Wayne State University, Detroit, Michigan, 1985

10. Članak je prihvaćen za objavljivanje ako ga pozitivno ocijene dva stručna recenzenta. U postupku recenzije članci se kategoriziraju na sljedeći način:
 - izvorni znanstveni članci – radovi koji sadrže do sada još neobjavljene rezultate izvornih istraživanja u potpunom obliku,
 - prethodna priopćenja – radovi koji sadrže do sada još neobjavljene rezultate izvornih istraživanja u preliminarnom obliku,
 - pregledni članci – radovi koji sadrže izvoran, sažet i kritički prikaz jednog područja ili njegova dijela u kojem autor i sam aktivno sudjeluje – mora biti naglašena uloga autorovog izvornog doprinosa u tom području u odnosu na već objavljene radove, kao i pregled tih radova,
 - stručni članci – radovi koji sadrže korisne priloge iz struke i za struku, a ne moraju predstavljati izvorna istraživanja.
11. Članci se lektoriraju i provodi se metrološka recenzija.
12. Članci se dostavljaju u elektroničkom obliku i 1 primjerak u tiskanom obliku na adresu:
Hrvatska elektroprivreda d.d.
N/r tajnika Uređivački odbor – mr. sc. Slavica Barta-Koštrun
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Tel.: +385 (1) 632 2641
Faks: +385 (1) 6322143
e-mail: slavica.barta@hep.hr

KOREKTURA I AUTORSKI PRIMJERC I

1. Autori su dužni izvršiti korekturu svoga rada prije objavljivanja. Veće promjene teksta u toj fazi neće se prihvatiti.
2. Autori dobivaju besplatno 5 primjeraka časopisa u kojemu je objavljen njihov članak. Naknada za objavljeni članak obračunava se prema Odluci o visini autorskih honorara časopisa Energija.

AUTORSKO PRAVO

1. Autorsko pravo na sve objavljene materijale ima časopis Energija.
2. Autori moraju telefaksom dostaviti popunjeni obrazac o autorskom pravu nakon prihvaćanja članka.
3. Autori koji žele koristiti materijale koji su prethodno objavljeni u časopisu Energija trebaju se obratiti izdavaču.

MANUSCRIPT REQUIREMENTS

- 1 Energy journal publishes articles never before published in another periodical.
- 2 Articles are written in Croatian or English, in the third person, on one paper side, beginning with an introduction and ending with a conclusion. Pages are numbered consecutively.
- 3 As a rule articles cannot exceed 14 pages of the *Energija* journal (about 9 000 words).
- 4 The name of the author and his/her academic title, the name and address of the company of the author's employment, and e-mail address, are noted separately.
- 5 The text of the article is preceded by a summary of max. 250 words. The summary is followed by the listing of the key words.
- 6 Article are written in MS Word with pictures embedded or as separate TIFF files, 1:1, min. 300 dpi.
- 7 Articles are written without bottom of page footnotes.
- 8 Mathematical expressions, Greek letters and other symbols must be clearly written with sufficient spacing.
- 9 The sources mentioned in the text of the article are only to be referenced by the number, in the square brackets, under which it is listed at the end of the article. References are listed at the end of the article in the order in which they are mentioned in the text of the article. If a work referenced has three or more authors, the first author is mentioned followed by the indication et al. Names of journals are given in full.

Journal

- [1] FRAZIER, L., FODOR, J. D., The sausage machine: A new two-stage parsing model, *Cognition*, 6 (1978)

Book

- [2] NAGAO, M., *Knowledge and Inference*, Academic Press, Boston, 1988

Paper

- [3] R. L. WATROUS, L. SHASTRI Learning phonetic features using connectionist networks: An experiment in speech recognition. Presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, (1987) San Diego, CA

Unpublished report/theses

- [4] J. W. ROZENBLIT A conceptual basis for model-based system design, PhD. Thesis, Wayne State University, Detroit, Michigan, 1985

- 10 An article will be accepted for publishing if it is positively evaluated by two reviewers. In the review, articles are categorized as follows:
 - original scientific papers – works containing hitherto unpublished full results of original research,
 - preliminary information – works containing hitherto unpublished preliminary results of original research,
 - review papers – works containing the original, summarised and critical review from the field or from a part of the field in which the author of the article is himself/herself involved – the role of the author's original contribution to the field must be noted with regard to already published works, and an overview of such works provided,
 - professional articles – works containing useful contributions from the profession and for the profession not necessary derived from original research.
- 11 Articles will undergo language editing and metrological reviews will be language-edited and reviewed for metrology.
- 12 Article are to be submitted in a machine-readable form plus one printout to the following address: electronic form along with 1 hard copy to :
HEP d.d. – *Energija*
Attn. Secretary to Editorial Board – Slavica Barta-Koštrun, MSc
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Tel.: +385 (1) 632 2641
Fax: +385 (1) 6322143
e-mail: slavica.barta@hep.hr

CORRECTIONS AND FREE COPIES FOR AUTHORS

1. Authors are required to make the corrections in their works prior to publication. Major alterations of the text at the stage of publication will not be accepted.
2. The authors will receive 5 free copies of the *Journal* in which their respective articles APPEAR. The fee for an article published will be calculated in accordance with the Decision on the Fees for the Authors of the *Energija* journal.

COPYRIGHT

1. The copyright on all the materials published belongs to the *Energija* journal.
 2. Authors must fax in a filled out copyright form when their articles have been accepted.
 3. Authors wishing to use the materials published in the *Energija* journal need to contact the publisher.
-

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

ENERGIJA 01

001-037

Jelavić, B., Zeljko, M.
ENERGETSKA BUDUĆNOST KROZ STUDIJE WAC-A
(pregledni članak)

Jelavić, B., Zeljko, M.
WEC STUDIES ON ENERGY FUTURE
(review article)

038-063

Klepo, M., Mikuličić, V., Šimić, Z.
MODEL CRPNO-AKUMULACIJSKE (REVERZIBILNE)
HIDROELEKTRANE U MODELU POUZDANOSTI I
RASPOLOŽIVOSTI ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA
(izvorni znanstveni članak)

Klepo, M., Mikuličić, V., Šimić, Z.
THE PUMPED-STORAGE HYDRO POWER PLANT MODEL
WITHIN IN THE POWER SYSTEM RELIABILITY AND AVAIL-
ABILITY MODEL
(original scientific article)

064-087

Krajcar, S., Miloš Sprčić, D., Sprčić, P.
UTJECAJ TEORIJA O UPRAVLJANJU RIZICIMA NA UPOTRE-
BU IZVEDENICA U ELEKTROENERGETSKOJ INDUSTRIJI
(izvorni znanstveni članak)

Krajcar, S., Miloš Sprčić, D., Sprčić, P.
THE INFLUENCE OF RISK MANAGEMENT THEORIES ON THE
USE OF DERIVATIVES IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY
(original scientific article)

088-115

Wagmann, L., Žutobradić, S., Puharić, M.
PRORAČUNA MTU SIGNALA U 110 KV MREŽI
(prethodno priopćenje)

Wagmann, L., Žutobradić, S., Puharić, M.
A METHOD FOR CALCULATING THE RIPPLE CONTROL SIGNAL
IN A 110 KV NETWORK
(preliminary information)

ENERGIJA 02

001-037

Jelavić, B., Zeljko, M.
ENERGETSKA BUDUĆNOST KROZ STUDIJE WAC-A
(pregledni članak)

Jelavić, B., Zeljko, M.
WEC STUDIES ON ENERGY FUTURE
(review article)

038-063

Klepo, M., Mikuličić, V., Šimić, Z.
MODEL CRPNO-AKUMULACIJSKE (REVERZIBILNE)
HIDROELEKTRANE U MODELU POUZDANOSTI I
RASPOLOŽIVOSTI ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA
(izvorni znanstveni članak)

Klepo, M., Mikuličić, V., Šimić, Z.
THE PUMPED-STORAGE HYDRO POWER PLANT MODEL
WITHIN IN THE POWER SYSTEM RELIABILITY AND AVAIL-
ABILITY MODEL
(original scientific article)

064-087

Krajcar, S., Miloš Sprčić, D., Sprčić, P.
UTJECAJ TEORIJA O UPRAVLJANJU RIZICIMA NA UPOTRE-
BU IZVEDENICA U ELEKTROENERGETSKOJ INDUSTRIJI
(izvorni znanstveni članak)

Krajcar, S., Miloš Sprčić, D., Sprčić, P.
THE INFLUENCE OF RISK MANAGEMENT THEORIES ON THE
USE OF DERIVATIVES IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY
(original scientific article)

088-115

Wagmann, L., Žutobradić, S., Puharić, M.
PRORAČUNA MTU SIGNALA U 110 KV MREŽI
(prethodno priopćenje)

Wagmann, L., Žutobradić, S., Puharić, M.
A METHOD FOR CALCULATING THE RIPPLE CONTROL SIGNAL
IN A 110 KV NETWORK
(preliminary information)

ENERGIJA 03

256-299

Tominov, I.
LIBERALIZACIJA TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE –
ISPUNJAVA LI OČEKIVANJA?
(prethodno priopćenje)

Tominov, I.
LIBERALIZATION OF THE ELECTRICITY MARKET – IS IT MEET-
ING EXPECTATIONS?
(preliminary information)

300-311

Kymakis, E., Kalykakis, S., Papazoglou, T. M.
RAD FOTONAPONSKOG PARKA NA OTOKU KRETI
(prethodno priopćenje)

Kymakis, E., Kalykakis, S., Papazoglou, T. M.
A PHOTOVOLTAIC PARK'S PERFORMANCE ON THE ISLAND OF
CRETE
(preliminary information)

312-327

Filko, P.
PROCJENA RIZIKA STRADAVANJA RADNIKA DISTRIBUCIJE
(izvorni znanstveni članak)

Filko, P.
ASSESSMENT OF RISK TO DISTRIBUTION WORKERS
(original scientific article)

328-349

Majstrović, M., Olujić, H..
NAPON NUL-VODIČA MREŽE NISKOG NAPONA ZA VRI-
JEME ZEMLJOSPOJA U MREŽI SREDNJEG NAPONA
(izvorni znanstveni članak)

Majstrović, M., Olujić, H..
THE NEUTRAL CONDUCTOR VOLTAGE IN MEDIUM-VOLTAGE
NETWORK DURING A GROUND FAULT
(original scientific article)

350-367

Petrović, G., Kilić, T., Bego, O.
SMANJENJE UDARNIH STRUJA UKLOPA TROFAZNOG
ENERGETSKOG TRANSFORMATORA
(izvorni znanstveni članak)

Petrović, G., Kilić, T., Bego, O.
REDUCTION OF THE INRUSH CURRENTS OF THREE-PHASE
POWER TRANSFORMERS
(original scientific article)

ENERGIJA 04

376-407

Dokmanović, V.
EUROPSKA ISKUSTVA U SVEZI PRIHVATA PROIZVODNJE
ELEKTRIČNE ENERGIJE VJETROELEKTRANA U ELEKTRO-
ENERGETSKI SUSTAV
(pregledni članak)

Dokmanović, V.
EUROPEAN EXPERIENCE IN CONNECTION WITH THE INTE-
GRATION OF ELECTRICITY GENERATED BY WIND POWER
PLANTS INTO ELECTRICAL POWER SYSTEMS
(review article)

408-423

Mesić, M., Puharić, M., Škarica, D.
PRIMJENA LINIJSKIH ODVODNIKA PRENAPONA ZA
ZAŠTITU DALEKOVODA STON – KOMOLAC OD ATMOSFER-
SKIH PRAŽNENJA
(prethodno priopćenje)

Mesić, M., Puharić, M., Škarica, D.
APPLICATION OF LINE SURGE ARRESTERS IN THE PROTEC-
TION OF THE 110 kV STON – KOMOLAC TRANSMISSION LINE
FROM ATMOSPHERIC DISCHARGES
(preliminary information)

064-087

Kapetanović, I., Sarajlić, N., Tešanović, M., Kasumović, M.
NUMERIČKO RJEŠAVANJE RASPODJELE ELEKTROMAG-
NETSKOG I TEMPERATURNOG POLJA ZRAČNOG TRANS-
FORMATORA
(prethodno priopćenje)

Kapetanović, I., Sarajlić, N., Tešanović, M., Kasumović, M.
NUMERICAL SOLUTION FOR THE DISTRIBUTION OF THE
ELECTROMAGNETIC AND THERMAL FIELDS OF AN AIR-CORE
TRANSFORMER
(preliminary information)

440-451

Ivan Sarajčev, I., Sarajčev, P., Vujević, S.
ODREĐIVANJE MEĐUSOBNOG OTPORA UZEMLJENJA
BLISKIH UZEMLJIVAČA
(prethodno priopćenje)

Ivan Sarajčev, I., Sarajčev, P., Vujević, S.
DETERMINATION OF THE MUTUAL GROUND RESISTANCE OF
ADJACENT GROUNDING GRIDS
(preliminary information)

452-475

Kuzmanović, B., Baus, Z.,
DINAMIČKA SVOJSTVA TIRISTORA
(pregledni članak)

Kuzmanović, B., Baus, Z.,
DYNAMIC PROPERTIES OF THYRISTORS
(review article)

ENERGIJA 05

484-521

Plavšić, T., Kuzle, I.
MODEL TRŽIŠTA JALOVOM SNAGOM TEMELJEN NA
PODJELI EES-a U NAPONSKE ZONE I DVORAZINSKOM
(izvorni znanstveni članak)

Plavšić, T., Kuzle, I.
REACTIVE POWER MARKET MODEL BASED ON THE DIVISION
OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM INTO VOLTAGE ZONES
AND ON THE TWO-LEVEL OPTIMIZATION ALGORITHM
(original scientific paper)

522-559

Bajs, D., Majstrovic, M.
KRITERIJI I METODA ODREĐIVANJA PRIORITETA ZA
REVITALIZACIJU PRIJENOSNE MREŽE
(izvorni znanstveni članak)

Bajs, D., Majstrovic, M.
THE CRITERIA AND METHOD OF DEFINING PRIORITIES FOR
THE REVITALIZATION OF THE TRANSMISSION NETWORK
(original scientific paper)

560-579

Tačković, K., Boras, V., Nikolovski, S.
KRATKOROČNO PROGNOZIRANJE OPTEREĆENJA
PRIMJENOM MODELA UMJETNE NEURONSKE MREŽE
(izvorni znanstveni članak)

Tačković, K., Boras, V., Nikolovski, S.
SHORT-TERM LOAD FORECASTING BY USING THE ARTIFICIAL
NEURAL NETWORK MODEL
(original scientific paper)

580-591

Trkulja, B., Štih, Ž.
PRORAČUN KVAZISTATIČKOG ELEKTROMAGNETSKOG
POLJA SLOŽENIH ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA
(izvorni znanstveni članak)

Trkulja, B., Štih, Ž.
COMPUTATION OF QUASISTATIC ELECTROMAGNETIC FIELDS
OF COMPLEX ELECTRIC POWER FACILITIES
(original scientific paper)

ENERGIJA 06

600-609

Hrnčević, L., Dekanić, I., Karasalihović Sedlar, D.
ANALIZA SIGURNOSTI OPSKRBE PRIRODNIM PLINOM U
HRVATSKOJ
(pregledni članak)

Hrnčević, L., Dekanić, I., Karasalihović Sedlar, D.
AN ANALYSIS OF THE SECURITY OF NATURAL GAS SUPPLY
IN THE REPUBLIC OF CROATIA
(review article)

610-623

Deshmukh, S. J., Bhuyar, L. B., Thakre, S. B.
PERSPEKTIVE DERIVATA BILJNIH ULJA ZA ENERGETSKE
POTREBE SEOSKE POLJOPRIVREDE U INDIJI
(pregledni članak)

Deshmukh, S. J., Bhuyar, L. B., Thakre, S. B.
PROSPECTS OF VEGETABLE OIL DERIVATES FOR RURAL
AGRICULTURAL ENERGY IN INDIA
(review article)

624-657

Štritof, I., Krajcar, S.
REGULACIJA KVALITETE OPSKRBE ELEKTRIČNOM EN-
ERGIJOM KAO NUŽNA FUNKCIJA REGULACIJE MONOPOL-
NIH DJELATNOSTI
(prethodno priopćenje)

Štritof, I., Krajcar, S.
REGULATION OF ELECTRICITY SUPPLY QUALITY AS A
NECESSARY FUNCTION IN THE REGULATION OF MONOPOLY
SERVICES
(preliminary information)

658-675

Vujević, D.
SVICI - IZVORI HOMOGENIH MAGNETSKIH POLJA
(pregledni članak)

Vujević, D.
COILS - SOURCES OF HOMOGENEOUS MAGNETIC FIELDS
(review article)

676-687

Trkulja, B., Štih, Ž., Berberović, S.
TERMICKA ANALIZA UKOPANIH VISOKONAPONSKIH KABELA
(izvorni znanstveni članak)

Trkulja, B., Štih, Ž., Berberović, S.
THERMAL ANALYSIS OF BURIED HV CABLES
(original scientific article)

Glavni odbor Zaklade "Hrvoje Požar", na temelju Poslovnika o dodjeli godišnje nagrade "Hrvoje Požar", te Poslovnika o stipendiranju mladih energetičara, objavljuje

NATJEČAJ

I. Znanstvenim i stručnim djelatnicima dodjeljuju se godišnje nagrade "Hrvoje Požar", u obliku plakete i povelje:

- za stručni i znanstveni doprinos razvitku energetike;
- za inovacije u području energetike;
- za realizirani projekt racionalnog gospodarenja energijom;
- za unapređenje kvalitete okoliša, vezano uz energetske objekte;
- za popularizaciju energetike.

Nagrada za stručni i znanstveni doprinos razvitku energetike u pravilu se dodjeljuje pojedincu.

Ostale nagrade se mogu dodijeliti pojedincu, grupi stručnjaka koji su zajedno izvršili nagrađeno djelo, ili organizaciji - nositelju nagrađenog projekta.

Prijedlog za dodjelu godišnjih nagrada, s pismenim obrazloženjem i s priloženom dokumentacijom, mogu podnijeti znanstvene i znanstveno-nastavne organizacije, znanstvena i stručna društva, pojedini znanstveni i javni radnici, te ostale ustanove i trgovačka društva.

II. Studentima energetske usmjerenja, završnih godina dodiplomskog studija, diplomskog studija i diplomantima, dodjeljuje se pet (5) godišnjih nagrada "Hrvoje Požar", u obliku povelje i u novčanom iznosu:

- za izvrstan uspjeh u studiju, i/ili za posebno zapažen diplomski rad iz područja energetike.

Prijedlog za dodjelu godišnje nagrade najboljim studentima energetske usmjerenja mogu podnijeti znanstveno-nastavne organizacije, sveučilišni nastavnici, ili sami studenti.

Prijedlozi se podnose pismeno, s obrazloženjem.

III. Studentima energetske usmjerenja dodjeljuje se pet (5) jednogodišnjih stipendija za završne godine dodiplomskog studija, odnosno za diplomski studij. Prijedlog za dodjelu stipendija mogu podnijeti sveučilišni nastavnici, ili sami studenti. Kandidati koji se žele natjecati za nagradu ili stipendiju dužni su popuniti upitnik koji mogu dobiti u tajništvu Hrvatskog energetske društva te na web stranici HED-a: www.hed.hr. Diplomanti moraju osim upitnika priložiti svoj diplomski rad u elektronskom obliku.

IV. Natječaj je otvoren od 1. do 30. travnja 2009. godine.

Prijedlozi se podnose tajništvu Hrvatskog energetske društva, Zagreb, Savska cesta 163, p.p.141. Prijava mora sadržavati ime/naziv i adresu predloženika s brojem telefona.

Stipendije Zaklade "Hrvoje Požar", bit će dodijeljene kandidatima koji ne primaju druge stipendije.

Sve obavijesti mogu se dobiti na tel. 01/ 60 40 609, 63 26 134, e-mail: mmoric@eihp.hr, hed@eihp.hr

Odluka Glavnog odbora o dodjeli nagrada bit će objavljena u dnevnim listovima i stručnim publikacijama te na WEB stranici HED-a: www.hed.hr.



Hrvatsko društvo za kvalitetu

NAJAVA ZA MEDIJE

Hrvatska prvi put domaćin svjetskog skupa o kvaliteti

(Zagreb, 2009-03-16) Hrvatska je ove godine odabrana kao domaćin 53. kongresa Europske organizacije za kvalitetu (EOQ), što će održati u Dubrovniku od 12. do 14. svibnja 2009. godine. Skup se svake godine organizira u jednoj od država članica kongresa, za ovu organizaciju predstavlja najznačajniji godišnji događaj u Europi i svijetu. Ovogodišnji **EOQ kongres pod nazivom Quality in the Age of Transition** organizira Hrvatsko društvo za kvalitetu (HDK) u Dubrovniku u hotelu Croatia (Cavtat).

Visoki pokrovitelj ovoga najznačajnijega godišnjeg događaja o kvaliteti u Europi i u Hrvatskoj je predsjednik Republike Stjepan Mesić, a suorganizator je Hrvatska gospodarska komora.

EOQ kongres tradicionalno okuplja široki krug profesionalaca iz područja kvalitete koji dolaze iz proizvođačkih, uslužnih, zdravstvenih, administrativnih i obrazovnih organizacija, prije svega iz Europe, ali i iz cijelog svijeta. Glavni predavači na kongresu bit će ugledni stručnjaci iz područja kvalitete, poznati u cijelome svijetu. Tako se pruža izvanredna prilika da vidimo, čujemo i naučimo na koji način odgovoriti na izazove globalne krize primjenjujući sustave upravljanja kvalitetom, kako očuvati okoliš za generacije koje dolaze, kako povećati društvenu odgovornost i druga pitanja.

Na kongresu se očekuje preko 500 sudionika iz cijelog svijeta, ponajviše iz Europe.

„Suočeni s današnjom globalnom krizom, na kongresu će se ponuditi rješenja i načini zaustavljanja i izlaska iz krize kroz primjere iz prakse. No, kriza je i prilika za poboljšanje. Idemo iskoristiti ovu priliku“, izjavio je Viktor Seitschek, predsjednik EOQ-a.

Održavanje kongresa o kvaliteti na europskoj razini značajan je događaj i od posebne važnosti za promidžbu Republike Hrvatske u europskom okruženju.

Imajući u vidu važnost održavanja ovog kongresa u Republici Hrvatskoj, iskreno se nadamo da ćete pravodobno medijski popratiti rad kongresa.

Popis predavača nalazi se na:

<http://www.hdkkvaliteta.hr/Default.aspx?sec=54>

Uz pozdrave,

Stanka Miljković,

tel: 01/610 60 65

091/464 71 56

e-mail: pr@hzn.hr

www.hdkkvaliteta.hr

HDK je stručna udruga koja okuplja stručnjake koji se bave pitanjima kvalitete, a radi iniciranja i promicanja aktivnosti na ostvarivanju kvalitete i upravljanju kvalitetom. Udruga, kao predvodnik u promicanju kvalitete u Hrvatskoj u svim segmentima društva aktivno podupire kvalitetu šireći na društvenu zajednicu znanja iz upravljanja kvalitetom te potiče razmjenu ideja, informacija, iskustava i novih spoznaja o kvaliteti. Udruga potiče primjenu principa upravljanja kvalitetom u hrvatskom gospodarstvu i javnom sektoru radi stalnog poboljšavanja učinkovitosti poslovanja.