

ENERGIA

**JOURNAL
OF ENERGY**

IZDAVAČ

Hrvatska elektroprivreda d.d., Zagreb

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. Danilo Feretić, Zagreb - prof. dr. sc. Drago Jakovčević, Zagreb - mr. sc. Vitomir Komen, Rijeka - prof. dr. sc. Slavko Krajačar, Zagreb - prof. dr. sc. Siniša Petrović, Zagreb - mr. sc. Goran Slipac, Zagreb - dr. sc. Mladen Zeljko, Zagreb

UREĐIVAČKI ODBOR

Glavni urednik – Nikola Bruketa, dipl. ing., Zagreb
Glavni tajnik – mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, Zagreb
Lektor – Šimun 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
Uređivački odbor
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Telefoni: +385 (1) 6321963 i 6322641
Telefaks: +385 (1) 6322143 i 6170438
e-mail: nikola.bruketa@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 56(2007)
Zagreb, 2007
Broj 1., str. 1–138

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

PUBLISHED BY

Hrvatska elektroprivreda d.d., Zagreb

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 Danilo Feretić, PhD, Zagreb - Prof Drago Jakovčević, PhD, Zagreb - Vitomir Komen, MSc, Rijeka - Prof Slavko Krajačar, PhD, Zagreb - Prof Siniša Petrović, PhD, Zagreb - Goran Slipac, MSc, Zagreb - Mladen Zeljko, PhD, Zagreb

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief – Nikola Bruketa, dipl. ing., Zagreb
Secretary – Slavica Barta-Koštrun, MSc, Zagreb
Language Editor – Šimun 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
Editorial Board
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia
Telephone: +385 (1) 6321963 i 6322641
Fax: +385 (1) 6322143 i 6170438
e-mail: nikola.bruketa@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 giro account with Zagrebačka Banka:
2360000-1400129978

Annual subscription fee for the overseas: USD 95.
Number of foreign currency account with 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 56(2007)
Zagreb, 2007
No 6., p.p. 1–138

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

SADRŽAJ

Štritof, I., Klečina, F.,
MODEL POTICAJNE REGULACIJE U PRIJENOSU ELEKTRIČNE
ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ
(pregledni članak)

Krajačar, S., Skok, M., Andročec, I., Blagajac, S., Solem, G.,
Livik, K., Morland, B.,
TRENING CENTAR ZA TRGOVANJE ENERGIJOM
(pregledni članak)

Mileusnić, E.,
PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA PRAVILNIKA O ZAŠTITI OD
ELEKTROMAGNETSKIH POLJA
(pregledni članak)

Barić, T., Boras, V., Galić, R.,
NADOMJESNI MODEL TLA ZASNOVAN NA UMJETNIM
NEURONSKIM MREŽAMA
(prethodno priopćenje)

Uran, V.,
PRINCIP IZVOĐENJA OPCIJA NA TRŽIŠTU ELEKTRIČNE
ENERGIJE
(pregledni članak)

Časopis je ubilježen u Ministarstvu znanosti, obrazovanja i sporta pod brojem 161 od 12.11.1992.

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

CONTENTS

Štritof, I., Klečina, F.,
MODEL FOR INCENTIVE REGULATION IN THE TRANSMISSION
OF ELECTRICAL ENERGY IN THE REPUBLIC OF CROATIA
(review article)

Krajačar, S., Skok, M., Andročec, I., Blagajac, S., Solem, G., Livik,
K., Morland, B.,
TRAINING CENTRE FOR ENERGY TRADING
(review article)

Mileusnić, E.,
PROPOSAL FOR REVISING THE CROATIAN REGULATIONS ON
PROTECTION FROM ELECTROMAGNETIC FIELDS
(review article)

Barić, T., Boras, V., Galić, R.,
SUBSTITUTIONAL MODEL OF THE SOIL BASED ON ARTIFICIAL
NEURAL NETWORKS
(preliminary information)

Uran, V.,
THE PRINCIPLE OF EXERCISING OPTIONS ON THE ELECTRICITY
MARKET
(review article)

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

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



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 iskustvenim 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 Energija 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 Energija 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 Eastern 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

Dragi čitatelji,

prvim brojem časopisa Energija u 2007. godini otvaramo 56. godinu postojanja časopisa i drugu godinu objavljivanja časopisa kao međunarodnog izdanja. Brojke su to koje obvezuju na odgovorno promišljanje svrhe i uloge časopisa u aktualnom kontekstu općih energetskekih zbivanja i kontinuitetu izdavanja.

Zastupljenost globalnih energetskekih tema u međunarodnoj znanstvenoj i stručnoj publicistici je vrlo dobra. Međutim, zastupljenost regionalne i lokalne energetske problematike u okruženju središnje i jugoistočne Europe u specijaliziranoj energetskekoj publicistici je znatno ispod potreba i predstavlja ograničavajući čimbenik promjena.

Svjesni potrebe cjelovitog i sustavnog promicanja zajedništva znanosti i struke na rješavanju specifične regionalne energetske problematike, kao dijela ukupne europske energetske problematike, pozivamo autore iz Hrvatske i susjednih zemalja da iskoriste stranice časopisa Energija za promoviranje svojih spoznaja i ideja na temama od zajedničkog interesa.

U Energiji 1/2007 objavljujemo sljedećih pet članaka:

- Model poticajne regulacije u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj,
- Trening centar za trgovanje energijom,
- Prijedlog unaprjeđenja Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja,
- Nadomjesni model tla zasnovan na umjetnim neuronskim mrežama i
- Princip izvođenja opcija na tržištu električne energije.

U prvom članku elaborirana je vrlo aktualna tema uvođenja ekonomske regulacije za operatora prijenosnog sustava. Članak predlaže algoritam za uvođenje poticajne regulacije utemeljene na regulaciji maksimalnog prihoda. Nastavno na algoritam sustavno su obrađene potrebne predradnje za njegovu implementaciju, kao što je razdvajanje djelatnosti unutar vertikalno integriranog poduzeća,

Dear Readers,

With the first issue of Energija in 2007, we inaugurate the fifty-sixth year of the journal and the second year of its publication as an international edition. These are numbers that lead to serious consideration of the purpose and role of the journal in the actual context of the general energy events and the continuity of publishing.

Global energy topics are very well represented in international scientific and professional publications. However, the coverage of regional and local energy topics in specialized energy publications for central and southeastern Europe is significantly inadequate and represents a limiting factor for change.

Aware of the need for the comprehensive and systematic fostering of a community of science and professionalism in solving specific regional energy problems within the total European energy context, we invite authors from Croatia and neighboring countries to use the pages of the journal Energija for presenting their knowledge and ideas on topics of common interest.

In Energija 1/2007, we have published the following five articles:

- Model for Incentive Regulation in the Transmission of Electrical Energy in the Republic of Croatia,
- Training Center for Energy Trading,
- Proposal for Revising the Croatian Regulations on Protection from Electromagnetic Fields,
- Substitutional Model of the Soil Based on Artificial Neural Networks, and
- The Principle of Exercising Options on the Electricity Market.

In the first article, there is an elaboration of a very current topic, the introduction of economic regulation of the operator of the transmission system. The article proposes an algorithm for the introduction of incentive regulation based upon the revenue cap method. The article presents a systematic elaboration of the preliminary work necessary for the implementation of this algorithm, such as separating the activities within a vertically integrated enterprise,

organiziranje tržišta električne energije, jačanje uloge regulatornog tijela i dr.

Sljedeći članak se također bavi jednom važnom temom za uspostavu i funkcioniranje tržišta električne energije. To je tema obrazovanja stručnjaka i podizanja opće razine kompetentnosti za vođenje poslovanja elektroprivrednih tvrtki i postupanje kupaca u tržišnom okruženju. Članak opisuje novouspostavljeni Trening centar za trgovanje energijom pri Fakultetu elektrotehnike i računarstva – Zagreb, nastao kao hrvatsko – norveški projekt financiran donacijom Norveške Vlade.

Treći članak daje kritički osvrt iskusnog elektroprivrednog stručnjaka na hrvatski Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja. Zaštita od elektromagnetskih polja je važno pitanje modernog svijeta koje se mora ozbiljno uvažavati, uz razumno postupanje u praksi. Autor članka ukazuje na neopravdanu strogost normiranih graničnih vrijednosti za jakost električnog polja i neke druge nedostatke Pravilnika, te predlaže njegove nužne korekcije.

Slijedeći članak bavi se interpretacijom rezultata mjerenja specifičnog električnog otpora tla primjenom umjetnih neuronskih mreža. Model zasnovan na umjetnim neuronskim mrežama nadomješta tlo koje se može smatrati kao dvoslojni medij s različitim specifičnim otporima tla. Opisan je postupak učenja umjetne neuronske mreže sa skupom ulaznih podataka dobivenih primjenom vrlo točnog teorijskog modela.

Posljednji članak u ovom broju časopisa bavi se temom teoretskog utemeljenja i uporabe opcija u poslovanju na tržištu električne energije. Opcije su financijski derivati koji otvaraju vrlo značajnu alternativu neposrednom fizičkom trgovanju električnom energijom. Članak se bavi toretskim postavkama za određivanje vrijednosti opcija, nakon čega slijede opisi standardnih procedura i primjeri konkretnog trgovanja pomoću opcija.

U ovom broju članke potpisuje četrnaest autora od kojih su tri autora iz Norveške. Autori su iz svih struktura uključenih ili povezanih s energetikom i posebno elektroprivredom pa vjerujem da će Vam njihovi članci biti zanimljivi i korisni.

Glavni urednik
Nikola Bruketa dipl.ing.

organizing the electricity market, strengthening the role of the regulatory body etc.

The next article concerns very important prerequisites for the establishment and function of an electricity market: the education of professionals, the raising of the general level of competency in the management of the operations of power supply companies, and an understanding of consumers behavior in the market environment. The article describes the newly established Training Center for Energy Trading at the Faculty of Electrical Engineering and Computing – Zagreb, a Croatian-Norwegian projected financed through a donation from the Norwegian Government.

The third article provides a critical review of the Croatian Regulations on Protection from Electromagnetic Fields by an experienced professional in the electrical power industry. Protection from electromagnetic fields is an important question in the modern world that must be taken seriously and requires rational practical application. The author of the article points out the unwarranted restrictiveness of the established limit values for the strength of an electrical field and other shortcomings of the Croatian Regulations, and proposes necessary corrections.

The next article provides an interpretation of the results of the measurement of specific soil resistivity through the application of artificial neural networks. A substitutional model of the soil based on artificial neural networks can be considered as a two-layer medium with different specific soil resistivities. The procedure for learning artificial neural networks with a group of entry data obtained through the application of a very precise theoretical model is described.

The last article in this issue of the journal is concerned with the topic of the theoretical basis and exercise of options on the electricity market. Options are financial derivatives that open a highly significant alternative to direct physical trading in electricity. The article discusses the theoretical precepts for determining the value of an option, followed by descriptions of the standard procedures and examples of concrete trading using options.

In this issue of the journal, the articles are signed by fourteen authors, three of whom are from Norway. The authors are from a broad range of fields in or related to energetics, particularly the electric power industry. I believe that their articles will be of interest and benefit to you.

Editor-in-Chief
Nikola Bruketa, dipl.ing.

MODEL POTICAJNE REGULACIJE U PRIJENOSU ELEKTRIČNE ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ MODEL FOR INCENTIVE REGULATION IN THE TRANSMISSION OF ELECTRICAL ENERGY IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Mr. sc. Ivona Štritof, Hrvatska energetska regulatorna agencija,
Koturaška 51, 10000 Zagreb, Hrvatska
Franjo Klečina, dipl.ing., Energetski institut Hrvoje Požar,
Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

Regulatorna tijela u Europskoj uniji do sada su razvila mnoge metode ekonomske regulacije. U ovom članku razvijen je koncept uvođenja metode poticajne regulacije u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj, imajući u vidu cjelokupno okruženje, odnosno provođenje nužnih preduvjeta. Republika Hrvatska je na početku uvođenja ekonomske regulacije u prijenosu električne energije. Stoga je nužno dosljedno provesti sve potrebne predradnje, kao što su razdvajanje djelatnosti unutar vertikalno integriranog poduzeća, modeliranje tržišta električne energije, organizacija tržišta električne energije te afirmiranje regulatornog tijela. U prvom koraku potrebno je započeti s razvojem i uvođenjem osnovnih, a time i najjednostavnijih modela ekonomske regulacije. U članku je dan prikaz algoritma za uvođenje modela poticajne regulacije u prijenosu električne energije. Analizirani algoritam temelji se na metodi regulacije maksimalnog prihoda. Također, u članku se razmatraju okolnosti uvođenja predmetne metode u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj.

The regulatory bodies in the European Union have developed many methods for economic regulation. In this article, the concept is developed for the introduction of a method for incentive regulation in the transmission of electrical energy in the Republic of Croatia, bearing in mind the overall circumstances. The Republic of Croatia is in the initial phase of introducing economic regulation in the transmission of electrical energy. Therefore, it is necessary to perform all the necessary preliminary work consistently, such as the separation of the activities within a vertically integrated enterprise, modeling of the electricity market, organizing the electricity market and the recognition of a regulatory body. In the first phase, it will be necessary to begin the development and introduction of the basic and simplest incentive models for economic regulation. The article presents an algorithm for the introduction of a model for incentive regulation in the transmission of electrical energy. The analyzed algorithm is based upon the revenue cap method. The article also discusses the circumstances of introducing said method in the transmission of electrical energy in the Republic of Croatia.

Ključne riječi: ekonomska regulacija, poticajna regulacija, prijenos električne energije, regulatorno tijelo
Key words: economic regulation, incentive regulation, regulatory body, transmission of electrical energy



1 UVOD

U Republici Hrvatskoj Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o energiji [1] uređuje pitanje regulacije cijena mrežnih djelatnosti. Njime je definirano da se cijena prijenosa, odnosno distribucije električne energije kao reguliranih djelatnosti utvrđuje na temelju tarifnih sustava koje donosi, u dijelu metodologije Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA), a u dijelu iznosa tarifnih stavki Vlada Republike Hrvatske na prijedlog Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva (MINGORP). Do stupanja na snagu novih energetskih zakona odnosno izmjena i dopuna istih, krajem 2004. godine, pitanje utvrđivanja tarifa za korištenje prijenosne mreže rješavalo se temeljem Zakona o energiji [2] i Zakona o tržištu električne energije [3]. Zakonom o energiji bilo je definirano da se cijena prijenosa, odnosno distribucije električne energije kao reguliranih djelatnosti utvrđuje na temelju tarifnih sustava koje donosi Vlada RH na prijedlog energetskog subjekta, a nakon pribavljenog mišljenja MINGORP-a i Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti (VRED). Slika 1 prikazuje staru i novu proceduru donošenja tarifnih sustava, odnosno tarifa.

U postupku usklađivanja paketa energetskih zakona s propisima Europske unije, posebice u dijelu koji se odnosi na nadležnosti regulatornog tijela, HERA-i se pripisala nadležnost donošenja metodologije za izradu tarifnih sustava, ali ne i utvrđivanje iznosa tarifnih stavki. Da bi se postigao što nezavisniji rad regulatornog tijela, i od strane izvršne vlasti i od strane energetskih subjekata, optimalna procedura utvrđivanja tarifa za korištenje prijenosne mreže je ona u kojoj regulatorno tijelo utvrđuje metodologiju na osnovi koje utvrđuje tarife. Naravno, pri tome potrebna je suradnja sa energetskim subjektima i savjetodavnim tijelima u vidu stručne javnosti i interesnih strana (ovakva procedura primjenjuje se npr. u Portugalu) kao i stručna kompetencija te iskustvo regulatornog tijela.

Osim jasne procedure utvrđivanja metodologije za izračun tarifa, odnosno utvrđivanja tarifa, preduvjet za donošenje transparentne metodologije je i provođenje transparentnog razdvajanja između reguliranih (prijenos i distribucija električne energije) i nereguliranih djelatnosti (proizvodnja i opskrba) unutar Hrvatske Elektroprivrede (HEP grupe). Transparentna podjela djelatnosti unutar HEP grupe podrazumijeva jasno razdvajanje troškova između reguliranih i nereguliranih djelatnosti. U Republici Hrvatskoj je zakonski utvrđeno da bi poduzeća u energetskom sektoru koja obavljaju više energetskih djelatnosti trebala

1 INTRODUCTION

In the Republic of Croatia, the Amendment Act to the Energy Act [1] governs the question of the regulation of tariffs for networked activities. It specifies that the fees for the transmission and distribution of electrical energy, as regulated activities, shall be determined on the basis of the tariff systems according to the methodology stipulated by the Croatian Energy Regulatory Agency (HERA), and regarding the amount of tariff items as stipulated by the Government of the Republic of Croatia at the proposal of the Ministry of the Economy, Labor and Entrepreneurship (MINGORP). Until the new energy legislation or the amendments to the same went into effect in late 2004, the question of the establishment of tariffs for using the transmission network was resolved pursuant to the Energy Act [2] and the Electricity Market Act [3]. Pursuant to the Energy Act, the fees for the transmission and distribution of electricity had been defined, as regulated activities, pursuant to the basic tariff systems adopted by the Government of the Republic of Croatia at the proposal of an energy subject, subsequent to obtaining the opinion of the Ministry of the Economy, Labor and Entrepreneurship and the Council for the Regulation of Energy Activities (VRED). Figure 1 presents the former and current procedures for the adoption of the tariff systems, i.e. tariffs.

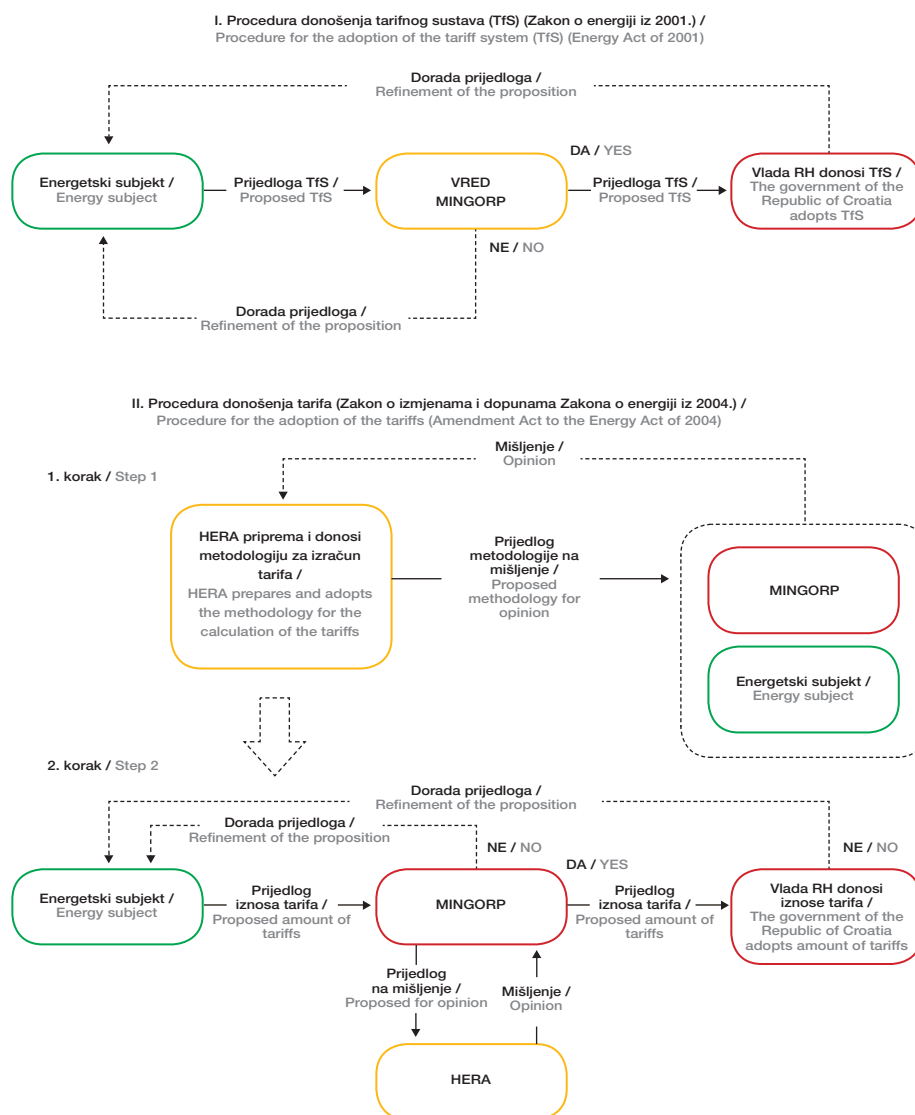
In the procedure for the harmonization of the packets of energy legislation with the regulations of the European Union, particularly in the section regarding the authority of the regulatory body, the Croatian Energy Regulatory Agency (HERA) has been assigned the authority for the adoption of a methodology for developing tariff systems, but not the determination of the amounts of the tariff items. In order to achieve the most independent possible operations of the regulatory body, regarding both the executive authorities and the energy subjects, the optimal procedure for the determination of the tariffs for the use of the transmission network would be one in which the regulatory body determines a methodology, on the basis of which it would establish the tariffs. Naturally, cooperation is required with energy subjects and advisory bodies, taking into account the professional public and interested parties (such a procedure is applied, for example, in Portugal), as well as the professional competence and experience of the regulatory body.

In addition to the clear procedures for the determination of the methodology for the calculation of tariffs, i.e. the determination of tariffs, another prerequisite for the adoption of transparent methodology is the implementation of the transparent separation of the regulated activities (the transmis-

voditi odvojeno knjigovodstvo za svaku od svojih djelatnosti kao što bi se to od njih tražilo kad bi svoje djelatnosti obavljala kroz posebna poduzeća, radi izbjegavanja pristranosti i narušavanja tržišnog natjecanja. Na taj način pojedinoj djelatnosti dodjeljuju se samo oni troškovi koji su u njoj i nastali.

sion and distribution of electrical energy) and the nonregulated activities (production and supply) within the Hrvatska Elektroprivreda (HEP Group). The transparent separation of activities within the HEP Group implies the clear separation of the costs of the regulated and nonregulated activities. In the Republic of Croatia, it has been legally established that enterprises in the energy sector that perform several energy activities must keep separate book-keeping records for each of their activities, as would be required if their activities were being performed by separate enterprises, in order to avoid favoritism and the disruption of market competition. In this manner, an individual operation is only assigned those costs that were incurred therein.

Slika 1
 Procedura donošenja tarifnih sustava, odnosno tarifa
 Figure 1
 Procedure for the Adoption of the Tariff System, i.e. Tariffs,



Bez učinkovitog razdvajanja troškova nemoguće je utvrditi opravdanu razinu prihoda po djelatnostima, odnosno utvrditi pojedine elemente u strukturi prihoda kao što su regulatorna osnovica, amortizacija, troškovi održavanja, opravdana ulaganja, stopa povrata i sl., kao niti spriječiti unakrsno subvencioniranje između djelatnosti proizvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe električnom energijom. Stoga je kao preduvjet za uvođenje ekonomske regulacije nužno računovodstveno, odnosno funkcionalno razdvajanje djelatnosti, za čiji je nadzor nad provođenjem temeljem Direktive 2003/54/EZ [4] nadležna HERA kao regulatorno tijelo u Republici Hrvatskoj.

VRED je u 2003. godini temeljem Statuta VRED-a [5] donio Pravilnik o načinu i kriterijima za utvrđivanje naknade za korištenje prijenosne i distribucijske mreže [6]. Pravilnik ne utvrđuje metodu ekonomske regulacije i ne pojašnjava njene elemente, već razmatra pitanja koja se odnose na elemente i strukturu naknade za korištenje mreža, kategorije kupaca, objekte koji pripadaju prijenosu, odnosno distribuciji i podatke koje su energetski subjekti dužni dostaviti VRED-u. Dakle, predmetni Pravilnik potrebno je nadopuniti na način da definira metodu ekonomske regulacije i njene elemente.

Regulatorna tijela u Europskoj uniji do sada su razvila mnoge metode ekonomske regulacije. U ovom članku razvijen je koncept uvođenja metode poticajne regulacije u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj, imajući u vidu cjelokupno okruženje, odnosno provođenje nužnih preduvjeta (razdvajanje djelatnosti unutar vertikalno integriranog poduzeća, modeliranje tržišta električne energije, organizacija tržišta električne energije te afirmiranje regulatornog tijela). Budući da značajan broj preduvjeta nije osiguran, odnosno ostali su na teoretskoj razini uvođenja, model se temelji na algoritmu za uvođenje poticajne regulacije za koji su utvrđeni koraci i varijable, ali se ne raspolaže s konkretnim vrijednostima koje odražavaju podatke proizašle iz HEP Operatora prijenosnog sustava (HEP OPS) prilagođene za potrebe metode poticajne regulacije. Naime, da bi se moglo raspolagati s konkretnim podacima iz čije analize mogu proizaći mjerodavni zaključci, potrebno je ulazne podatke revidirati od strane HERA-e. U suprotnom bi izlazni podaci, odnosno iznosi tarifnih stavki u strukturi tarife za korištenje prijenosne mreže, mogli značajno odstupati od realnih iznosa tarifa.

Without the effective separation of expenditures, it is not possible to determine the justified level of income according to activities, i.e. to determine the individual elements in the income structure such as the regulatory base, amortization, maintenance expenditures, justified investment, return rate etc., or to prevent cross subsidies among the activities of the production, transmission, distribution and supply of electrical energy. Therefore, as a prerequisite for the introduction of economic regulation, the accounting and functional separation of activities is essential, the supervision of which shall be performed by HERA, as the authorized regulatory body in the Republic of Croatia, pursuant to Directive 2003/54/EC [4].

In the year 2003, the Council for the Regulation of Energy Activities (VRED), pursuant to the VRED Bylaws [5], adopted the Regulations on the Manner and Criteria for the Determination of Compensation for the Use of Transmission and Distribution Networks [6]. The Regulations do not establish a method for economic regulation and do not clarify its elements, but instead consider questions that refer to the elements and structure of the compensation for the use of networks, customer categories, objects that appertain to transmission or distribution, and the data that energy subjects are required to submit to VRED. Thus, these Regulations should be supplemented in a manner in order for them to define the method of economic regulation and the elements thereof.

The regulatory bodies in the European Union have developed many methods for economic regulation. In this article, the concept is developed for the introduction of a method for incentive regulation in the transmission of electrical energy in the Republic of Croatia, bearing in mind the overall circumstances, i.e. the implementation of the necessary prerequisites (the separation of activities within a vertically integrated enterprise, the modeling of electricity market, the organization of electricity market and the recognition of a regulatory body). Since a significant number of prerequisites have not been secured, i.e. they remain at the theoretical level of implementation, the model is based on an algorithm for the introduction of incentive regulations for which the steps and variables have been determined. However, it does not have specific values available that reflect data from the HEP Transmission System Operator (HEP OPS), adapted to the needs of the method for providing incentive regulation. In order to have specific data available for analysis, from which applicable conclusions could be derived, it is necessary to revise the input data from HERA. Otherwise, the output data, i.e. the tariff items in the tariff structure for the use of the transmission network, could significantly deviate from the realistic tariff amounts.

2 METODA REGULACIJE MAKSIMALNOG PRIHODA

Metoda regulacije maksimalnog prihoda (engl. *revenue cap*) regulira maksimalni prihod koji subjekt može ostvariti u poslovanju. Pri tome je cilj regulatornog tijela pružiti mogućnost reguliranom subjektu da maksimizira profit smanjenjem troškova poslovanja te da navedene uštede, koje je postigao tijekom regulacijskog perioda, zadrži za sebe. Karakteristika ove metode je da alokaciju troškova po kategorijama kupaca, odnosno strukturiranje tarifa utvrđuje regulirani subjekt, dok regulatorno tijelo daje eventualno suglasnost na strukturu i alokaciju troškova.

Gornja granica dozvoljenog prihoda u godini t određuje se na osnovi dozvoljenog prihoda u godini $(t - 1)$ na osnovi sljedeće formule:

$$P_{\max t} = P_{\max(t-1)} \cdot KP_t \cdot (1 + CPI_t - X_t), \quad (1)$$

gdje je:

- $P_{\max t}$ – gornja granica dozvoljenog prihoda u godini t ,
- $P_{\max(t-1)}$ – gornja granica dozvoljenog prihoda u godini $(t - 1)$,
- KP_t – korektivni faktor u godini t ,
- CPI_t – indeks potrošačkih cijena u godini t (engl. *Consumer Price Index*),
- X_t – faktor učinkovitosti u godini t .

Svrha CPI_t indeksa nije da u potpunosti odražava promjene u troškovima već da reguliranom subjektu postavi realno ostvarive ciljeve u pogledu dobiti iz povećanja učinkovitosti tijekom razdoblja revizije prihoda. Primjena lako dostupnog indeksa kakav je indeks potrošačkih cijena u odnosu na neki složeniji indeks u velikoj mjeri pojednostavljuje proces predviđanja dozvoljenih prihoda kako reguliranim subjektima tako i regulatornom tijelu.

Faktor KP_t koristi se kao korektivni faktor za nedovoljno ili prekomjerno ostvareni prihod u godini $(t - 1)$ kontrole cijena. Korektivni faktor prvenstveno se uvodi radi slučajeva u kojima se ostvaruje prekomjerna dobit reguliranog subjekta kao posljedica npr. puno većeg porasta potrošnje, a koje regulatorno tijelo zbog regulacijskog razdoblja u trajanju od nekoliko godina može revidirati tek po isteku regulacijskog razdoblja, odnosno uz znatni vremenski pomak. Ukoliko se u formuli primijeni korektivni faktor radi se o varijabilnoj metodi regulacije maksimalnog prihoda čija formula glasi:

2 THE REVENUE CAP METHOD

The method for the regulation of maximum revenue, i.e. the revenue cap method, governs the maximum revenue that a subject can generate in operations. The goal of the regulatory body is to provide the opportunity for the regulated subject to maximize profits by reducing operating expenses and keeping the savings achieved during the regulatory period. A characteristic of this method is that the allocations of expenditures according to customer categories and the structuring of tariffs are determined by the regulated subject, while the regulatory body provides eventual approval of the structure and allocation of expenditures.

The upper limit of revenue permitted in year t is determined on the basis of the revenue permitted in year $(t - 1)$, based upon the following formula:

where:

- $P_{\max t}$ – the upper limit of revenue permitted in year t ,
- $P_{\max(t-1)}$ – the upper limit of revenue permitted in year $(t - 1)$,
- KP_t – the correction factor in year t ,
- CPI_t – the consumer price index in year t ,
- X_t – the performance factor in year t .

The purpose of the CPI_t is not to provide a comprehensive reflection of the changes in expenditures but to establish realistically attainable goals for a regulated subject concerning profits from increased efficiency during the period of revenue auditing. The application of an easily available index such as the consumer price index, in comparison to a more complex index, greatly simplifies the process of forecasting revenue caps for the regulated subjects and the regulatory body.

Factor KP_t is used as the correction factor for insufficient or excessive revenue generated in year $(t - 1)$ of price control. The correction factor is primarily introduced for cases in which excessive profit is generated by a subject as a consequence of, for example, a great increase in consumption, which the regulatory body can only revise at the expiration of the regulatory period, which lasts for several years, i.e. with a significant time lag. When the correction factor is applied in the formula, it provides a variable method for the regulation of the maximum revenue, as follows:

$$P_{max,t} = P_{max(t-1)} \cdot \left(\alpha \cdot \frac{Q_t}{Q_{(t-1)}} + \beta \cdot \frac{BrK_t}{BrK_{(t-1)}} + \delta \right) \cdot (1 + CPI_t - X_t), \quad (2)$$

$$\delta = 1 - (\alpha + \beta), \quad (3)$$

gdje je:

- α – težinski faktor količine energije (predstavlja udio u ukupnom prihodu koji se mijenja s promjenom količine prenesene električne energije),
- Q_t – planirana količina prenesene električne energije u godini t ,
- β – težinski faktor broja kupaca (predstavlja udio u ukupnom prihodu koji se mijenja s promjenom broja kupaca),
- BrK_t – planirani broj kupaca u godini t .

Prednost metode regulacije maksimalnog prihoda je u tome da se može primjenjivati zajedno s mjerama upravljanja potražnjom. Međutim, ova metoda zbog ograničavanja prihoda utječe i na ograničavanje poticaja u učinkovitosti poslovanja, što može voditi određenoj neučinkovitosti u poslovanju reguliranog subjekta.

Formule (1) i (2) prikazuju dinamičko prilagođavanje regulacijskih elemenata tijekom, odnosno po isteku regulacijskog razdoblja. Međutim, za početak primjene predmetne metode, odnosno za početak svakog regulacijskog ciklusa, bitno je utvrditi sljedeće parametre [7]:

- razinu dozvoljenog prihoda,
- benchmarking učinkovitosti (utvrđivanje X faktora) i
- duljinu regulacijskog razdoblja.

2.1 Razina dozvoljenih prihoda

Utvrđivanje razine dozvoljenih prihoda sastoji se od utvrđivanja sljedećih elemenata:

- operativnih troškova poslovanja,
- troškova kapitala, koji se sastoje od:
 - amortizacije,
 - regulatorne osnovice sredstava i
 - stope prinosa na imovinu/kapital,
- troškova tehničkih gubitaka i
- ostalih prihoda.

where:

- α – the weight factor of the quantity of energy (represents the share in the total revenue that changes with changes in the amount of electrical energy transmitted),
- Q_t – the planned quantity of electrical energy transmitted in year t ,
- β – the weight factor of the number of customers (represents the share in the total revenue that changes with changes in the number of customers),
- BrK_t – the planned number of customers in year t .

An advantage of the method for the regulation of the maximum revenue, the revenue cap, is that it can be applied together with measures for demand management. However, this method, due to the limitation on revenue, also has an impact on limiting incentive in operational performance, which can lead to a certain lack of efficiency in the operations of a regulated subject.

Formulae (1) and (2) present the dynamic adaptation of regulatory elements during or at the expiration of the regulatory period. However, at the beginning of the application of this method, i.e. at the beginning of every regulatory cycle, it is essential to determine the following parameters [7]:

- the level of revenue permitted,
- benchmark efficiency (determination of factor X), and
- the duration of the regulatory period.

2.1 The level of revenue permitted

The determination of the level of revenue permitted consists of defining the following elements:

- operational costs,
- capital expenditures, which consist of the following:
 - amortization,
 - regulatory asset base and
 - property/capital yield rate,
- cost of technical losses, and
- other revenues.

Potrebno je napomenuti da je u stopi prinosa na imovinu uračunat i trošak kapitala, rizičnost poslovanja kao i određena dobit iz poslovanja u reguliranom sektoru kao što je energetska djelatnost prijenosa električne energije.

2.2 Benchmarking učinkovitosti

Jedan od mehanizama za usklađivanje početne razine maksimalnog prihoda je faktor učinkovitosti X kojim se potiče povećanje produktivnosti, tj. smanjenje troškova. Ukoliko stvarno povećanje produktivnosti bude na istoj razini kao predviđeno povećanje produktivnosti, regulirani subjekt će ostvariti normalnu stopu prinosa. Ukoliko se pak produktivnost poveća u većoj mjeri od predviđene, regulirani subjekt ostvarit će stopu prinosa veću od planirane. Prilikom utvrđivanja faktora X , regulatorna tijela obično u obzir uzimaju očekivana povećanja produktivnosti reguliranih subjekata, trendove i benchmarking grupe (uzorka) reguliranih poduzeća, očekivane promjene ulaznih cijena i promjene u imovini reguliranih subjekata. Pod pojmom benchmarkinga smatra se skup podataka (usporedivih veličina – mjerila) koji se koriste kako bi se izmjerila uspješnost poslovanja pojedinog energetskog subjekta.

Postoje razne benchmarking metode koje se koriste za utvrđivanje faktora X . Zajedničko svim tim metodama je da uzimaju u obzir razinu smanjenja troškova koja je nezavisna od stvarnog smanjenja troškova koje postigne pojedini regulirani subjekt tijekom regulacijskog razdoblja. Naime, najvažniji element u primjeni benchmarking metoda je benchmarking troškova i razine usluga promatrane grupe reguliranih subjekata koji obavljaju istu energetska djelatnost.

2.3 Dužina regulacijskog razdoblja

Poticaji za povećanjem učinkovitosti, odnosno produktivnosti povećavaju se s produženjem regulacijskog razdoblja tijekom kojeg je reguliranim subjektima dozvoljeno zadržavanje ostvarenih profita. Naime, utjecaj primjene metoda regulacije maksimalnog prihoda u velikoj mjeri ovisi o dužini regulacijskog razdoblja. Uobičajeno je da to razdoblje traje između tri i pet godina. Dugačka regulacijska razdoblja maksimiziraju poticaje za povećanjem učinkovitosti, ali isto tako mogu omogućiti stope prinosa puno više od dozvoljenih, odnosno opravdanih u smislu tržišnih uvjeta. Suprotno tome, u slučaju kratkih regulacijskih razdoblja, poticaji za povećanjem učinkovitosti su smanjeni, čime se smanjuje učinkovitost i opravdanost primijenjene metode ekonomske regulacije.

It should be mentioned that capital expenditures, operational risk and the determination of profits from operations in the regulated sector, such as the energy operations of the transmission of electrical energy, are calculated in the property yield rate.

2.2 Benchmark performance

One of the mechanisms for coordinating the initial level of maximum revenue is the performance factor X , which influences increased productivity, i.e. reduction in expenditures. If actual increased productivity is at the same level as the anticipated increased productivity, the regulated subject will achieve a normal yield rate. If productivity increases to a greater extent than anticipated, the regulated subject will generate a yield rate greater than planned. When determining factor X , regulatory bodies usually take into account the anticipated increases in the productivity of the regulated subjects, trends and the benchmark of group (examples) of regulated enterprises, anticipated changes in input prices and changes in the property of regulated subjects. The concept of benchmark refers to the group of data (comparable size – scale) used in order to measure the success of the operations of an individual energy subject.

There are various benchmark methods that are used for the determination of factor X . What these methods share in common is that they take the level of reduced expenditures into account, which is independent of the actual reduction in expenditures that an individual regulated subject achieves during a regulatory period. The most important elements in the application of the benchmark method are benchmark expenditures and the levels of the services of the group of regulated subjects studied that are engaged in the same energy activity.

2.3 Duration of the regulatory period

Incentives for increasing efficiency, i.e. productivity, increase with the prolongation of the regulatory period, during which the regulated subjects are permitted to retain the generated profits. The impact of the methods applied for the regulation of maximum revenues (revenue caps) depends to a great extent upon the duration of the regulatory period. It is customary for this period to last for between three and five years. Long regulatory periods maximize the incentives for increasing efficiency but can also make it possible to achieve yield rates that far exceed those permitted, i.e. justifiable in the sense of market conditions. Conversely, in the case of short regulatory periods, the incentives for increasing efficiency are reduced, thereby reducing the efficiency and justification of the applied method of economic regulation.

Međutim, da bi se izbjegle situacije u kojima smanjenje troškova ide na štetu kvalitete opskrbe električnom energijom, potrebno je usporedo metodama regulacije maksimalnih veličina uvoditi i sustav praćenja kvalitete opskrbe električnom energijom, odnosno utvrditi opravdane razine pojedinih parametara kvalitete koji se ne smiju smanjivati u korist većih ostvarenih profita.

Ekonomska regulacija povezana je, nadalje, s vanjskim faktorima, kao što je inflacija, na koje regulatorno tijelo ili regulirani subjekt ne mogu utjecati. U slučajevima vrlo čestih i nepredvidljivih promjena vanjskih faktora, nije preporučljivo primjenjivati dugačka regulacijska razdoblja, budući da se takav regulacijski pristup može nepovoljno odraziti na poslovanje reguliranog subjekta ili na kupca. Isto tako česta regulacijska revizija, odnosno kratka regulacijska razdoblja povećavaju trošak regulacije.

S obzirom da postupak revizije cijena može trajati i do 18 mjeseci, u državama s dužom tradicijom regulacije, preporuča se da regulacijsko razdoblje ne bude manje od tri godine. Kao optimalno trajanje regulacijskog razdoblja pokazalo se razdoblje od pet godina.

3 ALGORITAM ZA UVOĐENJE POTICAJNE REGULACIJE

Algoritam za uvođenje poticajne regulacije u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj, koji se analizira u ovom članku, temelji se na metodi regulacije maksimalnih prihoda (slika 2). Budući da se radi o regulaciji maksimalnog prihoda, uloga regulatornog tijela (HERA-e) svodi se na utvrđivanje dozvoljenog maksimalnog prihoda za pojedinu godinu unutar regulacijskog razdoblja, iz čega se može izračunati prosječna tarifa za korištenje prijenosne mreže. Alokaciju troškova po kupcima, odnosno strukturiranje tarifa provodi HEP OPS uz moguću konačnu suglasnost regulatornog tijela.

Radnje koje trebaju prethoditi uvođenju ekonomske regulacije, uz provedene sve nužne preduvjete, odnose se na donošenje planova razvoja i izgradnje prijenosne mreže, uz detaljnu financijsku ekonomsku analizu (investicijski plan) iz koje se vidi planirani način pokrivanja budućih investicija. Planiranje se pri tome treba temeljiti na osnovnim dokumentima, kao što su Strategija energetskeg razvitka Republike Hrvatske i Program provedbe strategije energetskeg razvitka Republike Hrvatske te na kriterijima navedenim u Mrežnim pravilima hrvatskog elektroenergetskog sustava (EES).

However, in order to avoid situations in which the reduction of expenditures is detrimental to the quality of the electrical energy supply, together with the methods for the regulation of the maximum values, it is necessary to introduce a system for monitoring the quality of the electrical energy supply, i.e. to determine the justified levels of the individual quality parameters that cannot be reduced for the purpose of generating higher profits.

Furthermore, economic regulation is connected to external factors, such as inflation, upon which the regulatory body or regulated subject can have no influence. In cases of very frequent and unforeseeable changes in external factors, long regulatory periods are not recommended because such a regulatory approach can have an undesirable effect on the operations of the regulated subject or the customers. In addition, frequent regulatory revisions, i.e. short regulatory periods, increase regulatory expenditures.

Since the procedure for price revision can last for up to 18 months, it is recommended that the regulatory period should not be less than three years in countries with a longer tradition of regulation. A period of five years has been shown to be the optimal duration for a regulatory period.

3 ALGORITHM FOR THE INTRODUCTION OF INCENTIVE REGULATION

The algorithm for the introduction of incentive regulation in the transmission of electrical energy in the Republic of Croatia that is analyzed in this article is based upon the revenue cap method (Figure 2). Since this concerns the regulation of maximum revenue, the role of the regulatory body (HERA) is reduced to the determination of the permitted maximum revenue for an individual year within the regulatory period, from which it is possible to calculate the average tariff for using the transmission network. The allocation of expenditures to customers, i.e. the structuring of tariffs, is performed by the operator of the transmission system (HEP OPS), with the eventual final approval of the regulatory body.

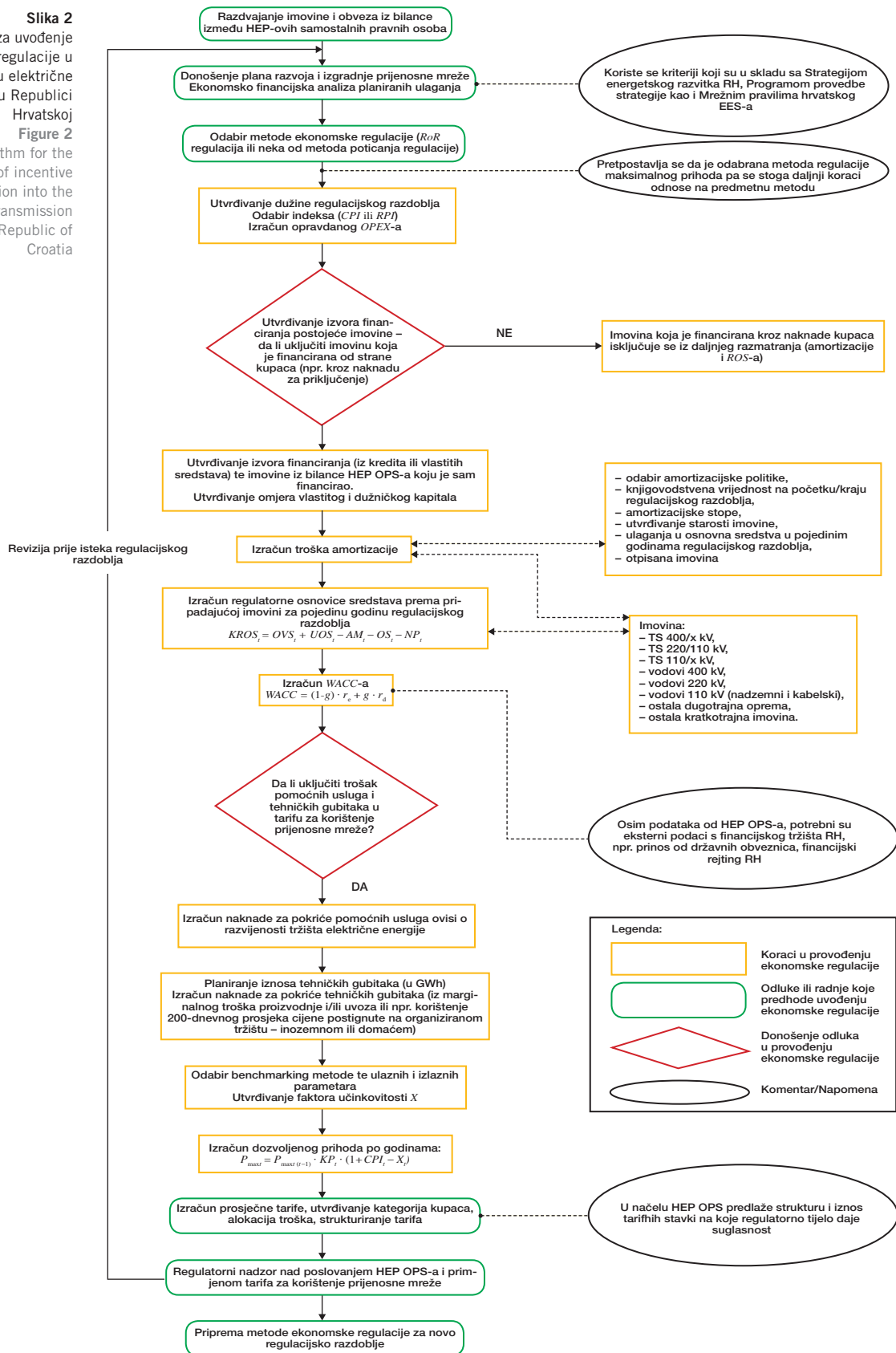
The tasks that must precede the introduction of economic regulation, with the implementation of all the necessary prerequisites, refer to the adoption of development plans and the construction of the transmission network, with a detailed financial economic analysis (investment plan) from which the planned manner for covering future investments is evident. Planning should be based upon key

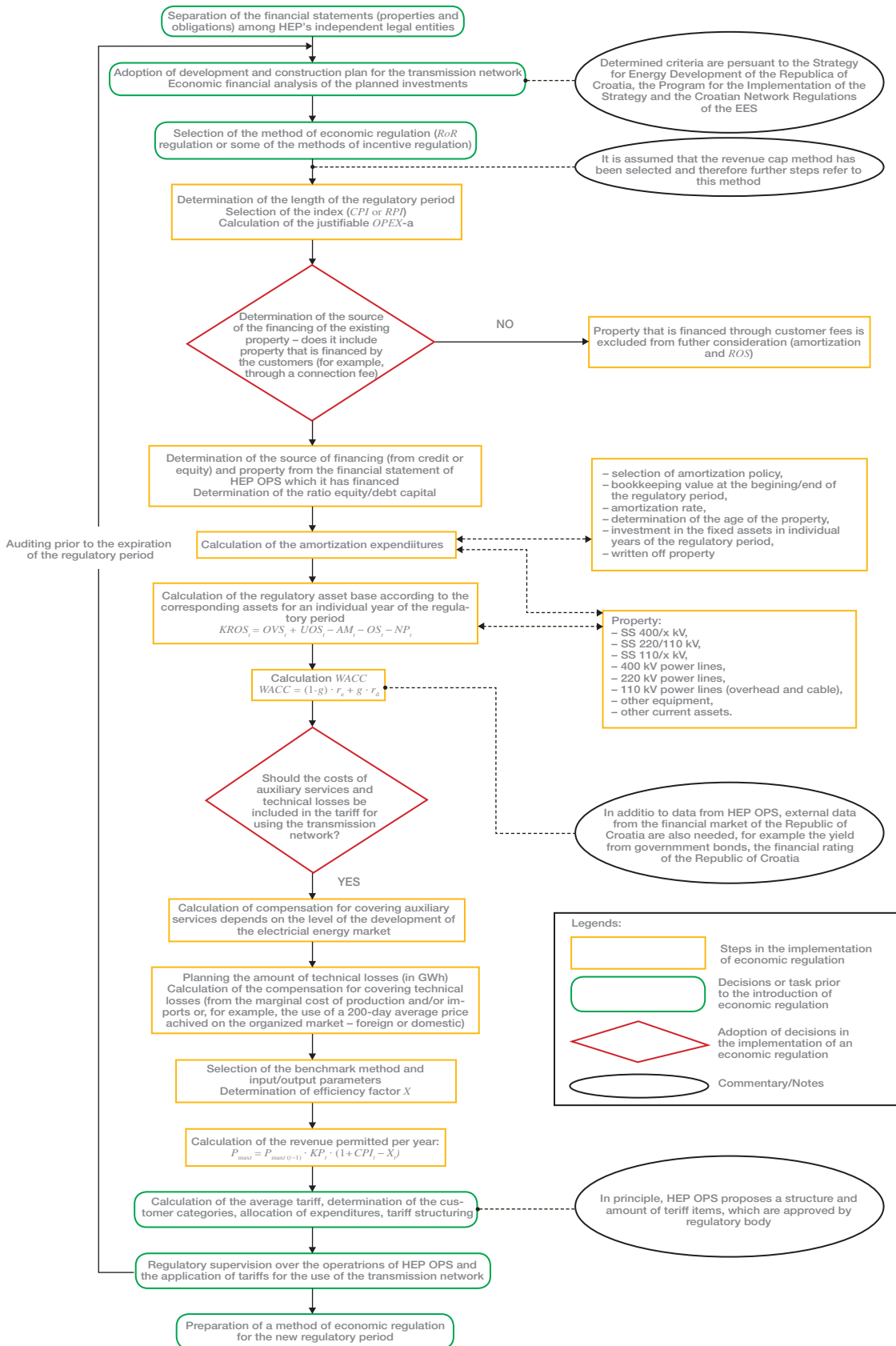
Sljedeći korak je analiza metoda ekonomske regulacije i mogućnosti njihove primjene u okruženju Republike Hrvatske, kao i analiza iskustva usporedivih država u uvođenju ekonomske regulacije. Pri tome se misli na iskustva u primjeni svih potrebnih preduvjeta kao i na prepreke u uvođenju regulacije u prijenosu električne energije. Primjena pojedine metode, nadalje, ovisit će i o ciljanoj duljini regulacijskog razdoblja, korektivnim faktorima, primijenjenom indeksu cijena *CPI* ili *RPI* (indeks maloprodajnih cijena, engl. *Retail Price Index*) te općim makroekonomskim kretanjima. Za potrebe ovog algoritma uzet će se u razmatranje *CPI* indeks, te pretpostavka da se radi o trogodišnjem regulacijskom razdoblju (2005. do 2007. godina), budući da se ono pokazalo optimalnim u smislu prvog regulacijskog razdoblja uvođenja poticajne regulacije. Daljnji koraci i odluke u razradi algoritma sukladni su prikazu na slici 2.

documents, such as the Strategy for Energy Development of the Republic of Croatia, the Program for the Implementation of the Strategy of Energy Development of the Republic of Croatia and the criteria stipulated in the Croatian Network Regulations of the Electrical Energy System (EES).

The next step is analysis of the methods of economic regulation and the possibilities for their application in the Republic of Croatia, as well as analysis of the experiences of comparable countries in the introduction of economic regulations. This refers to the experience in the implementation of all the necessary prerequisites as well as the obstacles to the introduction of regulations in the transmission of electrical energy. The application of individual methods will also depend on the target length of the regulatory period, corrective factors, the applied *CPI* or retail price index (*RPI*) and the general macroeconomic trends. For the purposes of this algorithm, the consumer price index (*CPI*) is taken into account and it is assumed that this concerns a three-year regulatory period (2005 – 2007), since this has been shown to be optimum for the first regulatory period in the introduction of incentive regulation. Further steps and decisions in the elaboration of the algorithm are according to Figure 2.

Slika 2
 Algoritam za uvođenje poticajne regulacije u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj
 Figure 2
 Algorithm for the introduction of incentive regulation into the electricity transmission system in the Republic of Croatia





3.1 Utvrđivanje opravdane razine operativnih troškova

U opravdanu razinu operativnih troškova (engl. *Operating Expenditures – OPEX*) spadaju troškovi osoblja, materijalni troškovi, troškovi održavanja, ostali troškovi poslovanja i slično. Za potrebe algoritma komponente *OPEX*-a HEP OPS-a su:

- troškovi osoblja,
- troškovi održavanja energetskih objekata i
- ostali troškovi poslovanja (npr. trošak zajedničkih službi).

Znači da bi ukupni *OPEX* u pojedinoj godini trebao iznositi:

3.1 Determination of the justifiable level of operating expenditures

The justified level of operating expenditures (*OPEX*) includes personnel expenditures, material expenditures, maintenance expenditures, other operating expenditures etc. For the purposes of the algorithm, the components of the *OPEX* of HEP OPS are as follows:

- personnel expenditures,
- expenditures for the maintenance of energetics facilities, and
- other operational costs (for example, joint services expenditures).

This means that the total *OPEX* in an individual year should be as follows:

$$OPEX_{HEPOPS_t} = TOS_{HEPOPS_t} + TODR_{HEPOPS_t} + OTP_{HEPOPS_t} \quad (4)$$

gdje je:

- $OPEX_{HEPOPS_t}$ – ukupni operativni troškovi HEP OPS-a u godini t ,
- TOS_{HEPOPS_t} – troškovi osoblja HEP OPS-a u godini t ,
- $TODR_{HEPOPS_t}$ – troškovi održavanja objekata HEP OPS-a u godini t i
- OTP_{HEPOPS_t} – ostali troškovi poslovanja HEP OPS-a u godini t .

where:

- $OPEX_{HEPOPS_t}$ – the total operating expenditures of HEP OPS in year t ,
- TOS_{HEPOPS_t} – the personnel expenditures of HEP OPS in year t ,
- $TODR_{HEPOPS_t}$ – the maintenance expenditures for the objects of HEP OPS in year t , and
- OTP_{HEPOPS_t} – other operating expenditures of HEP OPS in year t .

Opravdanost razine pojedine komponente *OPEX*-a potrebno je procijeniti kroz usporedbu s drugim subjektima iz sektora te putem međunarodnog benchmarkinga. Ukoliko se utvrdi da su pojedine stavke previsoke potrebno ih je tijekom regulacijskog razdoblja smanjiti, odnosno u izračunu dozvoljenog prihoda ukalkulirati povećanje učinkovitosti na ime opravdanog smanjenja *OPEX*-a. U slučaju HEP OPS-a potrebno je dodatno procijeniti jesu li opravdani iznosi po kojima je HEP OPS u najam preuzeo dugotrajnu i kratkotrajnu materijalnu imovinu od osnivača i jedinog vlasnika HEP d.d. te na koji način je ugovorno riješen trošak zajedničkih službi (informatika, pravna i računovodstvena služba, odnosi s javnošću i ostali). Ukoliko se postavi pitanje nezavisnosti HEP OPS-a u odnosu na tržišne djelatnosti unutar HEP grupe neke od navedenih službi morat će se uspostaviti unutar HEP OPS-a kako bi se osigurala njegova nepristranost u odnosu na sve sudionike na tržištu.

The justification for the levels of the individual components of the *OPEX* should be evaluated through comparison to other subjects from the sector and via international benchmarks. Insofar as it is determined that individual items are too high, it is necessary to reduce them during the regulatory period, i.e. in the calculation of the revenue cap, to include increased efficiency in the name of a justified reduction in *OPEX*. In the case of HEP OPS, it also necessary to assess whether the amounts are justified according to which HEP OPS borrowed fixed and current tangible assets from the founder and sole owner of HEP d.d., and in what manner the expenditure of the joint services has been resolved by contract (informatics, legal and accounting services, public relations and others). If the independence of HEP OPS is questioned in relation to the market activities within the HEP Group, some of the cited services will have to be established within HEP OPS, in order to assure its impartiality in relation to all the participants on the market.

U ovom trenutku vrlo je teško napraviti usporedbu s međunarodnim benchmarkingom operatora prijenosnog sustava, budući da sličan benchmarking nije proveden u okruženju niti su hrvatskom regulatornom tijelu dostupni podaci na osnovi kojih bi mogao provesti relevantan benchmarking. Dakle, pristup koji se može primijeniti u utvrđivanju opravdane razine *OPEX*-a jest prihvatiti zatečeno stanje, ukoliko se čini realnim, te odrediti eventualno smanjenje troškova ili poslovanje na učinkovitiji način kroz trajanje regulacijskog razdoblja. Budući da HEP OPS nije samostalno, vlasnički odvojeno poduzeće, već se nalazi unutar HEP grupe, nije realno za očekivati da se pristup prema tom subjektu u smislu utvrđivanja troškova, npr. osoblja, može razmatrati odvojeno od konteksta čitave HEP grupe. Za davanje suglasnosti na prijedlog HEP OPS-ove razine *OPEX*-a, HERA bi trebala detaljnije ući u strukturu troškova te ugovorne odnose sa maticom i drugim ovisnim društvima unutar HEP grupe. Na osnovi toga bi se moglo zaključiti je li predložena razina povećanja troškova opravdana. Pri tome potrebno je utvrditi opravdanost *OPEX*-a u godini koja prethodi uvođenju ekonomske regulacije (referentna godina) kao i njegove projekcijske vrijednosti tijekom regulacijskog razdoblja.

3.2 Imovina HEP OPS-a

Postojeća imovina iz bilance HEP OPS-a jedan je od ključnih elemenata u uvođenju ekonomske regulacije. Za postojeću imovinu potrebno je, naime, povijesno utvrditi izvore financiranja i to radi više koraka u algoritmu za uvođenje poticajne regulacije:

- utvrđivanje izvora financiranja postojeće imovine,
- izračun troška amortizacije i
- izračun regulatorne osnovice sredstava (*ROS*).

3.2.1 Utvrđivanje izvora financiranja postojeće imovine

Kod utvrđivanja izvora financiranja postojeće imovine potrebno je razlučiti koja je imovina financirana od strane kupaca kroz npr. naknadu za priključenje te u slučaju kada je imovinu financirao HEP d.d. da li se radi o vlastitim sredstvima ili dužničkom kapitalu:

At this moment, it is very difficult to make a comparison with the international benchmark for transmission system operators, since a similar benchmark has not been performed in this area and data are not available to the Croatian regulatory body on the basis of which a relevant benchmark could be performed. Therefore, the approach that can be applied in the determination of the justifiable level of the *OPEX* is to accept the current situation, insofar as it is realistic, and to determine eventual reduction in expenditures or operations in a more efficient manner through the length of the regulatory period. Since HEP OPS is not an independent enterprise under separate ownership but is within the HEP Group, it is not realistic to expect that the approach to this subject in the sense of the determination of expenditures, for example personnel, can be considered separately from the context of the entire HEP Group. In order to provide approval for the proposal of HEP OPS regarding the level of *OPEX*, HERA would have to enter into the expenditure structure and the contractual relations with the parent company and other dependent companies within the HEP Group in greater detail. On this basis, it would be possible to conclude whether the proposed level for increased expenditures is justified. Therefore, it is necessary to determine the justifiability of the *OPEX* in the year that precedes the introduction of economic regulation (reference year) as well as its projected values during the regulatory period.

3.2 The property of HEP OPS

The existing property from the financial statement of HEP OPS is one of the key elements in the introduction of economic regulation. For the existing property, it is necessary to determine the historical sources of financing for further steps in the algorithm for the introduction of incentive regulation:

- determination of the source of the financing of the existing property,
- calculation of amortization expenditures, and
- calculation of the regulatory asset base (*ROS*).

3.2.1 Determination of the sources of the financing of the existing property

In the determination of the sources of the financing of the existing property, it is necessary to differentiate which property is financed by the customers through, for example, compensation for connection and in the event when the property is financed by HEP d.d., whether it concerns equity capital or debt capital:

$$UKIM_{HEPOPS} = IM_{HEP} + IM_{kupci/customers} \quad (5)$$

$$IM_{HEP} = IMVL_{HEP} + IMDK_{HEP} \quad (6)$$

gdje je:

- $UKIM_{HEPOPS}$ – ukupna imovina iz bilance HEP OPS-a,
- IM_{HEP} – imovina iz bilance HEP OPS-a koju je financirao HEP d.d.,
- IM_{kupci} – imovina iz bilance HEP OPS-a koju su financirali kupci kroz naknadu za priključenje na mrežu,
- $IMVL_{HEP}$ – imovina iz bilance HEP OPS-a koju je financirao HEP d.d. iz vlastitih sredstava te
- $IMDK_{HEP}$ – imovina iz bilance HEP OPS-a koju je financirao HEP d.d. iz dužničkog kapitala.

Imovina koju su financirali kupci ne bi se trebala razmatrati u daljnjim koracima algoritma (izračun troška amortizacije i ROS-a). Naime, HEP OPS na ime te imovine ne može ostvariti povrat na imovinu/kapital te kupac ne smije kroz tarifu za korištenje prijenosne mreže još jednom platiti investiciju koju je platio kroz naknadu za priključenje. Kod uvođenja ekonomske regulacije ovo je jedna od ključnih odluka, koja značajnije dolazi do izražaja u distribuciji električne energije. HEP OPS bi, dakle, trebao kao jedan od koraka u algoritmu uvođenja poticajne regulacije prikazati imovinu koja je financirana od strane kupaca i koja se izdvaja iz daljnjih kalkulacija. Budući da je predmetna problematika u većoj mjeri vezana uz djelatnost distribucije električne energije na kojoj je priključen nerazmjerno veći broj kupaca u odnosu na broj kupaca izravno priključen na prijenosnu mrežu, kod prijenosa ovo razdvajanje izvora financiranja ne bi trebalo biti problem.

Ukoliko se radi o HEP-ovom financiranju, potrebno je utvrditi omjer ulaganja iz vlastitih sredstava i dužničkog kapitala, kao i tko je slijednik i u kojem udjelu pojedinih kredita koji su uzimani na razini HEP grupe.

where:

- $UKIM_{HEPOPS}$ – total property from the HEP OPS financial statement,
- IM_{HEP} – property from the HEP OPS financial statement financed by HEP d.d.,
- $IM_{customers}$ – property from the HEP OPS financial statement financed by customers through compensation for connection to the network,
- $IMVL_{HEP}$ – property from the HEP OPS financial statement financed by HEP d.d. from equity capital, and
- $IMDK_{HEP}$ – property from the HEP OPS financial statement financed by HEP d.d. from debt capital.

Property financed by the customers should not be considered in the further steps of the algorithm (calculation of the amortization expenditures and regulatory asset base (ROS)). HEP OPS cannot realize a return on such property/capital and the customer must not be charged again for the connection fee through the tariff for the use of the transmission network. This is one of the key decisions in introducing economic regulation, which is particularly significant in the distribution of electrical energy. HEP OPS should, therefore, as one of the steps in the algorithm for the introduction of incentive regulations, record property that is financed by the customers and which is excluded from further calculations. Since this matter largely concerns the activity of the distribution of electrical energy, with a disproportionately greater number of customers in comparison to the number of customers connected to the transmission network, there should not be any problem in the transfer of these separate sources of financing.

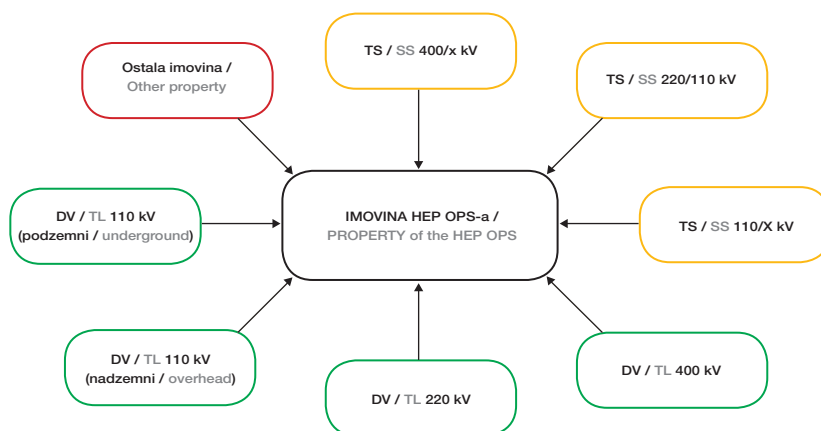
Insofar as HEP's financing is concerned, it is necessary to determine the ratio of the investment from equity capital and debt capital, as well as who is the successor, and in which percentage of individual loans that have been taken at the level of the HEP Group.

3.2.2 Izračun troška amortizacije

Prilikom izračuna troška amortizacije potrebno je utvrditi regulatornu amortizacijsku politiku koja ne mora nužno biti jednaka amortizacijskoj politici HEP OPS-a. Postoje slučajevi, kao što je to ranije navedeno, u kojima se amortizacija za potrebe regulacije obračunava na različiti način od troška amortizacije za porezne potrebe, npr. regulatorno tijelo može zahtijevati da se primjenjuje linearna amortizacija, dok HEP OPS može primjenjivati ubrzanu amortizaciju. No, u većini slučajeva regulatorno tijelo prihvaća dotadašnju politiku i u načelu radi se o linearnoj metodi amortizacije prema povijesnom trošku. Amortizacija započinje s prvim mjesecom nakon stavljanja imovine u upotrebu, a amortizira se tijekom korisnog vijeka sredstava. Imovinu je moguće grupirati prema kategorijama, odnosno korisnom vijeku trajanja.

3.2.2 Calculation of amortization expenditures

In the calculation of amortization expenditures, it is necessary to determine the regulatory amortization policy that need not necessarily be the same as the amortization policy of HEP OPS. There are cases, such as previously mentioned, in which amortization for the purposes of regulation is calculated in a different manner than the amortization expenditures for tax purposes, for example the regulatory body can require linear amortization to be applied while HEP OPS may apply accelerated amortization. However, in the majority of cases, the regulatory body has accepted the current policy and in principle this concerns the linear method of amortization according to historical expenditures. Amortization begins in the first month after property is placed in use, and amortizes during the useful lifetime of the assets. Property can be grouped according to categories, i.e. the length of the useful lifetime.



Slika 3
Grupiranje imovine
HEP OPS-a
Figure 3
Grouped property of
HEP OPS

Kada se radi o imovini HEP OPS-a moguće ju je grupirati na način koji prikazuje slika 3. Za utvrđivanje ukupne knjigovodstvene vrijednosti imovine HEP OPS-a na početku, odnosno kraju, svake godine regulacijskog razdoblja potrebno je izračunati trošak amortizacije, kao i odrediti koji je udio novih sredstava koji se uzima u obzir prilikom izračuna troška amortizacije (slovenski regulator npr. u trošak amortizacije uračunava 50 % iznosa izračunate amortizacije novih sredstava), odnosno utvrđivanja nove knjigovodstvene vrijednosti (tablica 1). Budući da se radi o regulacijskom razdoblju od 2005. do 2007. godine kao referentna godina koristi se 2004. godina. Knjigovodstvena vrijednost na kraju svake godine regulacijskog razdoblja računa se na sljedeći način:

Regarding the property of HEP OPS, it is possible to group it in the manner presented in Figure 3. For the determination of the total bookkeeping value of the property of HEP OPS at the beginning and the end of each year of the regulatory period, it is necessary to calculate the amortization expenditures, as well as to determine which share of the new assets should be taken into account during the calculation of the amortization expenditures (the Slovenian regulator, for example, calculates 50 % of the amount of the calculated amortization of new assets in amortization expenditures), i.e. the determination of new bookkeeping values (Table 1). Since this concerns the regulatory period from 2005 to 2007, the year 2004 is used as the reference year. The bookkeeping value at the end of each year of the regulatory period is calculated in the following manner:

$$KV_{HEPOPS_t} = KV_{HEPOPS_{(t-1)}} - \sum_{i=1}^n (AM_{HEPOPS_{it}} - UOS_{HEPOPS_{it}}), \quad (7)$$

gdje je:

- n – broj grupa osnovnih sredstava (imovine),
 KV_{HEPOPS_t} – knjigovodstvena vrijednost sredstva HEP OPS-a u godini t ,
 $AM_{HEPOPS_{it}}$ – trošak amortizacije grupe sredstava i HEP OPS-a u godini t i
 $UOS_{HEPOPS_{it}}$ – ulaganja u osnovna sredstva grupe sredstava i HEP OPS-a u godini t .

where:

- n – the number of groups of fixed assets (properties),
 KV_{HEPOPS_t} – the bookkeeping value of the assets of HEP OPS in year t ,
 $AM_{HEPOPS_{it}}$ – the amortization expenditures of the group of assets i of HEP OPS in the year t , and
 $UOS_{HEPOPS_{it}}$ – investments in the fixed assets of the group of assets i of HEP OPS in the year t .

Tablica 1 – Skupine imovine te utvrđivanje knjigovodstvene vrijednosti za svaku godinu regulacijskog razdoblja od tri godine (2005.-2007.)
 Table 1 – Groups of property and the determination of the bookkeeping value for each of the three years of the regulatory period (2005-2007)

Imovina / Property	Utvrđivanje knjigovodstvene vrijednosti na početku svake godine regulacijskog razdoblja / Determination of the bookkeeping value at the beginning of each year of the regulatory period	Trošak amortizacije u svakoj godini regulacijskog razdoblja / Amortization expenditures in each year of the regulatory period	Imovina uvedena u knjige tijekom svake godine regulacijskog razdoblja / Property entered in the books during each year of the regulatory period
TS 400x kV / 400/x KV substations	Knjigovodstvena vrijednost na dan 31.12.2004. / Bookkeeping value on December 31, 2004 Knjigovodstvena vrijednost na dan 31.12.2005. / Bookkeeping value on December 31, 2005 Knjigovodstvena vrijednost na dan 31.12.2006. / Bookkeeping value on December 31, 2006	Amortizacija u 2005. / Amortization in 2005 Amortizacija u 2006. / Amortization in 2006 Amortizacija u 2007. / Amortization in 2007	Imovina uvedena u knjige u 2005. / Property entered in the books in 2005 Imovina uvedena u knjige u 2006. / Property entered in the books in 2006 Imovina uvedena u knjige u 2007. / Property entered in the books in 2007
TS 220/110 kV / 220/110 kV substations			
TS 110/x kV / 110/x kV substations			
DV 400 kV / 400 kV transmission lines			
DV 220 kV / 220 kV transmission lines			
DV 110 kV (nadzemni) / 110 kV overhead transmission lines			
DV 110 kV (kabeli) / 110 kV underground transmission lines			
Ostala imovina / Other property			
Ukupno / Total			

Trošak amortizacije pri tome se utvrđuje na osnovi vrijednosti sredstava i vijeka trajanja sredstava. Za svaku skupinu sredstava/imovine potrebno je utvrditi amortizacijsku stopu kao i eventualni otpis sredstava koji je obavljen tijekom godine. Da bi se mogao obaviti stvarni izračun troška amortizacije za potrebe utvrđivanja opravdanog prihoda po pojedinim godinama regulacijskog razdoblja, potrebno je provesti čišćenje u knjigovodstvenoj vrijednosti na način da se utvrdi imovina financirana kroz naknade za priključenje te da se utvrdi koja se imovina tijekom regulacijskog razdoblja smatra opravdanom da bi se mogla pribrojati u knjigovodstvenu vrijednost za potrebe regulacijske politike. Isto načelo vrijedi i za utvrđivanje regulatorne osnovice sredstava (*ROS*). Pod pojmom opravdanosti smatra se imovina, odnosno investicije koje doprinose poboljšanju kvalitete opskrbe i pouzdanosti sustava, uz planirano povećanje potrošnje. Ujedno predmetne investicije moraju biti u skladu s planovima razvoja, izgradnje i održavanja mreže koje je odobrila HERA. Ukoliko se ne bi prethodno utvrdilo koja je imovina opravdana s regulacijskog aspekta te ukoliko se ne napravi prethodna analiza podrijetla financiranja imovine, moguće je da bi se dobile značajno veće vrijednosti reguliranog prihoda kao ishodište za utvrđivanje tarifa za korištenje prijenosne mreže.

3.2.3 Izračun regulatorne osnovice sredstava

Regulatorna osnovica sredstava (*ROS*) su sredstva na kojima regulirani subjekt može, po dozvoli regulatornog tijela, ostvarivati određenu stopu prinosa. Ona nije, odnosno ne mora biti istovjetna sredstvima koje poduzeće prijavljuje u svojoj bilanci (ili koristi za amortizaciju) iz razloga kao što su nepriznavanje ulaganja od strane regulatora, različite metodologije vrednovanja itd. Da bi se izbjeglo inflacijsko obezvrjeđivanje sredstava tijekom vremena, početni *ROS* bi trebalo usklađivati na njegovu realnu vrijednost. Vrlo često se *ROS* uvećava na godišnjoj razini u skladu s indeksom potrošačkih cijena ili nekim drugim odgovarajućim indeksom cijena. Nova sredstva trebalo bi uključiti u *ROS* prema troškovima, koji su predmet regulatornog nadzora te uskladiti s inflacijom.

Za izračunavanje prinosa sredstava kao osnovica se uzima prosječna vrijednost regulatorne osnovice sredstava izračunata iz početne i konačne vrijednosti. Početna regulatorna osnovica sredstava podrazumijeva vrijednost materijalne imovine na prvi dan regulacijskog razdoblja.

Kao ishodišna točka razmatranja može se uzeti u obzir dugotrajna materijalna i nematerijalna

Amortization expenditures are determined on the basis of the values and lifetimes of the assets. For each group of assets/properties, it is necessary to determine the rate of amortization and the eventual write-off of assets that is performed during the year. In order to be able to perform the actual calculation of amortization expenditures for the purpose of the determination of the justifiable revenue according to individual years of the regulatory period, it is necessary to rectify the bookkeeping values in such a manner as to determine the property financed through connection fees and to determine which properties during the regulatory period are considered to be justified for inclusion in the bookkeeping values for the purposes of the regulatory policy. The same principle also applies for the determination of the regulatory asset base (*ROS*). Under the concept of justifiability are included properties, i.e. investments, which contribute to the improvement of the quality of the supply and the reliability of the system, with planned increase in consumption. These investments must also be pursuant to the plans for the development, construction and maintenance of the network that are approved by HERA. Insofar as it is not previously determined which property is justified from the regulatory aspect and insofar as a prior analysis of the origin of the financing of the property is not performed, it is possible to obtain a significantly higher value for regulated revenue as a starting point for the determination of the tariffs for the use of the transmission network.

3.2.3 Calculation of the regulatory asset base

Regulatory asset base (*ROS*) are assets on which a regulated subject may, with the approval of the regulatory body, realize a specific yield rate. They are not or need not be identical to assets that an enterprise reports in its financial statement (or uses for amortization) for reasons such as lack of recognition of investment by the regulator, various methodologies for valorization etc. In order to avoid inflationary depreciation of assets over time, the initial *ROS* should be coordinated with their actual value. Very often *ROS* is increased at an annual level according to the consumer price index or some other suitable price index. New assets should be included in *ROS* according to expenditures, which are a subject of regulatory supervision and coordinated with inflation.

The base for the calculation of asset yield is obtained by taking the average value of the regulatory asset base calculated from the initial and final values. The initial regulatory asset base is understood to mean the value of the tangible property on the first day of the regulatory period.

imovina HEP OPS-a na početni dan regulacijskog razdoblja. Dakle, na dan 1. siječnja 2005. godine. Kada se radi o materijalnoj imovini, imovina koja je upisana u bilancu, a stečena je bez plaćanja, oduzima se od početne vrijednosti iz bilance, kao i godišnji trošak amortizacije, dok se istoj pribraja vrijednost novih ulaganja:

As a starting point for discussion, it is possible to take into account the fixed tangible and intangible assets of HEP OPS on the first day of the regulatory period. This means on the day of January 1, 2005. In the case of tangible property, property that is entered in the financial statement and acquired without payment as well as the annual amortization expenditures are deducted from the initial value in the financial statement, while the value of new investments is added:

$$KROS_{HEPOPS_t} = OVS_{HEPOPS_t} + UOS_{HEPOPS_t} - AM_{HEPOPS_t} - OS_{HEPOPS_t} - NP_t, \quad (8)$$

gdje je:

- $KROS_{HEPOPS_t}$ – konačna vrijednost ROS-a HEP OPS-a u godini t ,
- OVS_{HEPOPS_t} – početna vrijednost ROS-a HEP OPS-a u godini t ,
- UOS_{HEPOPS_t} – ulaganja u osnovna sredstva HEP OPS-a u godini t ,
- AM_{HEPOPS_t} – trošak amortizacije HEP OPS-a u godini t ,
- OS_{HEPOPS_t} – otpisana sredstva HEP OPS-a u godini t
- NP_t – iznos naknada za priključenje na mrežu u godini t .

where:

- $KROS_{HEPOPS_t}$ – the final ROS value of HEP OPS in the year t ,
- OVS_{HEPOPS_t} – the initial ROS value of HEP OPS in the year t ,
- UOS_{HEPOPS_t} – investment in the fixed assets of HEP OPS in the year t ,
- AM_{HEPOPS_t} – amortization expenditures of HEP OPS in the year t ,
- OS_{HEPOPS_t} – written-off assets of HEP OPS in the year t , and
- NP_t – the amount of compensation for connection to the network in the year t .

U regulatornu osnovicu sredstava smiju biti uključena samo ona sredstva koja se koriste za obavljanje energetske djelatnosti prijenosa, a koja je prethodno odobrilo regulatorno tijelo. Sredstva koja su financirana iz naknada za priključenje na mrežu ne uzimaju se u obzir pri izračunu amortizacije, kao niti pri izračunu regulatorne osnovice sredstava. Ulaganja u osnovna sredstva tijekom regulacijskog razdoblja procjenjuju se s obzirom na poznati opseg usluga i standarde kvalitete usluga.

In the regulatory asset base, only those assets may be included that are used for performing the energy activities of transmission, and which were previously approved by the regulatory body. Assets financed from compensation for connection to the network are neither taken into account in the calculation of amortization nor in the calculation of the regulatory asset base. Investments in fixed assets during the regulatory period are assessed with respect to the recognized range of services and quality standards for services.

Prosječna godišnja vrijednost ROS-a utvrđuje se na osnovi početne i konačne vrijednosti:

The average annual value of regulatory asset base (ROS) is determined on the basis of the initial and final values:

$$\overline{ROS}_t = \frac{ROS_{pt} + ROS_{kt}}{2}, \quad (9)$$

gdje je:

- \overline{ROS}_t – prosječna vrijednost ROS-a u godini t ,
- ROS_{pt} – početna vrijednost ROS-a u godini t ,
- ROS_{kt} – konačna vrijednost ROS-a u godini t .

where:

- \overline{ROS}_t – the average value of ROS in the year t ,
- ROS_{pt} – the initial value of ROS in the year t ,
- ROS_{kt} – the final value of ROS in the year t .

3.3 Izračun stope prinosa

Stopa prinosa (*SP*) trebala bi osigurati tržišnu stopu prinosa, uzimajući u obzir, ovisno o vrsti djelatnosti, rizičnost investicija. Pri tome se stopa prinosa za tvrtku u privatnom vlasništvu povezuje s troškom kapitala, koji se procjenjuje na osnovi ponderiranog prosječnog troška kapitala (engl. *Weighted Average Cost of Capital - WACC*). Procjena ovog troška temelji se na trošku vlastitog kapitala i trošku duga. Ponderirani prosječni trošak kapitala računa se prema sljedećoj formuli:

$$SP = WACC = (1 - g) \cdot r_e + g \cdot r_d, \quad (10)$$

gdje je:

g – udio duga u strukturi ukupnog kapitala,
 r_e – stopa financiranja vlastitog kapitala,
 r_d – stopa financiranja duga.

Troškovi dužničkog kapitala ocjenjuju se na temelju prosječnih uvjeta kreditiranja i kamatnih stopa koje banke nude reguliranim energetske subjektima. Uobičajeni pristup procjeni troška vlastitog kapitala je model određivanja cijena kapitalnih sredstava koji uzima u obzir relativni rizik tog poduzeća (projekta) prema tržištu u cjelini. Ovaj model procjenjuje stopu financiranja vlastitog kapitala kao:

$$r_e = r_f + \beta_e \cdot (r_m - r_f), \quad (11)$$

gdje je:

r_f – stopa prinosa od nerizičnih ulaganja (npr. prinos od državnih obveznica), odnosno nerizična stopa,
 β_e – koeficijent varijabilnosti prinosa dionica energetskog subjekta u odnosu na prosječnu varijabilnost prinosa svih dionica koje kotiraju na tržištu kapitala,
 r_m – stopa prosječnog prinosa od rizičnih ulaganja (očekivani prinos od tržišnog portfelja) i
 $(r_m - r_f)$ – stopa premije tržišnog rizika.

Izraz $\beta_e \cdot (r_m - r_f)$ predstavlja premiju tržišnog rizika za vlastiti kapital (engl. *equity risk premium*).

3.3 Calculation of the yield rate

The yield rate (*SP*) should insure the market yield rate, taking investment risk into account, depending upon the type of activity. The yield rate for an enterprise under private ownership is connected with capital expenditure, which is assessed on the basis of the weighted average cost of capital - *WACC*. The estimate for this expenditure is based upon equity capital expenditure and debt expenditure. The weighted average cost of capital is calculated according to the following formula:

where:

g – the share of debt in the structure of total capital,
 r_e – the financing rate of equity capital,
 r_d – the financing rate of debt.

Expenditures of debt capital are assessed on the basis of the average conditions of credit financing and the interest rates that banks offer to regulated energy subjects. The customary approach for the assessment of equity capital expenditure is the model for the determination of the price of capital assets, taking into account the relative risk of this enterprise (project) according to the market as a whole. This model estimates the financing rate of equity capital, such as:

where:

r_f – the yield rate from no-risk investments (for example, transfer from state bonds), or no-risk rate,
 β_e – the coefficient of variability of the transfer of the shares of the energy subject in comparison to the average variability of the transfer of all shares quoted on the capital market,
 r_m – the rate of the average transfer from risky investments (anticipated transfer from the market portfolio), and
 $(r_m - r_f)$ – the risk premium rate.

The expression $\beta_e \cdot (r_m - r_f)$ represents the equity risk premium.

Troškovi vlasničkog kapitala prilagođuju se tako da se uzima u obzir plaćanje poduzetničkog poreza.

Kao primjer načina utvrđivanja stope prinosa dana su iskustva novih država Europske unije – Bugarske, Češke i Slovenije. Iako je prethodno rečeno da je primijenjena stopa prinosa u načelu jednaka WACC-u, u tranzicijskim državama u kojim financijska tržišta još nisu dovoljno razvijena čest je slučaj da se stopa prinosa utvrđuje kao stopa koja se realno može ugraditi u dozvoljeni prinos s obzirom na makroekonomsku politiku pojedine vlade i kupovnu moć stanovništva. Za primjer može se navesti Bugarska (prije ulaska u Europsku uniju) u kojoj je stopa prinosa za izračun tarife za korištenje prijenosne mreže utvrđena na razini 3 % do 4 %, budući da je u posljednje tri godine cijena električne energije za kućanstva narasla za više od 50 %. Međutim, ovaj porast cijene nije dovoljan za pokriće svih troškova u sustavu kao niti za osiguranje prinosa na uloženi kapital za sve subjekte (proizvodnja, prijenos i distribucija). Nadalje, s obzirom skoro nepostojeće financijsko tržište podaci za WACC bi se trebali koristiti iz vanjskih iskustava (države u Europskoj uniji).

Slovensko regulatorno tijelo (*Agencija za energiju*) računalo je WACC za prvo trogodišnje razdoblje uvođenja metode regulacije maksimalne cijene (2003. do 2005. godine). Pri tome je uzet omjer dužničkog i vlasničkog kapitala 60 : 40, iako je u realnosti ovaj omjer znatno drugačiji. Nadalje, uzeto je da je trošak financiranja duga 4,5 %. Kao premija tržišnog rizika za financiranje iz vlasničkog kapitala uzeti su iznosi na temelju stranih iskustava. Izračunati WACC na ovaj način iznosio je 11,8 % prije oporezivanja, odnosno 9,29 % nakon oporezivanja. Budući da je regulatorno tijelo bilo mišljenja da se u praksi ovako izračunati WACC ne može primijeniti s obzirom da utječe na znatno povećanje prijenosne tarife koje Vlada Republike Slovenije zbog svoje makroekonomske politike neće prihvatiti, u računicu je uzet trošak financiranja vlastitog kapitala jednak trošku financiranja duga od 4,5 %. Na taj način u konačnici utvrđeni WACC iznosio je 5,1 % prije oporezivanja, odnosno 4,5 % nakon oporezivanja.

Tablica 2 daje prikaz podataka koje je tijekom 2004. godine koristilo češko regulatorno tijelo (*Energetický regulační úrad – ERU*).

Equity capital expenditures are adapted so that the payment of entrepreneurial tax is taken into account.

As examples of the manner of the determination of the yield rate, the experiences of new countries of the European Union – Bulgaria, the Czech Republic and Slovenia – are presented. Although it was previously stated that the applied yield rate in principle is equal to the weighted average cost of capital (WACC), in countries in transition in which the financial markets are still not sufficiently developed, it is frequently the case that the yield rate is determined as the rate that can realistically be incorporated in the permitted transfer, taking into account the macroeconomic policies of individual governments and the purchasing power of the populations. Bulgaria can be cited as an example (prior to its entry into the European Union), in which the yield rates for the calculation of tariffs for the use of the transmission network were determined at the level of 3 % to 4 %, since in the past three years the price of electrical energy for households increased by more than 50 %. However, this price increase is neither sufficient to cover all the expenditures in the system nor to insure a yield on the invested capital for all the subjects (production, transmission and distribution). Furthermore, taking into consideration the practically nonexistent financial market data, it would be necessary to use outside experiences (countries in the European Union) for the WACC.

The Slovenian regulatory body (*Agencija za energiju*) calculated the WACC for the first three-year period of the introduction of the revenue cap method (2003-2005), taking into account the ratio between debt and equity capital, 60 : 40, although in reality this ratio is significantly different. Furthermore, the debt financing expenditure of 4,5 % was taken into account. As the market risk premium for financing from equity capital, amounts were taken on the basis of foreign experiences. The WACC calculated in this manner was 11,8 % before taxes, i.e. 9,29 % after taxes. Since the regulatory body was of the opinion that in practice a WACC calculated in this manner cannot be applied, since it would have a significant impact on increasing the transmission tariff, which the Government of the Republic of Slovenia will not accept due to its macroeconomic policy, equity financing expenditures equal to the debt financing expenditures of 4,5 % were taken into account. In this manner, the determined WACC amounted to 5,1 % before taxes and 4,5 % after taxes.

Table 2 presents data used in 2004 by the Czech regulatory body (*Energetický regulační úrad – ERU*).

Tablica 2 – Parametri u izračunu WACC-a u slučaju češkog regulatornog tijela
 Table 2 – Parameters in the calculation of the WACC in the case of the Czech regulatory body

Parametar / Parameter	Oznaka / Symbol	Vrijednost / Value
Stopa prinosa od nerizičnih ulaganja / Yield rate from no-risk investments	r_f	4,18 %
Beta vlastiti kapital / Beta equity capital	β_e	0,296
Stopa premije tržišnog rizika / Risk premium rate	$r_m - r_f$	6,32 %
Udio duga u strukturi ukupnog kapitala / Share of debt in the structure of total capital	g	0,2
Udio vlastitog kapitala u strukturi ukupnog kapitala / Share of equity capital in the structure of total capital	$1 - g$	0,8
Stopa financiranja duga / Financing rate of debt	r_d	4,68 %
Stopa financiranja vlastitog kapitala / Financing rate of equity capital	r_e	6,05 %
WACC* (nakon poreza) / WACC* (after taxes)		5,534 %

* Prilikom izračuna WACC-a nakon poreza u obzir je uzet porez (T) od 26 % u dijelu izračuna WACC-a koji se odnosi na financiranje duga $WACC = (1 - g) \cdot r_e + g \cdot r_d (1 - T/100)$ / When calculating the WACC after taxes, the tax (T) of 26 % was taken into account in the part of the calculated WACC that refers to debt financing, $WACC = (1 - g) \cdot r_e + g \cdot r_d (1 - T/100)$

Iz navedenih iskustava vidljivo je da konačna odluka o visini stope prinosa prvenstveno ovisi o odluci i pristupu regulatornog tijela kao i o prethodno provedenim analizama, ne zanemarujući pri tome razvijenost financijskog tržišta u pojedinim državama, kao i uvođenje privatnog vlasništva u elektroenergetski sektor.

U Hrvatskoj do sada nema prakse u izračunu stope prinosa u prijenosu električne energije. Stoga su za prikaz ilustrativnog primjera izračuna moguće vrijednosti stope prinosa u modelu regulacije prijenosa električne energije u Hrvatskoj (tablica 3) kao ishodište korišteni podaci iz studije [8] koju je izradila britanska konzultantska kuća (Petroleum Development Consultants) iz Londona za potrebe regulacije plinskog sektora u Republici Hrvatskoj. U kolonama II – IV promijenjen je omjer dužničkog i vlasničkog kapitala, iznos sredstava beta (iznos od 0,296 preuzet je iz češkog primjera iz tablice 2.) te stopa premije rizika duga sukladno iskustvima ranije navedenih država. Uz variranje pojedinih faktora u izračunu, ciljana stopa prinosa nakon oporezivanja kreće se u rasponu od 5,59 % do 8,4 %, ovisno o korištenim parametrima.

From the cited experiences, it is evident that the final decision on the amount of the yield rate primarily depends upon the decision and approach of the regulatory body and upon the previously performed analyses, without ignoring the levels of the development of the financial markets in individual countries, as well as the introduction of private ownership in the electrical energy sector.

In the Republic of Croatia, until now it has not been the practice to calculate the yield rate in the transmission of electrical energy. Therefore, for the presentation of an illustrative example, possible values of the yield rate have been calculated in a model for the regulation of the transmission of electrical energy in the Republic of Croatia, (Table 3). As a starting point, data were used from a study [8] that was conducted by a British consulting firm (Petroleum Development Consultants of London) for the purposes of the regulation of the gas sector in the Republic of Croatia. In Columns II – IV, the ratio of debt and equity capital, the amount of beta assets (the amount of 0,296 has been taken from the Czech example from Table 2), and the premium debt risk rate pursuant to the experiences of the previously mentioned countries have been changed. By varying the individual factors in the calculation, the target yield rate after taxes ranges between 5,59 % and 8,4 %, depending upon the parameters used.

Tablica 3 – Izračun stope prinosa uz variranje iznosa faktora na temelju kojih se računa stopa prinosa
 Table 3 – Calculation of the yield rate with varying values for the factors upon which the calculation of the yield rate is based

Red. br. / Item No.	Faktor / Factor	Literatura [8] / Literature [8]	Inačica I / Variant I	Inačica II / Variant II	Inačica III / Variant III	Inačica IV / Variant IV
1.	Međunarodna realna nerizična stopa / Real international no-risk rate	3,2 %	2,89 % ¹⁾	2,89 %	2,89 %	2,89 %
2.	Domaća riziko premija / Domestic risk premium	1,5 %	0,51 % ²⁾	0,51 %	0,51 %	0,51 %
3.	Nerizična stopa (1) + (2) / No-risk rate (1) + (2)	4,7 %	3,4 %	3,4 %	3,4 %	3,4 %
4.	Premija rizika duga / Risk debt premium	2,0 %	2,0 %	2,0 %	2,0 %	1,0 %
5.	Odnos vlastitog kapitala i duga / Equity and debt ratio	0,7 ⁴⁾	0,7	0,5	0,5	0,5
6.	Sredstva beta / Beta assets	0,4	0,4	0,4	0,296 ⁵⁾	0,296
7.	Riziko premija kapitala / Capital risk premium	5,7 %	5,7 %	5,7 %	5,7 %	5,7 %
8.	Stopa financiranja duga (3)+(4) / Rate of debt financing (3) + (4)	6,7 %	5,4 %	5,4 %	5,4 %	4,4 %
9.	Stopa financiranja vlastitog kapitala ⁶⁾ (3) + [(6)/1 – (5)] · (7) / Rate of equity financing ⁶⁾ (3) + [(6)/1 – (5)] · (7)	12,3 %	11 %	7,96 %	6,77 %	6,77 %
10.	WACC nakon poreza / WACC after taxes	8,4 %	7,08 %	6,68 %	6,09 %	5,59 %
11.	Poreski klin / Tax wedge	1,54	1,20 ³⁾	1,20	1,20	1,20
12.	WACC prije poreza / WACC before taxes	10,4 %	7,74 %	7,48 %	6,76 %	6,26 %

¹⁾ Vrijednost dobivena na osnovi njemačke dugoročne državne obveznice (izvor: Financial Times od 22.3.2005.) umanjena za inflaciju od 1,3 % (izvor: The Economist br. 12–18 2005) / Value obtained on the basis of the German long-term state bond (source: Financial Times, March 22, 2005) minus 1,3 % inflation (source: The Economist, No. 12–18 2005)

²⁾ Spread između Euroobveznice CROATIA 2014 i benchmarkinga obveznica (izvor: Raiffeisen banka 22.3.2005.) / Spread between Eurobonds CROATIA 2014 and benchmark of bonds (source: Raiffeisen Bank, March 22, 2005)

³⁾ Porez na dobit od 20 % (nema poreza na dividende) / Profit tax of 20 % (no tax on dividends)

⁴⁾ Pretpostavljeni omjer vlasničkog i dužničkog kapitala 70 % : 30 % / Assumed ratio of equity and debt capital, 70 % : 30%

⁵⁾ Vrijednost sredstava beta na osnovu češkog iskustva / Value of beta assets on the basis of Czech experience

⁶⁾ U modelu izračuna stope financiranja vlastitog kapitala u Studiji [8] koriste tzv. *equity beta* sredstva koja su definirana kao sredstva beta / (1 – g) / In the model for the calculation of rate of equity financing in the study [8] is used the so-called equity beta, defined as beta assets / (1 – g)

Mogućnost primjene realno utvrđene stope prinosa u ekonomskoj regulaciji u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj ovisi i o makroekonomskoj politici. Zbog naslijeđene situacije (obnova ratnih oštećenja, starost objekata, nedovoljna ulaganja i sl.) moguće je da ekonomski opravdana stopa prinosa i *ROS* daju vrijednosti koje zahtijevaju značajno povećanje tarife za korištenje prijenosne mreže koje utječe i na povećanje ukupne cijene električne energije za krajnje kupce. U konačnici trebat će procijeniti

The possibility for the application of a realistically determined yield rate in the economic regulation of the transmission of electrical energy in the Republic of Croatia also depends upon the macroeconomic policy. Due to the inherited situation (the repair of damages from the war, the age of the objects, insufficient investment etc.) it is possible that the economically justifiable yield rate and *ROS* have values that require significantly increased tariffs for the use of the transmission network, resulting in an increase in the total price of electrical

s kojom se vrijednošću stope prinosa može ući u kalkulaciju u prvom regulatornom razdoblju, a da se ne naruši makroekonomska politika Republike Hrvatske. Ukoliko bi opravdana stopa prinosa zahtijevala značajno povećanje cijene električne energije na ime troškova prijenosa električne energije, u tom slučaju s povećanjem tarife trebalo bi ići postupno (linearno) tijekom prvog regulacijskog razdoblja. Nastavno tome, tijekom pripreme faze za uvođenje drugog regulacijskog razdoblja trebalo bi osim analitike vezane uz realnu stopu prinosa procijeniti moguća daljnja postupanja regulatornog tijela u smislu zahtjeva za povećanjem učinkovitosti, tj. daljnjim smanjenjem npr. operativnih troškova, revizije planova razvoja i izgradnje itd.

4 PRIMJER IZRAČUNA UKUPNOG DOZVOLJENOG PRIHODA

Tablica 4 prikazuje izračun ukupnog prihoda koristeći metodu regulacije maksimalnog prihoda koji je ujedno jedan od sastavnih dijelova algoritma za uvođenje poticajne regulacije. Vrijednosti navedene u predmetnoj tablici su ilustrativni podaci na osnovi kojih je moguće prikazati utjecaj pojedinog parametra na konačni prihod, a time i ulogu regulatornog tijela u definiranju dozvoljene razine pojedinih parametara. Dakle, ne radi se o stvarnim podacima HEP OPS-a, već o podacima s kojima bi se moglo ući u model tek po izvršenju svih nužnih predradnji. Varijacije parametara koje su uzete u razmatranje su:

- operativni troškovi,
- trošak amortizacije,
- ulaganja u osnovna sredstva,
- regulatorna osnovica sredstava i
- stopa prinosa.

4.1 Operativni troškovi

Prilikom određivanja dozvoljene razine predloženih operativnih troškova od strane HEP OPS-a, HERA može utvrditi da se radi o:

- O.1 – realnim troškovima za koje je opravdano da se npr. povećavaju za 5 % godišnje tijekom regulacijskog razdoblja,
- O.2 – troškovima koji su iznad razine opravdanih, stoga je moguće povećati učinkovitost poslovanja na način da se troškovi tijekom regulacijskog razdoblja ne povećavaju već da ih se drži na istoj razini i
- O.3 – troškovima koji su iznad razine opravdanih, te ih je uz povećanje razine učinkovitosti

energy to the final customer. In the end, it will be necessary to estimate the value for the transfer rate that can be entered into the calculation during the first regulatory period, without disrupting the macroeconomic policy of the Republic of Croatia. If the justifiable yield rate requires significant increase in the price of electrical energy in the name of the transmission expenditures of electrical energy, it would be necessary to proceed gradually (linearly) with increased tariffs during the first regulatory period. Furthermore, during the preparatory phase for the introduction of the second regulatory period, it would be necessary, in addition to analyses in connection with the real yield rate, to assess the possibility of further steps by the regulatory body in connection with the requirements for increased efficiency, i.e. the further reduction, for example, of operating expenditures, revisions of the plans for development and construction etc.

4 AN EXAMPLE OF THE CALCULATION OF THE TOTAL PERMITTED REVENUE

Table 4 shows the calculation of the total permitted revenue, using the revenue cap method, that is also one of the integral parts of the algorithm for the introduction of incentive regulation. The values stated in this table are illustrative data on the basis of which it is possible to show the impact of an individual parameter on final revenue, and thereby the role of the regulatory body in the definition of the permitted levels of individual parameters. Thus, this does not concern the actual data of HEP OPS; this data could only be entered into the model after the completion of all the necessary preliminary work. The variations of the parameters that are taken under consideration are as follows:

- operational costs,
- amortization expenditures,
- investment in fixed assets,
- regulatory asset base, and
- yield rate.

4.1 Operational costs

When determining the permitted level of the proposed operating expenditures incurred by HEP OPS, HERA can determine whether these concern the following:

- O.1 – real expenditures that could justifiably increase by 5 % annually during the regulatory period,

potrebno svesti u okvire koji su opravdani smanjenjem troškova *OPEX*-a od 5 % godišnje i to sve na temelju usporedbe s npr. susjednim operatorima prijenosnog sustava ili na temelju benchmarkinga pojedinih elemenata operativnih troškova s drugim reguliranim subjektima u energetsom sektoru.

Imajući sve rečeno u vidu te da je u referentnoj 2004. godini vrijednost operativnih troškova iznosila 300 milijuna kuna, prosječni godišnji operativni trošak u razdoblju od 2005. do 2007. godine iznosi od 271 milijun kuna do 331,3 milijuna kuna, odnosno ukoliko se gleda postotno u odnosu na 300 milijuna kuna kreće se od -9,7 % do 10,4 %. Operativni troškovi u ovom ilustrativnom prikazu, dakle, predstavljaju više od trećine potrebnih prihoda (tablica 4). Stoga, da bi se mogle donositi odluke od strane HERA-e kao nezavisne institucije kojima se utječe na moguće smanjenje dozvoljenih troškova i do 20 % (razlika između najbolje i najlošije varijante dozvoljenog *OPEX*-a) potrebno je dobro poznavanje poslovnih procesa u HEP OPS-u.

- 0.2 – expenditures that exceed the level of justified expenditures, thereby permitting increased efficiency of operations in such a manner that the expenditures during the regulatory period do not increase but instead remain at the same level, and
- 0.3 – expenditures that exceed the justified level which, in addition to increasing the level of efficiency must be placed within justified frameworks reducing *OPEX* by 5 % annually, on the basis of comparison to, for example, neighboring transmission system operators or according to the benchmarks of the individual elements of the operating expenditures by other regulated subjects in the energy sector.

Bearing in mind all that has been said and that the value of operating expenditures amounted to 300 million Kunas in the reference year 2004, the average annual operating expenditures during the 2005-2007 period ranged from 271 million Kunas to 331,3 million Kunas or, in terms of percentages of 300 million Kunas, ranged from -9,7 % to 10,4 %. Therefore, operating expenditures in this illustrative presentation represent more than one third of the required revenues (Table 4). Therefore, in order for HERA as an independent institution to issue a decision that would have an impact on the eventual reduction of permitted expenditures, and this up to 20 % (the difference between the best and worst variations of the permitted *OPEX*) it is necessary to be well acquainted with the operational processes at HEP OPS.

Tablica 4 – Primjer izračuna ukupnog dozvoljenog prihoda primjenom metode maksimalnog prihoda
 Table 4 – Example of the calculation of the total permitted revenue using the revenue cap method

Elementi ukupnog prihoda (10 ⁶ kuna) / Elements of total revenues (10 ⁶ Kunas)	Referentna godina / Reference year 2004.	Regulacijsko razdoblje / Regulation period			Prosjek / Average (2005. – 2007.)
		2005.	2006.	2007.	
<i>OPEX / OPEX</i>					
O.1 porast 5 % / 5 % growth	300,0	315,0	331,0	348,0	331,3
O.2 konstanta / constant	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0
O.3 smanjenje 5 % / 5 % reduction	300,0	285,0	271,0	257,0	271,0
<i>Amortizacija / Amortization</i>					
A.1 priznato sve uz porast 5 % / all recognized with 5% growth	300,0	315,0	331,0	348,0	331,3
A.2 priznato 80 % uz porast 5 % / 80 % recognized with 5% growth	240,0	252,0	265,0	278,0	265,0
<i>Ulaganja u osnovna sredstva (UOS) / Investment in fixed assets (UOS)</i>					
I.1 priznato sve / all recognized		200,0	250,0	200,0	216,7
I.2 priznato 80 % / 80 % recognized		160,0	200,0	160,0	173,3
<i>Regulatorna osnovica sredstava (ROS) / Regulatory asset base (ROS)</i> <i>ROS (konačni / final) = ROS (početni / initial) + UOS - Amortizacija / Amortization</i>					
I. Priznata sva knjigovodstvena vrijednost na 31.12.2004. / Recognized entire bookkeeping value on December 31, 2004					
A.1 i / and I.1	2 700,0	2 585,0	2 504,0	2 356,0	2 481,7
A.1 i / and I.2	2 700,0	2 545,0	2 414,0	2 226,0	2 395,0
A.2 i / and I.1	2 700,0	2 648,0	2 633,0	2 555,0	2 612,0
A.2 i / and I.2	2 700,0	2 608,0	2 543,0	2 425,0	2 525,3
II. Priznato 80 % knjigovodstvene vrijednosti na 31.12.2004. / 80 % of bookkeeping value on December 31, 2004 recognized					
A.1 i / and I.1	2 160,0	2 045,0	1 964,0	1 816,0	1 941,7
A.1 i / and I.2	2 160,0	2 005,0	1 874,0	1 686,0	1 855,0
A.2 i / and I.1	2 160,0	2 108,0	2 093,0	2 015,0	2 072,0
A.2 i / and I.2	2 160,0	2 068,0	2 003,0	1 885,0	1 985,3
<i>Povrat sredstava (na prosječnu godišnju regulatornu osnovicu sredstava) / Refund (on the average annual regulatory asset base)</i>					
I. Uz stopu prinosa od 8,4 % / With a yield rate of 8,4 %					
PS.1. (A.1 i I.1 – priznata sva knjigovodstvena vrijednost) / (A.1 and I.1 – all bookkeeping value recognized)		222,0	213,7	197,9	211,2
PS.2. (A.1 i I.2 – priznato 80 % knjigovodstvene vrijednosti) / (A.1 and I.2 – 80% of bookkeeping value recognized)		174,9	162,9	149,5	162,5
II. Uz stopu prinosa od 5,6 % / With a yield rate of 5,6 %					
PS.3. (A.2 i I.1 – priznata sva knjigovodstvena vrijednost) / (A.2 and I.1 – all bookkeeping value recognized)		149,7	147,9	145,3	147,6
PS.4. (A.1 i I.2 – priznato 80 % knjigo- vodstvene vrijednosti) / (A.1 and I.2 – 80 % of bookkeeping value recognized)		116,6	108,6	99,7	108,3
<i>Izračun ukupnog prihoda (OPEX+Amortizacija+Povrat sredstava) / Calculation of total revenue (OPEX+Amortization+Refund)</i>					
<i>OPEX (O.1) / OPEX (O.1)</i>		315,0	331,0	348,0	
<i>Amortizacija (A.1) / Amortization (A.1)</i>		315,0	331,0	348,0	
<i>Povrat sredstava (PS.1) / Refund (PS.1)</i>		222,0	213,7	197,9	
UKUPNI PRIHOD (max.) / TOTAL REVENUE (max.)		852,0	875,7	893,9	873,9
<i>OPEX (O.3) / OPEX (O.3)</i>		285,0	271,0	257,0	
<i>Amortizacija (A.2) / Amortization (A.2)</i>		252,0	265,0	278,0	
<i>Povrat sredstava (PS.3) / Refund (PS.3)</i>		149,7	147,9	145,3	
UKUPNI PRIHOD (min.) / TOTAL REVENUE (min.)		686,7	683,9	680,3	683,6

4.2 Trošak amortizacije

Za potrebe ovog ilustrativnog primjera uzete su dvije varijante troška amortizacije:

- A.1 – priznat je sav trošak amortizacije sukladno računovodstvenim vrijednostima HEP OPS-a uz to da se planirani trošak povećava za 5 % godišnje i
- A.2 – HERA je utvrdila da je dio sredstava na kojima se ostvaruje trošak amortizacije financiran od strane kupaca, te da se radi o 80 % troška amortizacije u referentnoj godini. Dakle, nije priznat sav planirani trošak amortizacije u referentnoj godini. No, trošak amortizacije se tijekom regulacijskog razdoblja povećava za 5 % na osnovi novih ulaganja, tj. uvođenja novih osnovnih sredstava HEP OPS-a.

Ukoliko se usporede ova dva pristupa HERA-e dobiva se razlika u prosječnoj godišnjoj vrijednosti troška amortizacije od 66,3 milijuna kuna. Kao što je rečeno i za *OPEX*, da bi HERA mogla donijeti ovakve zaključke, potrebno je detaljno utvrditi izvore financiranja pojedinih osnovnih sredstava, kao i mogućnost primjene pojedine varijante. Dakle, potrebno je naglasiti da se radi samo o ilustrativnim primjerima koji navode na koji način je moguće pristupiti utvrđivanju opravdane razine troška amortizacije u regulatorne svrhe, a ne o stvarno primijenjenim pristupima regulatornog tijela u Republici Hrvatskoj.

4.3 Ulaganja u osnovna sredstva

Sukladno zakonskim odredbama HEP OPS dužan je HERA-i dostaviti na suglasnost Plan razvoja, izgradnje i održavanja prijenosne mreže. Ukoliko HERA utvrdi da Plan nije u skladu s kriterijima utvrđenim u nekom od podzakonskih akata (npr. Mrežna pravila, Opći uvjeti opskrbe električnom energijom ili Pravilnik o kvaliteti opskrbe) ili uvjetima iz dozvole za obavljanje energetske djelatnosti prijenosa električne energije, odnosno da sredstva predviđena Planom premašuju opravdane razine, HERA može kroz proceduru davanja suglasnosti ne priznati sredstva koja po njenom mišljenju nisu u skladu s nekim od navedenih kriterija ili uvjeta. Dakle, investicijski plan odobren od strane HERA-e ne mora biti istovjetan prijedlogu investicijskog plana kojeg predlaže HEP OPS. Kao ilustrativni primjer može se navesti iskustvo slovenskog regulatornog tijela koji je u prvom regulacijskom razdoblju (kalkulacije tijekom 2002. godine) priznao 80 % iznosa investicijskog plana predloženog od strane energetskih subjekata [9].

4.2 Amortization expenditures

For this purposes of this illustrative example, two variants of amortization expenditures are presented:

- A.1 – All amortization expenditures are recognized, pursuant to the accounting values of HEP OPS, assuming that planned expenditures increase by 5 % annually, and
- A.2 – HERA has determined that the portion of the assets for which amortization expenditures are realized were financed by the customers, i.e. 80 % of the amortization expenditures in the reference year. Thus, all the planned amortization expenditures of the reference year are not recognized. However, amortization expenditures during the regulatory period are increased by 5 % on the basis of new investments, i.e. the introduction of the new fixed assets of HEP OPS.

If these two approaches by HERA are compared, a difference in the average annual values of amortization expenditures of 66,3 million Kunas is obtained. As previously mentioned for *OPEX*, in order for HERA to be able to reach such conclusions, it is necessary to determine the sources of the financing of individual assets in detail, as well as the possibility for the application of individual variants. Therefore, it should be emphasized that this only concerns an illustrative example, which suggests the manner by which it is possible to approach the determination of the justified level of amortization expenditures for regulatory purposes, and not approaches that are actually applied by the regulatory body in the Republic of Croatia.

4.3 Investment in fixed assets

Pursuant to the legal provisions, HEP OPS is required to submit its Plan for the Development, Construction and Maintenance of the Transmission Network to HERA for approval. Insofar as HERA determines that the Plan is neither pursuant to the criteria established in some of the regulations (for example, Network Regulations, General Conditions for Electricity Supply, the Regulations on Quality Supply etc.) nor the conditions from the permits for conducting the energy operations of the transmission of electrical energy, or establishes that the assets anticipated by the Plan exceed the justified level, HERA may not recognize the assets which it deems to be not pursuant to some of the stipulated criteria or conditions in the procedure for granting approval. Thus, an investment plan approved by HERA need not be identical to the investment plan proposed by HEP OPS. As an illustrative example, it is possible to cite the experience of the Slovenian regulatory body, which in the first regulatory period (calculations during the year 2002) recognized 80 % of the amount of the investment plan proposed by the energy subjects [9].

Za potrebe ovog ilustrativnog izračuna uzete su u razmatranje dvije mogućnosti:

- I.1 – HERA je priznala sva ulaganja predložena od strane HEP OPS-a,
- I.2 – HERA je priznala samo 80 % ulaganja predloženih od strane HEP OPS-a.

Ovisno o tome s kojom od navedenih varijanti se ulazi u daljnje kalkulacije prosječna godišnja ulaganja tijekom regulacijskog razdoblja kreću se od 173,3 milijuna kuna do 216,7 milijuna kuna.

4.4 Regulatorna osnovica sredstava

Budući da se konačni *ROS* u pojedinoj godini regulacijskog razdoblja utvrđuje na osnovi početnog *ROS*-a, troška amortizacije te ulaganja u osnovna sredstva tijekom godine, njegova vrijednost, dakle, ovisi o tome koja je od varijanti prethodno navedenih regulacijskih parametara odabrana. Pri tome potrebno je utvrditi i početnu vrijednost *ROS*-a za prvu godinu regulacijskog razdoblja, što znači da HERA treba odlučiti koja se sva sredstva iz knjigovodstvene vrijednosti na kraju referentne godine (2004. godine) uzimaju u razmatranje:

- HERA priznaje svu vrijednost sredstava uvedenih na dan 31.12.2004.godine (2 700 milijuna kuna),
- HERA priznaje 80 % vrijednosti sredstava uvedenih na dan 31.12.2004.godine (2 160 milijuna kuna).

Dakle, ovisno o priznatom iznosu početnog *ROS*-a, troška amortizacije i ulaganja u osnovna sredstva tijekom regulacijskog razdoblja, moguće je razviti osam kombinacija utvrđivanja *ROS*-a (tablica 4).

4.5 Povrat sredstva

Da bi se utvrdio povrat sredstva za priznati *ROS*, potrebno je utvrditi i opravdanu stopu prinosa koja se računa na prosječni godišnji *ROS*. Stopa prinosa s kojom se računao povrat sredstava preuzeta je iz prethodnih razmatranja (tablica 3), uzimajući pri tome u obzir minimalnu i maksimalnu veličinu:

- PS.1 i PS.2 – vrijednost od 8,4 % preuzeta je iz Studije [8],
- PS.3 i PS.4 – vrijednost od 5,6 % koja je utvrđena na temelju usklađivanja s kretanjima na hrvatskom financijskom tržištu.

For the purposes of this illustrative calculation, two possibilities were taken into consideration:

- I.1 – HERA recognizes all the investments proposed by HEP OPS, or
- I.2 – HERA recognizes only 80 % of the investments proposed by HEP OPS.

Depending upon which of the above variants are used for further calculation, the average annual investments during the regulatory period range from 173,3 million Kunas to 216,7 million Kunas.

4.4 Regulatory asset base

Since final *ROS* in an individual year of the regulatory period are determined on the basis of the initial *ROS*, amortization expenditures and investment in fixed assets during the year, their value, therefore depends upon which of the variants of the previously stated regulatory parameters is selected. It is also necessary to determine the initial value of the *ROS* for the first year of the regulatory period, which means that HERA needs to decide which of all the assets from the bookkeeping values at the end of the reference year (2004) should be taken into consideration:

- HERA recognizes the entire value of the assets entered on the day of December 31, 2004 (2 700 million Kunas),
- HERA recognizes 80 % of the value of the assets entered on the day of December 31, 2004 (2 160 million Kunas).

Thus, depending upon the recognized amount of the initial *ROS*, amortization expenditures and investment in fixed assets during the regulatory period, it is possible to develop eight combinations for the determination of *ROS* (Table 4).

4.5 Refund

In order to determine the refund for recognized *ROS*, it is necessary to determine the justified yield rate that is calculated on the average annual *ROS*. The yield rate from which the refund is calculated is based upon from the previous considerations (Table 3), taking into account the minimum and maximum amounts:

- PS.1 and PS.2 – yield rate of 8,4 % taken from the Study [8],
- PS.3 and PS.4 – yield rate of 5,6 % that is determined on the basis of coordination with the trends on the Croatian financial market.

Tablica 4 prikazuje povrat sredstva samo za varijante *ROS*-a koje su uzete u izračun ukupnog prihoda ali se radi o krajnjim (minimalna i maksimalna) vrijednostima. Ovisno o priznatom *ROS*-u i stopi prinosa, povrat sredstava kreće se od 108,3 milijuna kuna do 211,2 milijuna kuna, odnosno maksimalna vrijednost može biti i 95 % veća od minimalne. Znači, povrat sredstava jedan je od regulatornih parametara na koje HERA može značajno utjecati, stoga je za utvrđivanje njegove opravdane razine potrebno provesti detaljne financijske analize.

4.6 Izračun ukupnog prihoda

Kao ilustrativni primjer izračuna ukupnog prihoda uzete su kombinacije prethodno pojašnjenih parametara (*OPEX*, trošak amortizacije i povrat sredstava) koja zbirno daju minimalnu, odnosno maksimalnu vrijednost ukupnog dozvoljenog prihoda. Ovaj prihod odobrava HERA. Kao što tablica 4 prikazuje, ovisno o utvrđenim parametrima, vrijednost prosječnog ukupnog prihoda u razdoblju od 2005. do 2007. godine kreće se od 683,6 milijuna kuna do 873,9 milijuna kuna, što predstavlja razliku od 28 % ukoliko se promatra u odnosu na minimalni mogući ukupni prihod.

Da bi utvrdio dozvoljeni prihod po godinama sukladno formuli za dinamičko usklađivanja maksimalno dozvoljene gornje granice prihoda po pojedinim godinama regulacijskog razdoblja (1) potrebno je odabrati indeks (*CPI* ili *RPI*), utvrditi faktor učinkovitosti te korektivne faktore. Budući da je za utvrđivanje opravdane razine faktora učinkovitost potrebno provesti benchmarking te da se ne radi o stvarnim vrijednostima prihoda HEP OPS-a na koje bi se mogao primijeniti relevantni i mjerljivi korektivni faktor (*KP_t*), za potrebe ovog ilustrativnog izračuna zanemareni su svi faktori osim indeksa i to *CPI* indeksa. Vrijednost *CPI* indeksa u Republici Hrvatskoj u prosincu 2003. godine u odnosu na 2001. godinu iznosila je 102,7 (prema Državnom zavodu za statistiku), dok je u prosincu 2002. godine iznosila 101,5. Dakle, za potrebe modela može se uzeti da *CPI* indeks na godišnjoj razini raste oko 1,5 %.

Iz ukupnog prihoda moguće je izračunati prosječnu tarifu za korištenje prijenosne mreže izraženu u HRK/kWh. U ovako izračunati ukupni prihod, međutim, nisu ubrajani npr. troškovi tehničkih gubitaka ili trošak osiguranja pomoćnih usluga, koji su u načelu varijabilni troškovi. Budući da nisu svi troškovi proizašli iz osiguranja pomoćnih usluga sustava (npr. trošak rotirajuće rezerve ili trošak uspostavljanja normalnog pogona nakon raspada sustava) trošak HEP OPS-a,

Table 4 only shows refunds for the variants of *ROS* that are taken in the calculation of the total revenue, but only the extreme (minimum and maximum) values. Depending on the recognized *ROS* and the yield rate, refunds range from 108,3 million Kunas to 211,2 million Kunas, i.e. the maximum value may be 95 % higher than the minimum. This means that the refund is one of the regulatory parameters upon which HERA can exert a significant impact. Therefore, for the determination of the justified level it is necessary to perform detailed financial analyses.

4.6 Calculation of gross revenue

As an illustrative example of the calculation of gross revenue, a combination of previously clarified parameters is taken (*OPEX*, amortization expenditures and refund) which when added together yield the minimum or maximum value of the total permitted revenue. This revenue is approved by HERA. As shown in Table 4, depending upon the established parameters, the value of the average gross revenue during the period from 2005 to 2007 ranged from 683,6 million Kunas to 873,9 million Kunas, which represents a difference of 28 % insofar as considered in relation to the minimum possible gross revenue.

In order to determine the permitted revenue according to each year, pursuant to the formula for the dynamic coordination of the maximum permitted upper limit of revenue according to individual years of the regulatory period (1), it is necessary to select either the consumer price index or the retail price index (*CPI* or *RPI*), determine the efficiency factor and the corrective factors. Since it is necessary to conduct a benchmark for the determination of the justified level of the efficiency factor and since this does not involve the actual values of HEP OPS revenue, to which it would be possible to apply a relevant and quantifiable corrective factor (*KP_t*), all the factors are ignored except the *CPI* for the purposes of this illustrative calculation. The value of the *CPI* in the Republic of Croatia in December 2003 in comparison to the year 2001 amounted to 102,7 (according to the Central Bureau of Statistics), while in December 2002 it amounted to 101,5. Thus, for the purposes of the model, it is possible to take the *CPI* at an annual growth rate of approximately 1,5 %.

From the gross revenue, it is possible to calculate the average tariff for the use of the transmission network expressed in HRK/kWh. This calculation of the gross revenue, however, does not include the costs of technical losses or the expenditures for securing auxiliary services, which in principle are variable expenditures. Since all the expenditures

uključivanje troška pomoćnih usluga u tarifu za korištenje prijenosne mreže moglo bi kod HEP OPS-a izazvati nepotrebne gubitke u poslovanju. Naime, neimanje uvida u troškove proizvodnje električne energije od strane regulatornog tijela značajno utječe i na mogućnost utvrđivanja realne naknade za pokriće troškova osiguranja pomoćnih usluga sustava kroz tarifu za korištenje prijenosne mreže, stoga se trošak osiguranja pomoćnih usluga u ovom ilustrativnom primjeru ne uzima u razmatranje.

4.7 Trošak tehničkih gubitaka

Sukladno Zakonu o energiji HEP d.d. je bio dužan za svaku od djelatnosti, pa tako i za energetske djelatnosti proizvodnje električne energije izraditi odvojeni tarifni sustav. Međutim, predmetni tarifni sustav nikad nije bio izrađen niti donesen. Ista odredba, o donošenju odvojenih tarifnih sustava za svaku od energetskih djelatnosti koje se obavljaju u HEP grupi ostala je i u Zakonu o izmjenama i dopunama Zakona o energiji iz 2004. godine. Budući da HEP d.d. nije nikad javno objavio tarife za proizvodnju, kao što nije a niti su od strane regulatornog tijela analizirani podaci o kratkoročnim marginalnim troškovima ili prosječnim troškovima proizvodnje, odnosno uvoza, utvrđivanje troška tehničkih gubitaka bez dublje dodatne analize je nemoguće, posebice ukoliko je potrebno utvrditi ekonomsku vrijednost gubitaka za svaki sat u danu. No, moguće je trošak utvrditi uzimajući u obzir određene pretpostavke. Naime, budući da je Republika Hrvatska neto uvoznik električne energije, za pretpostaviti je da se tijekom vršnih razdoblja potrošnja pokriva iz uvoza. Isto tako u slučajevima kada nije potreban uvoz, proizvodnja iz hidroelektrana nije dovoljna za pokrivanje vršnih potrošnji, već se angažiraju i termoelektrane. Dakle, u bilo kojem satu kratkoročni marginalni trošak proizvodnje ili uvoza mora biti jedna od sljedećih vrijednosti:

- kratkoročni marginalni trošak proizvodnje iz termoelektrana i
- kratkoročni marginalni trošak proizvodnje iz uvoza.

U razmatranje se također može uzeti i činjenica da je kratkoročni marginalni trošak proizvodnje i uvoza puno veći u zimskim mjesecima nego ljetnim, odnosno u satima vršnog opterećenja u odnosu na sate ne-vršnog opterećenja. No, ovakva razmatranja još bi dodatno zakomplicirala računanje tarife za korištenje prijenosne mreže, stoga je cjenovne pokazatelje tog tipa bolje ostaviti za bilateralne ugovore i organizirano tržište, odnosno za odnos kupac – opskrbljivač.

that come from securing auxiliary services for the system (for example, the expenditure for rotating reserves or the expenditure for the set-up of normal operation after system breakdown) are not the expenditure of HEP OPS, the inclusion of the expenditures for auxiliary services in the tariff for the use of the transmission network as part of the expenditures of the transmission system operator can cause unnecessary operating losses for HEP OPS. The regulatory body's lack of insight into the production costs of electrical energy has a significant impact on its ability to determine the actual compensation for covering expenditures for securing auxiliary services for the system from the tariff on the use of the transmission network, and therefore the expenditure for securing auxiliary services in this illustrative example is not taken into consideration.

4.7 Cost of technical losses

Pursuant to the Energy Act, HEP d.d. was required to prepare separate tariff systems for each of its activities, and thus for the activity of the production of electrical energy. However, this tariff system was never prepared or adopted. The same provision on the adoption of separate tariff systems for each of the energy activities performed within HEP Group remained in the Amendment Act to the Energy Act of 2004. Since HEP d.d. never publicly published the tariffs for production, nor have data been analyzed by the regulatory body on short-term marginal expenditures, average production costs or import, the determination of the technical loss-related expenditures is impossible without additional deeper analysis, particularly if it is necessary to determine the economic value of the loss for every hour in the day. However, it is possible to determine the cost, taking into account certain assumptions. Since the Republic of Croatia is a net importer of electrical energy, it can be assumed that consumption is covered from imports during peak periods. Thermoelectric power plants are engaged in cases where production from hydroelectric power plants is insufficient to cover peak consumption when imports are not required. Therefore, at any hour whatsoever the short-term marginal cost of production or import must be one of the following values:

- the short-term marginal cost of production from thermoelectric power plants, and
- the short-term marginal cost of production from imports.

The fact can also be considered that the short-term marginal cost of production and import is much higher in the winter months than in the summer, i.e. in the hours of peak load in comparison to

Ukoliko se promatra marginalni trošak iz uvoza, može se u razmatranje uzeti prosječna povijesna cijena s neke od burza električne energije (kao primjer moguće je uzeti 200-dnevni prosjek cijene na European Energy Exchange-u (EEX) koji se kretao između 27 EUR/MWh i 30 EUR/MWh u razdoblju od ožujka 2004. do ožujka 2005. godine) ili prosječna cijena nabave električne energije koju postiže HEP d.d. (TE Plomin, NE Krško, uvoz iz BiH, uvoz s tržišta).

Trošak tehničkih gubitaka trebao bi se tretirati kao varijabilni trošak koji se pokriva iz cijene energije. Prosječna vrijednost bi se, dakle, utvrdila na osnovi planirane projekcije ukupne potrošnje u pojedinoj godini regulacijskog razdoblja i troška tehničkih gubitaka.

5 REGULATORNI NADZOR

Regulatorni nadzor u smislu Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o energiji, osim utvrđivanja metodologije za izračun tarifa za korištenje prijenosne mreže, podrazumijeva i nadzor nad primjenom predmetnih tarifa, ne samo u smislu ispravne primjene donesenih iznosa, već i praćenja poslovanja energetske subjekta tijekom regulacijskog razdoblja. Naime, ukoliko se ukaže potreba za ranijom revizijom tarifa, prije isteka regulacijskog razdoblja, potrebno je revidirati parametre metode, ulazne vrijednosti parametara, način njihovog izračuna te odabranu metodu. Mogućnost revizije treba predvidjeti prilikom donošenja podzakonskog akta kojim se utvrđuje metodologija za izračun tarifa kao i moguće razloge za pokretanje prijevremene revizije. Značajna stavka u modelu koja može utjecati na prijevremenu reviziju je realizacija plana razvoja i izgradnje, kao i eventualne opravdane dopune plana. Međutim, potrebno je napomenuti da je kao ilustrativni primjer odabrano regulacijsko razdoblje u trajanju od tri godine, što u načelu ne predstavlja razdoblje unutar kojeg bi trebalo doći do značajnih odstupanja u provedbi investicijskog plana ili do potrebe za značajnijom nadopunom plana.

non-peak hours. However, such discussion would be additionally complicated by taking into account the tariffs for using the transmission network. Therefore, price indices of this type are better left for bilateral contracts and organized markets, i.e. for the customer – supplier relationship.

Insofar as the marginal cost from import is considered, the average historical price can be considered from some of the electricity exchanges (for example, it is possible to take the 200-day average from the European Energy Exchange, EEX, which ranged between 27 EUR/MWh and 30 EUR/MWh during the period from March 2004 to March 2005), or the average price for the procurement of electrical energy arrived at by HEP d.d. (TE Plomin, NE Krško, imports from Bosnia and Herzegovina, and imports from markets).

Technical losses related expenditures should be treated as variable expenditures that are covered from the price of energy. The average value would, therefore, be determined on the basis of the planned projection of total consumption in an individual year of the regulatory period and the technical losses related expenditures.

5 REGULATORY SUPERVISION

Regulatory supervision in the sense of the Amendment Act to the Energy Act, besides the determination of the methodology for the calculation of the tariffs for using the transmission network, also means supervision of the application of these tariffs, not only in the sense of the correct application of the adopted amounts but also the monitoring of the operations of the energy subject during the regulatory period. Insofar as the need is demonstrated for an earlier revision of the tariffs, prior to the expiration of the regulatory period, it is necessary to review the parameters of the method, input value parameters, the manner of their computation and the chosen method. Eventual revision should be anticipated on the occasion of the adoption of the regulation that determines the methodologies for the computation of tariffs and the possible reasons for initiating early revision. A significant item in the model that can influence early revision is the implementation of the development and construction plan, as well as eventual justified amendment to the plan. However, it should be mentioned as an illustrative example that a regulatory period with a duration of three years has been chosen, which in principle does not represent a period within which there should be any significant deviations in the implementation of the investment plan or a need for significant amendment to the plan.

6 ZAKLJUČAK

Algoritam i model poticajne regulacije koji su analizirani u članku pokazuju da pojedini elementi modela, čije vrijednosti utvrđuje HERA kroz metodologiju za utvrđivanje tarifa za prijenos električne energije, značajno utječu na konačni rezultat, tj. na ukupni dozvoljeni prihod reguliranog subjekta. Time u konačnici utječu i na iznos tarife za korištenje prijenosne mreže koju donosi Vlada Republike Hrvatske. U modelu su korišteni ulazni podaci (*OPEX*, amortizacija, ulaganja u osnovna sredstva, regulatorna osnovica sredstava) koji su red veličine ulaznih podataka HEP OPS-a. No, nisu korištene egzaktno vrijednosti budući da iste nisu odobrene od strane regulatornog tijela, pa bi stoga njihovo korištenje moglo dovesti do pogrešne interpretacije rezultata. Nadalje, kod analize stope prinosa razmatrane su vrijednosti koje koriste regulatorna tijela novih država članica Europske unije, budući da energetska poduzeća u Hrvatskoj nisu kotirana na financijskom tržištu. Ovisno o variranju razine odobrenog iznosa pojedinog ulaznog parametra u modelu, kao i o dužini trajanja regulacijskog razdoblja, uz zanemaren faktor učinkovitosti X , varira i razina dozvoljenog prihoda u modelu (i do 30 %).

Zaključno, može se reći da je za uvođenje modela poticajne regulacije u prijenosu električne energije u Republici Hrvatskoj potrebno provesti niz analiza vezanih uz ekonomsku regulaciju koje do sada nisu provedene u elektroenergetskom sektoru Republike Hrvatske (npr. benchmarking). Vrijeme i stručna znanja potrebna za provedbu ovih analiza te činjenica da su informacije i podaci samo djelomično dostupni i kontrolirani od strane HERA-e, značajno može otežati uvođenje poticajne regulacije. Stoga se kao prvi korak u uvođenju ekonomske regulacije u prijenosu električne energije kao bolja opcija može razmatrati regulacija stopom povrata. Prednost regulacije stopom povrata, u ovom slučaju je i kraće regulacijsko razdoblje. Na taj način omogućava se pravodobna revizija razine primijenjenih parametara, a time i tarifa za korištenje mreža te se umanjuju rizici ekonomske regulacije za regulirane subjekte čime se povećava kredibilitet rada regulatornog tijela. S vremenom će se povećavati količina relevantnih informacija koja će biti dostupna HERA-i, a koja je nužna kao podloga za eventualno uvođenje poticajne regulacije u sljedećim regulacijskim razdobljima.

6 CONCLUSION

The algorithm and model for incentive regulations that are analyzed in the article show that individual elements of the model, whose values are determined by HERA through methodology that establishes the tariffs for the transmission of electrical energy, have a significant influence on the final result, i.e. on the total permitted revenue of the regulated subject. Ultimately, they also influence the amounts of the tariffs for using the transmission network that are adopted by the Government of the Republic of Croatia. The input data are used in the model (*OPEX*, amortization, investment in fixed assets and regulatory asset base) are of the order of magnitude of the input data of HEP OPS. However, exact values are not used since they have not been approved by the regulatory body and, therefore, their use could lead to the incorrect interpretation of the results. Furthermore, in the analysis of the yield rate, the values considered are those used by the regulatory bodies of the new member countries of the European Union, since the energy enterprises in the Republic of Croatia are not quoted on the financial market. Depending on the variation of the levels of the approved amount of an individual input parameter in the model, as well as the duration of the regulatory period, ignoring the efficiency factor X , the level of permitted revenue also varies in the model (up to 30 %).

In conclusion, it may be said that for the introduction of the incentive model for regulation in the transmission of electrical energy in the Republic of Croatia, it is necessary to conduct a series of analyses in connection with economic regulation that have not been conducted until now in the electrical energy sector in the Republic of Croatia (for example, benchmark). The time and professional knowledge necessary for conducting such analyses and the fact that the information and data are only partially available and controlled by HERA could significantly hinder the introduction of incentive regulation. Therefore, as the first phase in the introduction of economic regulation in the transmission of electrical energy, a better option would be to consider regulation via the return rate. The advantage of the regulation of the return rate in this case is a shorter regulatory period. In such a manner, it would be possible to perform a timely revision of the levels of the applied parameters and the tariffs for the use of the network, thereby reducing the risks of economic regulation for the regulated subjects, which would increase the credibility of the work of the regulatory body. With time, the quantity of relevant information available to HERA will increase, in order to provide the necessary basis for the eventual introduction of incentive regulations in the subsequent regulatory periods.

HERA je krajem 2006. godine donijela metodologiju za utvrđivanje tarifa za prijenos električne energije, koja se temelji na priznatim troškovima poslovanja, odnosno na regulaciji stopom povrata. Određivanje visine tarifnih stavki je u proceduri donošenja temeljem Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o energiji iz 2004. godine.

Konačno, potrebno je naglasiti da prilikom odlučivanja o modelu regulacije, dužini regulacijskog razdoblja i mogućoj dinamici promjene iznosa tarifa, treba voditi računa o potrošačima i njihovoj reakciji na česte promjene cijena električne energije.

At the end of 2006, HERA adopted a methodology for establishing tariffs for the transmission of electrical energy based on recognized operating costs, i.e. regulation of the return rate. The determination of the amounts of the tariff items is in the procedure of being adopted, pursuant to the Amendment Act to the Energy Act of 2004.

Finally, it must be emphasized that when deciding upon a regulatory model, the duration of the regulatory period and eventual dynamic changes in the amount of tariffs, it is necessary to consider the customers and their eventual reactions to frequent changes in electricity prices.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o energiji, Narodne novine 177/2004
- [2] Zakon o energiji, Narodne novine 68/2001
- [3] Zakon o tržištu električne energije, Narodne novine 68/2001
- [4] Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC, Official Journal L 176, 2003
- [5] Statut Vijeća za regulaciju energetske djelatnosti, Narodne novine 62/2002
- [6] Pravilnik o načinu i kriterijima za utvrđivanje naknade za korištenje prijenosne i distribucijske mreže, Narodne novine 109/2003
- [7] ŠTRITOF, I., GELO, T., Značajke regulacije maksimalnih veličina ,7. savjetovanje HO CIGRÉ, zbornik radova grupe C5 – Tržište električnom energijom i regulacija, Cavtat, 6 – 10. studenoga 2005., Zagreb, HO CIGRÉ.
- [8] Petroleum Development Consultants LTD, Studija o cijenama i tarifama plina i nafte, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2002.
- [9] Report on the work of the Energy Agency of the Republic of Slovenia and the situation in the Energy Sector in 2002, Energy Agency of the Republic of Slovenia, October 2003

Uredništvo primilo rukopis:
2006-12-11

Manuscript received on:
2006-12-11

Prihvaćeno:
2007-01-09

Accepted on:
2007-01-09

TRENING CENTAR ZA TRGOVANJE ENERGIJOM TRAINING CENTRE FOR ENERGY TRADING

Prof. dr. sc. Slavko Krajcar, dr. sc. Minea Skok,
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva,
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Mr. sc. Ivan Andročec, HEP d.d.,

Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Mr. sc. Snježana Blagajac, Hrvatski operator tržišta energije d.o.o.,
Miramarska 23, 10000 Zagreb, Hrvatska

Gerd Solem, MSc, SINTEF Energy Research,

Sem Saelands vei 11, NO-7465 Trondheim, Norway

Klaus Livik, MSc, Birger Morland, MSc, Powel ASA,

Klaebuveien 194, NO-7037 Trondheim, Norway

Reforme energetskeg sektora i nove poslovne mogućnosti nametnule su potrebu stjecanja i prenošenja znanja i vještina svim sudionicima koji preuzimaju nove uloge i odgovornosti u energetskeg sektoru. Stoga su Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (FER), Hrvatska elektroprivreda d.d. (HEP d.d.) i norveška tvrtka Technor Energy AS pokrenule projekt uspostave Trening centra za trgovanje energijom (*Training Centre for Energy Trading* – TCET). U članku je predstavljen rezultat ove suradnje – pisani materijali koji služe kao podloga za učenje i simulator tržišta koji omogućava različitim tržišnim sudionicima, iz raznih zemalja i s različitim tržišnim interesima, da kroz igru iskušaju tržišno natjecanje. Ovo je prvi trening centar takve vrste u Europi, a projekt njegove uspostave financiralo je Ministarstvo vanjskih poslova Kraljevine Norveške i HEP d.d.

The current reforms in the energy sector and the resulting new business opportunities have imposed a need for knowledge and skills to be acquired by or imparted to all those who will assume new roles and responsibilities in the energy sector. To this end the Faculty of Electrical Engineering and Computing of the University of Zagreb (FER), Hrvatska elektroprivreda d.d. – The Croatian Electricity Company (HEP d.d.) and the Norwegian company Technor Energy AS launched a project to establish the Training Centre for Energy Trading (TCET). This article presents the results of this co-operation – printed materials to serve as teaching aid and a market simulator to help various market participants from different countries and with different market interests to try their hand at market competition by playing games. This is the first training centre project of this kind in Europe, co-financed by the Ministry for Foreign Affairs of the Kingdom of Norway and HEP d.d.

Ključne riječi: otvoreno tržište, simulator tržišta, spot tržište, trening centar, trgovanje električnom energijom

Keywords: electricity trading, market simulator, open market, spot market, training centre



1 UVOD

Tržište električne energije, liberalizacija energetskeg sektora, regulacija, deregulacija, re-regulacija, tržišno natjecanje, javna obveza, razdvajanje djelatnosti, samo su neki od pojmova koji danas određuju poslovno okruženje elektroenergetskih poduzeća u gotovo svim državama svijeta. Također, često čujemo za stupanj otvorenosti tržišta i tijek otvaranja tržišta. Sve navedeno veže se uz reforme nacionalnih i globalnih energetskeg sektora koje za cilj imaju bolje poslovne subjekte i naprednije tehničke sustave za opskrbu kupaca energijom, odnosno energentima. Naravno, postavlja se pitanje što zapravo znači bolje? Za koga bolje? Odgovori na ta pitanja zapravo su argumenti za uvođenje tržišnih odnosa.

Monopoli energetskeg poduzeća na prvi se pogled čine najekonomičnijim rješenjem za opskrbu kupaca energijom. Ipak u stvarnosti to nije slučaj. Razlozi nisu samo političke, gospodarske ili socijalne promjene koje regulacija monopola mora kontinuirano uključivati u nadzor, već i karakteristike energije kao specifičnog proizvoda ili usluge. Reforme energetskeg sektora temelje se na postavci da tržište, u općenitom smislu, najbolje uspostavlja i održava odnose između ponude i potražnje. U praksi se, u sklopu reformi, djelatnosti energetskeg monopola razdvajaju na tzv. tržišne (npr. proizvodnja, opskrba) i tzv. regulirane (npr. mrežne) djelatnosti.

Republika Hrvatska provodi reformu energetskeg sektora na načelima tržišnih i konkurentskih odnosa u energetskeg djelatnostima, pri čemu je posebno zahtjevna reforma elektroenergetskeg sektora. Hrvatska, koja je 2004. godine stekla status kandidata za prijam u Europsku uniju (EU) i trenutno je u fazi screening procesa, i HEP grupa, koja želi punopravno i ravnopravno sudjelovati na jedinstvenom europskom tržištu električne energije, ubrzano rade na ispunjenu zahtjeva Europske komisije. U srpnju 2004. godine na snagu je stupila Direktiva 2003/54/EC koja utvrđuje odnose na tržištu električne energije u Europskoj uniji. Uvažavajući ovu Direktivu Hrvatski sabor je na sjednici 3. prosinca 2004. godine donio Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o energiji, Zakon o tržištu električne energije i Zakon o regulaciji energetskeg djelatnosti (NN 177/2004).

Temeljem Zakona o tržištu električne energije, povlašteni kupac može slobodno odabrati opskrbljivača električne energije. Taj su status od 1. srpnja 2006. godine stekli svi kupci s godišnjom potrošnjom većom od 9 GWh. Sljedeći rokovi otvaranja tržišta električne energije su: 1. srpnja 2007. za kupce kategorije poduzetništvo i 1. srpnja 2008. godine za sve kupce.

1 INTRODUCTION

Electricity market, liberalisation of energy sector, regulation, deregulation, re-regulation, market competition, public service obligation, unbundling, these are just some of the terms defining the present-day business environment of electricity companies in nearly all countries of the world. Likewise, we can often hear about the degree of market openness and the market-opening progress. All these concepts are linked to the reforms of national and global energy sectors which are designed to give rise to better service providers and more advanced technical systems for energy or fuel supply to customers. Of course, one may raise the question about the meaning of 'better'. Better for whom? Answers to these questions are in fact arguments in favour of introducing market relations.

On the face of it, the monopolies of energy companies seem to be an optimal energy supply solution. In reality it is not the case though. The reasons are not only political, economic or social changes that monopoly regulation must continuously keep up with, but also the nature of energy as a specific product or service. The current energy sector reforms are based on the assumption that market in the general sense of the word is the best means of maintaining a balance between supply and demand. In practice, within the reforms, energy monopolies are unbundled into market operations (e.g. generation, supply) and regulated (e.g. network) operations.

The energy sector reforms currently going on in Croatia are based on the principles of market competition in the energy sector, where the reform of the electricity sector is particularly challenging. Croatia, which in 2004 gained the status of a candidate country and is now undergoing the screening process, and the HEP Group, which is determined to fully participate as an equal partner in a single European electricity market, are working at an accelerated pace to meet the requirements set by the European Commission. In July 2004 Directive 2003/54/EC concerning common rules for the internal market in electricity took effect and, in response to it, at its session of 3 December 2004, the Croatian Parliament adopted the Act Amending the Energy Act, the Electricity Market Act and the Energy Regulation Act (OG 177/2004).

According to the Electricity Market Act, privileged customers may freely choose their electricity supplier, a status which since 1 July 2006 has been acquired by all customers whose annual consumption exceeds 9 GWh. The next market opening dates are: 1 July 2007 for the category of commercial customers and 1 July 2008 for all customers.

Ugovor o energetske zajednici, koji je potpisan 25. listopada 2005. godine u Ateni i ratificiran u Hrvatskom saboru u svibnju 2006. godine, predstavlja proces širenja unutarnjeg energetskog tržišta Europske unije na zemlje jugoistočne Europe. Ugovor je potpisan od strane zemalja EU25 i devet zemalja jugoistočne Europe (Hrvatska, Rumunjska, Bugarska, Bosna i Hercegovina, Srbija, Crna Gora, Makedonija, Albanija i Misija UN-a na Kosovu). U proces su kao promatrači uključeni i Ukrajina, Moldavija te Norveška. Riječ je o ključnom dokumentu koji Hrvatsku integrira u energetske zakonodavstvo Europske unije, čime je uvodi u Europsku uniju i prije formalnog primanja. Glavni ciljevi Energetske zajednice su stvaranje stabilnog regulatornog i organizacijskog okruženja za trgovanje energijom, privlačenje investicija u energetici, poboljšanje sigurnosti opskrbe energijom, poboljšanje zaštite okoliša i razvoj konkurencije na tržištu električne energije i plina u širem geopolitičkom smislu.

Pristupanjem toj zajednici Hrvatskoj se osigurava stabilnija opskrba električnom energijom i plinom s jedne strane, dok joj se s druge strane osigurava otvoreni pristup tržištima u regiji, ali i obrnuto. Otvaranjem tržišta u djelatnostima proizvodnje i opskrbe električnom energijom tvrtkama se otvaraju nove poslovne mogućnosti (posebice širenje poslovanja na ostale energetske te druge djelatnosti) i strategijska poslovna povezivanja s partnerima u Hrvatskoj i inozemstvu.

U Hrvatskoj se velika pozornost pridaje reformi energetskog sektora, njenom strateškom značenju i uz to vezanim predstojećim izazovima. Potpuno otvaranje tržišta električne energije predviđeno je za manje od godinu i pol dana, a europska integracija energetskog sektora, kroz ratificirani Ugovor o energetske zajednici, vremenski je još bliža. Energetski sektor u Hrvatskoj, ali i šire u regiji, nesumnjivo se nalazi u vrlo dinamičnom prijelaznom razdoblju. Poslovanje u sadašnjim uvjetima zahtijeva od svih subjekata prilagodljivost, pri čemu je ključna prednost ljudski potencijal pripremljen i osposobljen za nove izazove.

Reforme energetskog sektora, otvaranje tržišta, europske integracije i nove poslovne mogućnosti nametnule su potrebu stjecanja i prenošenja znanja i vještina svim sudionicima s novim ulogama i odgovornostima u energetskom sektoru. Stoga ne čudi da danas postoje mnogi specijalistički studiji, te razne radionice čija je svrha izobrazba pojedinaca u jednom potpuno novom području. Studij u Trening centru za trgovanje energijom jedan je od tih studija koji polaznicima omogućuje svladavanje znanja i vještina u koncentriranom vremenu. Naravno, naglašava se da je to samo početak izobrazbe budućih sudionika i da je stalno obrazovanje, zbog

The Energy Community Treaty, signed in Athens on 25 October 2005 and ratified by the Croatian Parliament in May 2006, is aimed to extend the EU internal energy market to the South East Europe region. The Treaty was signed by EU25 and nine SEE countries (Croatia, Rumania, Bulgaria, Bosnia and Herzegovina, Serbia, Montenegro, Macedonia, Albania and the UN Mission to Kosovo). Ukraine, Moldavia and Norway are included in the process as observers. It is a key document which integrates Croatia into the EU's energy legislation and thereby brings it into the Union even before the formal accession. The principal goals of the Energy Community are to create a stable regulatory and organisational environment for trading in fuels, attracting investments in energy sectors, improving the security of energy supply, as well as improving the environmental situation, and developing electricity and gas market competition on a broader geographic scale.

By joining the Energy Community Croatia will ensure more stable electricity and gas supply, on one hand, and, on the other, an open approach to the markets in the region, but also the other way round. The opening of the market to electricity generation and supply opens new business opportunities to companies (especially in terms of expansion to other energy and industrial sectors) and strategic partnerships in Croatia and abroad.

In Croatia special attention is devoted to the reform of the energy sector, its strategic implications and associated challenges lying ahead. Full electricity market opening is due in less than a year and a half, whereas the European energy sector integration, through the ratified Energy Community Treaty, is even closer. The energy sector in Croatia, and in the wider region, is certainly undergoing a very dynamic transition period. Business activities under the present conditions require adaptability from all participants, where a key advantage are human resources well prepared and capacitated for new challenges.

Energy sector reforms, market opening, European integration processes and new business opportunities have all created a need for knowledge and skills to be acquired by and imparted to persons assuming new roles and responsibilities in the energy sector. It is hence not surprising that today there are many specialised studies and various workshops designed to provide training courses in one entirely new field. Study at the Training Centre for Energy Trading (TCET) is one of these studies which enables the trainees to acquire knowledge and skill over a concentrated time. It is, of course, just the beginning of the education of future participants, because, due to continuing changes

stalih promjena koje se zbivaju u ovom području, nužnost svakoga tko sudjeluje na tržištu.

2 ZAČETAK I PROGRAM RADA TRENING CENTRA ZA TRGOVANJE ENERGIJOM

Pregledavajući ponuđene mogućnosti obrazovanja, može se uočiti kako je većina ponuđenog primjerena osobama s većim iskustvom ili pozicijom (ciljani tečajevi) ili osobama koje trebaju sustavno obrazovanje (specijalistički/poslijediplomski studiji ili MBA). Međutim, tržišta energije su realnost pa je potrebno što prije što većem broju zaposlenika, i među opskrbljivačima i među kupcima, dati odgovarajuća znanja. Ideja o Trening centru za trgovanje energijom (*Training Centre for Energy Trading – TCET*) jedan je od odgovora na taj izazov. Projekt uspostave Trening centra (u daljnjem tekstu TCET) formalno je započeo 1. studenog 2004. godine i završio službenim otvaranjem TCET-a 30. lipnja 2006. godine.

Partneri u projektu uspostave TCET-a bili su HEP d.d., Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu i norveška tvrtka Techor Energy AS (Technor). Projekt je financiran od Norveškog ministarstva vanjskih poslova (86 %) i HEP-a d.d. (14 %). U projekt su od samog početka uključena i poduzeća SINTEF, Troms Kraft i Powel iz Norveške te Hrvatski operator tržišta energije d.o.o. (HROTE).

Tijekom projekta izrađen je nastavni materijal razdijeljen u 5 knjiga, te je pripremljen petodnevni i trodnevni program obuke za trgovanje namijenjen različitim tržišnim sudionicima koji će nastupati na hrvatskom, regionalnom, odnosno europskom energetsom tržištu (povlašteni kupci, opskrbljivači, trgovci, proizvođači, operatori sustava, itd.). S obzirom na namjenu, TCET-ov program obuke je pripremljen na engleskom i hrvatskom jeziku. Posebna pozornost je posvećena izradi studijskog programa i nastavnog plana, što je sažeto u posebnom dokumentu (*Development curricula*). Također je održana pripremna radionica za buduće nastavnike, koji su ujedno i sudionici TCET projekta. Svrha radionice je bila unaprijediti i usavršiti pripremljeni program obuke. Redovita obuka u TCET-u završava polaganjem ispita i provedbom trgovanja na virtualnom spot tržištu. Primjer rasporeda TCET radionice dan je u tablici 1.

Voditelji projekta TCET bili su: Slavko Krajcar i Kjell B. Mortensen. U realizaciji projekta sudjelovali su (abecednim redom): Ivan Andročec, Maja Aunedi, Petra Bajlo, Snježana Blagajac, Davor Bošnjak, Boris Dokmanović, Ante Ćurić, Roar Hausner, Dražen Jakšić,

taking place in this area, continuing education will be a necessity for all market players.

2 THE ESTABLISHMENT AND PROGRAMME OF THE TRAINING CENTRE FOR ENERGY TRADING

A survey of offered educational options will show that most of them are suited for more experienced or higher positioned persons (target courses) or those in need of systematic instruction (specialised/post-degree or MBA studies). However, energy markets are a reality which requires that proper knowledge be imparted to the greatest possible number of employees among suppliers and customers alike, and as soon as possible. The idea of the Training Centre for Energy Trading (TCET) is one of possible responses to this challenge. The TCET project was started on 1 November 2004 and crowned with the official opening of the Centre, on 30 June 2006.

The partners in the TCET project were the Croatian Electricity Company Co. (HEP d.d.), Faculty of Electrical Engineering and Computing of the University of Zagreb (FER) and the Norwegian company Techor Energy AS (Technor). The project was co-financed by the Norwegian Foreign Ministry (86%) and HEP d.d. (14 %). The companies SINTEF, Troms Kraft and Powel from Norway and the Croatian Energy Market Operator Ltd. (HROTE) also took part from the very outset.

During the project stage instruction material has been prepared and divided into 5 books, along with 5-day and 3-day trading curricula intended for different market participants who will act on Croatian, regional or European energy markets (eligible customers, suppliers, traders, producers, system operators, etc.). Considering the intended use, the TCET curriculum has been prepared in English and Croatian languages. Special attention has been paid to the curriculum and syllabus, summed up in a special document (*Development curricula*). A preparatory workshop was also held for future teachers, who are at once TCET project participants. The purpose of the workshop was to improve and give a finishing touch to the prepared curriculum. Regular courses at TCET are completed by taking an examination and performing a trading transaction on the virtual spot market. An example of TCET workshop timetable is given in Table 1.

TCET project leaders were: Slavko Krajcar and Kjell B. Mortensen. Project participants (in alphabetical order): Ivan Andročec, Maja Aunedi, Petra Bajlo, Snježana Blagajac, Davor Bošnjak, Boris Dokmanović, Ante Ćurić, Roar Hausner, Dražen

Hrvoje Keko, Goran Labar, Klaus Livik, Birger Morland, Erling Pettersen, Øivind Refsnes, Minea Skok, Petar Sprčić, Gerd Solem, Davor Škrlec, Dubravka Škrlec i Zlatko Zmijarević. Kao suradnici na projektu sudjelovali su: Ante Ćurković, Nenad Debrecin, Željko Tomšić, Ivar Wangesteen i Odd Berg.

Jakšić, Hrvoje Keko, Goran Labar, Klaus Livik, Birger Morland, Erling Pettersen, Øivind Refsnes, Minea Skok, Petar Sprčić, Gerd Solem, Davor Škrlec, Dubravka Škrlec and Zlatko Zmijarević. Project collaborators: Ante Ćurković, Nenad Debrecin, Željko Tomšić, Ivar Wangesteen and Odd Berg.

Tablica 1 – Raspored TCET radionice
Table 1 – TCET workshop timetable

TCET Radionica / TCET Workshop	Ponedjeljak / Monday Analiza situacije u Hrvatskoj i jugoistočnoj Europi / Analysis of the situation in Croatia and SEE	Utorak / Tuesday Osnove trgovanja električnom energijom / Essentials of trading in electricity	Srijeda / Wednesday Rad i strategija tržišnih sudionika / Operation & strategy of market participants	Četvrtak / Thursday Upravljanje rizicima i osiguranje / Risk management and insurance	Petak / Friday Modeli planiranja EES*-a / ESS* planning models
09:00 – 09:45	Zakonodavstvo / Legislation	Pregled odgovornosti operatora sustava / Overview of system operator's responsibilities Pristup mreži i tarifni sustavi / Access to network and tariff systems Prijenosna moć mreže i tokovi energije / Network capacity and load flows Upravljanje zagušenjima / Congestion management Informacije na tržištu / Market informations	Uvod i terminologija / Introduction and terminology Uvjeti ugovaranja / Bargaining conditions	Uvod / Introduction Rizik i odgovornosti u upravljanju rizikom / Risk and risk management responsibilities	Planiranje razvoja mreže: kratkoročno, srednjoročno i dugoročno / Network development planning: short-term, mid-term and long-term
09:50 – 10:35	Organizacija energetske tržišta i poduzeća / Organisation of energy markets and companies	Formiranje cijene na burzi električne energije – svrha i procesi / Price formation on the power exchange	Strateške dugoročne, srednjoročne i kratkoročne odrednice / Strategic long-term, mid-term and short-term guidelines, Prognozirane cijene / Price forecasting	Ograničenja rizika i izvješćivanje / Risk limitations and reporting	Nacionalni, regionalni i europski kontekst planiranja / National, regional and European context of planning
10:40 – 11:25	Situacija u Jugoistočnoj Europi / Situation in South East Europe	Tržište energije uravnoteženja / Balancing market	Upotreba različitih trgovačkih proizvoda / Use of various trading products Ponudbene strategije, bilateralne i na burzi / Bidding strategies, bilateral and on the power exchange	Financijski instrumenti i opcije / Financial instruments and options	Investiranje u proizvodnju / Investment in generation
11:30 – 12:15	Pregled elektroenergetske bilance / Overview of electricity balance	Trgovanje s fizičkim i financijskim bilateralnim ugovorima / Trading with physical and financial bilateral agreements	Procesi prema kupcima / Customer-oriented processes Ekonomске obveze / Economic obligations	Tržišni rizici / Market risks Osnove portfelja osiguranja od rizika / Essentials of risk insurance portfolio	Planiranje rezerve sustava / System reserve planning Sigurnost EES-a / EES security
12:20 – 13:05	Mogućnosti stvaranja konkurentnog energetskeg tržišta u regiji / Potentials for creating a competitive energy market in the region	Trgovanje financijskim proizvodima na burzi električne energije i klininški proces / Trading in financial products on the power exchange and the clearing process	Obveze informiranja i aktivnosti glede proizvoda i usluga / Information obligations and activities in respect of products & services Poslovne strukture za rad na tržištu / Business structures for operation on the market	Trgovački procesi / Trading processes	Reguliranje energetskeg tržišta / Energy market regulation
13:05 – 14:00	Ručak / Lunch	Ručak / Lunch	Ručak / Lunch	Ručak / Lunch	Ručak / Lunch
14:00 – 16:00	Laboratorij – MASI / Laboratory – MASI Uvod / Introduction	Laboratorij – MASI / Laboratory – MASI Trgovanje bez pojave zagušenja / Trading without congestion occurrences	Laboratorij – MASI / Laboratory – MASI Trgovanje s pojavom zagušenja / Trading with congestion occurrences	Laboratorij – MASI / Laboratory – MASI Trgovanje – različiti slučajevi / Trading – Diverse cases	Laboratorij – MASI / Laboratory – MASI Završni primjer trgovanja / A final example of trading Proglašenje najuspješnijeg sudionika i podjela certifikata / Proclamation of the most successful participant and award of certificates

* EES – elektroenergetski sustav / power system

3 TCET U PET KNJIGA

Pisani materijali koji služe kao podloga za učenje su:

Knjiga 1 – *Training Centre for Energy Trading – Executive Summaries* (Trening centar za trgovanje energijom – sažetak) sadrži sažetke svih pet knjiga i daje opis studijskog programa [1].

Knjiga 2 – *An Analysis of the Croatian/South East European Situation Regarding the Free Energy Market Implementation* (Analiza situacije u Hrvatskoj i jugoistočnoj Europi glede implementacije tržišta energijom) daje pregled osnovnih preduvjeta za uspostavu i rad energetskeg tržišta, govori o Energetskoj povelji, strategiji, smjernicama i zakonima, te organizaciji energetskeg tržišta i poduzeća. U knjizi je također dan pregled elektroenergetske bilance u regiji, te pregled stanja elektroenergetskog sektora u zemljama jugoistočne Europe i njihovom neposrednom susjedstvu (obuhvaćene su Italija, Austrija, Mađarska, Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Srbija, Crna Gora, Rumunjska, Bugarska, Makedonija). Situacija u Norveškoj/Skandinaviji korištena je kao primjer najliberaliziranijeg elektroenergetskog sektora države/regije u Europi i svijetu. Zaključno je opisan potrošačev izbor opskrbljivača i opskrbljivačev izbor proizvođača kao i mogućnosti konkurencije i trgovanja u regiji i Europi [2].

Knjiga 3 – *Elements for Electricity Trading* (Osnove za trgovanje električnom energijom) početna je točka za učenje osnova trgovanja električnom energijom. Pokriva pregled odgovornosti u tržišnim interakcijama, uloge tržišnih sudionika, itd. U knjizi su dani primjeri i iskustva iz skandinavskog energetskeg tržišta, kao i specifičnosti Hrvatske i regije. Knjiga uključuje pregled odgovornosti operatora sustava, načelo pristupa mreži i tarifne sustave, analizu prijenosnih moći mreže i tokova snaga, informacije na tržištu, opisuje sudionike i njihove interese, formiranje cijene na burzi električne energije, tržište uravnoteženja, upravljanje zagušenjima, prekogranično trgovanje, tranzite u mreži, trgovanje na fizičkom tržištu i bilateralnim ugovorima, trgovanje na financijskom tržištu, na burzi električne energije te klirinški proces [3].

Knjiga 4 – *Operation and Strategies for Different Participant Types* (Rad i strategija različitih tržišnih sudionika) pruža opće znanje o tržišnim procesima, koje je prilagodljivo budućoj strukturi tržišta električne energije u Hrvatskoj kao i u drugim zemljama/regijama. Sadržaj ove knjige obuhvaća terminologiju (vrste trgovačkih aranžmana), uvjete ugovaranja, strateške dugoročne, srednjoročne i

3 TCET IN FIVE BOOKS

The printed materials to serve as teaching aid are:

Book 1 – *Training Centre for Energy Trading – Executive Summaries* contains summaries of all five books and a description of the curriculum [1].

Book 2 – *An Analysis of the Croatian/South East European Situation Regarding the Free Energy Market Implementation* gives an overview of basic preconditions for the establishment and operation of an energy market, discusses the Energy Charter, strategies, guidelines and laws, as well as the organisation of energy markets and companies. The book also gives a review of energy balance in the region and the current state of the energy sector in SEE countries and their immediate neighbourhood (Italy, Austria, Hungary, Slovenia, Croatia, Bosnia and Herzegovina, Serbia, Montenegro, Rumania, Bulgaria, Macedonia). The situation in Norway/Scandinavia is used as an example of the most liberalised energy sector of a country/region in Europe and in the world at large. The concluding part describes the consumer's choice of the supplier and the supplier's choice of the producer, as well as competition and trading potentials in the region and Europe [2].

Book 3 – *Elements for Electricity Trading* is a starting point for learning about the basics of trading in electricity. It includes a survey of responsibilities in market interactions, the roles of market participants, etc. The book contains examples and experiences from the Scandinavian energy market, and the specificities of Croatia and the region. The book further contains a survey of responsibilities of system operators, the principle of access to network and the tariff systems, an analysis of network capacity and load flows, market informations. It describes participants and their interests, price formation on the power exchange, the balancing market, congestion management, cross-border trading, transits through grids, trading on physical markets and bilateral agreements, trading on financial markets, on the power exchange, and the clearing process [3].

Book 4 – *Operation and Strategies for Different Participant Types* provides general knowledge about market processes, adaptable to a future electricity market structure in Croatia and other countries/regions. The book includes terminology (types of trading arrangements), bargaining conditions, strategic long-term, mid-term and short-term guidelines and planning, price forecasting, use of various trading products, bidding strategies (bilateral and on the power exchange), customer-oriented processes and economic obligations,

kratkoročne odrednice i planiranje, prognoziranje cijene, uporabu različitih trgovačkih proizvoda, ponudbene strategije (bilateralne i na burzi električne energije), procese prema kupcima i ekonomske obveze, obveze informiranja i aktivnosti glede proizvoda i usluga, te poslovne strukture za rad na tržištu [4].

Knjiga 5 – *Risk Management and Hedging* (Upravljanje rizicima i ograđivanje) govore o financijskim instrumentima i izvedenicama te rizicima vezanim uz njihovo korištenje. Također se identificiraju različite vrste rizika, odgovornosti u upravljanju rizicima, ograničenje rizika, strategije osiguranja od rizika i njihov razvoj, implementacija i praćenje, alatima i tehnikama za upravljanje rizikom, te analiziranju izvedbe ograđivanja od rizika (portfelj osiguranja od rizika). U knjizi su dani primjeri trgovanja i ograđivanja od rizika u realnom vremenu za sve proizvode na tržištu [5].

Knjiga 6 – *Models for Power System Planning* (Modeli planiranja elektroenergetskog sustava) – opisuju sadašnju hrvatsku i norvešku situaciju glede korištenih modela planiranja elektroenergetskog sustava. To uključuje kratkoročno, srednjoročno i dugoročno planiranje razvoja mreže; nacionalni, regionalni i europski kontekst planiranja, investiranje u proizvodnju, planiranje rezerve, sigurnost elektroenergetskog sustava, te reguliranje energetske tržišta. U knjizi je skandinavski pristup uspoređen s onim koji se trenutačno koristi u Hrvatskoj te je analizirano kako se takav pristup može usvojiti u uvjetima i okvirima koje nalazimo u Hrvatskoj i regiji [6].

4 MASI – SIMULATOR BURZE ELEKTRIČNE ENERGIJE

4.1 Simulator tržišta

Obuka u središtu sastoji se od dva dijela – predavanja i praktičnog rada na simulatoru tržišta električne energije. Praktični rad se provodi u računalnom laboratoriju TCET – Zavoda za visoki napon i energetiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva, uz potporu odgovarajuće programske potpore. Rad na simulatoru tržišta organiziran je kao igra u kojoj polaznici obuke u Središtu igraju uloge tržišnih sudionika, a nastavnik igra ulogu operatora tržišta. Polaznici se kroz različite scenarije pripremaju za nastup na tržištu električne energije.

Za potrebe TCET-a razvijen je jedinstveni programski alat – **MASI (Market Simulator)**. MASI je simulator tržišta za učenje osnova trgovanja na spot tržištu. Simulator također podržava bilateralno trgovanje (sva bilateralna trgovina

information obligations and activities in respect of products and services, and business structures for operation on the market [4].

Book 5 – *Risk Management and Hedging* discusses financial instruments and derivatives as well as risks associated with their use. The book also analyses various types of risk, risk management responsibilities, risk limitation, risk insurance strategies and their development, implementation and monitoring, risk management tools and techniques, risk insurance portfolio. The book contains examples of real-time trading and risk limitation for all products on the market [5].

Book 6 – *Models for Power System Planning* describes the present Croatian and Norwegian situation concerning the models of power system planning. This includes short-term, mid-term and long-term network development planning, national, regional and European planning context, investment in generation, reserve planning, security of electricity supply, energy market regulation. The book makes a comparison between the Scandinavian approach and the one currently practiced in Croatia and discusses how this approach may be applied to the conditions and frameworks in Croatia and the region [6].

4 MASI – ELECTRICITY MARKET SIMULATOR

4.1 Market simulator

Instruction at the Centre consists of two parts – lectures and practical work on the electricity market simulator. Practical work is done in the TCET Laboratory – of the High Voltage and Energy Institute of the Faculty of Electrical Engineering and Computing, with required program support. The work of the market simulator is organised as a game in which the trainees play the roles of market participants and the teacher plays the role of the Market Operator. Through various scenarios the trainees learn how to act on electricity markets.

For the needs of TCET a unique program tools has been developed – **MASI (Market Simulator)**. MASI is a market simulator designed for learning the basics of trading on a spot market. It also supports bilateral trading (complete bilateral trade between areas is included in market price calculation). MASI has been developed for TCET by Powel company on the basis of their program solutions used by Nord Pool participants. Two basic MASI components are bidding tool (*Bid* application, a Powel product) and electricity market price calculation tool (*SpotEx*

između područja uključuje se u izračun cijena na tržištu). MASI je za TCET razvilo poduzeće Powel na temelju svojih dosadašnjih programskih rješenja koja koriste sudionici Nord Pool-a. Dvije temeljne komponente MASI-a su alat za davanje ponuda (aplikacija *Bid*, proizvod tvrtke Powel) i alat za izračun cijena na burzi električne energije (aplikacija *SpotEx* razvijena u institutu SINTEF Energy Research) [7].

Aplikacija *Bid* se koristi za davanje ponuda na spot tržištu (opcionarno na tržištu pomoćnih usluga) i interakciju s ostalim programima. Komunikacija s računalnim sustavom operatora tržišta ostvaruje se putem standardiziranih poruka. Aplikacija *Bid* također omogućava obračun između operatora tržišta i tržišnih sudionika.

Aplikacija *SpotEx* izračunava tržišnu cijenu uzimajući u obzir tokove snaga u sustavu. Model se temelji na načelu podjele tržišta u cjenovna područja ili cjenovne zone (*market splitting*), koje se koriste u Nord Pool-u za trgovanje dan unaprijed na nordijskom tržištu, a prilagođen je značajkama zamkaste prijenosne mreže u središnjoj Europi. Cilj modela je pronaći rješenje, tj. izračunati cijene i razmjene između područja koje minimiziraju ukupne troškove rada sustava uz poštivanje ograničenja u mogućnosti prijenosa električne energije.

SpotEX izračunava tržišne cijene i istodobno upravlja zagušenjima u prijenosnom sustavu. Cilj je upravljanja zagušenjima minimiziranje ukupnih dodatnih troškova u radu sustava uzrokovanih ograničenjima u prijenosnoj mreži. Ovdje se kao kriterij koristi minimizacija tzv. socio-ekonomskog troška zagušenja. To je trošak koji nastaje kada se ne može postići jedinstvena tržišna cijena na razini sustava (*system price*) jer u prijenosnom sustavu nema dovoljno kapaciteta za razmjenu električne energije između područja. Tada se cijene u područjima (*area prices*) izračunavaju tako da se postigne najmanji trošak zagušenja s društvenog aspekta (*cost to society*). Na taj se način razlike između cijena po područjima smanjuju, poboljšava se uporaba prijenosnog sustava, a za tržišne sudionike smanjuje rizik povezan s cijenama u područjima.

MASI je nekomercijalni alat nastao na temelju Nord Pool-ovih tržišnih pravila, ali su obavljene potrebne prilagodbe vodeći računa o značajkama europske kontinentalne prijenosne mreže (znatno više zamkasta od skandinavske). Prva iskustva rada u MASI-u ukazuju da bi se daljnjim razvojem modela on mogao koristiti za simuliranje tržišnih uvjeta u kontinentalnoj Europi.

Za potrebe učenja i jednostavnijih analiza, unutar MASI-a je stvoren virtualni elektroenergetski sustav

application, developed at SINTEF Energy Research Institute) [7].

The *Bid* application is used for bidding on a spot market (optional use on an auxiliary services market) and interaction with other programs. Communication with the Market Operator's computer system is established via standardised messages. The *Bid* application also allows settlement between the Market Operator and the market participants.

The *SpotEx* application calculates the market price by taking load flows into account. The model is based on the principle of market splitting into price areas or price zones, which are used at Nord Pool for trading a day ahead on the Nordic market, and is adapted to the characteristics of the meshed transmission networks as used in Central Europe. The aim of the model is to find a solution, i.e., to calculate prices and exchanges between areas which minimise total operation costs of the system with observance of limitations in electricity transmission possibilities.

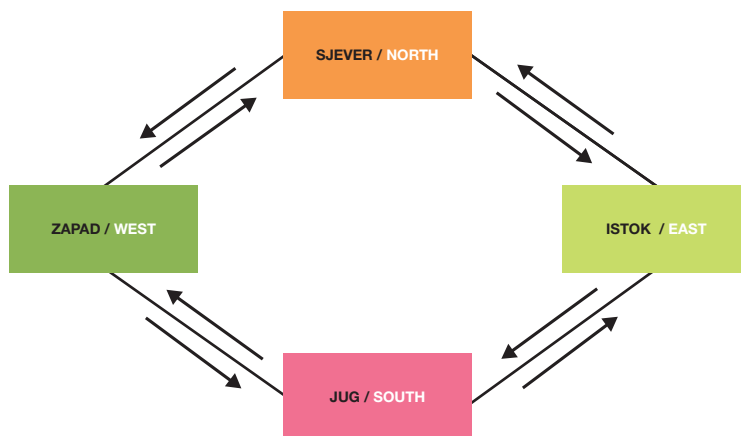
The *SpotEX* calculates market prices and at the same time manages congestions in the transmission system. The purpose of congestion management is to minimise total additional costs in the operation of the system caused by limitations in the transmission network. Used as a criterion here is the minimisation of the so-called socio-economic costs of congestion. This cost comes up when no uniform market price at system level (*system price*) can be achieved, because the system lacks capacity sufficient for energy exchange between areas. Then the area prices are so determined that minimum cost is caused to society. In this way the differences between area prices are brought down, the use of the transmission system is improved and for market participants the risk associated with area prices is reduced.

MASI's non-commercial tool stems from Nord Pool market rules, but required adjustments have been made, with account being taken of the characteristics of the European continental transmission network (meshed much more than the Scandinavian network). The first operational experiences with MASI suggest that after some more model development it may be used for the simulation of market conditions prevailing in continental Europe.

For the needs of teaching and easier analyses, a virtual electricity system has been created within MASI, divided into four areas: North – West – South – East. The areas are interconnected into a loop so that each area is connected with exactly two adjacent areas (Figure 1). The Market Operator

podijeljen u četiri područja: Sjever – Zapad – Jug – Istok. Područja su povezana u petlju tako da je svako područje povezano s točno dva susjedna (slika 1). Operator tržišta u MASI-u vodi spot burzu te prikuplja i šalje sve potrebne informacije. Operator tržišta također obavlja neizravnu dodjelu (*implicit allocation*) prekogranične prijenosne moći, pri čemu prihvaća ili odbija prekograničnu trgovinu, informira o raspoloživoj prekograničnoj moći te ujedno igra ulogu operatora prijenosnog sustava pružanjem informacija o zagušenjima u mreži.

in MASI runs the spot market and gathers and sends out all required informations. The Market Operator also performs implicit allocation of cross-border capacity, accepting or rejecting cross-border trade, informing about the available cross-border transmission possibilities and, at the same time, playing the role of a transmission system operator by providing information on network congestions.



Slika 1
Virtualni elektroenergetski sustav u MASI-u
Figure 1
Virtual electricity system in MASI

MASI trenutačno može koristiti najviše 16 polaznika raspoređenih u 8 grupa. Operator tržišta (nastavnik) prikuplja ponude tržišnih sudionika (polaznika), nadzire tržište, te izračunava tržišnu cijenu. Prvo se izračunava cijena na razini sustava (*system price*) uz pretpostavku da nema ograničenja u prijenosu električne energije između područja. Zatim se, izvođenjem proračuna optimalnih tokova snaga, izračunava tržišna cijena i razmjena uvažavajući postojeća ograničenja. Ako nema zagušenja između pojedinih područja, u svim područjima vrijedi ista cijena izračunata na razini sustava. U protivnom, dolazi do podjele sustava u područja s različitim cijenama po područjima (*area prices*).

At present MASI can be used by a maximum of 16 trainees assigned to 8 groups. The Market Operator (teacher) collects the bids of market participants (trainees), supervises the market and calculates the market price. First calculated is the system price, provided that there are no limitations in electricity transmission between areas. Then, by estimating optimum load flows, the market price and exchange is calculated with account being taken of the existing limitations. If there are no congestions between particular areas, the same calculated system price will apply to all areas. Otherwise the system will be divided into area prices.

Operator tržišta zapravo vodi simulaciju trgovanja na spot tržištu prema uspostavljenim pravilima igre. Minimalna vremenska razlučivost u ponudi je 1 sat, tj. tržišni sudionici daju ponude po satima (*hour bids*). Treba napomenuti kako zasad nisu dopuštene mješovite ponude. Drugim riječima, jedna ponuda mora biti ili kupovna ponuda (*buy bid*) ili prodajna ponuda (*sell bid*). Kupovne ponude moraju biti neovisne o cijeni (neelastične), a prodajne ponude moraju biti strogo padajuće (prodajne količine se unose s negativnim predznakom).

What the Market Operator is actually doing is a simulation of trading on a spot market according to established rules of the game. Minimum bid resolution time is 1 hour, i.e., market participants are making hour bids. It should be noted that at present no mixed bids are allowed. In other words, a bid must be either a buy bid or a sell bid. The buy bids must be independent of price (inelastic), whereas the sell bids must be strictly falling (sale quantities are entered with a negative sign).

Nakon izvršenog proračuna u svakom satu, Operator tržišta obavještava svakog tržišnog sudionika koliko je kupnju ili prodaju električne energije ugovorio posredstvom burze i po kojoj cijeni, sve iskazano po satima i područjima. Nakon prihvaćanja ugovorenih obveza, tržišni sudionik može analizirati svoje ponude, po satima i po područjima, kao i ukupno kupljenu i prodanu količinu energije, prihod, troškove i profit. Ovisno o tipu ponude, rezultati se posebno iskazuju za proizvođače, a posebno za opskrbljivače.

Proizvođači proizvedenu električnu energiju prodaju prema tržišnoj cijeni postignutoj na spot tržištu, dok ju opskrbljivači po toj cijeni kupuju. Električnu energiju kupljenu na burzi opskrbljivači prodaju dalje krajnjim potrošačima po cijenama ugovorenim između opskrbljivača i potrošača. Kako bi se izračunali troškovi proizvodnje, proizvođači moraju prilikom davanja ponude obvezno voditi računa kojim tipovima elektrana raspolažu i njihovim marginalnim troškovima proizvodnje te s kojim će elektranama proizvoditi energiju. Proizvodnja, kupnja, cijene, kao i analiza ostvarenih prihoda, troškova i profita pohranjuju se u posebnom izvješću. Strategije pojedinih trgovaca mogu se međusobno uspoređivati. Kako je potražnja za energijom (idealno) neelastična, najuspješniji tržišni sudionik je onaj koji je prodao više električne energije u satima kada je ona bila skuplja, a manje u satima kada je ona bila jeftinija.

4.2 Koraci u postupku trgovanja pomoću simulatora MASI

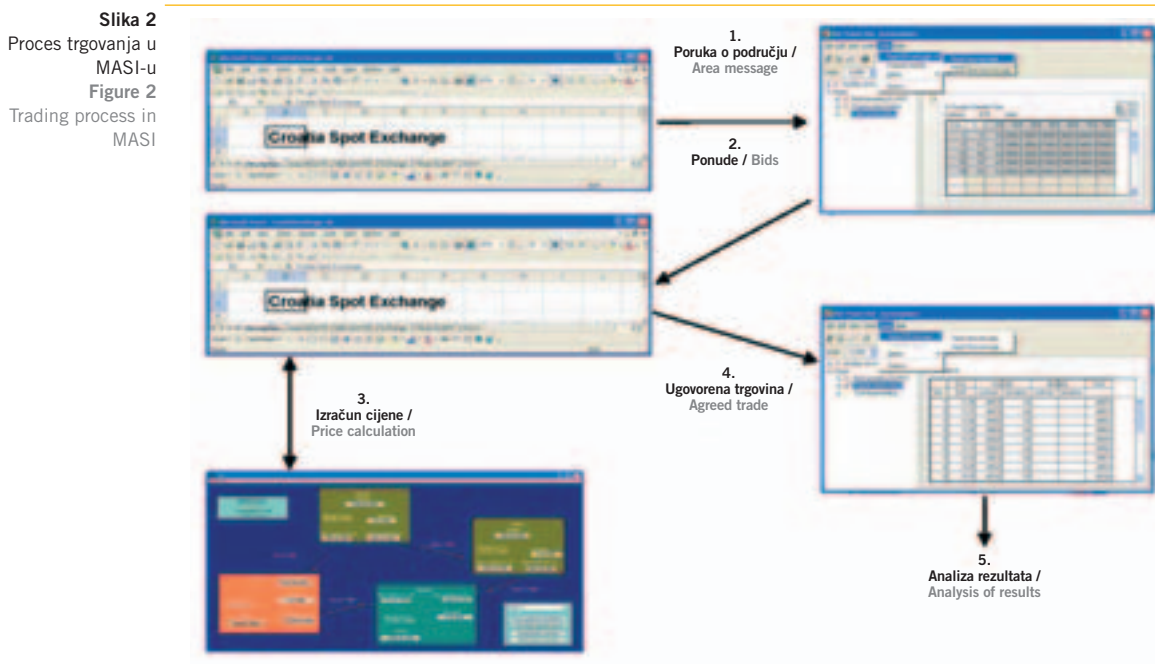
Postupak trgovanja pomoću simulatora MASI odvija se po fazama (slika 2).

Upon completed estimate in every hour, the Market Operator notifies every market participant how much buying or selling of electricity he has agreed via market and at what price, all stated by hours and areas. After accepting the contractual obligations, market participants can analyse their bids by hours and areas, as well as the total amount of bought and sold energy, proceeds, costs and profit. Depending on the type of bid, results are separately stated for producers and suppliers.

Producers are selling the produced electricity at the market price achieved on the spot market, whereas suppliers are buying it at that price. Electricity bought on the power exchange are resold by suppliers to end users at prices agreed between suppliers and end users. In order to work out production costs, in making their bids producers must take into account the types of power plants available to them and their marginal production costs, and with which power plants they will generate power. Production, purchase, prices and the analysis of earned income, costs and profits are saved in a separate report. The strategies of individual traders can be mutually compared. Since electricity demand (in an ideal case) is inelastic, the most successful market participant is the one who has sold more electricity in hours when its price was higher and less in hours when its price was lower.

4.2 Trading steps by means of Market Simulator (MASI)

Trading by means of Market Simulator (MASI) evolves by stages (Figure 2).



Koraci u postupku trgovanja pomoću simulatora MASI su:

1. korak – Operator tržišta šalje tržišnim sudionicima za sljedeći tjedan trgovanja poruku koja sadrži informacije o ponudbenim područjima (u kojim se područjima očekuju ponude tržišnog sudionika), najmanjoj i najvećoj cijeni, stanju EES-a i dr. (poruka *REQUOTE* ili *area message*).
2. korak – Tržišni sudionik pokreće aplikaciju *Bid*, prijavljuje se (odabire svoje ime u listi sudionika i datum za koji će obaviti trgovanje) te učitava poruku o područjima.
3. korak – Tržišni sudionik unosi svoju ponudu (slika 3), pohranjuje ju i šalje Operatoru tržišta (poruka *QUOTES*). Sve prekogranične trgovine između područja ugovorene bilateralno između tržišnih sudionika moraju se prijaviti operatoru tržišta. U području iz kojeg se energija prodaje takva se trgovina dodaje kao o cijeni neovisna prodajna ponuda, dok se u području u kojem se energija kupuje takva trgovina dodaje kao o cijeni neovisna kupovna ponuda.
4. korak – Operator tržišta prima ponude (učitava poruku *QUOTES*) i šalje informaciju tržišnom sudioniku o zaprimljenoj ponudi (poruka *APERAK*).
5. korak – Tržišni sudionik učitava svoju *APERAK* poruku. Ako je u njegovoj ponudi bilo pogrešaka, tržišni sudionik ponovno izrađuje ponudu i šalje ju operatoru tržišta (ponavljanje 3. koraka).
6. korak – Operator tržišta prima sve nove ponude (ako su ih tržišni sudionici poslali).
7. korak – Operator tržišta zbraja ponude, najprije po svim područjima pojedinačno, a zatim za čitav sustav te izračunava cijene u svakom satu. U *SpotEx* sučelju (slika 4) Operator tržišta dobiva informaciju o cijeni na razini sustava (*system price*) i cijenama u pojedinim područjima ako je zbog zagušenja došlo do razdvajanja u cjenovna područja.
8. korak – Operator tržišta šalje tržišnim sudionicima informacije o obvezama ugovorenim posredstvom burze i cijenama (poruka *SLSRPT price message*).

Trading steps by means of Market Simulator (MASI) are:

- Step 1 – The Market Operator sends to market participants a message for the next trading week which contains information on bid areas (where bids from market participants are expected), the lowest and the highest price, the state of EES, etc. (*REQUOTE message* or *area message*).
- Step 2 – A market participant starts the *Bid* application, logs on (selects his name on the list of participants and the date for which he will do the trading) and downloads the area message.
- Step 3 – The market participant enters his bid (Figure 3), saves it and sends it to the Market Operator (*QUOTES message*). Any cross-border trade between areas bilaterally agreed between market participants must be reported to the Market Operator. In the area from which energy is sold such trade is added as a price-independent sell bid, whereas in the area in which energy is bought such trade is added as a price-independent buy bid.
- Step 4 – The Market Operator receives the bids (downloads *QUOTES message*) and sends information to the market participant on a received bid (*APERAK message*).
- Step 5 – The market participant downloads his *APERAK message*. If his bid contained errors, the market participant will prepare the bid again and send it to the Market Operator (Step 3 repeated).
- Step 6 – The Market Operator receives all new bids (if sent by market participants).
- Step 7 – The Market Operator adds the bids, first by all areas individually, then for the whole system, and calculates the prices in every hour. In the *SpotEx* interface (Figure 4) the Market Operator gets information on the system price, and on area prices if, due to congestions, it came to splitting into price zones.
- Step 8 – The Market Operator sends to market participants information on obligations agreed on the power exchange and on prices (*SLSRPT message* or *price message*).

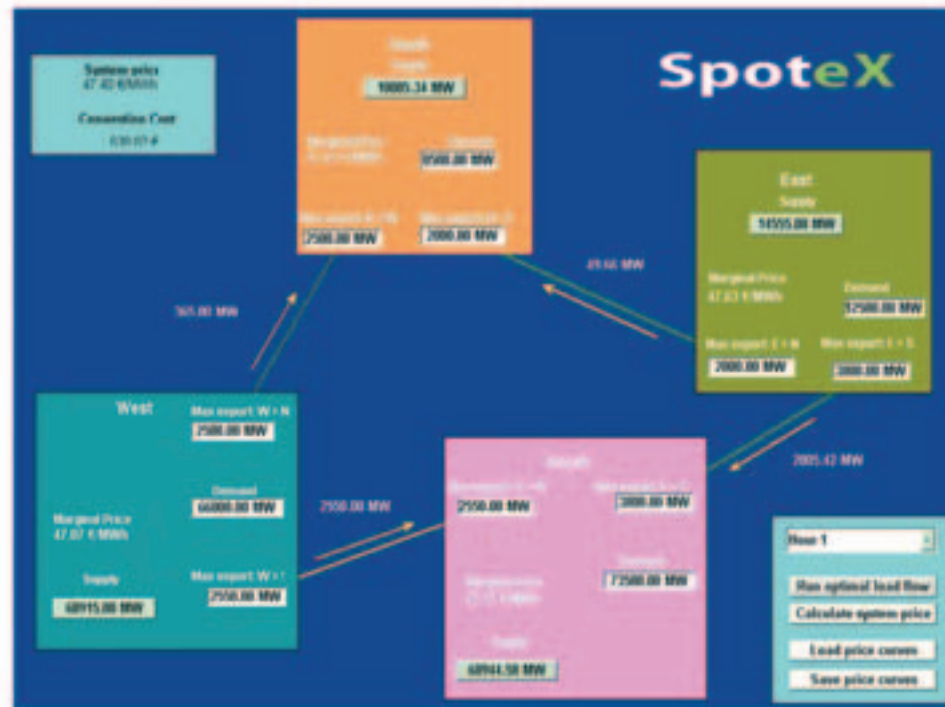
9. korak – Tržišni sudionik učitava svoju poruku s cijenama (*price message*), pregledava i prihvaća ugovorene obveze. Prihvaćanjem ugovorenih obveza vrijednosti iz ugovora postaju raspoložive za daljnje analize i postupke (npr. planiranje rasporeda proizvodnje po proizvodnim objektima i jedinicama).

Step 9 – The market participant downloads his price message, reviews and accepts the agreed obligations. Once the agreed obligations have been accepted, the contract values become available for further analyses and procedures (e.g., planning of production timetable by production facilities and units).

Slika 3
Primjer prodajne ponude
Figure 3
Example of sell bid

From	To	0,0	10,0	20,0	30,0	50,0	70,0	100,0
1	6	0,0	-4500,0	-6000,0	14000,0	14600,0	14600,0	14600,0
7	11	0,0	-3000,0	-4500,0	11000,0	13000,0	14000,0	15000,0
12	14	0,0	-4500,0	-6000,0	14000,0	14600,0	14600,0	14600,0
15	18	0,0	-3000,0	-4500,0	11000,0	13000,0	14000,0	15000,0
19	24	0,0	-4500,0	-6000,0	14000,0	14600,0	14600,0	14600,0

Slika 4
Sučelje u SpotEx-u
Figure 4
SpotEx interface

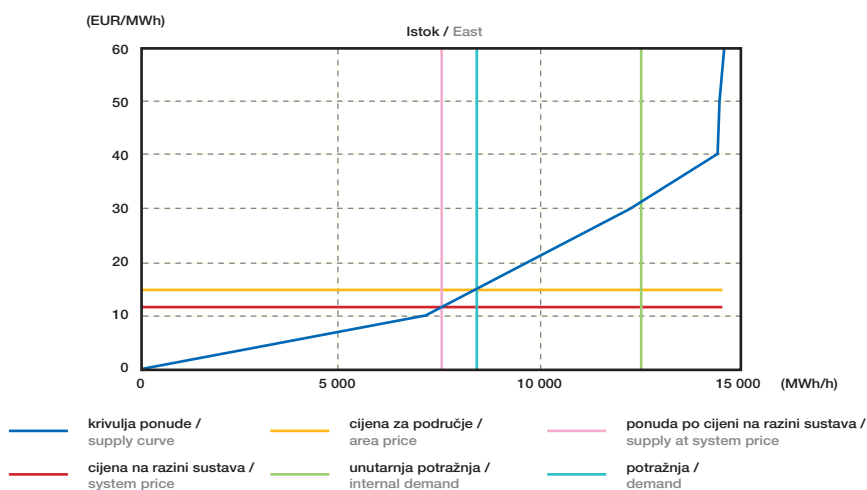


Nakon završenog trgovanja sudionici analiziraju rezultate svoje trgovine i nastupa na spot tržištu pomoću posebno pripremljenog izvješća.

Rezultati izračuna grafički se prikazuju u sučelju aplikacije *SpotEx* (slika 4). Treba napomenuti da nastavnik ovdje može mijenjati prijenosnu moć između područja i tako simulirati primjere s različitim iznosima prijenosnih moći. Također je moguće predočiti krivulje ponude, potražnje i cijena (slika 5) te uz pomoć grafičkog prikaza analizirati što se na tržištu dogodilo.

After completed trading, the participants analyse the results of their trading and action on the spot market by means of a separately prepared report.

Calculation results are graphically represented in the *SpotEx* application interface (Figure 4). It should be noted that here the teacher may change transmission capacity between areas and thus simulate examples with different transmission capacity values. It is also possible to create bid, demand and price curves (Figure 5) and by means of such graphic representation analyse what has actually happened on the market.



Slika 5
Krivulje ponude, potražnje i cijena za jedno područje
Figure 5
Bid, demand and area price curves

4.3 MASI – primjer trgovanja

Cilj je praktičnog dijela obuke da se polaznici radionice kroz igru samostalno uče osnovama trgovanja na spot tržištu. Nastavnik zadaje primjere s određenim pretpostavkama, postavlja pravila igre i nadgleda kako se cijeli postupak odvija, ali bez uplitanja u ponudbene strategije sudionika. Kroz nekoliko različitih primjera nastoji se polaznike postaviti u različite situacije, kao što su pojava zagušenja, neraspoloživost određenog tipa proizvodnih objekata (npr. hidroelektrana), kombinacija bilateralne i spot trgovine, raznovrsni portfelj proizvodnih jedinica i sl. Složenost i zahtjevnost primjera postupno se povećava od početka prema kraju radionice. Posljednjeg dana sudionici se natječu rješavajući završni zadatak, nakon čega se proglašava najuspješniji sudionik.

U nastavku je prikazan jedan jednostavan primjer trgovanja. Tržišni sudionici raspodijeljeni su tako da su u nekim područjima proizvođači, a u drugima opskrbljivači (tablica 2). Proizvođači su ponuđači, a opskrbljivači su kupci energije na burzi.

4.3 MASI – trading example

The purpose of the practical part of instruction is that by playing games the trainees learn the basic rules of trading on a spot market. The teacher gives examples with certain assumptions, defines the rules of the game and oversees the whole procedure, but without interfering in the trainees' bid strategies. Through several different examples the trainees are placed in different situations, such as congestion, lack of a certain type of power generation facilities (e.g., hydroelectric power plants), a combination of bilateral and spot trading, a diverse portfolio of production units, etc. Examples are becoming increasingly complex and demanding from the beginning to the end of the workshop. On the last day the trainees compete in solving the final task, after which the most successful participant is proclaimed.

Described next is a simple example of trading. Market participants are so grouped that in some areas are producers and suppliers in others (Table 2). Producers are bidders, suppliers are energy buyers on the power exchange.

Tržišni sudionik / Market participant	Područje / Area			
	Jug / South	Istok / East	Sjever / North	Zapad / West
Sudionik A / Participant A	P	P	O	O
Sudionik B / Participant B	P	P	O	O
Sudionik C / Participant C	P	O	P	O
Sudionik D / Participant D	P	O	P	O
Sudionik E / Participant E	O	P	O	P
Sudionik F / Participant F	O	P	O	P
Sudionik G / Participant G	O	O	P	P
Sudionik H / Participant H	O	O	P	P

P – proizvođač / producer, O – opskrbljivač / supplier

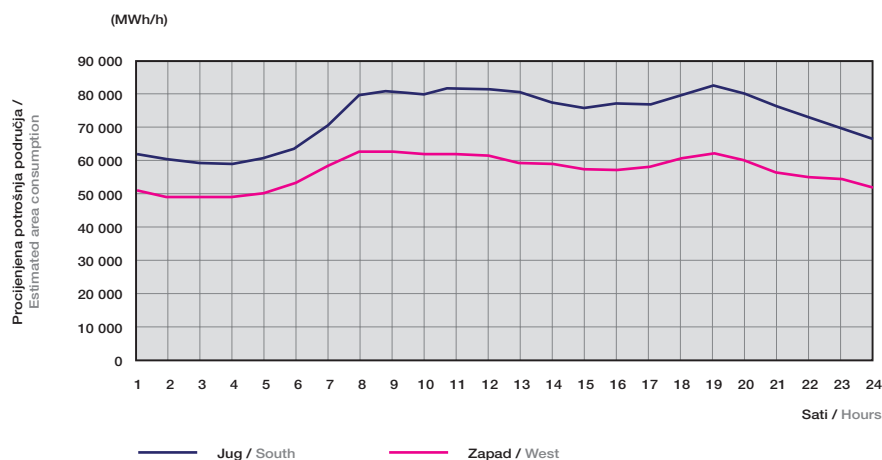
Procijenjena ukupna potrošnja električne energije po područjima unaprijed je zadana i poznata svim sudionicima (slika 6). Svaki sudionik osim toga zna koliki je njegov udio u opskrbi potrošnje, ali pri tome ne zna koliki je pojedinačni udio ostalih sudionika.

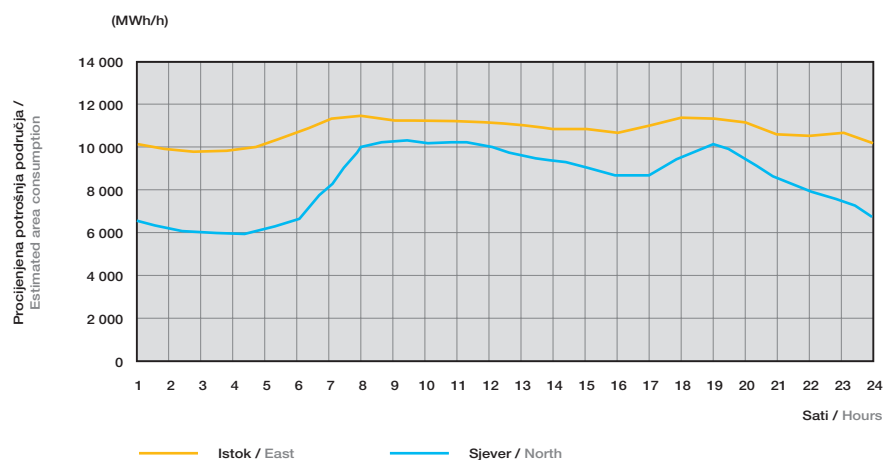
U ovom su primjeru svi sudionici stavljeni u približno iste uvjete čime se htjelo simulirati približno idealnu tržišnu igru. Stoga su i procijenjena potrošnja i instalirani proizvodni kapaciteti raspodijeljeni na sve sudionike podjednako (tablica 3). Sudionici međusobno znaju s koliko ukupno instalirane snage svaki od njih raspolaže, jer su takve informacije i u stvarnosti redovito dostupne.

The estimated total electricity consumption by areas is given beforehand and known to all participants (Figure 6). In addition, each participant knows how much his share is, but does not know the share of other participants individually.

In this example all participants are placed in approximately the same conditions, which is intended to simulate a near-ideal market game. That is why both the estimated consumption and the installed production capacities are evenly divided among all participants (Table 3). Participants mutually know how much total installed power is available to each of them, because such information is accessible in reality as well.

Slika 6
Potrošnja
električne energije
po područjima
Figure 6
Electricity
consumption by
areas





Tablica 3 – Instalirani proizvodni kapacitet (MW) i udio u opskrbi (%) pojedinog tržišnog sudionika po područjima
 Table 3 – Installed production capacity (MW) and share in supply (%) of a single market participant by areas

Tržišni sudionik / Market participant	Područje / Area			
	Jug / South	Istok / East	Sjever / North	Zapad / West
Sudionik A / Participant A	18 000 MW	15 000 MW	25%	25%
Sudionik B / Participant B	17 000 MW	15 000 MW	25%	25%
Sudionik C / Participant C	19 000 MW	25%	16 000 MW	25%
Sudionik D / Participant D	14 000 MW	25%	18 000 MW	25%
Sudionik E / Participant E	25%	19 000 MW	25%	16 000 MW
Sudionik F / Participant F	25%	14 000 MW	25%	18 000 MW
Sudionik G / Participant G	25%	25%	15 000 MW	18 000 MW
Sudionik H / Participant H	25%	25%	16 000 MW	16 000 MW

Radi jednostavnosti u ovom se primjeru nije razlikovao tip elektrana kojima se raspolaže te je pretpostavljena prosječna vrijednost marginalnog troška proizvodnje 30 EUR/MWh. U ostalim se naprednijim primjerima vrijednost marginalnog troška proizvodnje razlikuje ovisno o tipu elektrane. Na primjer najprije se za hidroelektrane pretpostavi marginalni trošak proizvodnje 20 EUR/MWh a za termoelektrane marginalni trošak proizvodnje 35 EUR/MWh. Potom se u sljedećem primjeru za termoelektrane marginalni troškovi razlikuju ovisno po tipu goriva, npr.: nuklearna elektrana – marginalni trošak proizvodnje 30 EUR/MWh, termoelektrana na ugljen – marginalni trošak proizvodnje 40 EUR/MWh, termoelektrana na plin – marginalni trošak proizvodnje 50 EUR/MWh i termoelektrana na mazut – marginalni trošak proizvodnje 60 EUR/MWh. Pritom je korišteno još jedno pojednostavljenje – marginalni trošak proizvodnje određenog tipa elektrane je isti u svim satima.

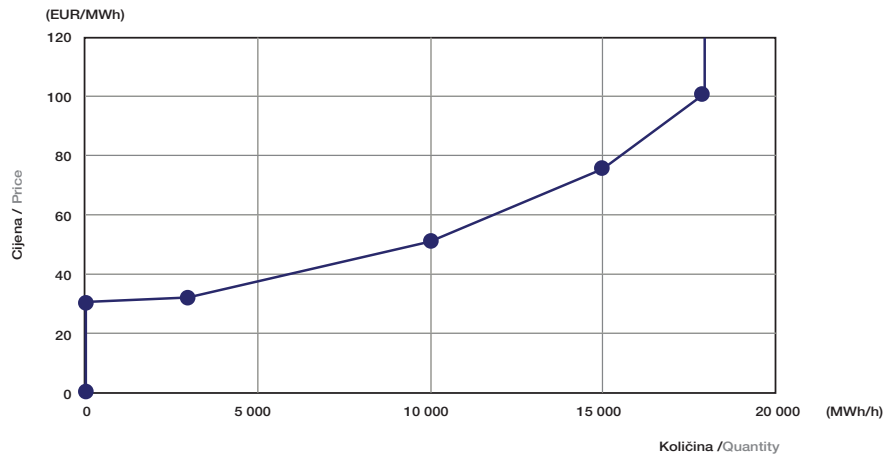
For the sake of simplicity, in this example no distinction is made between the type of available power plants, and the average marginal production cost is assumed to be 30 EUR/MWh. In other more advanced examples the amount of the average marginal production cost varies in dependence on the type of power plant. For example, for a hydroelectric power plant it is first assumed that the marginal production cost amounts to 20 EUR/MWh, for a thermoelectric power plant 35 EUR/MWh. Then in the next example for thermoelectric power plants the marginal costs differ in dependence on the type of fuel, e.g., nuclear power plant – marginal production cost 30 EUR/MWh, coal-fired thermoelectric power plant – marginal production cost 40 EUR/MWh, gas-fired thermoelectric power plant – marginal production cost 50 EUR/MWh, and oil-fired thermoelectric power plant – marginal production cost 60 EUR/MWh. Another simplification here is that the marginal production cost of a certain type of power plant is the same in all hours.

Vodeći računa o zadanim parametrima, tržišni sudionici definiraju strategiju nastupa na tržištu i daju svoje ponude. Pritom svaki tržišni sudionik nastoji procijeniti što će ostali takmaci poduzeti, jer je tržišna cijena na kraju rezultat interakcije svih tržišnih sudionika. Primjer jedne ponude prikazan je slikom 7.

Taking into account the given parameters, the market participants are defining their market strategy and make their bids. Each market participant is trying to guess what other competitors will do, because in the end the market price is a result of interaction among all market participants. The example of a bid is shown in Figure 7.

Slika 7

Primjer ponude sudionika A za područje Jug u prvom satu
Figure 7
Example of a sell bid by Participant A for area South in the first hour



Nakon završenog trgovanja i prihvaćanja ugovornih obveza priprema se izvješće o trgovanju s izračunom ostvarenog profita. Da bi se izračunali troškovi proizvodnje, proizvođači u izvješće unose plan proizvodnje po elektranama. Pritom se, radi jednostavnosti, pretpostavlja da se proizvodni kapaciteti koriste po rastućem nizu marginalnih troškova proizvodnje (prvo se koriste oni s najmanjim marginalnim troškovima proizvodnje, a kada se oni iskoriste dalje se koriste kapaciteti s većim marginalnim troškovima proizvodnje i tako redom do najskupljih). Tablice 4, 5, 6, 7 i 8 prikazuju pojedine dijelove izvješća o trgovanju.

After completion of trading and acceptance of contractual obligations, a trading report is prepared with a calculation of profits earned. In order to calculate the production costs, producers incorporate into the report a production plan by power plants. For the sake of simplicity it is assumed that production capacities are used in a rising order of marginal production costs (first used are those with the lowest marginal production costs, and then, when these are used up, capacities with higher marginal production costs are used next, and so forth in this order up to the most expensive ones). The parts of the trading report are shown in Tables 4, 5, 6, 7 and 8.

Tablica 4 – Kupnja i prodaja električne energije ugovorena na burzi za sudionika A
 Table 4 – Purchase and sale of electricity agreed on the power exchange for Participant A

Sat / Hour	Ukupna kupnja / Total buy (MWh)	Ukupna prodaja / Total sell (MWh)	Kupnja po područjima / Buy by areas (MWh)		Prodaja po područjima / Sell by areas (MWh)	
			Sjever / North	Žapad / West	Jug / South	Istok / East
1	5 363,60	10 000,00	1 798,10	3 565,50	5 000,00	5 000,00
2	5 166,90	10 000,00	1 688,20	3 478,70	5 000,00	5 000,00
3	5 069,30	10 000,00	1 629,40	3 439,90	5 000,00	5 000,00
4	5 066,40	10 000,00	1 619,60	3 446,80	5 000,00	5 000,00
5	5 186,70	10 000,00	1 658,80	3 527,90	5 000,00	5 000,00
6	5 587,80	10 000,00	1 847,80	3 740,00	5 000,00	5 000,00
7	6 458,50	10 000,00	2 360,20	4 098,30	5 000,00	5 000,00
8	7 415,50	27 752,50	3 004,20	4 411,30	22 752,50	5 000,00
9	7 505,10	27 617,50	3 116,90	4 388,20	22 617,50	5 000,00
10	7 447,20	27 327,50	3 086,10	4 361,10	22 327,50	5 000,00
11	7 442,30	27 825,00	3 088,90	4 353,40	22 825,00	5 000,00
12	7 324,50	27 940,00	3 016,10	4 308,40	22 940,00	5 000,00
13	7 095,80	27 412,50	2 876,80	4 219,00	22 412,50	5 000,00
14	6 932,60	26 360,00	2 788,60	4 144,00	21 360,00	5 000,00
15	6 768,00	25 885,00	2 674,50	4 093,50	20 885,00	5 000,00
16	6 615,60	26 115,00	2 571,60	4 044,00	21 115,00	5 000,00
17	6 654,10	26 172,50	2 558,30	4 095,80	21 172,50	5 000,00
18	7 141,00	27 417,50	2 839,00	4 302,00	22 417,50	5 000,00
19	7 420,60	28 197,50	3 048,30	4 372,30	23 197,50	5 000,00
20	7 040,60	27 455,00	2 807,50	4 233,10	22 455,00	5 000,00
21	6 473,30	25 815,00	2 497,40	3 975,90	20 815,00	5 000,00
22	6 197,30	25 122,50	2 312,60	3 884,70	20 122,50	5 000,00
23	5 960,30	16 345,00	2 111,00	3 849,30	11 345,00	5 000,00
24	5 563,30	15 560,00	1 916,40	3 646,90	10 560,00	5 000,00

Tablica 5 – Tržišne cijene izračunate u aplikaciji *SpotEx*
 Table 5 – Market prices calculated in the *SpotEx* application

Sat / Hour	Zajednička cijena u sustavu / System price (EUR/MWh)	Cijene po područjima / Area prices (EUR/MWh)			
		Jug / South	Istok / East	Sjever / North	Zapad / West
1	57,11	53,56	54,61	56,72	60,79
2	55,58	51,77	52,90	55,14	59,48
3	54,83	50,81	51,99	54,35	58,91
4	54,83	50,69	51,90	54,33	59,02
5	56,45	51,85	53,25	56,04	61,43
6	59,04	53,75	55,38	58,64	64,92
7	63,60	61,47	62,14	63,46	66,02
8	69,53	61,01	62,28	74,15	79,05
9	69,17	60,47	59,30	82,86	78,34
10	68,61	59,31	57,92	83,15	77,80
11	68,61	61,30	59,39	83,97	76,59
12	68,40	61,76	60,22	81,85	75,90
13	67,08	59,65	59,50	75,04	74,47
14	65,18	55,44	56,71	68,33	73,21
15	63,91	53,54	55,42	65,07	72,35
16	63,75	54,46	56,69	62,83	71,42
17	65,13	54,69	57,47	63,04	73,78
18	68,26	59,67	61,61	69,68	77,16
19	69,20	62,79	61,70	81,24	77,04
20	63,10	59,82	59,02	67,76	64,66
21	59,33	53,26	55,03	58,56	65,38
22	57,45	50,49	52,51	56,54	64,32
23	59,57	55,38	56,60	59,04	63,76
24	56,50	52,24	53,49	56,00	60,83

Pri računanju profita koriste se izrazi od (1) do (7):

In profit calculation, expressions (1) to (7) are used:

$$\text{Prihod proizvodnje/Production income} = \text{Prodaja u području/Area sale} \times \text{Cijena u području/Area price}, \quad (1)$$

$$\text{Troškovi proizvodnje/Production costs} = \text{Marginalni troškovi proizvodnje/Marginal production costs} \times \text{Prodaja u području/Area sale} \quad (2)$$

$$\text{Profit proizvodnje/Production profit} = \text{Prihod proizvodnje/Production income} - \text{Troškovi proizvodnje/Production costs}, \quad (3)$$

$$\text{Prihod opskrbe/Supply income} = \text{Prodaja krajnjim potrošačima u području/} \\ \text{Resale to end users in the area} \times \text{Cijena} \quad (4) \\ \text{ugovorena s krajnjim potrošačima/Price} \\ \text{agreed with end users,}$$

$$\text{Troškovi opskrbe/Supply costs} = \text{Kupnja u području/Bought in area} \times \quad (5) \\ \text{Cijena u području/Area price,}$$

$$\text{Profit opskrbe/Supply profit} = \text{Prihod opskrbe/Supply income} - \quad (6) \\ \text{Troškovi opskrbe/Supply costs,}$$

$$\text{Ukupni profit/Total profit} = \text{Profit proizvodnje/Production profit} + \quad (7) \\ \text{Profit opskrbe/Supply profit,}$$

gdje je:

where:

Prihod proizvodnje – prihod ostvaren prodajom energije na burzi (proizvodnja je jednaka prodanoj količini energije ugovorenoj na burzi),
Prihod opskrbe – prihod ostvaren prodajom energije, koja je kupljena na burzi, krajnjim potrošačima.

Production income – income earned by selling energy on the power exchange (production equals the sold quantity of energy agreed on the power exchange),
Supply income – income earned by reselling energy bought on the power exchange to end users.

Radi jednostavnosti pretpostavlja se da je jednaka cijena ugovorena sa svim krajnjim potrošačima unutar jednog područja te da je ista u svim satima (tablica 6).

For the sake of simplicity it is assumed that the same price has been agreed with all end users within an area and that it is the same in all hours (Table 6).

Tablica 6 – Cijena ugovorena s krajnjim potrošačima
 Table 6 – Price agreed with end users

Cijena za krajnje potrošače / Price for end users (EUR/MWh)			
Jug / South	Istok / East	Sjever / North	Zapad / West
70	75	70	60

Tablica 7 – Profit sudionika A
Table 7 – Profit earned by Participant A

Sat / Hour	Ukupni profit = Profit proizvodnje + Profit opskrbe / Total profit = Production profit + Supply profit (EUR)				
	Jug / South	Istok / East	Sjever / North	Zapad / West	Ukupno / Total
1	267 800	273 050	23 879	-2 817	561 912
2	258 850	264 500	25 087	1 809	550 246
3	254 050	259 950	25 500	3 749	543 250
4	253 450	259 500	25 379	3 378	541 707
5	259 250	266 250	23 157	-5 045	543 612
6	268 750	276 900	20 991	-18 401	548 240
7	307 350	310 700	15 436	-24 672	608 814
8	1 388 130	311 400	-12 467	-84 035	1 603 027
9	1 367 680	296 500	-40 083	-80 480	1 543 617
10	1 324 244	289 600	-40 582	-77 628	1 495 634
11	1 399 173	296 950	-43 152	-72 223	1 580 748
12	1 416 774	301 100	-35 741	-68 504	1 613 630
13	1 336 906	297 500	-14 499	-61 049	1 558 858
14	1 184 198	283 550	4 657	-54 742	1 417 663
15	1 118 183	277 100	13 185	-50 555	1 357 913
16	1 149 923	283 450	18 438	-46 182	1 405 629
17	1 157 924	287 350	17 806	-56 440	1 406 640
18	1 337 652	308 050	908	-73 822	1 572 788
19	1 456 571	308 500	-34 263	-74 504	1 656 304
20	1 343 258	295 100	6 289	-19 726	1 624 921
21	1 108 607	275 150	28 570	-21 390	1 390 937
22	1 015 985	262 550	31 128	-16 782	1 292 881
23	628 286	283 000	23 137	-14 473	919 949
24	551 654	267 450	26 830	-3 027	842 907
	22 154 649	6 835 150	109 588	-917 560	28 181 827

U tablici 7 može se uočiti da je sudionik A u području Sjever kao opskrbljivač ukupno ostvario dobit, iako je u nekim satima tržišna cijena po kojoj je kupio energiju na burzi bila veća od cijene po kojoj je tu energiju prodavao krajnjim potrošačima. U području Zapad polučio je znatno nepovoljniji rezultat, budući je u gotovo svim satima tržišna cijena energije bila veća od one po kojoj je energiju prodavao. No, zahvaljujući dobrim rezultatima prodaje električne energije na burzi u ostala dva područja, u konačnici je ostvario pozitivan rezultat.

Kao što je već rečeno, strategije pojedinih sudionika mogu se međusobno uspoređivati, pri čemu se primjenjuje sljedeće načelo:

As shown in Table 7, Participant A in area North has made a profit as a supplier, although in some hours the market price at which he bought energy on the power exchange was higher than the price at which he then resold that energy to end users. In area West he scored a much poorer result, because in almost all hours the market price of energy was higher than the resale price. However, owing to good results in selling electricity on the power exchange in the other two areas, in the end he has achieved a positive result.

As already said, the strategies of individual participants can be mutually compared, where the following principle is applied:

Budući da je potrošnja (idealno) neelastična, najuspješniji je onaj sudionik koji je prodao više električne energije u satima kada je ona bila skuplja, a manje u satima kada je ona bila jeftinija.

Since consumption is (in an ideal case) inelastic, the most successful participant is the one who has sold more electricity in the hours when it was more expensive and less electricity in the hours when it was cheaper.

Indeks uspješnosti izračunava se izrazima (8), (9) i (10), a pokazuje koliko će više biti plaćeno proizvođaču za njegovu proizvodnju u usporedbi s prosječnom tržišnom cijenom. Drugim riječima, što je indeks veći, to je tržišni sudionik uspješniji. Tablicom 8 prikazani su rezultati za jednog sudionika.

The success index is obtained by means of expressions (8), (9) and (10), and it indicates how much more it will be paid to the producer for production compared with the average market price. In other words, the higher the index, the more successful is the market participant. Results for a single participant are shown in Table 8.

Prosječna proizvodna cijena sudionika:

Average production price of a participant:

$$APP = \frac{\sum_{i=1}^{24} (Energija_i / Energy_i \times Spot\ cijena\ u\ području_i / Spot\ area\ price_i)}{\sum_{i=1}^{24} Energija_i / Energy_i} \quad (8)$$

Prosječna tržišna cijena u području:

Average market area price:

$$AASP = \sum_{i=1}^{24} (Tržišna\ cijena\ u\ području_i / Market\ area\ price_i) / 24, \quad (9)$$

$$Indeks\ uspješnosti / Success\ index = APP / AASP. \quad (10)$$

Tablica 8 – Primjer indeksa uspješnosti za sudionika A
Table 8 – Example of the success index for Participant A

Područje / Area	Prosječna proizvodna cijena – APP / Average production price – APP (EUR/MWh)	Prosječna tržišna cijena – AASP / Average market price – AASP (EUR/MWh)	Indeks uspješnosti = APP / AASP / Success index = APP / AASP
Jug / South	57,35	56,22	1,020
Istok / East	56,96	56,96	1,000
Sjever / North	NA	66,16	NA
Zapad / West	NA	69,03	NA

NA – pojavljuje se kada sudionik nije proizvođač u području / occurs when the participant is not the area producer

5 ZAKLJUČNO

Reforme energetskeg sektora, otvaranje tržišta, europske integracije i nove poslovne mogućnosti nametnule su potrebu prenošenja znanja i vještina svim sudionicima s novim ulogama i odgovornostima u energetskeg sektoru. TCET nije uspostavljen samo zbog obrazovanja i podizanja razine znanja, nego i zbog promicanja novih modela poslovanja te razigravanja i jačanja budućih tržišnih aktivnosti. Orijentiranost programa obuke, posebice njegovog praktičnog dijela, ka trgovanju na burzi električne energije dobiva još više na značenju uzmu li se u obzir nastojanja da se u jugoistočnoj Europi uspostavi regionalno tržište energije s jednom zajedničkom regionalnom burzom. TCET je namijenjen različitim tržišnim sudionicima koji će nastupati na hrvatskom i regionalnom/europskom energetskeg tržištu.

Predviđeno je održavanje radionice nekoliko puta godišnje prema pokazanom zanimanju i specifičnim potrebama polaznika. Više informacija o TCET-u moguće je pronaći na internetskoj adresi www.tcet.info. Treba naglasiti kako je na internetskim stranicama TCET-a moguće pogledati sadržaje pojedinih udžbenika, te je na raspolaganju dio prvog udžbenika koji se bavi europskim zakonodavstvom u energetskeg sektoru.

5 CONCLUSION

Energy sector reforms, market opening, European integration processes and new business opportunities have all created a need for knowledge and skills to be acquired by and imparted to all participants with new roles and responsibilities in the energy sector. TCET has been established not only to provide training and raise the level of knowledge, but also to promote new models of doing business and give a boost to future market activities. The focus of the curriculum, especially its practical part, on trading on the power exchange gains even more in significance in the light of the current efforts to establish a regional energy market in South East Europe with a common regional power exchange. TCET is intended for various market participants who will act on the Croatian and regional/European energy market.

It is planned to conduct workshops several times a year in dependence on shown interest and the specific needs of potential trainees. More information about TCET can be found on the Internet at www.tcet.info. It should be noted that the contents of textbooks can be viewed on the TCET's websites and that a part of the first textbook is available which deals with the European energy legislation.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KRAJCAR, S., et al., Training Centre for Energy Trading – Executive Summaries, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Power system Department, Croatia, 2006
- [2] KRAJCAR, S., et al., An Analysis of the Croatian/South East European Situation Regarding the Free Energy Market Implementation, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Power system Department, Croatia, 2006
- [3] KRAJCAR, S., et al., Elements for Electricity Trading, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Power system Department, Croatia, 2006
- [4] KRAJCAR, S., et al., Operations and Strategies for Different Participant Types, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Power system Department, Croatia, 2006
- [5] KRAJCAR, S., et al., Risk Management and Hedging, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Power system Department, Croatia, 2006
- [6] KRAJCAR, S., et al., Models of Power System Planning, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Power system Department, Croatia, 2006
- [7] Powel: Documentation for Power Market Simulator MASI, Trondheim, Norway, 2006

Uredništvo primilo rukopis:
2007-02-03

Manuscript received on:
2007-02-03

Prihvaćeno:
2007-02-09

Accepted on:
2007-02-09

PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA PRAVILNIKA O ZAŠTITI OD ELEKTROMAGNETSKIH POLJA PROPOSAL FOR REVISING THE CROATIAN REGULATIONS ON PROTECTION FROM ELECTROMAGNETIC FIELDS

Egon Mileusnić, dipl. ing.,
Vincenta iz Kastva 2, 10000 Zagreb, Hrvatska

Hrvatski Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja u nekim svojim dijelovima, propisuje znatno strože zahtjeve od Smjernica ICNIRP, Preporuke Europske unije 1999/519/EC i Direktive Europske unije 2004/40/EC. Iznose se načelne zamjerke na Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja i daje se usporedba s istovrsnim aktima drugih država. Razmatra se pitanje jesu li neki zahtjevi Pravilnika pretjerano strogi. Provedenim proračunima pokazano je da su granične vrijednosti jakosti električnog polja za područje povećane osjetljivosti i područje profesionalne izloženosti određene prenisko i predlaže se preuzimanje vrijednosti utvrđenih Preporukom i Direktivom Europske unije. U članku se ne negiraju stanovite mjere opreza, niti načelo opreznosti, već se ukazuje na određenu nedovoljno objašnjenu strogost u normiranju. Daje se prijedlog za izmjene i dopune postojećeg Pravilnika.

Some parts of the Croatian Regulations on Protection from Electromagnetic Fields are considerably more restrictive than the Guidelines of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Recommendation 1999/519/EC of the Council of the European Union and Directive 2004/40/EC of the European Parliament and Council. A general critique of the Croatian Regulations on Protection from Electromagnetic Fields is presented, together with comparison to similar legislation in other countries. The question is discussed whether some of the requirements of the Regulations are excessively restrictive. Calculations demonstrate that limit values have been set too low regarding the strength of electric fields for area of intensified sensitivity and area of occupational exposure. It is suggested that the values that have been established by the Recommendation and Directive of the European Union should be used. The article does not dispute certain precautionary measures or the precautionary principle but points out that there is insufficient explanation for the strictness of the norms. A proposal is presented for amendments to the existing Regulations.

Ključne riječi: elektromagnetsko polje posebno niskih frekvencija, područje povećane osjetljivosti, područje profesionalne izloženosti, referentna veličina, temeljno ograničenje, zakonodavna regulativa
Key words: area of intensified sensitivity, area of occupational exposure, basic restriction, extremely low frequency electromagnetic field, legislative regulations, reference level



1 UVOD

Hrvatski Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (Pravilnik) u nekim svojim dijelovima, propisuje znatno strože zahtjeve od Smjernica ICNIRP, Preporuke Europske unije 1999/519/EC i Direktive Europske unije 2004/40/EC. Ovo pitanje zaslužuje pažnju i zahtijeva određenu razradu, posebno i zbog toga što se HEP d.d. već tijekom sastavljanja Pravilnika u više navrata žalio i upozoravao na neke prestroge zahtjeve. Pravilnik je donijelo Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi Republike Hrvatske [1], [2], [3] i [4].

Odmah treba naglasiti da Pravilnik nije u suprotnosti s navedenim Smjericama, Preporukom i Direktivom. Sva ta tri dokumenta ne dopuštaju više razine za pojedina polja, ali dopuštaju nacionalnim organima ili institucijama da propisuju strože zahtjeve, kao što je urađeno u hrvatskom Pravilniku.

Ovaj članak razmatra isključivo električna i magnetska polja krajnje niskih frekvencija, 50 Hz E/M polja, i to za područje povećane osjetljivosti (opća populacija) i područje profesionalne izloženosti (profesionalno osoblje). U tablici 1 prikazane su utvrđene jakosti električnih i magnetskih polja u gore navedenoj Preporuci, Direktivi i Smjericama te odredbama Pravilnika.

1 INTRODUCTION

Some parts of the Croatian Regulations on Protection from Electromagnetic Fields (Regulations) stipulate significantly more restrictive demands than the Guidelines of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Recommendation 1999/519/EC of the Council of the European Union and Directive 2004/40/EC of the European Parliament and Council. This matter warrants attention and requires some elaboration, especially because HEP d.d., even during the compilation of these Regulations, has on several occasions lodged complaints and called attention to several requirements that are excessively strict. These Regulations were adopted by the Ministry of Health and Social Welfare of the Republic of Croatia [1], [2], [3] and [4].

It should be emphasized immediately that the Regulations are not contrary to the cited Guidelines, Recommendation and Directive. All three of these documents do not permit higher levels for individual fields but they do permit the national organs or institutions to stipulate stricter requirements, as have been stipulated in the Croatian Regulations.

This article is exclusively concerned with extremely low frequency electric and magnetic fields, 50 Hz E/M fields, for area of intensified sensitivity (general population) and area of occupational exposure (professional employees). In Table 1, the established strengths of electric and magnetic fields in the previously mentioned Recommendation, Directive and Guidelines, and the provisions of the Croatian Regulations are presented.

Tablica 1 – Granične vrijednosti jakosti električnih i magnetskih polja frekvencije 50 Hz
Table 1 – Limit values for the strength of 50 Hz electric and magnetic fields at a frequency of 50 Hz

Područje / Area	Preporuka / Recommendation 1999/519/EC		Direktiva / Directive 2004/40/EC		Smjernice / Guidelines ICNIRP		Pravilnik / Regulations NN 204/2003	
	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)
Opća populacija / General population	5,0	100	5,0	100	5,0	100	2,0	40
Profesionalno osoblje / Professional employees	10,0	500	10,0	500	10,0	500	5,0	100

Za prosudbu o realnosti propisanih graničnih vrijednosti rađena je usporedba sa stvarnim izmjenjenim vrijednostima jakosti električnih polja i magnetske indukcije odgovarajućih izvora polja.

Na kraju iznosi se prijedlog izmjena i dopuna postojećeg Pravilnika, što je bio osnovni cilj ovog članka.

In order to assess whether the stipulated limit values are realistic, they were compared to actually measured values of the strength of electric fields and the magnetic induction of the corresponding sources of the fields.

At the conclusion of this article, a proposal for amendments to the existing Regulations is presented, which was the basic purpose of this article.

2 OSNOVNE POSTAVKE

Znanstvenici i biolozi diljem svijeta provode intenzivna istraživanja utjecaja elektromagnetskih polja preko trideset godina. Rezultati studija nisu do sada pouzdano potvrdili izravnu vezu između izlaganja niskofrekventnim elektromagnetskim poljima manjeg intenziteta i broja oboljelih promatrane populacije. Opći je zaključak da izvjestan utjecaj niskofrekventnih elektromagnetskih polja na zdravlje postoji, ali je on za sada skriven u statističkim kolebanjima malog broja prirodnih slučajeva oboljenja.

Najveći problem i neizvjesnost u svim tim istraživanjima je u tome što znanost nije mogla do sada dati vjerodostojne podatke o oštećenjima zdravlja glede trajanja izloženosti u takvim poljima [2]. Ta činjenica najbolje se ogleda u pregledu graničnih vrijednosti izloženosti elektromagnetskim poljima krajnje niske frekvencije za opću populaciju u zakonodavstvu raznih država (tablica 2). Raspon graničnih vrijednosti za dopuštenu magnetsku indukciju u području povećane osjetljivosti (opća populacija) iznosi od 1,0 μT (Švicarska) do 1 600 μT (Engleska), dakle 1:1600 [5]. U području elektrotehnike nije moguće prihvatiti takav raspon za konačno rješenje, a vjerojatno tako i za medicinu i ekologiju.

Treba ukazati na još jednu činjenicu. Takva pravila pripremaju povjerenstva (komisije) u kojima surađuju ljudi raznih struka i zanimanja. U pomanjkanju objektivnih znanstvenih podataka i kriterija moguća su vrlo subjektivna rješenja ili čak manipulacije.

Kao što je u uvodu napisano, predmet razmatranja su isključivo elektromagnetska polja frekvencije 50 Hz, te njihov utjecaj na opću populaciju. Izvori polja su elektroenergetski objekti: nadzemni vodovi, kabeli, transformatorske stanice, rasklopna postrojenja te električne instalacije i aparati u kući, u uredima i u radionicama.

Drugi, također značajan predmet razmatranja su ograničenja utjecaja elektromagnetskih polja na zaposlenike prigodom radova na nadzemnim i ispod nadzemnih vodova koji su u pogonu, te radova u postrojenjima visokog napona, koja su također u pogonu.

S ciljem što objektivnijeg sagledavanja zahtjeva za ograničavanje utjecaja elektromagnetskih polja i davanja nepristrane procjene u odnosu prema stvarnom stanju, u članku će se dati:

2 BASIC POSTULATES

Scientists and biologists throughout the world have intensively researched the influence of electromagnetic fields for over thirty years. The results of these studies up to now have not reliably confirmed a direct connection between exposure to electromagnetic fields of low frequency and intensity and the rate of illness in the observed population. The general conclusion is that there is a certain effect from low frequency electromagnetic fields upon health but for now it is concealed within fluctuations in health statistics of naturally occurring diseases.

The greatest problem in all these investigations is that up to now science has not been able to provide reliable data on injury to health that is correlated with the duration of exposure to such fields [2]. This fact is best reflected in a review of the limit values for the general population to extremely low frequency electromagnetic fields in the legislation of various countries (Table 2). The range of the limit values for permitted exposure to magnetic induction in area of intensified sensitivity (general population) is from 1,0 μT (Switzerland) to 1 600 μT (England), i.e. 1:1600 [5]. In electrical engineering, it is not possible to accept such a range as a definitive solution, as is probably also the case in medicine and ecology.

It is necessary to point out one more fact. Such regulations are prepared by commissions comprised of participants from various professions and occupations. In the absence of objective scientific data and criteria, highly subjective solutions and even manipulations are possible.

As stated in the introduction, the discussion exclusively refers to 50 Hz electromagnetic fields; the sources of which are electric power facilities: overhead power lines, cables, transformer substations, switchyards, electrical installations, household appliances, office equipment, and workshop machinery; and their impact upon the general population.

Another significant subject that is considered is the limitation on the occupational exposure of workers to electromagnetic fields while working on overhead and under overhead energized power lines, and work in energized high voltage substations.

With the goal of providing a maximally objective review of the requirements for the limitation of exposure to electromagnetic fields, and an unbiased assessment of the actual situation, this article will present the following:

- pregled graničnih vrijednosti izloženosti elektromagnetskim poljima krajnje niske frekvencije za opću populaciju i za profesionalno osoblje u zakonodavstvu raznih država,
- usporedba izmjerenih stvarnih jakosti električnih polja u području povećane osjetljivosti sa zahtjevima za ograničenje u Pravilniku,
- usporedba izmjerenih stvarnih jakosti električnih polja u području profesionalne izloženosti sa zahtjevima za ograničenje u Pravilniku,
- procjena kritičnih lokacija, odnosno izvora polja, gdje stvarno izmjerene vrijednosti elektromagnetskog polja nadmašuju propisana ograničenja s komentarom.

Postoji stanovita razlika u načinu obrade utjecaja magnetskih i električnih polja. Odredbe za utjecaj magnetskih polja propisane u Pravilniku nisu sporne, te zbog dužine članka nisu obrađivane, izuzev općih zaključaka (poglavlje 5).

U članku se posebno ne razmatraju vrlo šaroliki te neujednačeni rezultati zdravstvenih i posebno epidemioloških studija. U članku se ne negiraju stanovite mjere opreza, niti načelo opreznosti, već se ukazuje na određenu nedovoljno objašnjenu strogost u normiranju.

3 NAČELNE PRIMJEDBE NA PRAVILNIK

Na Pravilnik se mogu staviti sljedeće primjedbe:

- 1) Danas u svijetu uz razne smjernice, preporuke i propise redovito se objavljuju komentari, često vrlo opsežni. Primjerice, u ovom slučaju ICNIRP, Vijeće Europe ili općenito DIN-VDE i mnogi drugi. Neobjavljivanje takvih komentara kod nas, nije, nažalost, usamljen slučaj, prije bi se moglo reći da je redovita praksa. Državni organ kada propisuje da nešto mora tako biti dužan je obrazložiti zašto to mora biti baš tako. Pogotovo je to značajno u ovom Pravilniku, jer su ograničenja dva do pet puta stroža od referentnih veličina iz Smjernica ICNIRP ili Preporuke Vijeća Europe. Bio bi to pošten, stručno korektan i demokratski postupak prema svojim državljanima.
- 2) U Pravilniku se koristi naziv **referentna veličina** za ograničenje utjecaja elektromagnetskih polja za područje profesionalne izloženosti i za područje povećane osjetljivosti, koji je pogrešno odabran.

- a review of the limit values upon exposure to extremely low frequency electromagnetic fields for general population and professional employees in the legislation of various countries,
- comparison of the measured actual strengths of electric fields in area of intensified sensitivity to the requirements for restrictions stipulated in the Regulations,
- comparison of the measured actual strengths of the electric fields in area of occupational exposure to the requirements for restrictions stipulated in the Regulations, and
- assessments of critical locations, i.e. sources of fields, where the actual measured values of the electromagnetic fields exceed the stipulated limits, with commentary.

There is a difference in the approach toward the effects from magnetic fields and electric fields. The provisions for the effect of magnetic fields stipulated in the Regulations are not disputed, and due to the length of the article are not discussed, except in the general conclusions (Chapter 5).

The article does not contain a separate discussion of the highly varied results of health and epidemiological studies. The article does not dispute certain precautionary measures or the precautionary principle but points out that there is insufficient explanation for the strictness of the norms.

3 BASIC CRITICISMS OF THE REGULATIONS

It is possible to make the following criticisms of the Regulations:

- 1) Today in the world, in addition to various guidelines, recommendations and stipulations, commentaries are regularly published which are frequently very comprehensive, for example, the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), the Council of Europe, DIN-VDE Standards and many others. That such commentaries have not been published in our country is not, unfortunately, an isolated case and it could be said that it is regular practice. When the state organ stipulates that something must be a certain way, it is required to explain why it must be just that way. This is particularly relevant regarding these Regulations because the limits are two to five times stricter than the reference levels of the Guidelines of the ICNIRP or the Recommendation of the Council of Europe. Providing an explanation to the citizens would be honest, professional and democratic.

U smjernicama *Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields* (up to 300 GHz), ICNIRP 1998 prikazan je način utvrđivanja temeljnih ograničenja (*basic restrictions*) i referentnih veličina (*reference levels*). Sva ta ograničenja zasnivaju se na tzv. **potvrđenim učincima**, znanstveno dokazanim djelovanjima električnih i magnetskih polja na ljudski organizam (posebice na nervni sustav).

Utvrđeno je da gustoća električne struje u tijelu (J), u iznosu oko 100 mA/m^2 izaziva takve učinke. Iz razloga sigurnosti uzet je faktor 10, pa je za profesionalno osoblje utvrđena temeljna granična vrijednost 10 mA/m^2 . Za opću populaciju (područje posebne osjetljivosti), iz posebnih mjera opreza pridodan je još faktor sigurnosti 5, te je utvrđena temeljna granična vrijednost 2 mA/m^2 .

Temeljna ograničenja gustoće struje u tijelu (J) izražena s jedinicom mA/m^2 vrlo su neprikladna za praksu, teško i složeno se izračunavaju, te su uvedene referentne veličine. Referentne veličine su zapravo približno jednake temeljnim ograničenjima (mA/m^2), samo izražene u drugim fizikalnim veličinama (E , H i B). Jakosti električnih polja (E), magnetskih polja (H) i magnetske indukcije (B) mnogo se jednostavnije i laganije mjere nego gustoća struje u tijelu (J). Ove referentne veličine dobivene su iz temeljnih ograničenja složenim proračunima, modeliranjem i estimacijom.

To konkretno znači: gustoću struje u tijelu od 10 mA/m^2 stvorit će električno polje jakosti približno od 10 kV/m ili magnetska indukcija od približno $500 \text{ } \mu\text{T}$. Slično vrijedi i za opću populaciju. Gustoću struje od 2 mA/m^2 stvara električno polje približne jakosti od 5 kV/m ili magnetska indukcija od $100 \text{ } \mu\text{T}$. Dobivene su fizikalne veličine vrlo prikladne za nadzor. Zato je izabran naziv referentne veličine jer su one odnosne veličine prema temeljnim ograničenjima. Između njih postoji čvrst odnos. Onog trenutka kada neko državno tijelo ili neka institucija propiše neke manje ili veće vrijednosti od navedenih referentnih veličina, a da istodobno ne propiše odgovarajuća nova temeljna ograničenja, od tog trenutka to prestaju biti referentne veličine i postaju neka posebna ograničenja. Pravilnik mijenja referentne veličine, ali zadržava temeljna ograničenja iz Smjernica ICNIRP. Zbog toga se u Pravilniku ne smiju te propisane strože veličine nazivati referentne veličine. Mora se odabrati drugi naziv, primjerice – granične vrijednosti. Od devet država Europe, koje su

- 2) In the Regulations, the term **reference levels** is used for the restriction of the effect of electromagnetic fields in area of occupational exposure and area of intensified sensitivity. This term has been incorrectly chosen.

In the *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields* (up to 300 GHz), ICNIRP 1998, the manner is shown for determining the basic restrictions and reference levels. All these restrictions are based on the so-called **confirmed effects**, scientifically demonstrated effects of electric and magnetic fields on the human organism (particularly the nervous system).

It has been determined that current density in the body (J) of approximately 100 mA/m^2 provokes such effects. The factor of 10 has been taken for safety reasons, so that for professional employees the basic limit value of 10 mA/m^2 has been determined. For general population exposure (area of intensified sensitivity), due to precautionary measures a safety factor of 5 has been added, so that the determined value limit is 2 mA/m^2 .

Basic restrictions on current density in the body (J), expressed by the unit mA/m^2 , are highly inconvenient in practice, difficult and complex for calculation. Therefore, reference levels have been introduced. Reference levels are actually nearly equivalent to the basic restrictions (mA/m^2), except that they are expressed in other physical values (E , H and B). The strengths of electric fields (E), magnetic fields (H) and magnetic induction (B) are much simpler and easier to measure than current density in the body (J). These reference levels are obtained from the basic restrictions through complex calculations, modeling and estimates.

This means that a current density in the body of 10 mA/m^2 will create an electric field of an approximate strength of 10 kV/m or magnetic induction of approximately $500 \text{ } \mu\text{T}$. The same applies to the general population. A current density of 2 mA/m^2 creates an electric field of an approximate strength of 5 kV/m or magnetic induction of $100 \text{ } \mu\text{T}$. The physical values obtained are very convenient for monitoring. Therefore, the term reference levels was chosen because these levels are closely related to the values of basic restrictions. At the moment when a state body or institution stipulates lower or higher values than the cited reference levels, and at the same time does not stipulate corresponding new basic restrictions, they stop being reference levels and become separate restrictions. The Regulations change the

utvrdile strože vrijednosti od ICNIRP-a, samo se u hrvatskom Pravilniku koristi krivi naziv.

- 3) U Smjernicama ICNIRP, Preporuci 1999/519/EC i Direktivi 2004/40/EC, postoji **uputa** koja kaže da u slučaju prekoračenja referentnih veličina, to ne mora značiti i prekoračenje temeljnih ograničenja. U takvom slučaju treba izračunima utvrditi razinu izloženosti u veličinama temeljnog ograničenja. Ako je tada temeljna razina prekoračena treba poduzeti određene mjere. Postupak je potpuno pravno čist, postoji **samo jedna** mjerodavna vrijednost.

U Pravilniku to nije slučaj. U člancima 5. i 6. dana je zabrana prekoračenja temeljnih ograničenja. U člancima 7. i 10. dana je zabrana prekoračenja graničnih vrijednosti (referentnih veličina) za područje profesionalne izloženosti i područje povećane osjetljivosti. Nema nikakve povezanosti između temeljnih ograničenja i propisanih graničnih vrijednosti. Nema nikakvih uputa za slučaj prekoračenja graničnih vrijednosti. Pravno gledajući postoje **istodobno dva** različita zahtjeva za isti događaj.

Pozivanje na zadnju rečenicu u točki 3, članka 2. Pravilnika vrijedi samo ako vrijednosti nisu prekoračene. U slučaju prekoračenja, tzv. referentnih veličina to ne vrijedi, jer ne postoji poveznica s temeljnim ograničenjima. To se lako dokaže sljedećim primjerom.

Neka u nekoj stambenoj zgradi koja pripada u područje povećane osjetljivosti bude utvrđena jakost magnetske indukcije $50 \mu\text{T}$, te je prekoračena vrijednost od $40 \mu\text{T}$. Zbog linearnog odnosa između gustoće struje u tijelu (J) i magnetske indukcije (B) za frekvencijsko područje od 50 Hz i uz konstantnu magnetsku provodljivost vrijedi:

$$10 \text{ mA/m}^2 : 500 \mu\text{T} = 2 \text{ mA/m}^2 : 100 \mu\text{T} = X \text{ mA/m}^2 : 50 \mu\text{T}$$

i zatim:

reference levels but retain the basic restrictions from the Guidelines of the ICNIRP. Therefore, these stricter levels should not be called reference levels in the Regulations. Another name should be chosen, for example – limit values. Of the nine countries of Europe that have established stricter values than those of the ICNIRP, it is only in the Croatian Regulations that the incorrect term is used.

- 3) In the Guidelines of the ICNIRP, Recommendation 1999/519/EC and Directive 2004/40/EC, there are instructions that stipulate that in the event that the reference levels are exceeded, this need not signify that the basic restrictions have also been exceeded. In such a case, it is necessary to perform computations in order to determine the level of exposure in the values of the basic restrictions. If the basic levels are exceeded, certain measures must be undertaken. The procedure is completely legal and there is **only one** authoritative value.

This is not the case in the Regulations. In Articles 5 and 6, it is prohibited to exceed the basic restrictions. In Articles 7 and 10, it is prohibited to exceed the limit values (reference levels) for area of occupational exposure and area of intensified sensitivity. There is no connection whatsoever between the basic restrictions and the stipulated limit values. There are no instructions whatsoever in the event of exceeding limit values. From the legal standpoint, there are **simultaneously two** different requirements for the same event.

The last sentence in item 3 of Article 2 of the Regulations is only valid if the values have not been exceeded. In the event that these so-called reference values are exceeded, it is invalid because there is no link to the basic restrictions. This is easily demonstrated by the following example.

Let us say that in a residential building that is located in an area of intensified sensitivity, magnetic induction strength of $50 \mu\text{T}$ has been determined and the value of $40 \mu\text{T}$ has been exceeded. Due to the linear relation between the current density in a body (J) and magnetic induction (B) for a frequency of 50 Hz, and with constant magnetic conductivity:

and subsequently:

$$X = 2 \times 50/100 = 1 \text{ mA/m}^2.$$

Prema tome u tijelima ljudi izloženih magnetskoj indukciji od 50 μT stvara se gustoća struje od 1 mA/m^2 , a to je dvostruko manje od zadane vrijednosti temeljnog ograničenja. Zaključak je jasan: postoji dvojnost u zahtjevima i **moraju se** iz pravilnika brisati **temeljna ograničenja** i sve odredbe vezane uz njih. Uvrštavanje tih temeljnih ograničenja u Pravilnik nema nikakve svrhe i stvara samo zbrku. Od devet država, koje su utvrdile strože vrijednosti od ICNIRP-a, samo su u hrvatskom Pravilniku nepotrebno uvrštena temeljna ograničenja.

- 4) U Pravilniku **nema kaznenih odredbi**, niti ima direktnih poveznica koje bi upućivale da postoje kaznene odredbe za nepoštivanje tog Pravilnika u Zakonu o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. U preambuli Pravilnika postoji poveznica sa Zakonom o zaštiti od neionizirajućeg zračenja u kojoj se spominju članci 10., 13., 14. i 19. ali se ne spominju članci 28., 29. i 30. u kojima su kaznene odredbe. U prekršajnom ili kaznenom sudskom postupku neznanje o postojanju ovih kaznenih odredbi nije opravdanje. U općim odredbama Pravilnika bio bi koristan jedan stavak koji bi ukazivao na postojanje kaznenih odredbi u Zakonu [6].
- 5) U članku 2., točka 20 b dana je definicija područja povećane osjetljivosti, koja nije dovoljno jasno utvrđena. Potrebno bi bilo istaknuti da u taj prostor pripadaju prostorije u školama, ustanovama predškolskog odgoja, itd. Ovo je vrlo bitno zbog utvrđivanja mjesta mjerenja. U svim tim slučajevima između tih prostorija i izvora polja nalazi se zid, koji će u većoj ili manjoj mjeri umanjiti jakost električnog ili magnetskog polja. To je utjecaj **zaslona** koji mora biti obuhvaćen određenim faktorom. Taj prijedlog je pobliže razrađen u potpoglavlju 6.5 ovog člana.
- 6) U članku 25. Pravilnika propisuju se periodička mjerenja najmanje svake **druge godine**. Kakve to, tehnički gledano, imaju svrhe bilo kakva periodička mjerenja, primjerice za jedan nadzemni vod ili transformatorsku stanicu, ako se ne može mijenjati napon, presjek vodiča ili ako se ne mijenja snaga transformatora. Električna polja su čvrsto vezana uz napon, a magnetska polja uz struju. Svi izračuni ili

Accordingly, in the bodies of persons exposed to magnetic induction of 50 μT , 1 mA/m^2 current density is created, which is twice as low as the given values for the basic restrictions. The conclusion is clear: there is duality in the requirements and the basic restrictions must be revoked, together with all the provisions connected with them. Including these basic restrictions in the Regulations has no purpose whatsoever and only creates confusion. Of the nine countries that have determined stricter values than those of the ICNIRP, it is only in the Croatian Regulations that the basic restrictions have been unnecessarily included.

- 4) In the Regulations, **there are no penalty clauses**, and there are also no direct links to indicate that penalty clauses exist in the Protection from Non-Ionizing Radiation Act for failure to respect these Regulations. In the preamble to the Regulations, there is a link to the Protection from Non-Ionizing Radiation Act in which Articles 10, 13, 14 and 19 are mentioned, but there is no mention of Articles 28, 29 and 30, in which there are penalty clauses. In misdemeanor or criminal proceedings, ignorance of the existence of these penalty clauses is no excuse. In the general provisions of the Regulations, the insertion of a paragraph would be useful which would refer to the existence of penalty clauses in the Act [6].
- 5) In Article 2, Item 20 b, a definition of area of intensified sensitivity is provided that is not sufficiently clear. It would be necessary to point out that such places include schools, preschools etc. This is very important due to the determination of the measuring sites. In all these cases, there is a wall between these areas and the sources of the fields, which will to a greater or lesser extent reduce the strength of the electric or magnetic field. This is the impact of a **screen**, which must be taken into consideration by a specific factor. This proposal is discussed in detail in Sub-Heading 6.5 of this article.
- 6) In Article 25 of the Regulations, periodical measurement at least **every other year** is stipulated. From the technical aspect, what would be the purpose of any periodical measurement, for example, of an overhead power line or transformer substation, if it is

mjerenja magnetske indukcije trebaju biti svedena na trajno dopuštenu struju vodiča. Ako se ne mijenjaju uzročnici ne mijenjaju se ni elektromagnetska polja, ovdje **nema starenja ni ikakve degradacije** osnovnih karakteristika opreme vezane uz vrijeme korištenja. Bilo kakva **periodička mjerenja** iz tog razloga **nemaju nikakve svrhe**. Obvezatno mjerenje ima svrhu samo nakon rekonstrukcije objekta, pri kojoj dolazi do eventualne zamjene onih elemenata postrojenja koji izazivaju promjene jakosti elektromagnetskog polja (primjerice zamjena transformatora). Ni u jednom dostupnom zakonskom aktu ili smjernicama drugih država, izuzev Slovenije (ako je iz tehnoloških razloga potreban monitoring), nisu pronađeni zahtjevi za periodička mjerenja.

- 7) U članku 26. Pravilnika određuje se kao značajna i meritorna vrijednost od 10 % iznosa graničnih vrijednosti određenih u člancima 7., 8., 10., 11. i 13. za eventualno oslobađanje od daljnjih mjerenja. Ako se tijekom dva uzastopna mjerenja izmjere vrijednosti **manje od 10 %** iznosa graničnih vrijednosti, korisnik ili vlasnik može zatražiti oslobađanje od daljnjih mjerenja. Nije poznato ni jasno odakle je dobiven podatak od 10 %. Niti u jednom dostupnom službenom dokumentu drugih država nije nađen sličan podatak. Za krajnje nisko frekventno područje 50 Hz ovaj zahtjev treba **ukinuti**.
- 8) Nije poznato što je s najavljenim propisom o dopuštenom trajanju boravka profesionalnog osoblja u području izloženosti s višim vrijednostima od graničnih vrijednosti prema članku 7., stavku 2., a prošlo je već tri godine od objavljivanja Pravilnika. Ovaj problem je trebalo riješiti u samom Pravilniku, a ne prolongirati rješenje u nedogled. Takve odredbe su bitne za HEP.
- 9) Hrvatska ima čak dva pravilnika o zaštiti populacije od elektromagnetskih polja uzrokovanih radijskom i telekomunikacijskom terminalnom opremom. Prvi, koji je predmet ovog članka, a proizvod je Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi, a drugi je objavilo Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka [7]. Pravilnici se među sobom bitno razlikuju. Drugi pravilnik jasno daje do znanja u članku 4., kako je urađen u skladu s Direktivom Europske unije 1999/5/EC i Preporukom Europske unije 1999/519/EC. Temeljna ograničenja i referentne veličine su u potpunosti identične onima navedenim u Preporuci Europske unije. Pravilnik Ministarstva zdravstva i socijalne

not possible to change the voltage or conductor cross-section, or if the transformer power rating does not change? Electric fields are firmly connected to voltage and magnetic fields are connected to current. All the calculations or measurements of magnetic induction should be reduced to the allowable continuous current of the conductor. If the sources do not change, the electromagnetic fields do not change. There is **no aging or any type of degradation** of the basic characteristics of the equipment connected with the duration of use. Any **periodical measurements** whatsoever for this reason **have no purpose**. Mandatory measurement only has a purpose after the reconstruction of an object, which could result in eventual replacements of those elements in installations that cause changes in the strength of the electromagnetic field (for example, replacement of a transformer). Requirements for periodical measurements have not been found in a single available legal act or guideline in other countries, with the exception of Slovenia (if monitoring is required for technical reasons).

- 7) Article 26 of the Regulations stipulates the significant and suitable value of 10 % of the amount of the limit values determined in Articles 7, 8, 10, 11 and 13 for eventual exemption from further measurement. If values **lower than 10 %** are measured during two consecutive measurements, the user or owner may seek exemption from further measurement. It is neither known nor clear from where the figure of 10 % is obtained. Similar data cannot be found in a single available official document from other countries. For the extremely low frequency of 50 Hz, this requirement should be **revoked**.
- 8) It is not known what happened regarding an announced provision on the permitted duration of occupational exposure in places with values higher than the limit values according to Article 7, Paragraph 2. Three years have already elapsed since the publication of the Regulations. This problem should have been resolved in the Regulations themselves, and the solution should not have been prolonged indefinitely. Such provisions are essential for HEP.
- 9) Croatia has two regulations on the protection of the population from electromagnetic fields caused by radio and telecommunications terminal equipment. The first, that is the subject of this article, was prepared by the Ministry of Health and Social Welfare, and the second was prepared by the Ministry of the Sea, Tourism, Transport and Development [7]. These regulations differ from each other significantly.

skrbi i za ovo područje propisuje 2,5 puta strože vrijednosti bez ikakvih objašnjenja.

Postavlja se ozbiljno pitanje koji je pravilnik vrijedeći. Ovaj članak ne može ponuditi rješenje, izuzev apela na bolju koordinaciju između ministarstava.

4 ZAKONSKA REGULATIVA RAZNIH DRŽAVA

Kako bi se omogućio što bolji pregled i šire sagledavanje jednog od važnih segmenata aktivnosti na smanjenju štetnih učinaka elektromagnetskih polja na zdravlje ljudi, a to su zakonske regulative, urađen je pregled propisanih graničnih vrijednosti električnih i magnetskih polja za opću populaciju i za profesionalno osoblje za 20 europskih država. U tablici 2 prikazani su podaci za pojedine države dobiveni direktno iz zakonskih akata tih država ili iz publikacija navedenih u literaturi [5] i [8].

Također je vrlo značajan pregled koliko je država i koje su države propisale strože, jednake ili blaže zahtjeve za područje povećane osjetljivosti (opća populacija), a posebno za profesionalno osoblje. Takav pregled je također prikazan u tablici 2. Za nazive država korištene su međunarodne oznake pojedinih država.

The second regulations clearly state in Article 4 that they were prepared in harmony with Directive 1999/5/EC of the European Union and Recommendation 1999/519/EC of the European Union. The basic restrictions and reference levels are completely identical to those found in the Recommendation of the European Union. The Regulations of the Ministry of Health and Social Welfare for this area stipulate 2.5 times stricter values, without any explanation whatsoever.

A serious question is posed regarding which of these two regulations are valid. This article cannot provide a solution, except to appeal for better coordination between the ministries.

4 THE LEGAL REGULATIONS OF VARIOUS COUNTRIES

In order to facilitate the best and broadest possible review of one of the important segments of activities in reducing the harmful effects of electromagnetic fields upon human health, legislative regulations, a review of the stipulated limit values of electric and magnetic fields for general population and professional employees has been prepared for twenty European countries. In Table 2, data presented for individual countries were obtained directly from the legislative acts of these countries or from publications [5] and [8] in the references.

Furthermore, it is very significant how many countries and which countries have stipulated stricter, equal or less strict requirements for area of intensified sensitivity (general population), and for professional employees. Such a review is also presented in Table 2. The international abbreviations have been used for the names of the countries.

Tablica 2 – Granične vrijednosti u aktima pojedinih država u odnosu prema Smjernicama ICNIRP, Preporuci 1999/519/EC i Direktivi 2004/40/EC
 Table 2 – Limit values in the legislation of individual countries in comparison to the Guidelines of the ICNIRP, Recommendation 1999/519/EC and Directive 2004/40/EC

Država / Country	Smjernice ICNIRP / Guidelines of the ICNIRP – Preporuka 1999/519/EC / Recommendation 1999/519/EC – Direktiva 2004/40/EC / Directive 2004/40/EC											
	Jednaki zahtjevi / Equal requirements				Blaži zahtjevi / Less strict requirements				Stroži zahtjevi / Stricter requirements			
	Opća populacija / General population		Profesionalno osoblje / Professional employees		Opća populacija / General population		Profesionalno osoblje / Professional employees		Opća populacija / General population		Profesionalno osoblje / Professional employees	
	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>E</i> (kV/m)	<i>B</i> (μ T)
A	5,0	100	10,0	500								
B	5,0	100	–	–								
BG				1 200					–	–	5,0/6h ¹⁾	
CH	5,0	100							–	1,0 ²⁾	–	–
CRO									2,0	40,0	5,0	100
CZ	5,0	100	10,0	500								
D	5,0	100	6,66 ³⁾	424,4 ³⁾								
E	5,0	100	10,0	500								
EST									0,5	10,0	5,0	100
FIN	5,0	100	–	–								
F	5,0	100	10,0	500								
GB					12,0	1 600	12,0	1 600				
GR									4,0	80	–	–
H	5,0	100	10,0	500								
I			10,0	500					–	10/3 ⁴⁾		
LV					10,0	640	30,0	1 600				
LT							14,3 ⁵⁾	4 000	0,5	–		
NL					8,0	120	62,5	600				
PL			10,0						1,0	75		251
RUS									0,5	10	5,0	100
20	9	9	8	8	3	3	4	4	6	7	4	4

¹⁾ Jakost polja ovisi o vremenu / The field strength is time dependent.

²⁾ Samo utjecaj DV i TS i za vuču / Only the effect of the transmission line and transformer substation, and for traction.

³⁾ Postoje tri područja / There are three areas

⁴⁾ 10 μ T za zatečene DV, a 3 μ T samo uz nove i rekonstruirane DV / 10 μ T for an existing transmission line and 3 μ T for new and reconstructed transmission lines.

⁵⁾ Jakost polja ovisi o nazivnom naponu (14,3 kV/m je za napon 110 kV) / The field strength depends on the rated voltage (14,3 kV/m for voltage of 110 kV)

Iz ovog tabličnog pregleda može se iščitati niz interesantnih i korisnih podataka. Uspoređujući regulativu pojedinih država uočava se velika šarolikost i različiti pristupi, koje možemo svrstati prema studiji ENCONET-a u tri grupe [9]:

- **blaži pristup**, koji se zasniva na Smjernicama ICNIRP i dokazanim učincima, primjerice Austrija, SR Njemačka, Velika Britanija, sve bez načela opreznosti,
- **umjereni pristup**, koji se zasniva na načelu opreznosti npr. Slovenija i Hrvatska,
- **radikalni pristup**, kojeg karakterizira intenzivna primjena načela opreznosti, kao primjerice Švicarska s graničnom vrijednošću magnetske indukcije od 1 μ T za područje povećane osjetljivosti u blizini elektroenergetskih postrojenja. Sličan pristup ima Italija, ali samo za objekte uz nadzemne vodove visokog napona.

S obzirom na namjenu članka važno je istaknuti da od 20 razmatranih država samo 4 države postavljaju strože zahtjeve za profesionalno osoblje. Estonija i Bugarska su svoje akte uredile prema ruskim normama GOST, koje su nažalost dosada često bile nepouzdana, posebice u pogledu štetnosti električnih polja.

Također je vrlo uočljiv podatak da u 20 promatranih država 12 znanstvenih institucija, koje su predlagale zakonske akte, ne smatraju štetnim za zdravlje profesionalnog osoblja izlaganja zračenjima elektromagnetskih polja jednakim po vrijednostima prema Smjernicama ICNIRP. Što je navelo hrvatsko povjerenstvo, koje je sastavljalo prijedlog, na ovakvo snižavanje graničnih vrijednosti (od dva do pet puta za električna polja i magnetska polja) nije jasno bez solidnog komentara Pravilnika.

Posebno je značajno malo pobliže razmotriti rješenja koje nude Švicarska i Italija, koje imaju najstroža ograničenja. U oba ova primjera stroža ograničenja odnose se na područje povećane osjetljivosti za opću populaciju i to isključivo na utjecaj magnetskih polja.

U Uredbi koju je donijelo Švicarsko Federalno Vijeće definira se područje povećane osjetljivosti kao:

- prostorije u zgradama koje su redovito zaposjednute od osoba za produženo vrijeme,
- javna ili privatna dječja igrališta odobrena zakonodavstvom za prostorno planiranje,
- nepotpuno iskorišteni prostori koji se koriste u svrhe navedene u dvije prethodne alineje.

From the above table, it is possible to derive interesting and useful data. Comparing the regulations of individual countries, many varied approaches are noted, which we can divide into three groups, according to the ENCONET study [9]:

- **a lenient approach**, which is based upon the Guidelines of the ICNIRP and confirmed effects, for example Austria, Germany and Great Britain, all without the precautionary principle,
- **a moderate approach**, which is based upon the precautionary principle, for example Slovenia and Croatia, and
- **a radical approach**, which is characterized by intensive application of the precautionary principle, as in, for example, Switzerland, with a limit values for magnetic induction of 1 μ T for area of intensified sensitivity in the vicinity of electrical power facilities. Italy has a similar approach, but only for objects next to high-voltage overhead power lines.

Taking into account the purpose of this article, it is important to point out that among the twenty countries considered, only four countries impose stricter requirements for professional employees. Estonia and Bulgaria have based their legislation upon the Russian GOST standards, which unfortunately until now have been unreliable, particularly in regard to the harmful effects of electric fields.

There is also the very evident fact that among the twenty countries studied, twelve of the scientific institutions that proposed legal acts do not consider exposure of professional employees to electromagnetic fields of the values stipulated by the Guidelines of the ICNIRP to be harmful. The reason why the Croatian commission that prepared the proposal reduced the limit values from two to five times for electric fields and magnetic fields is not clear in the absence of a solid commentary on the Regulations.

It would be informative to study the solutions offered by Switzerland and Italy more closely, which have the strictest restrictions. In both of these examples, the stricter restrictions refer to area of intensified sensitivity for the general population, and this exclusively regarding the effect of magnetic fields.

In the enactment adopted by the Swiss Federal Council, area of intensified sensitivity are defined as follows:

- places in buildings where persons regularly remain for prolonged periods,
- public or private children's playgrounds, designated as such by physical planning legislation,
- places that are not fully utilized that are used for the purposes stated in the two previous items.

Ovo ograničenje od 1 μ T primjenjuju se na objekte u području povećane osjetljivosti, a koji su pod utjecajem (u blizini):

- nadzemnih vodova i podzemnih kabela visokog napona,
- transformatorskih stanica visokog napona (VN/NN),
- transformatorskih stanica visokog napona (VN/VN) i rasklopnih postrojenja VN,
- postrojenja izmjenične struje za električnu vuču i tramvaj.

Za ostala područja povećane osjetljivosti nema posebnih strožih zahtjeva, već je propisano ograničenje u skladu sa Smjernicama INCRIP i Preporukom 1999/519/EC, tj. 5 kV/m i 100 μ T.

U Naredbi koju je donio Predsjednik Vijeća Ministara Italije, kao područja na koja se odnose stroži zahtjevi, navedeni su prostori koji služe za stanovanje, dječja igrališta, škole i sve površine gdje se ljudi zadržavaju dulje od 4 sata dnevno. Stroži zahtjev je definiran kao **razina opreza** (*attention level*) i iznosi 10 μ T.

U skladu s primjenom načela opreznosti uvađa se nova još stroža vrijednost za nove nadzemne vodove u blizini gore navedenog područja povećane osjetljivosti nazvana **kvalitetni cilj** (*quality goal*) koji iznosi 3 μ T.

Za ostala područja povećane osjetljivosti, koja nisu pod utjecajem nadzemnih vodova, **nema** posebnih strožih zahtjeva za električna i magnetska polja, već je propisano ograničenje u skladu sa Smjernicama INCRIP i Preporukom 1999/519/EC od 5,0 kV/m i 100 μ T.

Institucije koje su predlagale ove propise u obje ove zemlje nisu smatrale opasnim za opću populaciju izlaganja električnim poljima jakosti manjih od 5,0 kV/m. Od kuda i zašto se pojavljuje u hrvatskom Pravilniku limit od 2,0 kV/m nije jasno. Ova usporedba uvelike opravdava sumnju u ispravnost ove odredbe u Pravilniku.

Ovakva raznolikost u pristupu očita je posljedica nedovoljnog znanja o stvarnim zbivanjima unutar ćelija živog tkiva, što rađa i stanoviti strah. Možda opravdano.

This limit of 1 μ T is applied to objects in area of intensified sensitivity, which are under the influence (in the vicinity) of the following:

- high-voltage overhead power lines and underground cables,
- high-voltage transformer substations (HV/LV),
- high-voltage transformer substations (HV/HV) and HV switchyards, and
- alternating current equipment for electric traction and trolleys.

For other areas of intensified sensitivity, there are no separate stricter requirements, but a restriction is stipulated pursuant to the Guidelines of the INCRIP and Recommendation 1999/519/EC, i.e. 5 kV/m and 100 μ T.

In a decree adopted by the Italian prime minister (the president of the Council of Ministers), areas subject to stricter requirements are areas that are used for residence, children's playgrounds, schools and all surfaces where people remain for longer than four hours per day. More stringent requirement is defined as **attention level**, amounting to 10 μ T.

Pursuant to the application of the precautionary principle, new more strict value for new overhead power lines is being introduced in the vicinity of the aforementioned area of intensified sensitivity, known as the **quality goal**, amounting to 3 μ T.

For other areas of intensified sensitivity that are not affected by overhead power lines, **there are no** separate more restrictive requirements for electric and magnetic fields, but there is a stipulated restriction pursuant to the Guidelines of the INCRIP and Recommendation 1999/519/EC of 5,0 kV/m and 100 μ T.

The institutions that proposed these ordinances in both countries did not consider exposure to electric fields strengths less than 5,0 kV/m to be harmful to the general population. From where and why a limit of 2,0 kV/m appears in the Croatian Regulations is not clear. This comparison greatly justifies suspicions regarding the correctness of this provision in the Regulations.

Such diversity in approach is obviously a consequence of insufficient knowledge regarding the actual events within living tissue cells, which creates a certain amount of fear. Perhaps such fear is justified.

5 ODREBE O OGRANIČENJIMA JAKOSTI MAGNETSКИH POLJA ZA PODRUČJA POVEĆANE OSJETLJIVOSTI I PROFESIONALNE IZLOŽENOSTI U NAŠEM PRAVILNIKU.

5.1 Područje povećane osjetljivosti

Na području povećane osjetljivosti (opća populacija) sljedeći izvori stvaraju magnetska polja s najvišim izmjerenim jakostima magnetskih polja:

- kućanski aparati (kalerifer 20,0 μT). Samo tri uređaja koji se koriste u kućanstvu znatno premašuju propisanu granicu i to su ručni mikser (700 μT), sušilo za kosu (2 000 μT) i brijači aparat (do 5 000 μT), a sve na udaljenosti od 3 cm. S obzirom na njihovu kratkotrajnu uporabu tijekom dana, ne dulje od 10 minuta, smatra se da ova izlaganja s ovako kratkim vremenom trajanja neće uzrokovati zdravstvena oštećenja [10],
- uredski uređaji (uređaj za uništavanje akata 20 μT) [11],
- električne instalacije niskog napona (opskrbni vod 30 μT) [11],
- transformatorske stanice i rasklopna postrojenja (uz ogradu postrojenja 7 μT) [9],
- nadzemni vodovi (na rubu sigurnosnog koridora 20 μT) [12],
- podzemni kabeli (tri jednožilna kabela 24 μT) [13].

Propisani limit za područje povećane osjetljivosti prema Pravilniku iznosi za magnetsku indukciju 40 μT .

5.2 Područje profesionalne izloženosti

Na području profesionalne izloženosti sljedeći izvori stvaraju magnetska polja s najvišim izmjerenim jakostima magnetskih polja:

- podzemni kabeli (tri jednožilna kabela 24 μT) [13],
- nadzemni vodovi (unutar koridora 29,8 μT) [12],
- transformatorske stanice i rasklopna postrojenja (unutar ograde do 40 μT) [12] i [14].

U publikaciji BIA-Report dan je podatak kako na distribucijskim transformatorima naponske razine X/0,4 kV, snaga od 400 kW do 1 000 kW, tik uz priključak na sabirnice niskog napona jakost magnetske indukcije može iznositi do 100 μT . Ta vrijednost drastično pada s udaljavanjem od priključaka i na udaljenosti od 2,0 m neće biti veća od 10 μT [15].

5 PROVISIONS ON RESTRICTIONS ON THE STRENGTH OF MAGNETIC FIELDS FOR AREAS OF INTENSIFIED SENSITIVITY AND OF OCCUPATIONAL EXPOSURE IN CROATIAN REGULATIONS

5.1 Area of intensified sensitivity

In area of intensified sensitivity (the general population), the following sources create magnetic fields that have the highest measured strengths:

- household appliances (fan heater, 20,0 μT). Only three devices that are used in households significantly exceed the stipulated limit, and these are the hand mixer (700 μT), hairdryer (2 000 μT) and electric shaver (to 5 000 μT), and all at a distance of 3 cm. Due to the fact they are used for short periods of time during the day, not longer than 10 minutes, it is considered that such exposure of such a short duration is not harmful to health [10],
- office equipment (paper shredder, 20 μT) [11],
- low-voltage electrical installations (power supply cable, 30 μT) [11],
- transformer substations and switchyards (next to the plant fence, 7 μT) [9],
- overhead power lines (at the edge of a safety corridor, 20 μT) [12],
- underground cables (three single-wire cables, 24 μT) [13].

The stipulated limit for magnetic induction in area of intensified sensitivity according to the Regulations is 40 μT .

5.2 Area of occupational exposure

In area of occupational exposure, the following sources create magnetic fields of the highest measured strength:

- underground cables (three single-wire cables, 24 μT) [13],
- overhead power lines (inside the route, 29,8 μT) [12],
- transformer substations and switchyards (within the fence, up to 40 μT) [12] and [14].

In the publication BIA-Report it is stated that at distribution transformers of a voltage level of X/0,4 kV and power rating of 400 kW to 1 000 kW, magnetic induction can be up to 100 μT next to the connection to low-voltage busbars. This value declines rapidly with distance from the connection and at a distance of 2,0 m it will not exceed 10 μT [15].

Propisani limit za područje profesionalne izloženosti prema Pravilniku iznosi za magnetsku indukciju 100 μT .

5.3 Zaključak o ograničenjima za jakosti magnetskih polja

Nakon prikaza ovih podataka o jakostima magnetske indukcije može se, bez ikakvih rezervi, utvrditi da stvarne jakosti magnetskih polja zadovoljavaju propisanu graničnu vrijednost i zaključiti da **nema nikakvog razloga za prigovor** propisanoj graničnoj vrijednosti magnetske indukcije od 40 μT za područje povećane osjetljivosti.

Isto tako može se slobodno zaključiti kako **su mogući** radovi iznad podzemnih kabela, unutar koridora nadzemnih vodova kao i u transformatorskim stanicama i rasklopnim postrojenjima, u zoni približavanja do visine 2,3 m, odnosno 2,5 m od tla (visina postolja), **bez prekoračenja dopuštene razine** od 100 μT i bez posebnih mjera zaštite od ovog izvora opasnosti.

6 USPOREDBA IZMJERENIH STVARNIH JAKOSTI ELEKTRIČNIH POLJA U PODRUČJU POVEĆANE OSJETLJIVOSTI SA ZAHTJEVIMA ZA OGRANIČENJE U NAŠEM PRAVILNIKU.

Opća populacija izložena je električnim poljima mrežne frekvencije, kod nas 50 Hz, preko tri pojedinačna izvora:

- prijenosnim vodovima visokog napona,
- mjesnim sustavom distribucije električne energije instalacijama niskog napona kod kuće i na poslu i
- kućanskim i uredskim električnim napravama.

Podzemni kabeli, zbog vodljive zemlje, u pravilu ne stvaraju značajne jakosti električnih polja i u ovom razmatranju njihov utjecaj se smije zanemariti.

Prva dva izvora stvaraju temeljnu jakost električnog polja. Prisutnost vodljivih objekata (npr. zidovi, ograde, drveće) u blizini nadzemnih vodova deformira električno polje i mijenja njegovu jakost na svega 20 V/m i na taj se način zaslanja prostor unutar zgrada od električnih polja nadzemnih vodova. Tome se pridodaje još i utjecaj električne instalacije zgrade, ali ukupna jakost temeljnog električnog polja neće prelaziti vrijednost od 30 V/m.

The stipulated limit for magnetic induction in area of occupational exposure according to the Regulations is 100 μT .

5.3 Conclusion regarding the restrictions on the strength of magnetic fields

After the presentation of these data on the strength of magnetic induction, it can be unreservedly asserted that the actual strength of magnetic fields satisfies the stipulated limit value and concluded that **there is no reason whatsoever for criticism** of the stipulated limit value for magnetic induction of 40 μT in area of intensified sensitivity.

Likewise, it can be freely concluded that work **is possible** over underground cables, inside the route of overhead power lines and in transformer substations and switchyards, in the access zones at heights up to 2,3 m, i.e. 2,5 m from the ground (height of the pedestal), **without exceeding the permitted level** of 100 μT and without special protective measures from this source of danger.

6 A COMPARISON BETWEEN THE ACTUAL MEASURED STRENGTHS OF ELECTRIC FIELDS IN AREA OF INTENSIFIED SENSITIVITY AND THE LIMIT REQUIREMENTS IN CROATIAN REGULATIONS

The general population is exposed to electric fields at network frequency, 50 Hz in Croatia, through three separate sources:

- high-voltage power transmission lines,
- local energy distribution systems and low-voltage installations at home and at work, and
- household appliances and office equipment.

Underground cables, due to ground conductivity, as a rule do not create electric fields of significant strength. Therefore, their impact may be ignored in this discussion.

The first two sources create the basic electric field. The presence of conductive objects (for example, walls, fences, trees) in the vicinity of overhead power lines deforms the electric field and reduces its strength to only 20 V/m, thus screening the area within a building from the electric fields of overhead power lines. The effect of the electrical installations of the building add to this but the total strength of the basic electric field will not exceed a value of 30 V/m.

Ova vrsta polja je daleko ispod granične vrijednosti i ne ulazi u razmatranje.

6.1 Kućanski aparati i uredski uređaji

U pomanjkanju domaćih mjerenja prisiljeni smo koristiti podatke iz inozemnih publikacija, kao primjerice podatke WHO (Svjetska Zdravstvena Organizacija), koji su prikazani u publikaciji [16]. Izmjerene jakosti električnih polja kućanskih aparata imaju vrijednosti od 5 V/m za žarulju pa najviše do 180 V/m za stereo uređaj na udaljenosti od 30 cm.

Za uredske uređaje nisu pronađene slične tablice za jakost električnih polja, već je istaknuto da takvi uređaji proizvode električna polja jakosti od 10 V/m do 50 V/m. Uz razvodne ploče niskog napona na udaljenosti od 30 cm utvrđena je jakost električnog polja od 10 V/m. U prostorijama telefonskih centrala izmjerena su polja od 30 V/m.

Granična dopuštena jakost električnog polja za područje povećane osjetljivosti iznosi 2 000 V/m, a navedene vrijednosti su deseterostruko manje. Izlaganja električnim poljima ovih jakosti neće imati utjecaja na zdravlje osoba koje bivaju u tim poljima.

6.2 Transformatorske stanice i rasklopna postrojenja

Električna polja koja stvaraju transformatorske stanice i rasklopna postrojenja mogu utjecati na opću populaciju samo ako se objekti, koji pripadaju području povećane osjetljivosti, nalaze neposredno uz ogradu ovih postrojenja.

Slika 15 iz elaborata ENCONET predstavlja raspodjelu izmjerenih električnih i magnetskih polja na presjeku jednog 400 kV rasklopišta, mjerenih na visini 1,0 m od tla. Iz dijagrama se može očitati jakost električnog polja uz ogradu od 2,0 kV/m [9].

Prigodom mjerenja elektromagnetskih polja u TS 110/20 kV Kaštela kraj Splita izmjeren je iznos od 0,185 kV/m tik uz ogradu transformatorske stanice.

Kod nas postoji vrlo malo objekata iz područja povećane osjetljivosti tik uz ogradu ovakvih postrojenja, izuzev stanova uklopničara prijenosnih transformatorskih stanica. U tim zgradama treba mjerenjima provjeriti jakost električnih polja. Uzimajući u obzir razne oblike zaslanja i zakon razmaka da već nekoliko metara od ograde jakost električnog polja drastično opada, možemo zaključiti da će postojeće transformatorske stanice

This type of field is far below the limit values and does not enter into consideration.

6.1 Household appliances and office equipment

In the absence of domestic measurements, we are forced to use data from foreign publications, such as, for example, data from the World Health Organization (WHO), which are presented in reference [16]. The measured strengths of the electric fields of household appliances have values from 5 V/m for a light bulb to a maximum of 180 V/m for stereo equipment at a distance of 30 cm.

Similar tables were not found for the strength of the electric fields of office equipment. However, it is noted that such equipment produces electric fields of strengths from 10 V/m to 50 V/m. At a distance of 30 cm from a low-voltage distribution panel, the electric field strength of 10 V/m has been determined. Fields of 30 V/m have been measured in rooms with telephone centrals.

The permitted limit for the strength of electric fields in area of intensified sensitivity is 2 000 V/m, and the stated values are ten-fold lower. Exposure to electric fields of these strengths will not have an effect upon the health of a person who spends time in such fields.

6.2 Transformer substations and switchyards

The electric fields that are created by transformer substations and switchyards can only have an effect on the general population if objects that are considered to be area of intensified sensitivity are located immediately next to the fence of these plants.

Figure 15 of the study by ENCONET presents the distribution of measured electric and magnetic fields on the cross-section of a 400 kV switchyard, measured at a height of 1,0 m from the ground. From the diagram, it is possible to read the strength of the electric field next to the fence of 2,0 kV/m [9].

On the occasion of the measurement of electromagnetic fields at the Kaštela 110/20 kV transformer substation near the city of Split, the value of 0,185 kV/m was measured just next to the fence of the transformer substation.

In our country there are very few objects in area of intensified sensitivity that are right next to the fence of such plants, with the exception of the apartments of switch operators at transmission transformer substations. In such buildings, it is necessary to confirm the strength of electric fields with measurements. Taking into consideration the

i rasklopna postrojenja zadovoljiti ovu pretjerano strogu graničnu vrijednost.

6.3 Nadzemni vodovi i podzemni kabeli visokog napona

Podzemni kabeli ili zbog svog vodljivog metalnog omotača ili zbog vodljive zemlje neće na površini tla stvarati električna polja te ne predstavljaju, s tog stanovišta, nikakvu opasnost za zdravlje ljudi.

Kod nadzemnih vodova je stanje posvema drugačije i mnogo složenije. Kao što je već prikazano tvrtka ENCONET je izradila vrlo dobru studiju za HEP Operatora prijenosnog sustava, kojoj je bio osnovni zadatak izračunati i izmjeriti stvarne jakosti električnih i magnetskih polja koje stvaraju odabrani tipski nadzemni vodovi, utvrditi kritične točke te predložiti načine rješavanja [12]. U tablici 3 prikazani su rezultati za 10 karakterističnih nadzemnih vodova.

various forms of screens and the rule of distance that after several meters from the fence the strength of the electric field decreases drastically, we can conclude that the existing transformer substations and switchyards will satisfy this excessively strict limit value.

6.3 High-voltage overhead power lines and underground cables

Underground cables, either due to their conductive metal jackets or the conductivity of the ground, do not create electric fields on the surface of the ground and do not represent any hazard to human health whatsoever from this aspect.

For overhead power lines, the situation is entirely different and much more complex. As previously mentioned, the company of ENCONET has prepared a very good study for HEP Transmission System Operator, the basic task of which was to calculate and measure the actual strengths of the electric and magnetic fields created by overhead power lines selected according to type, to determine the critical points and propose solutions [12]. In Table 3, the results are presented for 10 typical overhead power lines.

Tablica 3 – Izračunate i izmjerene vrijednosti jakosti električnih polja nadzemnih vodova na rubu sigurnosnog koridora*
Table 3 – Calculated and measured values of the strength for the electric fields of overhead power lines at the edge of the safety corridor*

Oznaka / Designation	Tip stupa / Pole type	Napon / Voltage (kV)	Broj DV / Number of power line	Naziv DV / Name of power line	Proračun / Calculation (kV/m)	Mjerenje / Measurement (kV/m)
A	Ipsilon / Y	400	DV 456	Meline–Tumbri	6,10	3,84
B	Bačva / Barrel	400	DV 413	Tumbri–Krško	1,92	2,78
C	Bačva / Barrel	400	DV 499	Žerjavinec–Heviz 1	2,10	1,66
D	Jela / Fir	220	DV 285	Melina–Pehlin 1	2,42	1,66
E	Bačva / Barrel	220	DV 286	Melina–Pehlin 2	1,35	0,22
F	Jela / Fir	110	DV 112	Plomin–Dubrova–Raša	1,23	1,55
G	Ipsilon / Y	110	DV 112	Plomin–Dubrova–Raša	**	1,12
H	Jela / Fir	110	DV 119	Plomin–Pazin	1,28	1,11
I	Bačva / Barrel	110	DV 137	Melina–Rijeka	0,75	1,00
J	Dunav / Danube	110	DV 120	Vrboran–Sučidar	1,08	1,03

* Visina mjerenja 1 m iznad tla / Measured at the height of 1 m above the ground

** Za ovaj oblik stupa nisu dani podaci / Data were not provided for this type of pole

Prema Pravilniku granična vrijednost za nove nadzemne vodove iznosi 2,0 kV/m, a za zatečene nadzemne vodove 5,0 kV/m.

According to the Regulations, the limit values for new overhead power lines is 2,0 kV/m, and 5,0 kV/m for existing overhead power lines.

Tablica 3 pokazuje da, u teorijski najnepovoljnijem slučaju, izračunato električno polje premašuje

Table 3 shows that in the theoretically most unfavorable case, the calculated electric field

granične razine za nove vodove kod tri objekta (A, C i D), a graničnu razinu za zatečene vodove samo kod objekta A.

U slučaju da se kao kriterij primijene izmjereni rezultati, svi objekti zadovoljavaju graničnu razinu za zatečene vodove, dok dva objekta (A i B) premašuju graničnu razinu za nove vodove. Svi ovi izračuni i mjerenja rađeni su za i na visini 1 m iznad tla na rubu sigurnosnog koridora kojeg sačinjava trasa voda uvećana za vodoravnu sigurnosnu udaljenost.

Ovi rezultati ukazuju na neusklađenost između zahtjeva iz Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja [1] i zahtjeva Pravilnika o izmjenama Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemne energetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Pravilnik za izgradnju nadzemnih vodova) [17]. Za rješavanje ovog postoje dva moguća puta:

- mijenjanje zahtijevane granične vrijednosti jakosti električnog polja za nadzemne vodove u području povećane osjetljivosti s 2,0 kV/m na 5,0 kV/m prema Direktivi 2004/40/EC [4] i
- prilagođavanje Pravilniku s obvezatnom promjenom sigurnosnih udaljenosti u Pravilniku za izgradnju nadzemnih vodova.

6.4 Mijenjanje granične vrijednosti jakosti električnog polja za područje povećane osjetljivosti

Ovo je svakako duži i mnogo teži put. Za ovaj pristup ima više ozbiljnih argumenata. Nevjerojatno je da 15 država Europe zadržava u graničnim vrijednostima za jakost električnog polja, veličinu od 5,0 kV/m prema Direktivi Europske unije, a samo Hrvatska i još tri države umanjuju tu granicu. Za takav stav nigdje nije pronađeno objašnjenje. Opet se iskazuje potreba za komentarom Pravilnika. Postavlja se pitanje koja je to gustoća struje u tijelu (J), manja od 2,0 mA/m², uzrokovana električnim poljem, a koja predstavlja opasnost za ljude.

U Smjernicama ICNIRP, kao i u Preporukama 1999/519/EC postoji upozorenje, ako u nekom slučaju bude utvrđeno prekoračenje referentnih veličina to ne znači da su prekoračene dopuštene vrijednosti temeljnih ograničenja. Tada treba dodatnim proračunom (ili na drugi način) utvrditi stvarnu jakost gustoće struje (J).

Na ovom mjestu treba istaknuti neka istraživanja na međunarodnoj razini značajna za ovu problematiku. Riječ je o računarskoj metodi, tzv. split metodi utvrđivanja kolika je jakost električnog polja ili magnetske indukcije potrebna

exceeds the limit for new power lines at three objects (A, C and D), and only exceeds the limit for existing power lines at object A.

In the event that the measured results are applied as criteria, all the objects satisfy the limit for existing power lines, while two objects (A and B) exceed the limit for new power lines. All these calculations and measurements were performed at a height of 1 m above the ground at the edge of the safety corridor, consisting of the power line route increased by the horizontal safety distance.

These results demonstrate the lack of coordination between the requirements from the Regulations on Protection from Electromagnetic Fields [1] and the requirements from the ordinance on the Amendments to the Regulations of the Technical Standards for the Construction of Overhead Power Lines of a Rated Voltage of 1 kV to 400 kV (Regulations for the construction of overhead power lines) [17]. There are two possible solutions:

- changing the required limit value of the strength of an electric field for overhead power lines in area of intensified sensitivity from 2,0 kV/m to 5,0 kV/m, pursuant to Directive 2004/40/EC [4], and
- adaptation to the Regulations with mandatory changes in the safety distances stipulated by the Regulations for the construction of overhead power lines.

6.4 Changing the limit value of the strength of electric field in area of intensified sensitivity

This is certainly a longer and much more difficult path. There are several serious arguments for this approach. It is incredible that although fifteen countries of Europe hold the strength of electric fields within the limit value of 5,0 kV/m according to the Directive of the European Union, only Croatia and three other countries reduce this limit. For such a position, no explanation has been found anywhere. This again shows the need for commentary on the Regulations. The question is posed which current density in the body (J), lower than 2,0 mA/m², caused by an electric field, represents a hazard to humans.

In the Guidelines of the ICNIRP, as in Recommendation 1999/519/EC, there is the warning that if in some case it is established that the reference levels have been exceeded, this does not mean that the permitted level of the basic restrictions has been exceeded. In such a case, it is necessary to determine the actual strength of the current density (J) through calculation or in some other manner.

za postizanje gustoće struje od 10 mA/m² i od 2,0 mA/m², zadanih u temeljnim ograničenjima.

Prema toj novoj računarskoj metodi obavile su proračun neovisno tri skupine i to u:

- Health Protection Agency (HPA) u Velikoj Britaniji,
- University of Victoria i
- grupa iz Salt Lake City.

Rezultati se podudaraju u granicama od 2 % [18].

U tablici 4 prikazani su rezultati za jakost gustoće struje od 10 mA/m² u usporedbi sa zahtjevima ICNIRP i NRPB (*National Radiological Protection Board* u Velikoj Britaniji), a u tablici 5 za gustoću struje 2,0 mA/m².

It is necessary to mention some investigations on the international level concerning this subject. They involve a computational method known as the split method, which is used to determine the strength of an electric field or magnetic induction necessary for achieving the current densities of 10 mA/m² and of 2,0 mA/m² given in the basic restrictions.

According to this computational method, three independent groups have performed calculations, as follows:

- the Health Protection Agency (HPA) in Great Britain,
- the University of Victoria, and
- a group from Salt Lake City.

The results coincided with the limits of 2 % [18].

In Table 4, results are shown for the strength of current density of 10 mA/m² in comparison to the requirements of the ICNIRP and National Radiological Protection Board (NRPB) in Great Britain, and in Table 5 for current density of 2,0 mA/m².

Tablica 4 – Potrebne jakosti elektromagnetskih polja za gustoću struje od 10 mA/m²
Table 4 – The necessary strengths of electromagnetic fields for current density of 10 mA/m²

Temeljno ograničenje 10 mA/m ² za centralni živčani sustav / Basic restriction of 10 mA/m ² for the central nervous system	
Magnetska indukcija / Magnetic induction	Električno polje / Electric field
ICNIRP referentna veličina 500 µT / ICNIRP reference level 500 µT	ICNIRP referentna veličina 10 kV/m / ICNIRP reference level 10 kV/m
NRPB istraživačka veličina 1 600 µT / NRPB investigative level 1 600 µT	NRPB istraživačka veličina 12 kV/m / NRPB investigative level 12 kV/m
Izračunata vrijednost 1 800 µT / Calculated level 1 800 µT	Izračunata vrijednost 46 kV/m / Calculated level 46 kV/m

Iz ove tablice 4 vidljivo je zašto je Velika Britanija odabrala tako visoke granične vrijednost (tablica 2).

From Table 4, it is evident why Great Britain chose such high limit values (Table 2).

Tablica 5 – Potrebne jakosti elektromagnetskih polja za gustoću struje od 2,0 mA/m²
Table 5 – The necessary strengths of electromagnetic fields for current density of 2,0 mA/m²

Temeljno ograničenje 2,0 mA/m ² za centralni živčani sustav / Basic restriction of 2,0 mA/m ² for the central nervous system	
Magnetska indukcija / Magnetic induction	Električno polje / Electric field
ICNIRP referentna veličina 100 µT / ICNIRP reference level of 100 µT	ICNIRP referentna veličina 5,0 kV/m / ICNIRP reference level of 5,0 kV/m
Izračunata vrijednost 360 µT / Calculated value of 360 µT	Izračunata vrijednost 9,2 kV/m / Calculated value of 9,2 kV/m

Prema podacima iz obje tabele, zbog linearnog odnosa J/B , može se lako izračunati kako bi jakost magnetske indukcije od 40 μT (Pravilnik) inducirala gustoću struje od 0,22 mA/m^2 , dakle skoro 10 puta manju od propisanog temeljnog ograničenja.

Nažalost, za električno polje ne postoji linearni odnos između J/E . Grubom interpolacijom (log-log skala) dobiva se uz jakost električnog polja od 2,0 kV/m gustoća struje od približno 0,4 mA/m^2 , dakle 5 puta manju od propisanog temeljnog ograničenja.

Ova dva argumenta su dovoljan poticaj da HEP d.d., među svim ostalim zahtjevima, pokrene i zatraži promjenu referentne veličine za područje povećane osjetljivosti od 2,0 kV/m na 5,0 kV/m (Preporuka Europske unije).

6.5 Prilagođavanje Pravilniku s obvezatnom promjenom sigurnosnih udaljenosti u Pravilniku za izgradnju nadzemnih vodova

Ovaj način predlažu autori studije tvrtke ENCONET [12]. Podaci prikazani u tablici 3 dobiveni su proračunom i mjerenjima za visinu 1 m od tla i na rubu sigurnosnog koridora. Autori dobro ukazuju da to nije maksimalna vrijednost, već je mjerodavna računata ili izmjerena jakost električnog polja na rubu sigurnosnog koridora i na stvarnoj visini vodiča iznad zemlje. Budući da će se jakost električnog polja vrlo malo mijenjati uzduž lančаницe vodiča u nekom rasponu, ali uvijek na rubu sigurnosnog koridora, za praktično računanje i mjerenje može se uzeti sigurnosna visina vodiča za pojedine naponske razine (točka najnižeg provjesa). U tablici 6 prikazane su sigurnosne visine i udaljenosti prema nazivnim naponima vodova prema postojećem Pravilniku za izgradnju nadzemnih vodova [17].

According to the data from both tables, due to the linear relation of J/B , it is easy to calculate how magnetic induction strength of 40 μT (Regulations) would induce a current density of 0,22 mA/m^2 , i.e. nearly 10 times lower than the stipulated basic restriction.

Unfortunately, for an electric field there is no linear relation between J/E . Through rough interpolation (log-log scale) and electrical field strength of 2,0 kV/m , current density of approximately 0,4 mA/m^2 is obtained, i.e. nearly 5 times lower than the stipulated basic restriction.

These two arguments are sufficient incentive for HEP d.d., among all its other demands, to initiate the demand for a change in the reference level for area of intensified sensitivity from 2,0 kV/m to 5,0 kV/m (Recommendation of the European Union).

6.5 Adoption to the Regulations with mandatory changes in the safety distances in the Regulations for the construction of overhead power lines

This is proposed by the authors of the ENCONET study [12]. The data presented in Table 3 were obtained through calculations and measurements for a height of 1 m from the ground at the edge of the safety corridor. The authors demonstrate that this is not a maximum value but that it is the applicable calculated or measured strength of the electric field at the edge of the safety corridor and at the actual height of the conductor above the ground. Since the strength of the electric field changes very little along the conductor span but always at the edge of the safety corridor, for practical calculation and measurement it is possible to take the safety height of the conductor for individual voltage levels (at the point of maximum sag). In Table 6, the safety heights and distances are shown according to the rated voltages of power lines, pursuant to the existing Regulations for the construction of overhead power lines [17].

Tablica 6 – Sigurnosne visine i udaljenosti prema nazivnim naponima vodova
Table 6 – Safety heights and distances according to rated power line voltage

Nazivni napon / Rated voltage (kV)	Sigurnosna visina / Safety height (m)		Sigurnosna udaljenost / Safety distance (m)	
	Balkoni, terase / Balconies, terraces	Naseljena mjesta / Inhabited locations	Balkoni, terase / Balconies, terraces	Pristup vozilima / Vehicle access
110	5,00	7,00	4,00	5,00
220	5,75	7,75	4,75	5,75
400	7,00	9,00	6,00	7,00

U navedenoj studiji [12] predlaže se druga varijanta, tj. prilagođavanje Pravilniku, kao brže i jednostavnije rješenje. Suština prijedloga je u tome da treba vodoravni razmak između najbližeg vodiča prema objektu i objekta povećati na onu udaljenost na kojoj polje padne na jakost od 2,0 kV/m. Ta nova udaljenost nazvana je granična udaljenost. To se može prikazati na sljedeći način:

$$l_{gr} = l_s + l_d, \quad (1)$$

gdje je:

l_{gr} – granična udaljenost (m),
 l_s – sigurnosna udaljenost (m),
 l_d – dodatna udaljenost (m).

where:

l_{gr} – limit distance (m),
 l_s – safety distance (m),
 l_d – additional distance (m).

Rezultati takvih proračuna prikazani su u tablici 7.

The results of such a calculation are presented in Table 7.

Tablica 7 – Razine polja na sigurnosnoj udaljenosti te granične udaljenosti za 2,0 kV/m i nove vodove
 Table 7 – The field levels at safety distances and limit distances for 2,0 kV/m and new power lines

	Tip Stupa / Pole type	Napon / Voltage (kV)	Sigurnosna udaljenost / Safety distance (l_s) (m)	E_s (kV/m)	Potrebna granična udaljenost / Required limit distance (l_{gr}) (m)	Dodatna udaljenost / Additional distance (l_d) (m)	E_g (kV/m)
1	Ypsilon / Y	400	6,0	6,00	13,8	9,0	2,0
2	Bačva / Barrel	400	6,0	5,00	12,5	9,0	2,0
3	Jela / Fir	220	4,75	2,80	6,2	4,25	2,0
4	Jela / Fir	220	4,75	3,80	7,6	4,25	2,0
5	Jela / Fir	220	4,75	2,90	6,4	4,25	2,0
6	Bačva / Barrel	220	4,75	2,80	6,8	4,25	2,0
7	Bačva / Barrel	220	4,75	2,80	6,8	4,25	2,0
8	Jela / Fir	110	4,0	1,10	3,5	0	2,0
9	Jela / Fir	110	4,0	1,20	3,6	0	2,0
10	Bačva / Barrel	110	4,0	1,70	3,6	0	2,0
11	Bačva / Barrel	110	4,0	1,60	3,5	0	2,0
12	Jela / Fir	110	4,0	1,20	3,4	0	2,0
13	Dunav / Danube	110	4,0	1,40	3,3	0	2,0

l_{gr} – minimalna potrebna udaljenost za električno polje od 2,0 kV/m / minimal required distance for an electric field of 2,0 kV/m

Ovi podaci trebali bi biti temelj za izračunavanja i mjerenja za konačni prijedlog izmjena u Pravilniku za izgradnju nadzemnih vodova. Kao privremeno rješenje autori studije ENCONET-a preporučuju dopuštenje približavanja objekata vertikalnoj projekciji najdaljeg vodiča (od osi stupa) do udaljenosti 15 m

These data should be the basis of calculation and measurement for the final proposed amendments to the Regulations for the construction of overhead power lines. As a temporary solution, allowing the object to be brought close to the vertical projection of the most distant conductor from the axis of the

za vodove napona 400 kV, odnosno 9 m za vodove napona 220 kV. Ovakav pristup je ispravan samo za balkone i terase uz pretpostavku zadržavanja limita od 2,0 kV/m.

S ovim prijedlogom treba biti vrlo oprezan. Promakla je jedna bitna činjenica iz svakodnevnog života, koja je dijelom posljedica loše definicije područja povećane osjetljivosti. Mnoge zemlje uvele su u tu definiciju da se radi o prostorijama za te namjene (bolnice, škole itd.). To znači da se između najbližeg vodiča, koji je izvor opasnog polja i prostorije nalazi neki zid. Zidova može biti najmanje četiri vrste:

- armirano-betonski zid,
- zid iz opeke, debljine koja odgovara dužini opeke,
- drveni zid (trupci oko 30 cm) i
- limeni zid (hangari, skladišta i sl.).

Zanemarena je činjenica da će ovi zidovi u manjoj ili većoj mjeri prigušiti električno polje, tj. dolazi do zaslanjanja. Primjerice iza limenog zida nema električnog polja (Faradayev kavez). Isto tako, ali nešto u manjoj mjeri, je učinak armirano-betonskih zidova. Ovo zaslanjanje mora naći svoje mjesto u izmjenama Pravilnika za izgradnju nadzemnih vodova, a može se izraziti **koeficijentom zaslanjanja** f_z . Sada bi jednadžba (1) za graničnu udaljenost l_{gr} glasila:

pole at a distance of 15 m for power lines with voltage of 400 kV, respectively 9 m for power lines with voltage of 220 kV, is recommended by the authors of ENCONET study. Such an approach is only applicable for balconies and terraces, assuming a limit of 2,0 kV/m.

With this proposal, it is necessary to be very cautious. A significant everyday fact has been overlooked, partially due to the poor definition of an area of intensified sensitivity use. Many countries have specified in this definition that it refers to places for such purposes (hospitals, schools etc.). This means that there is a wall between the closest wire that is a source of a dangerous field and the premises. Walls can be of at least four types:

- a wall of reinforced concrete,
- a brick wall, of a thickness that corresponds to the length of the brick,
- a wooden wall (planks of approximately 30 cm), and
- a tin wall (hangers, warehouses etc.).

The fact is ignored that these walls, to a greater or lesser extent, attenuate electric fields, i.e. screening occurs. For example, there is no electric field behind a tin wall (a Faraday cage). Reinforced concrete walls have a similar but lesser effect. This screening must find a place in the amendment to the Regulations for the construction of overhead power lines, and can be expressed as the **screening coefficient** f_z . Now the equation (1) for the limit distance l_{gr} would be as follows:

$$l_{gr} = l_s + f_z \cdot l_d, \quad (2)$$

pri čemu bi koeficijent zaslanjanja f_z imao vrijednosti:

- 1,0 za otvoreni prostor: balkoni, terase, dječja igrališta i parkovi,
- x mjerenjem utvrđena vrijednost za zidove iz armiranog betona,
- y mjerenjem utvrđena vrijednost za zidove iz opeke,
- z mjerenjem utvrđena vrijednost za zidove iz drva i
- 0 za limene zidove.

Do podataka o zaslanjanju pojedinih vrsta zidova može se doći računskim putem iz različitih dielektričnih konstanti ili mjerenjima. Za realno utvrđivanje koeficijenta zaslanjanja HEP bi trebalo hitno naručiti izradu odgovarajuće studije.

so that the screening coefficient f_z would have the following values:

- 1,0 for open spaces, balconies, terraces, children's playgrounds and parks,
- x for the value determined by measurement for reinforced concrete walls,
- y for the value determined by measurement for brick walls,
- z for the value determined by measurement for wooden walls, and
- 0 for tin walls.

It is possible to obtain data on the screening properties of individual types of walls through calculations from various dielectric constants or measurements. For the determination of the actual screening coefficients, HEP should contract the corresponding study immediately.

Za HEP bi se troškovi ove studije vrlo brzo refundirali s mnogo užim sigurnosnim koridorima, a pogotovo s troškovima za eventualne naknadne sporove za postojeće objekte.

Ne uzimajući u obzir način rješavanja tog problema (ili promjena ili prilagodba), morat će doći do stanovitih promjena u Pravilniku za izgradnju nadzemnih vodova, a ovdje se predlaže usvajanje koeficijenta zaslanjanja. To može biti značajno u budućnosti.

Konačno i zaključci za ovaj dio problematike:

- budući da nema stvarnih dokaza o štetnom djelovanju induciranih struja gustoće znatno manje od 2 mA/m^2 , u ljudskom tijelu zbog električnih polja, treba zahtijevati izmjenu referentne veličine jakosti električnog polja, za područje povećane osjetljivosti, od 2 kV/m na vrijednost od 5 kV/m , kao što je navedeno u Smjernicama ICNIRP ili u Preporuci 1999/519/EC i
- neovisno o izabranom putu za rješavanje navedenih teškoća, mora se u Pravilniku za izgradnju nadzemnih vodova, prigodom unašanja odredbi vezanih za zračenje elektromagnetskih polja, unijeti koeficijent zaslanjanja f_z .

7 USPOREDBA IZMJERENIH STVARNIH JAKOSTI ELEKTRIČNIH POLJA U PODRUČJU PROFESIONALNE IZLOŽENOSTI SA ZAHTJEVIMA ZA OGRANIČENJE U NAŠEM PRAVILNIKU.

Ova usporedba bit će urađena za električna polja s obzirom na izvore polja i to za:

- nadzemne vodove i podzemne kabele i
- transformatorske stanice i rasklopna postrojenja.

Podloga za razmatranje bit će dvije domaće studije [9] i [12], a u pomanjkanju domaćih mjerenja koristit će podaci iz inozemne literature.

Propisani limit prema Pravilniku iznosi za jakost električnog polja $5,0 \text{ kV/m}$.

The costs of such study would be quickly refunded to HEP from much narrower safety corridors and eventual compensation from disputes regarding existing objects.

Not taking into account the manner for solving this problem (either changes or adaptations) will have to result in certain changes to the Regulations for the construction of overhead power lines and here is given a proposal for adopting screening coefficients. This could be of significance in the future.

The final conclusions for this part of the problem are as follows:

- since there is no actual proof of the harmful effects of induced current density lower than 2 mA/m^2 to the human body due to electric fields, it would be necessary to demand a change in the reference level for the strength of an electric field for area of intensified sensitivity, from 2 kV/m to a value of 5 kV/m , as stipulated in the Guidelines of the ICNIRP and the Recommendation of 1999/519/EC, and
- regardless of the path chosen for solving the aforementioned difficulties, in the Regulations for the construction of overhead power lines it is necessary to enter the screening coefficient f_z on the occasion of inserting provisions in connection with the radiation of electromagnetic fields.

7 A COMPARISON BETWEEN THE ACTUAL MEASURED STRENGTHS OF ELECTRIC FIELDS IN AREA OF OCCUPATIONAL EXPOSURE AND THE LIMIT REQUIREMENTS IN CROATIAN REGULATIONS

This comparison will be made for electric fields, according to the sources of the fields, as follows:

- overhead power lines and underground cables, and
- transformer substations and switchyards.

The basis for consideration will be two domestic studies, [9] and [12], and data from foreign literature will be used in the absence of domestic measurements.

The prescribed limit according to the Regulations is $5,0 \text{ kV/m}$ for electric field strength.

7.1 Neke značajke utjecaja električnih polja

Prije bilo kakvog detaljnijeg razmatranja o utjecaju električnih polja, treba ukazati na činjenicu, da je za utvrđivanje eventualno štetnog djelovanja magnetskih polja na zdravlje ljudi urađeno mnogo više studija, nego o štetnom djelovanju električnih polja, njih svega nekoliko. Razlog tome treba tražiti u činjenici, da će vrlo mali broj osoba osjetiti prisutnost električnog polja jakosti 10 kV/m (gustoća struje 10 mA/m²) [2].

Međusobna reakcija izmjeničnog električnog polja s ljudskim tijelom rezultira s protjecanjem električnog naboja (električna struja), polarizacijom naboja u stanicama (stvaranjem dipola) i promjenom smjera postojećih dipola uvijek prisutnih u tijelu. Relativna magnituda različitih učinaka ovisi o električnim svojstvima tijela, a to su: električna vodljivost (određuje tok električne struje) i dielektričnost (određuje jačinu polarizacije). Električna vodljivost i dielektričnost variraju s vrstom tkiva i također ovise o frekvenciji primijenjenog polja. Vanjsko električno polje inducira površinski naboj, a to rezultira induciranom strujom u tijelu. Raspodjela struje ovisi o uvjetima izlaganja, o veličini i obliku tijela te o položaju tijela u polju.

Inducirane struje u ljudskom tijelu zbog električnih i magnetskih polja imaju različiti smjer i, nažalost, još uvijek nedovoljno istraženo djelovanje. Struje u ljudskom tijelu proizvedene električnim poljem imaju smjer od glave prema zemlji, naspram strujama induciranim magnetskim poljem koje su kružne i stvaraju petlju. Golema je razlika u raspodjeli polja u tijelu ako je čovjek u dobrom spoju sa zemljom (mokri kožnati đon) ili je na neki način izoliran od zemlje (zaštitne cipele s izolacijskim đonom). To jako utječe na jakost inducirane struje u tijelu uzrokovane električnim poljem.

Tome treba pridodati rezultate izračunavanja induciranih gustoća struje (mA/m²) zbog električnih i magnetskih polja *split metodom* koji su prikazani u tablici 4 i tablici 5. Treba naglasiti da je do vrlo sličnih rezultata došlo troje autora iz triju različitih institucija [18].

Ovi navodi upućuju na veliki oprez prigodom razmatranja dopuštene granične vrijednosti za jakost električnog polja od 5,0 kV/m, za profesionalno osoblje prema Pravilniku.

7.1 Some characteristics of the effects of electric fields

Prior to any more detailed consideration of the effects of electric fields, it is necessary to state the fact that there have been many more studies for the determination of the eventual harmful effects of magnetic fields on human health than on the harmful effects of electric fields, of which there have only been a few. The reason for this should be sought in the fact that a very small number of people will sense the presence of an electric field strength of 10 kV/m (current density of 10 mA/m²) [2].

The reaction between an alternating electric field and the human body results in electrical charge flow (electrical current), polarizing charge in the cells (the creation of dipoles) and changes in the directions of the dipoles always present in the body. The relative magnitude of various effects depends upon the electrical properties of the body, and these are electrical conductivity (determines the current flow) and dielectricity (determines the strength of polarization). Electrical conductivity and dielectricity vary with the types of tissues and also depend upon the frequency of the applied field. An outside electric field produces a surface charge, inducing current flow in the body. Distribution of the current depends upon the exposure conditions, the size and form of the body, and the position of the body in the field.

Induced currents in the human body due to electric and magnetic fields have different directions and, unfortunately, effects that have still not been sufficiently researched. Currents in the human body induced by an electric field are in the direction from the head to the ground, while currents induced by a magnetic field create loops. There is an enormous difference in the field distribution in the body if a person is in good contact with the ground (wet leather shoe soles) or is in some manner insulated from the ground (protective shoes with insulating soles). This has a great effect on the strength of the induced current in the body caused by an electric field.

To this should be added the results of the calculation of induced current densities (mA/m²) due to electric and magnetic fields using the *split method*, as presented in Tables 4 and 5. It should be emphasized that three authors from three different institutes arrived at very similar results [18].

These statements suggest the need for great caution when considering the permitted limit value for the strength of an electric field of 5,0 kV/m for occupational exposure according to the Regulations.

7.2 Nadzemni vodovi i podzemni kabeli visokog napona

Iz razmatranja može se odmah isključiti podzemne kabele, jer oni zbog svog metalnog plašta ili zbog električne vodljivosti zemlje, ne stvaraju električna polja na površini tla. Podaci iz studije ENCONET o izračunatim i izmjenjenim vrijednostima jakosti električnih polja unutar trase i unutar sigurnosnog koridora bit će dostatni za usporedbu prigodom radova na tlu u tim područjima.

Unutar trase nadzemnih vodova obavlja se pregled trase, pregled konstrukcije stupa, mjerenje otpora uzemljena stupa, postavljanje tablica upozorenja i brojeva stupova, sječa drveća, uređivanje pristupnih putova i staza i drugo. Unutar sigurnosnog koridora obavlja se sječa drveća i uređenje pristupnih putova. Svi ovi radovi obavljaju se s tla, a sječa stabala ručno ili s nekim uređajima za sječu. Za procjenu su bitne izračunate i izmjerene jakosti električnih polja na visini od 1,0 m od tla, prikazane u tablici 8, preuzete iz studije ENCONET-a [12].

7.2 High-voltage overhead power lines and underground cables

It is possible to exclude underground cables immediately from this discussion because they do not create an electric field on the surface of the soil due to their metal jackets or the electrical conductivity of the soil. Data from the ENCONET study on the calculation and measurement of the values of the strength of electric fields within routes and safety corridors will be sufficient for purposes of comparison when working on the ground in such places.

On the route of an overhead power lines, there are inspections of the route, inspection of the pole construction, measurement of the resistance of grounded poles, erection of warning signs and the signs indicating the number of each pole, cutting trees, construction and maintenance of access routes and paths etc. Within the safety corridor, trees are cut and access routes are maintained. All these tasks are performed from the ground, and trees are cut manually or with some equipment for cutting. For an assessment, the calculated and measured strengths of the electric fields at heights of 1,0 m from the ground are required, as shown in Table 8, which is taken from the ENCONET study [12].

Tablica 8 – Najveće izračunate i izmjerene vrijednosti jakosti električnih polja nadzemnih vodova*
Table 8 – The highest calculated and measured values of the strength for the electric fields of overhead power lines*

Oznaka / Designation	Tip stupa / Pole type	Napon / Voltage (kV)	Broj DV / Number of power line	Naziv DV / Name of power line	Proračun / Calculation (kV/m)	Mjerenje / Measurement (kV/m)
A	Ipsilon / Y	400	DV 456	Melina –Tumbri	9,6	5,01
B	Bačva / Barrel	400	DV 413	Tumbri–Krško	8,9	6,77
C	Bačva / Barrel	400	DV 499	Žerjavinec–Heviz 1	8,3	6,00
D	Jela / Fir	220	DV 285	Melina–Pehlin 1	3,9	2,04
E	Bačva / Barrel	220	DV 286	Melina–Pehlin 2	4,4	0,70
F	Jela / Fir	110	DV 112	Plomin–Dubrova–Raša	1,9	2,10
G	Ipsilon / Y	110	DV 112	Plomin–Dubrova–Raša	**	1,15
H	Jela / Fir	110	DV 119	Plomin–Pazin	1,9	1,14
I	Bačva / Barrel	110	DV 137	Melina–Rijeka	2,8	1,65
J	Dunav / Danube	110	DV 120	Vrboran–Sučidar	2,6	1,43

* Visina mjerenja 1 m iznad tla / Measured at the height of 1 m above the ground

** Za ovaj oblik stupa nisu dani podaci / Data were not provided for this type of pole

Kod sva tri nadzemna voda, napona 400 kV izračunate su i izmjerene jakosti električnih polja koje su više od propisanog limita od 5,0 kV/m.

For all three 400 kV overhead power lines, the calculated and measured electric field strengths exceeded the stipulated limit of 5,0 kV/m.

Za rješavanje ovog postoje dva moguća puta:

There are two possible solutions:

- mijenjanje zahtijevane granične vrijednosti jakosti električnog polja za nadzemne vodove u području profesionalne izloženosti s 5,0 kV/m

- changing the required limit value of the strength of the electric field for overhead power lines in area of occupational exposure from 5,0 kV/m to

na 10,0 kV/m prema Direktivi 2004/40/EC [4] i

- prilagođavanje Pravilniku s ograničenjem trajanja rada u području gdje je jakost polja viša od dopuštene ili korištenjem ekranizirajućih odijela.

7.2.1 Mijenjanje granične vrijednosti jakosti električnog polja za područje profesionalne izloženosti
Za pretpostaviti je da je ovo put s mnogo poteškoća, ali je u svakom slučaju najispravniji. Za takav pristup ima više ozbiljnih argumenata. Od 17 država u Europi, koje su donijele akte o području profesionalne izloženosti, 13 država propisuje graničnu vrijednost za jakost električnog polja u skladu s Direktivom 2004/40/EC, dakle 10,0 kV/m, a Hrvatska s još tri zemlje, umanjuje tu granicu. Za takav stav nema objašnjenja. Opet se iskazuje potreba za komentarnom Pravilnika. Slijedi jasan zaključak: HEP treba pokrenuti akciju za izmjenu granične vrijednosti za jakost električnog polja, za područje profesionalne izloženosti od 5,0 kV/m na 10,0 kV/m.

7.2.2 Prilagođavanje odredbama Pravilnika za područje profesionalne izloženosti

Kao što je već prije rečeno, za procjenu su bitne izračunate i izmjerene jakosti električnog polja na visini od 1,0 m od tla, prikazane u tablici 8 preuzete iz studije ENCONET-a [12]. Odmah treba ukazati na činjenicu da prikazane vrijednosti prekoračenja u tablici 8 ne vrijede za cijelu trasu od stupa do stupa, već za jedan manji dio trase (približno 10 % do 15 % trase), u području najvećeg provjesa. Uz pretpostavku prosječnog raspona od 300 m, to iznosi od 30 m do 45 m i taj dio trase možemo nazvati opasna zona.

U slučaju potrebe za dužim radom (više od 2 sata na dan) u opasnoj zoni moguća su dva rješenja:

- Ograničavanje trajanja rada prema relaciji:

10,0 kV/m according to Directive 2004/40/EC [4], and

- adapting to the Regulations by restricting the duration of work in places where the strength of the field is higher than permitted or using shielding suits.

7.2.1 Changing the limit value of the strength of electric field in area of occupational exposure

It can be assumed that this path has many difficulties but in any case is the most correct. Such an approach has several serious arguments. Of the seventeen countries in Europe that have adopted legislation on the area of occupational exposure, thirteen countries have stipulated limit value for the strength of an electric field pursuant to Directive/2004/40/EC, i.e. 10,0 kV/m, and Croatia with three other countries has lowered this limit. There is no explanation for such a position. The need for commentary on the Regulations is once again evident. A clear conclusion follows. HEP must inaugurate a campaign for changing the limit values for the strength of electric fields in area of occupational exposure from 5,0 kV/m to 10,0 kV/m.

7.2.2 Adaptation to the provisions of the Regulations for area of occupational exposure

As stated previously, in order to make an assessment, the calculated and measured strength of an electric field at a height of 1,0 m from the ground is required, as shown in Table 8 from the ENCONET study [12]. It is immediately necessary to point out the fact that the values presented in Table 8 are not valid for an entire route from pole to pole, but only for one small part of the route (approximately 10 to 15 %), in the place of the maximum sag. With the assumption of the average space between them of 300 m, this part of the route is from 30 to 45 m and we can call it a danger zone.

In the event of the need for longer work (more than two hours per day) in a danger zone, there are two possible solutions:

- Restriction of the duration of the work, according to the following:

$$T = 80/E, \tag{3}$$

pri čemu je:

T – trajanje rada u satima u jednom danu,
 E – jakost električnog polja (kV/m).

where:

T – the duration of work in hours per day,
 E – strength of the electric field (kV/m).

Ovaj postupak navodi ICNIRP 1996. godine.

Rusija i još neke zemlje koriste nešto strožu jednadžbu:

This approach was specified by ICNIRP in the year 1996.

Russia and some other countries use a somewhat stricter equation:

$$T = 50/E + 2, \quad (4)$$

što bitno odudara od Direktive 2004/40/EC.

- Korištenje zaslona, ekranizirajućih odijela kakva se koriste kod radova pod naponom direktnom metodom i dogradnjom metalne kabine na uređajima za sječu, ako ona već ne postoji. Mnogo bolje bi došla metalna mreža radi zaštite od komaraca i drugih insekata, kojih u takvim područjima ima u izobilju, a ujedno bi predstavljala Faradayev kavez.

Budući da nema stvarnih dokaza o štetnom djelovanju induciranih struja u ljudskom tijelu zbog električnih polja gustoće manje od 10 mA/m², kroz prosječno trajanje rada od 8 sati, te uzimajući u obzir sporan podatak da će jakost polja od 10 kV/m izazvati navedenu gustoću struje, treba zahtijevati izmjenu granične vrijednosti jakosti električnog polja za područje profesionalne izloženost, od 5 kV/m na vrijednost od 10 kV/m, kao što je navedeno u Smjernicama ICNIRP ili u Direktivi 2004/40/EC.

7.3 Transformatorske stanice i rasklopna postrojenja

Nužno je odmah ukazati na činjenicu kako u inozemnoj literaturi ima veoma malo podataka o izračunatim ili izmjerenim jakostima električnih polja te o mjerama zaštite. Kod nas postoje dva uratka na tu temu i to:

- elaborat o mjerenjima E/M polja u TS 400/220/110 kV Žerjavinec [19] i
- studija u kojoj su izračunate jakosti električnih i magnetskih polja za TS 400/110 kV Ernestinovo [20].

Nažalost, treba reći kako je elaborat [19] neuporabljiv za ovu namjenu. Prigodom mjerenja i izrade elaborata učinjeno je nekoliko pogrešaka i to:

- obavljena su mjerenja na visinama od 1,0 do 2,0 m iznad tla, a nije naznačena visina kod svakog mjernog mjesta. Ako je visina vodiča pod naponom primjerice 6,0 m iznad tla, nije ni najmanje svejedno na kojoj se visini mjerilo, jer jako utječe na rezultat. Nije propisana, ali

which significantly differs from Directive 2004/40/EC.

- One possibility would be shielding suits as worn during work on energized power lines, using the direct method and building of metal cabins around cutting equipment, if they do not already exist. A much better solution would be a metal screen for protection from mosquitoes and other insects, which are present in such places in abundance, and would also serve as a Faraday cage.

Since there is no actual evidence that induced current in the human body due to electric fields of a density lower 10 mA/m² for an average working day of eight hours has a harmful effect and taking into account the disputed fact that a field of the strength of 10 kV/m induces such a current density, it is necessary to demand a change in the limit value for the strength of an electric field for area of occupational exposure, from 5 kV/m to a value of 10 kV/m, as stated in the Guidelines of the ICNIRP and Directive 2004/40/EC.

7.3 Transformer substations and switchyards

It is necessary to state the fact immediately that there is very little data in the foreign literature on calculated or measured strengths of electric fields and protective measures. In our country, there are two works on this topic, as follows:

- a report on the measurement of E/M fields in the Žerjavinec 400/220/110 kV transformer substation [19], and
- a study in which the strength of electric and magnetic fields for the Ernestinovo 400/110 kV transformer substation is calculated [20].

Unfortunately, it must be stated that the report [19], cannot be used for this purpose. During the measurements and preparation of the report, several errors were committed, as follows:

- the measurements were performed at heights of 1,0 to 2,0 m above the ground, and the height at every measurement site was not indicated.

je dogovorna visina mjerenja 1,0 m iznad tla i tada su rezultati međusobno usporedivi,

- nisu nigdje navedene visine sabirnica i ostalih vodiča iznad tla na mjestima mjerenja,
- u transformatorskim stanicama i rasklopnim postrojenjima električna i magnetska polja definiraju se vektorom u prostoru, sa svojom jakosti i smjerom, pa je nužno svako mjerno mjesto odrediti koordinatama prema nekom ishodištu. To omogućuje osim skalarne vrijednosti i vektorski prikaz polja i
- nisu obavljena mjerenja jakosti elektromagnetskog polja na rubu poklopca transformatora, zbog eventualno mogućih kratkotrajnih, dopuštenih i srećom rijetkih radova u zoni približavanja, a na rubu zone opasnosti, kao što su uzimanje uzoraka plina iz Buchholz releja, zamjena toplomjera za ulje i pritezanje vijaka za brtve na poklopcu.

Ove primjedbe mogu dobro doći, u budućnosti, sastavljačima projektnih zadataka za slična mjerenja.

Druga, vrlo dobra studija urađena na Fakultetu elektrotehnike i računarstva - Zagreb, u kojoj se nalazi proračun električnih i magnetskih polja, daje pomalo zabrinjavajuće rezultate. Na mnogo mjesta u postrojenju 400 kV jakost električnog polja prelazi 12,0 kV/m. U najekstremnijem slučaju, kod radova na uzemljenom sklopnom polju 400 kV a u blizini drugog sklopnog polja 400 kV koje je pod naponom, izračunata je jakost električnog polja od 15,44 kV/m.

U ovim razmatranjima postavlja se pitanje u kojoj će se mjeri podudarati izmjereni, stvarni podaci s izračunatim podacima. Mjerenje se očekuje u doglednoj budućnosti.

Za rješavanje ovog postoje dva moguća puta:

- mijenjanje zahtijevane granične vrijednosti jakosti električnog polja za transformatorske stanice, rasklopna postrojenja i generatorska postrojenja u području profesionalne izloženosti s 5,0 kV/m na 10,0 kV/m prema Direktivi 2004/40/EC [4],
- prilagođavanje Pravilniku s ograničenjem trajanja rada u području gdje je jakost polja viša od dopuštene ili korištenjem ekranizirajućih odijela.

If the height of an energized conductor is, for example, 6,0 m above the ground, it is not all the same at which height it is measured, because this greatly affects the result. It is not stipulated but the agreed upon measurement height is 1,0 m above the ground, and then the results are mutually comparable,

- there is no indication of the heights from the ground of the busbars and other conductors at the places where they were measured,
- in transformer substations and switchyards, the electric and magnetic fields are defined as vectors in space, with strength and direction, so that it is necessary to determine coordinates for each place measured according to a reference point. In addition to scalar value, this also facilitates the vector presentation of the field, and
- measurements were not performed of the strength of the electromagnetic field at the edge of the transformer lid, due to eventual short-term permitted and fortunately infrequent work in the access zone, and at the edge of the danger zone, such as taking a sample of gas from the Buchholz relay, replacement of a thermometer for oil and tightening the bolts on the lid seal.

These criticism could be useful in the future to persons compiling project tasks for similar measurements.

A very good study was conducted at the Faculty of Electrical Engineering and Computing - Zagreb, in which the calculations for the electric and magnetic fields give somewhat disturbing results. At many places in a 400 kV switchyard, the strength of the electric field exceeded 12,0 kV/m. In the most extreme case, in work on a grounded 400 kV switchgear bay and in the vicinity of another energized 400 kV switchgear bay, the calculated strength of the electric field was 15,44 kV/m.

In such analysis, the question arises concerning the extent to which the actually measured data coincide with the calculated data. Measurements are expected in the foreseeable future.

There are two possible solutions:

- changing the required limit value for the strength of electric fields for transformer substations, switchyards and generator plants in area of occupational exposure from 5,0 kV/m to 10,0 kV/m, pursuant to Directive 2004/40/EC [4], and
- adapting to the Regulations by limiting the duration of work in a place where the strength of a field is greater than permitted or using shielding suits.

7.3.1 Mijenjanje granične vrijednosti jakosti električnog polja za područje profesionalne izloženosti

Od 16 država u Europi, 12 njih ima iste ili blaže uvjete od Direktive 2004/40/EC, a samo **4** njih strože, nažalost među njima je i Hrvatska. Od zemalja koje imaju blaže uvjete treba izdvojiti Njemačku. Zaštita opće populacije regulira se državnim saveznim zakonom. Za zaštitu profesionalnog osoblja nadležna je institucija Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BGFE), koja izdaje svoje smjernice iz područja zaštite na radu, poznate kao BG-Vorschrift. Tako područje elektromagnetskih polja regulira sa svojim propisom BGV B11 (VBG 25). Za posebno niskofrekventno područje od 50 Hz i za elektromagnetska polja ove smjernice predviđaju tri područja:

- 2) područje normalnog kretanja i granična jakost električnog polja iznosi 6,66 kV/m,
- 1) područje kontroliranog rada i ne duže od 8 sati, a jakost polja do 21,32 kV/m,
- područje povišene izloženosti, limitirana jakost polja na 30 kV/m, najviše 2 sata u jednom danu.

Golema je to razlika prema Pravilniku.

U instituciju BGFE može se imati veliko povjerenje. Kada god je trebalo naći mjere zaštite od bilo kojeg izvora opasnosti, u njihovim smjernicama našlo se razuman, siguran i ekonomski prihvatljiv odgovor. Ne moramo do kraja prihvatiti njihov stav, ali nas to može ohrabriti za ispravnu izmjenu limita za jakost električnog polja na razumnu vrijednost.

Opravdanje povjerenstva da je prijedlog Pravilnika razrađen na temelju načela opreznosti, nitko ne osporava, već se ukazuje na nepoštivanje tog načela u cijelosti. Načelo opreznosti glasi:

Načelo opreznosti predstavlja poduzimanje razboritih akcija kada postoje dovoljni znanstveni dokazi (ali ne i apsolutan dokaz) da bi pasivnost mogla dovesti do povrjeđivanja i gdje akcija može biti provedena po razumno prihvatljivim troškovima [21].

Zanemareni su razumno prihvatljiviji troškovi.

Slijedi jasan zaključak: HEP d.d. treba pokrenuti akciju za izmjenu granične vrijednosti za jakost električnog polja, za područje profesionalne izloženosti od 5,0 kV/m na 10,0 kV/m.

7.3.1 Changing the limit value of the strength of electric field in area of occupational exposure

Out of sixteen countries in Europe, twelve have the same or less strict requirements than Directive 2004/40/EC, and only **four** have stricter requirements, including, unfortunately, Croatia. Of the countries that have less strict requirements, it is necessary to single out Germany. Protection of the general population is regulated by federal law. The institution of Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BGFE) is in charge for protection of professional employees, and issues guidelines on occupational safety, known as BG-Vorschrift. Thus, places of electromagnetic fields are regulated by the provision BGV B11 (VBG 25). For the extremely low frequency of 50 Hz and electromagnetic fields, these guidelines anticipate three types of areas:

- 2) area of normal movement, where the limit strength of the electric field is 6,66 kV/m,
- 1) area of controlled work, for not longer than 8 hours, and a field strength of up to 21,32 kV/m,
- area of increased exposure, where the limit strength of the field is 30 kV/m, for a maximum of 2 hours per day.

There is an enormous difference in comparison to the Regulations.

Great confidence can be had in the institution of BGFE. Whenever it was necessary to find a protective measure from any source of danger whatsoever in their guidelines, an understandable, safe and economically acceptable response could be found. We need not accept their position entirely but it can encourage us to make correct changes in the limit of the strength of an electric field to a reasonable value.

The commission's explanation that the proposal of Regulations was prepared on the basis of the precautionary principle is disputed by no one, but it indicates a lack of respect for the principle in its entirety. The precautionary principle is as follows:

The precautionary principle is defined as taking prudent actions when there is sufficient scientific evidence (but not necessarily absolute proof) that inaction could lead to harm and where action can be justified on reasonable judgments of cost-effectiveness [21].

The reasonably acceptable costs were neglected.

A clear conclusion follows: HEP d.d. should inaugurate a campaign for changing the limit values for the strength of an electric field for area of occupational exposure from 5,0 kV/m to 10,0 kV/m.

7.3.2 Prilagođavanje odredbama Pravilnika za područje profesionalne izloženosti

Do promjene nekih odredbi Pravilnika je dugi, kako se ono kaže trnovit put. U međuvremenu ističu ili su već istekli rokovi probnih pogona, a za nepoduzimanje prikladnih mjera zaštite odgovaraju rukovoditelji tvrtke na više razina. Moguća su dva rješenja:

- Smanjenje trajanja rada i boravka u prostoru povećane jakosti električnog polja prema relaciji:

$$T_{\text{doz}} = \frac{5,0 \cdot 8}{E_{\text{sr}}}, \quad (5)$$

pri čemu je:

- 5,0 – dopuštena jakost električnog polja (kV/m),
- 8 – puno radno vrijeme u satima,
- E_{sr} – prosječna jakost električnog polja na mjestu rada (kV/m) i
- T_{doz} – dopušteno trajanje rada u satima u jednom danu.

Ovakav pristup predlaže Fakultet elektrotehnike i računarstva u svojoj studiji. Ograničavanje trajanja rada može u nekim sredinama izazvati potrebu za povećanjem broja radnika, primjerice za košnju trave.

- Korištenje ekransirajućih odijela, koja su protkana metalnim nitima, a koja na taj način stvaraju Faradayev kavez. Takva se odijela koriste pri radu pod naponom direktnom metodom, kada je radnik na potencijalu voda. Ovakvo rješenje bilo bi najpraktičnije.

Na temelju svih iznesenih podataka u ovom poglavlju nameće se jasan zaključak da u sklopu svih ostalih zahtjeva HEP d.d. traži izmjenu granične vrijednosti za jakost električnog polja, za područje profesionalne izloženosti od 5,0 kV/m na 10,0 kV/m.

Kao potvrda ispravnost ovakvog razmišljanja može poslužiti informacija dobivena od liječnika, gospodina dr. Vladimira Hoića, specijaliste medicine rada koji vodi ambulantu HEP-a u Zagrebu već punih 25 godina. Njegova izjava glasi kako za to cijelo vrijeme nije imao niti jedan slučaj obolijevanja od bilo koje vrste raka u populaciji zaposlenika elektrostruke jake struje. Ova populacija broji prosječno od 100 do 150

7.3.2 Adaptation to the provisions of the Regulations for area of occupational exposure

The path to the amendment of some of the provisions of the Regulations is long and thorny. In the meantime, the deadlines of the trial operations are expiring or have already expired, and the senior management of the company is responsible for not taking suitable safety measures. There are two possible solutions:

- Reducing the duration of work and presence in area of increased strength of electrical fields, according to the following relation:

where:

- 5,0 – permitted strength of the electric field (kV/m),
- 8 – full-time daily working hours,
- E_{sr} – average strength of the electric field at the workplace (kV/m), and
- T_{doz} – permitted duration of work in hours per day.

Such an approach is proposed by the Faculty of Electrical Engineering and Computing in its study. Restriction on the duration of work could increase the number of workers needed in some situations, for example for the mowing of grass.

- Using a shielding suit, which is woven with metal threads and in this manner creates a Faraday cage. Such suits are worn during work on energized power lines using the direct method, when a worker is at the same potential as the power line. Such a solution would be the most practical.

On the basis of all the data presented, it can be clearly concluded that within the framework of all the other demands, HEP d.d. should seek the amendment of the limit value for the strength of an electric field in area of occupational exposure from 5,0 kV/m to 10,0 kV/m.

Information obtained from a physician, Dr. Vladimir Hoić, a specialist in occupational medicine who has directed the HEP Clinic in Zagreb for 25 years, confirms the suitability of such an approach. He states that throughout this entire period, he has not encountered a single case of any type of cancer in the population of employees engaged with high power. This population has numbered on aver-

zaposlenika kroz tih 25 godina. U tom broju zaposlenika nalazi se i skupina uklopničara koja je živjela u stanovima tik uz ogradu trafostanica TS Rakitje i TS Resnik ili čak unutar ograde kao u TS Mraclin.

8 ZAKLJUČAK

Može se kazati da je Pravilnik prihvatljiv za područje izloženosti magnetskim poljima, dok u ostalim dijelovima ima pogreška i krivih rješenja, a za utjecaj električnih polja u područjima povećane osjetljivosti i profesionalne izloženosti propisao je nerazumna i ničim opravdana niska ograničenja. Nužna je revizija Pravilnika. Ovaj zaključak odnosi se samo na područje posebno niskih frekvencija 50 Hz i elektroenergetske izvore.

Na temelju izlaganja u članku HEP d.d. treba zatražiti od Ministarstva zdravstva i socijalne skrbi sljedeće izmjene i dopune Pravilnika:

- izmjenu naziva referentne veličine u neki drugi naziv, primjerice u granične vrijednosti,
- izbrisati sve odredbe koje se odnose na temeljna ograničenja, kao i tablicu 1 u Prilogu 1. Pravilnika,
- uvesti bolju poveznicu Između Zakona o zaštiti od neionizirajućeg zračenja [6] i Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja glede kaznenih odredbi – primjerice u preambuli Pravilnika dodati još članove Zakona 28., 29. i 30.,
- izmjenu definicije područja povećane osjetljivosti tako da se istakne kako u taj prostor pripadaju prostorije u školama, ustanovama predškolskog odgoja, itd.,
- ukinuti sve odredbe o periodičkim mjerenjima kod izvora koji tijekom vremena ne mijenjaju jakosti elektromagnetskih polja bez promjene nazivnih karakteristika,
- ukinuti članak 26., (kriterij od 10 %),
- izradu dodatka Pravilniku kojim bi se riješilo ograničavanje trajanja boravka (rada) u prostorima s jakostima elektromagnetskih polja iznad limita,
- izmjenu granične vrijednosti jakosti električnog polja za područje povećane osjetljivosti, od 2 kV/m na vrijednost od 5 kV/m,
- izmjena granične vrijednosti jakosti električnog polja za područje profesionalne izloženosti od 5,0 kV/m na vrijednost od 10,0 kV/m,
- izradu službenog komentara Pravilnika.

age between 100 to 150 employees during these 25 years. Among these employees are included a group of switch operators who lived in apartments right next to the fence of the Rakitje Transformer Substation and the Resnik Transformer Substation, or even within the fence at the Mraclin Transformer Substation.

8 CONCLUSION

It can be said that the Regulations are acceptable for the area of exposure to magnetic fields, while in other parts it has errors and incorrect solutions. For the effect of electric fields in areas of intensified sensitivity and of occupational exposure, incomprehensible and by no means justifiable low restrictions are stipulated. It is necessary to revise the Regulations. This conclusion refers solely to the area of extremely low frequencies, 50 Hz, and sources of electrical energy.

On the basis of the material presented in the article, HEP d.d. should seek the following amendments to the Regulations from the Ministry of Health and Social Welfare:

- change of the term reference values to some other term, for example limit values,
- revocation of all the provisions that refer to basic restrictions, as well as Table 1 in Annex 1 of the Regulations,
- introduction of a better link regarding penalty clauses between the Protection from Non-Ionizing Radiation Act [6] and the Regulations on Protection from Electromagnetic Fields. For example, Articles 28, 29 and 30 of the Act should be added to the preamble of the Regulations,
- change of the definitions for area of intensified sensitivity in order to emphasize that such places include premises in schools, preschool institutions etc.,
- revocation of all the provisions on periodical measurements at sources that over time do not change the strength of electromagnetic fields without changes in the nominal characteristics,
- revocation of Article 26 (criterion of 10 %),
- preparation of an annex to the Regulations, which would solve the restriction of the duration of presence (work) in places with electromagnetic fields of strengths exceeding the limits,
- change of the limit value for the strength of an electric field for area of intensified sensitivity, from 2 kV/m to a value of 5 kV/m,
- change of the limit value for the strength of an electric field for area of occupational exposure, from 5,0 kV/m to 10,0 kV/m, and
- preparation of an official commentary on the Regulations.

Nakon objave ovog članka može se očekivati prigovor izrađivača Pravilnika, kako ovi prijedlozi ne skrbe o zdravlju ni opće populacije ni profesionalnog osoblja. Takav prigovor nema mjesta. Kada netko podastre studiju ili elaborat u kojem će znanstveno dokazati da izloženost jakosti električnog polja od 10 kV/m kroz 8 sati rada izaziva trajna zdravstvena oštećenja moći će se tražiti strože normirano ograničenje i povećanje troškova koje takvo ograničenje prati.

After the publication of this article, criticism by the authors of the Regulations is to be anticipated that these proposals neither protect the health of the general population nor professional employees. Such criticism would be unfounded. When someone submits a study or report that scientifically demonstrates that exposure to an electric field of a strength of 10 kV/m for 8 hours of work causes permanent damage to health, it will be justifiable to seek stricter standard restrictions and increase the expenses that accompany such restrictions.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja, Narodne novine broj 204/2003
- [2] Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), ICNIRP, 1998
- [3] Council Recommendation of 12 July 1999 on the Limitation of Exposure of the General Public to Electromagnetic Fields (0 Hz to 300 GHz), No. 1999/519/EC
- [4] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004
- [5] International EMF Project – EMF World Wide Standards, 2006
- [6] Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja, Narodne novine broj 105/1999
- [7] Pravilnik o ograničenjima jakosti elektromagnetskih polja za radijsku opremu i telekomunikacijsku terminalnu opremu, Narodne novine broj 183/2004
- [8] Legal Aspects of Electric and Magnetic Fields (EMF): A Comparative Study, EURELECTRIC, Brussels, 2000
- [9] PAVIĆ, A., BRAČIĆ, I., Mjerenje elektromagnetskih polja elektroprivrednih objekata i usporedba s međunarodnim preporukama i hrvatskim zakonom, ENCONET, Zagreb, 2001.
- [10] EMF – Handbuch, ECOLOG – Institut, Hannover, 2006
- [11] BATHOW.M., NIESEN.P., EMF – Belastung an Büroarbeitsplätzen (Teil 1: Niederfrequente Magnetfelder), Elektrosmog Report 10(3) – März 2004
- [12] PAVIĆ.A., GRGIĆ.D. , Mjerenje i analiza različitih izvedbi te opterećenja nadzemnih vodova na razine elektromagnetskih polja mrežne frekvencije te usporedba s aktualnim zakonodavstvom, ENCONET, Zagreb, 2004.
- [13] Table of Calculated Magnetic Fields Produced by Underground Cables in Operation in UK: Electric and Magnetic Fields, NATIONAL GRID EMF
- [14] Elektromagnetische Felder am Arbeitsplätze, Bayerischen Staatsministerium für Gesundheit, 2001
- [15] Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten, BIA-Report 6/2003
- [16] WHO Electromagnetic Fields (EMF), What are Electromagnetic Fields, Typical Exposure Levels at Home and Environment, 2006
- [17] Pravilnik o izmjenama Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemne energetske vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, Narodne Novine broj 24/1997
- [18] Numerical Calculations of Induced Currents: Electric and Magnetic Fields, Sources of EMFs, National Grid EMF, 2006
- [19] Elektromagnetska kompatibilnost, jakost polja i buka, Građevina TS 400/220/110 kV Žerjavinec, KONČAR, Inženjering za energetiku i transport d.d., 2004.
- [20] HAZNADAR,Z., ŠTIH, Ž., Proračun elektromagnetskih polja TS 400 / 110 kV Ernestinovo, FER, Zagreb, 2004.
- [21] CHADWICK, P., SIENKIEWIECZ, Z., Electromagnetic Fields, World Health Organization, Regional Office for Europe, 199

Uredništvo primilo rukopis:
2007-01-16

Manuscript received on:
2007-01-16

Prihvaćeno:
2007-01-24

Accepted on:
2007-01-24

NADOMJESNI MODEL TLA ZASNOVAN NA UMJETNIM NEURONSKIM MREŽAMA

SUBSTITUTIONAL MODEL OF THE SOIL BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Mr. sc. Tomislav Barić, doc. dr. sc. Vedran Boras, prof. dr. sc. Radoslav Galić,
Sveučilište J. J. Strossmayer, Elektrotehnički fakultet,
Kneza Trpimira 2 b, 31000 Osijek, Hrvatska

U radu je prikazana interpretacija rezultata mjerenja specifičnog otpora tla primjenom umjetnih neuronskih mreža. Model zasnovan na umjetnim neuronskim mrežama nadomješta tlo koje se fizikalno može smatrati kao dvoslojni medij s vertikalnom promjenom specifičnog električnog otpora i s vodoravnom granicom među slojevima. Učenje umjetne neuronske mreže provedeno je pod nadzorom sa skupom ulaznih podataka koji su dobiveni na temelju vrlo točnog teorijskog modela dvoslojnog tla. Predloženi algoritam, koji aproksimira nelinearne karakteristike tla koristeći umjetne neuronske mreže, pouzdano procjenjuje parametre tla i specifičnu električnu otpornost tla. Primjena nadomjesnog modela tla zasnovanog na neuronskim mrežama prikazana je na praktičnom primjeru određivanja parametara dvoslojnog tla iz mjernih podataka dobivenih Wennerovom tehnikom mjerenja specifičnog otpora tla. Radi jednostavnosti izlaganja i usporedivosti modela strujne sonde (štapovi) su nadomještene kuglastim elektrodama, odnosno točkastim izvorima polja. Dobiveni rezultati su prikazani analitički i grafički te diskutirani.

This paper presents an interpretation of the results of measurement of specific soil resistivity by means of artificial neural networks. The model based on artificial neural networks replaces the soil which can be physically considered a two-layer medium with a vertical change of the specific electric resistivity and a horizontal boundary line between the layers. Learning of the neural network was performed under supervision using the input dataset obtained by means of a very accurate theoretical model of the double-layer soil. The proposed algorithm that approximates non-linear soil properties using the artificial neural network is reliable in assessment of the soil parameters and specific electric soil resistivity. Application of the substitutional model of the soil based on neural networks is demonstrated by a realistic example, determination of parameters of the double-layer soil from the measured data obtained by the Wenner technique for measuring the specific soil resistivity. For simplicity of presentation and model comparability, the current probes (poles) are replaced by the ball electrodes, i.e. spot field sources. The results obtained are analytically and graphically presented and discussed.

Ključne riječi: dvoslojno tlo, specifični električni otpor tla, umjetne neuronske mreže, Wennerova mjerna metoda

Key words: artificial neural networks, double-layer soil, specific electrical soil resistivity, Wenner measuring method



1 UVOD

Mjerenje specifičnog električnog otpora tla nezaobilazan je postupak tijekom sakupljanja podataka vezanih za projektiranje i izgradnju sustava uzemljenja [1] ili u slikovnoj dijagnostici sastava tla. Točnost aproksimacije sustava tla na temelju ulaznih mjerenih podataka izrazito je važna zbog njenog izravnog utjecaja na točnost proračuna parametara uzemljivača i na cijenu izvedbe uzemljivača. Izvjestan broj mjernih tehnika specifičnog električnog otpora tla opisan je detaljno u [2]. Ova norma daje za dvoslojni model tla prikladne metode za određivanje specifičnog otpora gornjeg i donjeg sloja tla, kao i debljinu gornjeg sloja tla. U uporabi prevladava nekoliko električnih mjernih tehnika mjerenja specifične električne otpornosti tla [2] i [3]: Wenner, Schlumberger, Dipol-Dipol i Lee, koje tijekom mjerenja koriste raspored elektroda kao na slici 1. Najviše preporučivana i najčešće korištena tehnika mjerenja specifičnog otpora tla je Wennerova mjerna metoda [4], [5], [6], [7] i [8] u simetričnoj konfiguraciji s četiri elektrode kako je prikazano na slici 1, a značajka ove konfiguracije je jednak razmak a između susjednih elektroda.

Kod ovih metoda uobičajeno se pretpostavlja da izmjerena specifična otpornost za dani razmak elektroda a predstavlja prividnu specifičnu otpornost tla. Niz mjerenja uzetih za različite razmake mjernih elektroda daje niz otpornosti (kvocijenata mjerenih napona između naponskih elektroda i istodobno utisnutih struja u tlo) koje, kada se nacrtaju u ovisnosti o razmaku elektroda, ukazuju da li postoje različiti slojevi tla, te daju ideju o mogućim iznosima njihovih specifičnih otpornosti i mogućim dubinama tih slojeva [2]. Tako dobiveni podaci se na temelju teorijski pretpostavljenih modela tla koriste za izračunavanje prividnog specifičnog otpora tla. Jednom tako uspostavljena veza između prividne specifične otpornosti tla i mjernih podataka omogućava dobivanje krivulja koje prikazuju ovisnost prividne specifične otpornosti o razmaku između elektroda. Analizom dobivenih krivulja dobivaju se podaci od interesa (specifični električni otpor slojeva tla i njihove debljine). U tu svrhu koriste se gotove krivulje dobivene teorijskim modelima, a koje prikazuju istovrsnu ovisnost. Navedene krivulje iskazane su parametarski kako bi iznalaženje podataka od interesa bilo olakšano.

Uspoređivanjem krivulja prividne specifične otpornosti tla dobivenih mjerenjem s krivuljama dobivenih teorijskim modelom donosi se zaključak o iznosima željenih parametara. Drugi način određivanja traženih parametara temelji se na njihovom analitičkom određivanju korištenjem

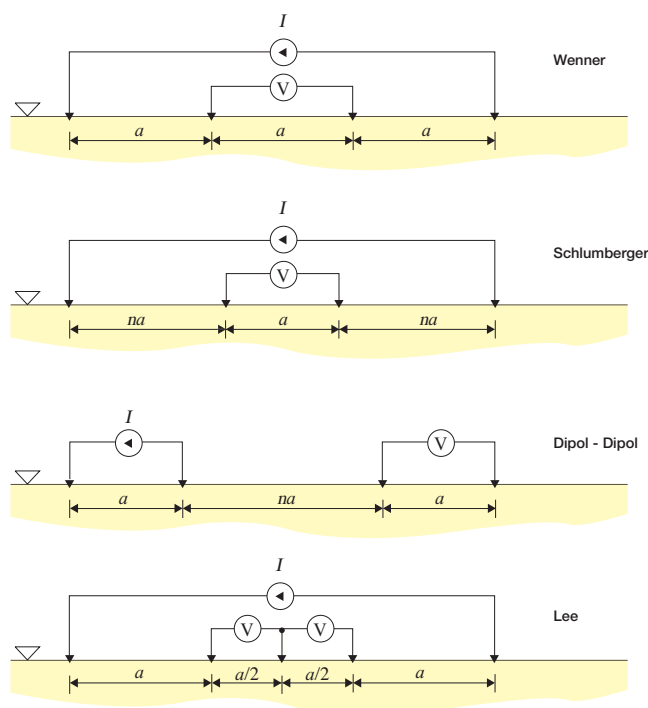
1 INTRODUCTION

Measuring the specific electrical soil resistivity is an unavoidable procedure in acquiring data related to design and building of the grounding system [1] as well as in image diagnostics of the soil composition. Accuracy of approximation of the soil system based on the input measured data is extremely important as it directly affects the accuracy of calculation of the ground conductor parameters and the ground conductor price. A certain number of techniques for measuring the specific electrical soil resistivity is described in detail in [2]. For a double-layer soil model, this standard gives suitable methods for determining the specific resistivity of the upper and lower soil layer, as well as the thickness of the upper soil layer. Several electrical measuring techniques are most frequently used for measuring the specific electrical soil resistivity [2] and [3]: Wenner, Schlumberger, Dipol-Dipol and Lee, whose electrode configuration during measuring is as per Figure 1. The most recommended and most frequently used technique for measuring the specific soil resistivity is the Wenner measuring method [4], [5], [6], [7] and [8] in symmetrical configuration with four electrodes as shown in Figure 1; this configuration is characterized by an equal distance a between adjacent electrodes.

By these methods, it is normally assumed that the measured specific resistivity for the distance between the electrodes, a , represents the apparent specific soil resistivity. In measurements performed for various distances between the electrodes, various resistivities (quotients of the measured voltage between the voltage electrodes and the currents that are simultaneously introduced into the soil) have been obtained. These values, as per the drawing that relates them to the distance between the electrodes, indicate the presence of different soil layers and provide an idea of the amounts of their specific resistivities and of the depths of these layers [2]. Based on the theoretical soil models, such obtained data are used for calculation of the apparent specific soil resistivity. The established relationship between the apparent specific soil resistivity and the measured data enables one to obtain the curves that show the relationship between the apparent specific resistivity and distance between the electrodes. Analysis of the obtained curves provides the data of interest (specific electrical resistivity of the soil layers and their thicknesses). For this purpose, curves obtained by means of theoretical models are used, with the same type of correlation. These curves are parametrically presented, so that discovery of the data of interest is facilitated.

teorijskog modela tla i za njega prilagođenog matematičkog instrumentarija [2]. Navedena tehnika je veoma složena zbog korištenja složenog matematičkog instrumentarija, te se češće pribjegava grafičkom postupku.

By comparison of the apparent specific soil resistivity obtained by measuring with the curves obtained by a theoretical model, a conclusion about the values of the desired parameters is reached. The other way of determining the desired parameters is based on their analytical determination, using the theoretical soil model and mathematical equipment adapted to the model [2]. This technique is very complex due to the use of complex mathematical equipment, and therefore the graphical procedure is used more often.



Slika 1
Različite konfiguracije elektroda za ispitivanje specifične otpornosti tla
Figure 1
Various electrode configurations for examining the specific soil resistivity

Pri tome se tolerira pogreška oko 10 %, (a ponekad i veća) u određivanju parametara. Međutim, treba imati na umu da se mjerni podaci odnose na mjerenje stvarnog tla, čija je heterogenost najčešće aproksimirana na vertikalnu promjenu specifične električne otpornosti. Preostala zanemarena heterogenost predstavlja mjernu smetnju, jer nije uvažena u modelu. Osim toga mjerenje uvijek sadrži i mjernu nesigurnost uzrokovanu mjernim instrumentima, lutajućim strujama u tlu itd. Iz svega navedenog mjerni podaci u sebi sadrže mjernu nesigurnost, koja otežava tumačenje i određivanje željenih parametara.

Navedena mjerna nesigurnost može biti tolika da se konačni sud neovisno o izabranom načinu iznalaženja željenih podataka prepušta korisniku. Iz tog razloga ukazuje se potreba za iznalaženjem postupka koji je prikladan za primjenu na osobnom računalu (PC), a koji omogućava

An error of ca. 10 % (sometimes even higher) in determination of the parameters is tolerated. However, it must be taken into account that the measured data refer to measuring the realistic soil, whose heterogeneity is usually approximated to the vertical change of specific electrical resistivity. The remaining disregarded heterogeneity is a measuring disturbance, as it is not considered in the model. Besides this, measuring always includes a measuring uncertainty caused by the measuring instruments, leakage currents in the soil etc. Due to the aforementioned, the measured data contain a measuring uncertainty that makes interpretation and determination of the desired parameters more difficult.

The measuring uncertainty can be so high that the final decision, regardless of the selected method for obtaining the desired data, is left to the user. Therefore, a process suitable for application on

učinkoviti način određivanja željenih parametara iz mjernih podataka u slučajevima kada mjerni podaci sadrže visok stupanj mjerne nesigurnosti, odnosno šum. Značajni su rezultati i doprinos domaćih istraživanja automatske interpretacije podataka izmjerenih geoelektričnim sondiranjem direktnim i iterativnim postupkom aproksimacije tla višeslojnim, navedenih u [9] i [10].

2 UMJETNE NEURONSKE MREŽE

S obzirom da u slučaju kada mjerni podaci sadrže visok stupanj mjerne nesigurnosti, dvosmislenost parametara mora riješiti korisnik, koji se pri tome povodi prethodnim iskustvom, odnosno stečenim znanjem. Postavlja se pitanje: Može li se iskustvo čovjeka za takvu vrstu odlučivanja replicirati korištenjem umjetnih neuronskih mreža? Odgovor na to pitanje tema je ovog članka. Kao što i sam naziv sugerira, termin umjetna neuronska mreža upućuje na kopiju biološke neuronske mreže prisutne u mozgu. Prednost umjetne neuronske mreže nad analitičkim modelima i klasičnim algoritmima je u tome što ima sposobnost učenja, kao i donošenja odluka u slučaju kada postoji neodređenost. Formalni opis umjetnog neurona dan je davne 1943. godine [11], a njegova znatnija primjena počela je krajem prošlog stoljeća u robotici i automatskom prepoznavanju uzoraka.

Najčešće korištena struktura neuronskih mreža je višeslojna neuronska mreža (MLP-*Multilayer Perceptrons*). Takva struktura se sastoji od ulaznog sloja neurona, jednog ili više slojeva skrivenih neurona te jednog izlaznog sloja neurona. Struktura jedne takve neuronske mreže [11] prikazana je na slici 2.

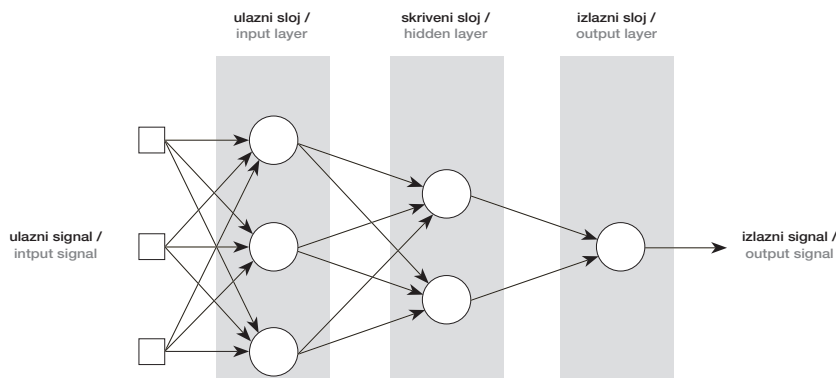
a personal computer (PC) needs to be selected; this process needs to assure an efficient way of determining the desired parameters from the measured data in a case when the measured data contain a high level of measuring uncertainty, i.e. noise. The results and contribution of national investigations of automatic interpretation of the data measured by geoelectric sounding, by direct and iterative process of soil approximation by a multilayer, as per [9] and [10], are important.

2 ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

If the measured data contain a high level of measuring uncertainty, the user needs to make decisions related to the ambiguity of the parameters. The user does this based on his own previous experience, i.e. acquired knowledge. This raises the question: Can the experience of a human being for such type of decision-making be replicated by means of artificial neural networks? The answer to this question is the subject of this paper. As suggested by the term itself, artificial neural network means a copy of the biological neural network present in the brain. The advantage of the artificial neural network over analytical models and classical algorithms is the learning capability it possesses, together with a capability of making decisions in case of ambiguity. A formal description of the artificial neuron was given as early as 1943 [11], but significant application started at the end of the last century in robotics and automatic sample recognition.

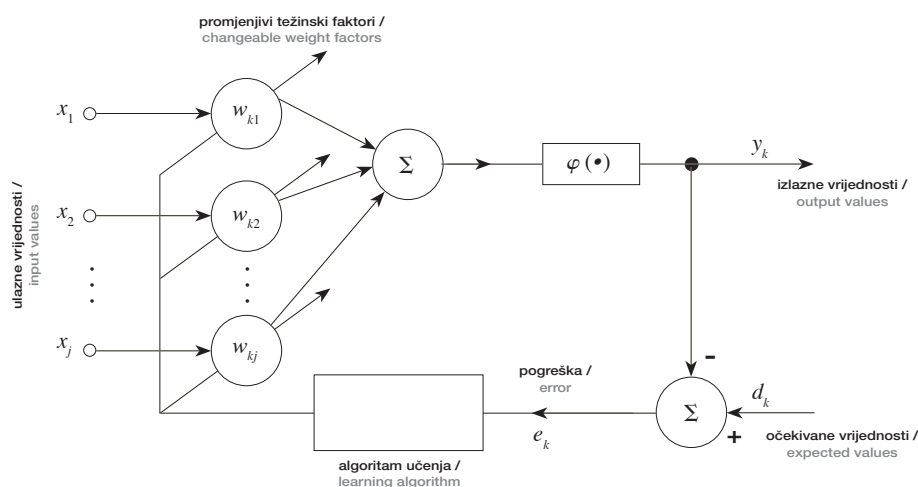
The most frequently used structure of neural networks is a multilayer neural network (MLP-*Multilayer Perceptrons*). Such a structure is made from the input neuron layer, one or more layers of hidden neurons and one output neuron layer. The structure of such a neural network [11] is shown in Figure 2.

Slika 2
 Građa višeslojne
 neuronske mreže
Figure 2
 Structure of the
 multilayer neural
 network



Broj neurona ulaznog sloja odgovara broju značajki koje opisuju problem, a broj neurona izlaznog sloja jednak je broju skupina za koje se provodi klasifikacija. Ulazni sloj neurona prenosi informaciju izlaznom sloju, u kojima se ulazne vrijednosti množe s pripadajućim težinama w_{kj} (k – redni broj sloja, j – redni broj težine) i nakon toga zbrajaju. Težine izlaznog sloja su promjenjivi parametri perceptronskih mreža i predmet su učenja. Učenje neuronske mreže provodi se skupom podataka za učenje, odnosno ulaznim i izlaznim vektorom, tj. unaprijed zadanim željenim ulaznim i izlaznim veličinama.

The number of neurons in the input layer is the same as the number of properties characterizing the problem, while the number of neurons in the output layer is the same as the number of groups for which classification is performed. The input neuron layer transfers the information to the output layer, where the input values are multiplied by the related weights w_{kj} (k – ordinal number of the layer, j – ordinal number of the weight) and then summarized. The weights of the outer layer are changeable parameters of the perceptron networks and they are a subject of learning. The learning of the neural network is performed by means of a training dataset, by an input and output vector, i.e. by means of the preset desired input and output values.



Slika 3
 Tok podataka kroz
 neuron
Figure 3
 Data flow through
 the neuron

Različitim međusobnim povezivanjem neurona moguće je načiniti različite modele neuronskih mreža, s određenim prednostima i nedostacima (slika 3). Njihova svojstva određena su strukturom, karakterom aktivacijske funkcije

When the neurons are interconnected in different ways, different models of neural networks are obtained, and they have certain advantages and disadvantages (Figure 3). Their properties are determined by the structure, the nature of the

$\varphi(\bullet)$ i postupkom učenja [11]. U ovom radu primijenjen je postupak učenja neuronske mreže s nadzorom (engl. *supervised learning*). Inherentno paralelna struktura, kao i prilagodljiv način učenja neuronskih mreža omogućavaju uspostavljanje skrivenih zakonitosti i veza između ulaza i izlaza na težinske faktore. Na taj se način matematički veoma složena zadaća transformira u matematički model, koji se može s određenom vjerojatnošću riješiti. Kako u ulaznom skupu podataka uvijek postoji smetnja (šum), neuronska mreža i u tom slučaju ima sposobnost pronalaska najbližeg oblika ulaza, utemeljeno na prethodnom iskustvu izgrađenom učenjem. Iz tog razloga su neuronske mreže prikladne za rješavanje zadaća kod kojih je u ulaznom skupu podataka prisutna smetnja (šum). Nasuprot tome, rješavanje zadaća klasičnim tehnikama temeljenim na rješavanju sustava linearnih, odnosno nelinearnih jednadžbi, postaje upitno, upravo zbog prisutnosti smetnji. Navedeni razlozi dovoljni su motiv za pisanje ovog članka.

3 DVOSLOJNI MODEL TLA I WENNEROV RASPORED ELEKTRODA

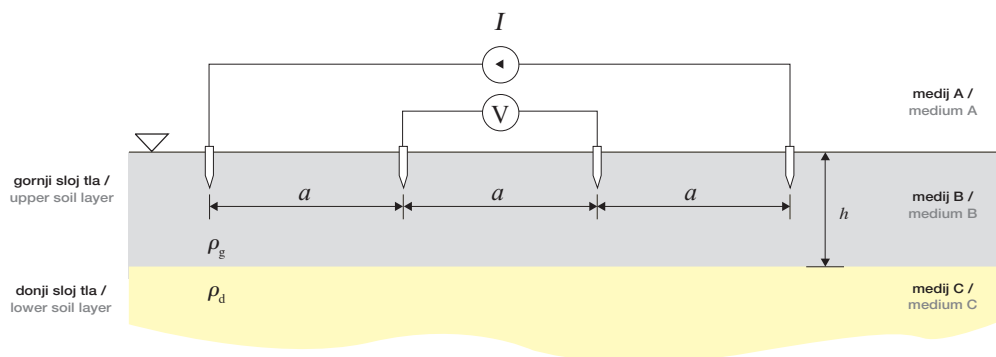
Za većinu praktičnih primjena dvoslojni model tla s vertikalnom promjenom specifičnog električnog otpora se pokazao dostatnim [2]. Navedeni model tla podrazumijeva dva sloja tla: gornji i donji, koji se razlikuju u iznosu specifičnog električnog otpora. Pri tome je gornji sloj tla konačne debljine h , a donji se proteže u beskonačnost. Na osnovi navedenog takav model tla opisan je s tri značajke: specifični otpor gornjeg sloja ρ_g , njegova debljina h , te specifičnog otpora donjeg sloja ρ_d . Mjerenje specifičnog otpora tla Wennerovim rasporedom mjernih elektroda i model dvoslojnog tla s relevantnim veličinama prikazani su na slici 4.

activation function $\varphi(\bullet)$ and by the learning procedure [11]. In this paper, supervised learning of the neural network has been applied. The inherently parallel structure, together with the adjustable way of learning of the neural networks, enable to establish the hidden laws and relationships between the output, input and the weight factors. In this way, a very complex mathematical task is transformed into a mathematical model that can be solved with a certain probability. The disturbance (noise) is always present in the input dataset, but even then the neural network has a capability of finding out the most similar input form, based on the previous experience acquired during learning. For this reason, neural networks are suitable for solving tasks where disturbance (noise) is present in the input dataset. In contrast to this, solving the tasks by means of conventional techniques based on solving the system of linear or non-linear equations is questionable, because of the presence of disturbances. These are the reasons for the composition of this paper.

3 DOUBLE-LAYER SOIL MODEL AND WENNER ELECTRODE CONFIGURATION

For the majority of practical applications, a double-layer soil model with a vertical change of the specific electrical resistivity has proven sufficient [2]. This soil model assumes two soil layers: an upper and lower layer, which have different specific electrical resistivity. The upper soil layer has a finite thickness h , whereas the lower layer is indefinitely thick. Based on the above, such a soil model is characterized by three properties: the specific resistivity of the upper layer ρ_g , its thickness h , and the specific resistivity of the lower layer ρ_d . The measurement of the specific soil resistivity by means of the Wenner measuring electrode configuration and the double-layer soil model are presented in Figure 4, with their relevant values.

Slika 4
Dvoslojno tlo i Wennerov raspored elektroda
Figure 4
Double-layer soil and Wenner electrode configuration



Utiskivanjem struje I kroz strujne elektrode u tlo, nastalo strujno polje u dvoslojnom tlu mora zadovoljiti rubne uvjete na granicama diskontinuiteta specifičnog električnog otpora tlo – zrak, te gornjeg i donjeg sloj tla, a koji glase [12], [13] i [14]:

By passing the current I through the current electrodes into the soil, the current field created in a double-layer soil must fulfil the boundary conditions on the discontinuity boundary of the specific electrical resistivity: soil – air, as well as at the upper and lower soil layer, which are as follows [12], [13] and [14]:

$$\mathbf{n} \times (\rho_A \mathbf{J}_A - \rho_B \mathbf{J}_B) = 0, \quad \mathbf{n} \times (\rho_B \mathbf{J}_B - \rho_C \mathbf{J}_C) = 0, \quad (1)$$

$$\mathbf{n} \cdot (\mathbf{J}_A - \mathbf{J}_B) = 0, \quad \mathbf{n} \cdot (\mathbf{J}_B - \mathbf{J}_C) = 0, \quad (2)$$

gdje je:

- \mathbf{n} – vektor normale na granice diskontinuiteta specifičnog električnog otpora,
- \mathbf{J}_A – gustoća struje u mediju A (zrak) na granici diskontinuiteta specifičnog električnog otpora,
- \mathbf{J}_B – gustoća struje u mediju B (gornji sloj tla) na granici diskontinuiteta specifičnog električnog otpora i
- \mathbf{J}_C – gustoća struje u mediju C (donji sloj tla) na granici diskontinuiteta specifičnog električnog otpora.

where:

- \mathbf{n} – normal vector to the discontinuity boundaries of the specific electrical resistivity,
- \mathbf{J}_A – current density in medium A (air) at the discontinuity boundary of specific electrical resistivity,
- \mathbf{J}_B – current density in medium B (upper soil layer) at the discontinuity boundary of the specific electrical resistivity, and
- \mathbf{J}_C – current density in medium C (lower soil layer) at the discontinuity boundary of the specific electrical resistivity.

Zrak (medij A) ima visok specifični električni otpor i smatra se da iznosi $10^{18} \Omega\text{m}$. Poznavanje rubnih uvjeta (1) i (2) na granicama diskontinuiteta specifičnog električnog otpora omogućava matematičko rješavanje zadaće i određivanje potencijala na naponskim mjernim elektrodama (slika 4). Navedena zadaća se najčešće rješava

Air (medium A) has a high specific electrical resistivity, it is considered to be $10^{18} \Omega\text{m}$. Having known the boundary conditions (1) and (2) at the discontinuity boundaries of the specific electrical resistivity enables the mathematical solution of the task and determination of the potential at the voltage measuring electrodes (Figure 4). This task

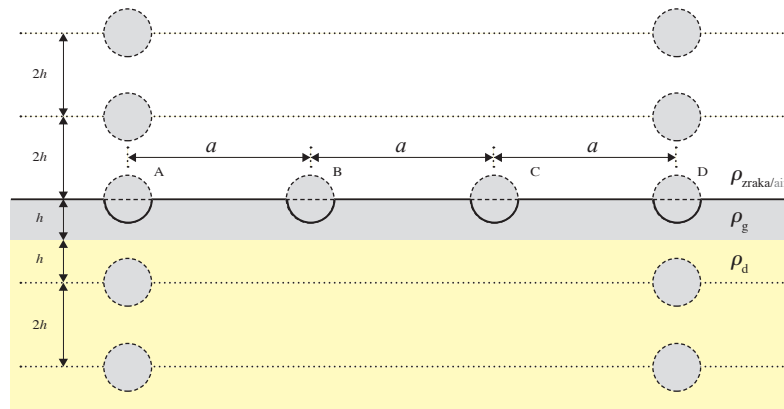
tehnikom odslikavanja izvora polja od granica diskontinuiteta specifičnog električnog otpora. Korištenjem tehnike odslikavanja izvora polja, tj. strujnih elektroda od granice tlo – zrak i granice između gornjeg i donjeg sloja tla, uz istodobno nadomještanje štapnih elektroda s prikladnim kuglastim, zadovoljavaju se jednadžbe rubnih uvjeta (1) i (2), a čiji je postupak pobliže opisan u [13] i [14].

Prvo odslikavanje odvija se na granici tlo – zrak, na kojoj se polukugla s kojom se nadomješta štapna elektroda odslikava u polukuglu u mediju A, kao što je to prikazano slikom 5. Slijedi odslikavanje dobivenih kugli A i D od granice gornjeg i donjeg sloja tla. Zatim se dobivena slika iz donjeg sloja tla odslikava od granice tlo – zrak, nakon čega se postupak ponavlja.

is usually solved by the method of images of the field sources from the discontinuity boundary of the specific electrical resistivity. Using the method of field source images, i.e. current electrodes from the boundary soil – air and boundary between the upper and lower soil layer, with simultaneous substitution of the pole electrodes by the suitable ball electrodes, the equations of boundary conditions are fulfilled: (1) and (2), the process is described in more detail in [13] and [14].

The first imaging is performed at the boundary soil – air, where the semi-ball which substituted the pole electrode is imaged into the semi-ball in medium A, as shown in Figure 5. Then, there is imaging of the obtained balls A and D from the boundary of the upper and lower soil layer. After that, the image obtained from the lower soil layer is imaged from the boundary soil – air, then the process is repeated.

Slika 5
Odslikavanje u dvoslojnom tlu i Wennerov raspored elektroda
Figure 5
Imaging in the double-layer soil and Wenner electrode configuration



Potencijal u središtu naponske elektrode B zbog struja elektroda A i D iznosi:

The potential in the centre of the voltage electrode B due to the currents of the electrodes A and D is:

$$\varphi_B = (2I) \frac{\rho_g}{4\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) = (2I) \frac{\rho_g}{4\pi} \left(\frac{1}{2a} \right). \quad (3)$$

Vrijednost struje je dvostruka (2I), jer se originalna polukugla iz koje istječe struja I stopila sa svojom slikom, koja je također polukugla, a iz koje istječe struja I. Potencijal u središtu naponske elektrode B, uz uvažavanje prva dva odslikavanja elektroda glasi:

The value of the current is double (2I), as the original semi-ball from which the current I runs out overlapped with its image which is also a semi-ball, from which the current I runs out. The potential in the centre of the voltage electrode B, taking into account the first two electrode images, is as follows:

$$\varphi_B = \frac{I\rho_g}{2\pi} \left[\frac{1}{2a} + \left(\frac{2\beta}{\sqrt{a^2 + (2h)^2}} - \frac{2\beta}{\sqrt{(2a)^2 + (2h)^2}} \right) + \left(\frac{2\beta^2}{\sqrt{a^2 + (4h)^2}} - \frac{2\beta^2}{\sqrt{(2a)^2 + (4h)^2}} \right) \right]. \quad (4)$$

Kako je $\varphi_B = -\varphi_C$, zbog simetrije (slika 5) napon U_{BC} iznosi $U_{BC} = 2\varphi_B$, te se za omjer izmjerene napona U_{BC} i utisnute struje dobiva izraz:

As $\varphi_B = -\varphi_C$, for symmetry (Figure 5) the voltage U_{BC} is $U_{BC} = 2\varphi_B$, ratio between the measured voltage U_{BC} and imposed current is as per the expression:

$$\frac{U_{BC}}{I} = \frac{\rho_s}{\pi} \left[\frac{1}{2a} + \left(\frac{2\beta}{\sqrt{a^2 + (2h)^2}} - \frac{2\beta}{\sqrt{(2a)^2 + (2h)^2}} \right) + \left(\frac{2\beta^2}{\sqrt{a^2 + (4h)^2}} - \frac{2\beta^2}{\sqrt{(2a)^2 + (4h)^2}} \right) \right]. \quad (5)$$

Prividni specifični otpor za Wennerov raspored elektroda glasi:

Apparent specific resistivity for Wenner electrode configuration is:

$$\rho_{PRIVIDNO/APARENT}(a) = 2\pi a \frac{U_{BC}}{I}. \quad (6)$$

Uvrštavanjem izraza (5) u izraz (6), dobiva se izraz za prividni specifični otpor tla, kada su uvažena prva dva odslikavanja, a koji glasi:

If (5) is introduced into (6), the expression for apparent specific soil resistivity is obtained, taking into account the first two images, as follows:

$$\rho_{PRIVIDNO/APARENT}(a) = \rho_s \left[1 + \left(\frac{4\beta}{\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{a}\right)^2}} - \frac{4\beta}{\sqrt{4 + \left(\frac{2h}{a}\right)^2}} \right) + \left(\frac{4\beta^2}{\sqrt{1 + \left(\frac{4h}{a}\right)^2}} - \frac{4\beta^2}{\sqrt{4 + \left(\frac{4h}{a}\right)^2}} \right) \right]. \quad (7)$$

Kako su udaljenosti odslikanih izvora polja od granice tlo – zrak: $2h, 4h, 6h, \dots$, lako se određuje opći izraz za prividni specifični otpor tla za uvažanih N slika, a koji glasi:

As distances between the images of the field sources and the boundary soil – air are: $2h, 4h, 6h, \dots$, the general expression for apparent specific soil resistivity for the N images under consideration is easy to determine, as follows:

$$\rho_{PRIVIDNO/APARENT}(a) = \rho_s \left[1 + 4 \cdot \sum_{i=1}^N \beta^{(i)} \left(\left(1 + \left(i \cdot \frac{2h}{a} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} - \left(4 + \left(i \cdot \frac{2h}{a} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right) \right], \quad (8)$$

u kojemu se koeficijent refleksije β računa izrazom:

where the coefficient of reflection β is calculated by means of the expression:

$$\beta = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s + \rho_d}. \quad (9)$$

Primjenu izraza (8) najlakše je prikazati numeričkim primjerom.

The application of the equation (8) is best illustrated by a numerical example.

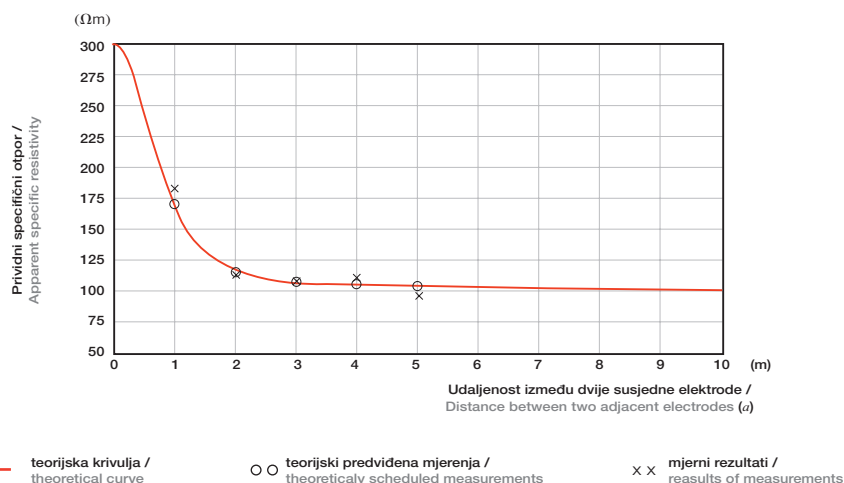
Neka je specifični električni otpor gornjeg sloja tla $\rho_s = 300 \Omega\text{m}$ i debljine $h = 1 \text{ m}$, a specifični električni otpor donjeg sloja tla $\rho_d = 100 \Omega\text{m}$.

It is taken that specific electrical resistivity of the upper soil layer is $\rho_s = 300 \Omega\text{m}$, the thickness is $h = 1 \text{ m}$ and the specific electrical resistivity of the lower soil layer is $\rho_d = 100 \Omega\text{m}$.

Tada se na osnovi izraza (8) dobiva krivulja prividnog specifičnog električnog otpora tla u funkciji razmaka između susjednih elektroda a , koja je prikazana na slici 6.

Based on the expression (8) the curve of the apparent specific soil resistivity as a function of the distance between two adjacent electrodes a is obtained; the curve is presented in Figure 6.

Slika 6
 Prividni specifični otpor dvoslojnog tla u funkciji udaljenosti između dvije susjedne elektrode
Figure 6
 Apparent specific resistivity of the double-layer soil as a function of distance between two adjacent electrodes



Za male razmaka između elektroda struja utisnuta u tlo većim dijelom se zatvara kroz gornji sloj tla, te je iz tog razloga prividni specifični otpor jednak gornjem sloju tla. Povećanjem razmaka između strujnih elektroda struja dublje prodire u tlo, te se silnice zatvaraju i preko donjeg sloja tla. U slučaju velikog razmaka između strujnih elektroda, silnice strujnog polja veći dio puta prolaze kroz donji sloj tla, te je u tom slučaju prividni specifični električni otpor jednak specifičnom električnom otporu donjeg sloja tla.

Iako se na temelju jednadžbi (8) i (9) s visokom točnošću dobiva kontinuirana krivulja prividnog specifičnog otpora pri praktičnim mjerenjima prividni specifični otpor poznat je samo u diskretnom skupu razmaka elektroda npr. $a = 1, 2, 3, 4$ i 5 m. Naime elektrode se ne smiju približavati na udaljenost koja je manja od duljine elektrode u tlu, jer je tada utjecaj elektrode na elektrodu velik. Iz tog razloga na temelju mjernih rezultata nije moguće odrediti na jednostavni način specifični električni otpor gornjeg sloja tla. Ukoliko je to potrebno, tj. ukoliko se očekuje da je gornji sloj tla tanak, tada mjerenje treba provesti s manjim razmakom između elektroda (npr. $a = 0,75$ m, 1 m, $1,5$ m, ...). Pri određivanju prividnog specifičnog otpora u tom slučaju treba koristiti točniji izraz od (8). Ujedno izbjegava se i veliki razmak između elektroda, tako da se teško određuje i specifični električni otpor donjeg sloja tla.

Osvrtom na sliku 6 odmah postaje jasno da će u takvim prilikama biti teško odrediti specifični otpor slojeva tla i debljinu gornjeg sloja tla. Teorijski predviđen skup mjernih podataka predstavlja uzorke iz teorijski dobivene kontinuirane krivulje prividnog specifičnog otpora i na slici 6 prikazani su kružićima. Stvarni rezultati mjerenja u sebi

In the case of small distances between the electrodes, the current passed into the soil mostly flows in the upper soil layer, therefore the apparent specific electrical resistivity is equal to the specific electrical resistivity of the upper soil layer. If the distance between the current electrodes is increased, the current penetrates deeper into the soil, and the field lines pass through the lower soil layer too. If the distance between the current electrodes is great, the current field lines for most of their journey pass through the lower soil layer, and in that case the apparent specific electrical resistivity is equal to the specific electrical resistivity of the lower soil layer.

Although, based on the equations (8) and (9), the continuous curve of the apparent specific resistivity is obtained with a high level of accuracy, the apparent specific resistivity in practical measuring is known only for a discrete set of the electrode distances, i.e. $a = 1, 2, 3, 4$ and 5 m. That is to say, the distance between the electrodes must not be smaller than length of the electrode in the soil, for then one electrode would have a strong influence on another. For this reason, there is no simple way for determining the specific electrical resistivity of the upper soil layer from the results of measurement. If this is necessary, i.e. if a thin upper layer is expected, the measuring must be performed with a smaller distance between the electrodes (e.g. $a = 0,75$ m, 1 m, $1,5$ m, ...). When the apparent specific resistivity is determined in such the case, a more accurate expression than (8) must be used. A large distance between the electrodes is avoided, and therefore it is difficult to determine the specific electrical resistivity of the lower soil layer.

The Figure 6 shows that in such cases it is difficult to determine the specific resistivity of the soil layers and thickness of the upper soil layer. The

sadrže mjernu nesigurnost odnosno smetnju te s tog razloga odstupaju od teorijski predviđenog skupa mjernih podataka i na slici 6 prikazani su križićima.

4 NADOMJESNI MODEL TLA ZASNOVAN NA UMJETNIM NEURONSKIM MREŽAMA

Matematički je dokazano da neuronske mreže mogu uniformno približiti, uz željenu točnost, bilo koju kontinuiranu funkciju $f: D_f \subset R^n \rightarrow R^m$ funkcijom g nad D_f , gdje je D_f podskup od R^n pod uvjetom da imaju dovoljan broj neurona [11], odnosno njihovih težina. Pri tome se kod funkcije cilja uobičajeno zahtijeva da suma kvadratnih odstupanja bude minimalna, odnosno funkcija cilja u tom slučaju glasi:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (d_n - y_n)^2. \quad (10)$$

Navedena funkcija predstavlja mjeru odstupanja izlaza neuronske mreže y_n od željenih vrijednosti d_n . U prethodnom izrazu s N je označen broj elemenata u skupu podataka za učenje.

U ovom radu aproksimacija se odnosi na funkciju zadanu jednačinom (8). Dvoslojno tlo opisano je s tri značajke, odnosno kada se govori o izlazu iz neuronske mreže s tri parametra. Dva su parametra specifični električni otpori gornjeg i donjeg sloja tla, a jedan je debljina gornjeg sloja tla. Zadaća koja se postavlja nad neuronskom mrežom je prepoznavanje parametara, odnosno značajki tla na temelju mjernih podataka dobivenih Wennerovom tehnikom mjerenja specifičnog električnog otpora. Kako se na izlazu iz neuronske mreže dobivaju tri parametara, na ulazu je potrebno imati barem tri parametra, odnosno mjerna rezultata. Za kvalitetnije rasuđivanje neuronske mreže poželjniji je veći broj mjernih podataka, koji je ograničen raspoloživim vremenom za mjerenje. U članku je proizvoljno uzeta vrijednost od pet mjerenja po uzorku tla. Veći broj dostupnih mjerenja je povoljniji slučaj te iz tog razloga nije razmatran.

Ulazni skup podataka za učenje neuronske mreže dobiven je korištenjem teorijskog modela dvoslojnog tla, iskazan prividnim specifičnim

theoretically scheduled set of measured data represents the samples from the theoretically obtained continuous curve of the apparent specific resistivity, and they are marked with circles in Figure 6. The actual results of measurement include a measuring uncertainty, i.e. disturbance, and therefore there is a deviation from the theoretically scheduled set of measured data, in Figure 6 they are marked with crosses.

4 SUBSTITUTION SOIL MODEL BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

It has been mathematically proven that neural networks can uniformly approximate, with the desired accuracy, any continuous function $f: D_f \subset R^n \rightarrow R^m$ by a function g over D_f , where D_f is a subset of R^n under the condition that there are enough neurons available [11], i.e. their weights. For the goal function, it is usually necessary to minimize the sum of square deviations, i.e. the goal function in that case is as follows:

This function represents a level of deviation of the neural network output y_n from the desired values d_n . In the preceding expression, N refers to the number of elements in the learning dataset.

In this paper, the approximation refers to the function given by the equation (8). The double-layer soil is characterized by three properties, i.e. when the neural network output is considered, by three parameters. Two of the parameters are the specific electrical resistivities of the upper and lower soil layer, the third parameter is the thickness of the upper soil layer. The task assigned to the neural network is the recognition of parameters, i.e. of the soil properties based on the measured data obtained by the Wenner technique for measuring specific electrical resistivity. As the three parameters are obtained at the neural network output, at least three parameters, i.e. results of measurement, are required at the input. In order to obtain better reasoning in the neural network, it is desirable to have more results of measurement; the number of data is limited by the time available for measuring. In the paper, five measurements per soil sample have been assumed. The availability of a greater number of measurement results would be a favourable situation, and therefore it has not been taken into consideration.

otporom u funkciji razmaka između susjednih mjernih elektroda pri Wennerovom rasporedu elektroda. Izlazni odnosno željeni skup podataka $d = (\rho_g, h, \rho_d)$ za učenje neuronske mreže su vrijednosti parametara na kojima je dobiven ulazni skup podataka $x_k = \rho_{\text{PRIVIDNO}}(k)$, $k = 1, 2, 3, \dots, 5$ (slika 3).

Ovisno o geografskom položaju i lokalnom karakteru tla, te sezonskim promjenama, gornji sloj tla može imati veći ili manji specifični električni otpor od donjeg sloja tla. U ovom članku razmatranja su ograničena na poseban slučaj kada su promjene specifičnog električnog otpora gornjeg i donjeg sloja tla od 50 Ωm do 250 Ωm , uz pretpostavku da se debljina gornjeg sloja tla kreće u rasponu od 0,125 m do 1,25 m. Navedene promjene specifičnog električnog otpora tipične su za Slavoniju. Na taj način je učenje neuronske mreže pojednostavljeno zbog manjeg broja mogućih slučajeva koji mogu nastupiti, a da se općenitost razmišljanja nije izgubila.

Ulazni skup podataka za učenje neuronske mreže dobiven je diskretizacijom jednadžbe (8). U tu svrhu za diskretne vrijednosti specifičnog električnog otpora gornjeg i donjeg sloja tla, kao i debljine gornjeg sloja tla mijenjana je udaljenost a (slika 4) između dvije susjedne elektrode. Vrijednosti dobivenog prividnog specifičnog otpora dovedene su na ulaz neuronske mreže. Vrijednosti specifičnog električnog otpora gornjeg i donjeg sloja tla, kao i debljina gornjeg sloja dovedeni su na izlaz neuronske mreže, te je izvršeno njezino učenje. Postupak se ponavlja uzastopno, pri čemu se mijenja vrijednost specifičnog električnog otpora gornjeg i donjeg sloja tla, te debljina gornjeg sloja tla. Ulazni i izlazni skup podataka, uz pomoć kojih je učena umjetna neuronska mreža, sažet je u tablici 1.

The input dataset for the learning of the neural network has been obtained by means of a theoretical model of the double-layer soil, expressed by apparent specific resistivity as a function of distance between two adjacent measuring electrodes in the Wenner electrode configuration. The output dataset, i.e. the desired data $d = (\rho_g, h, \rho_d)$ for the learning of the neural network are the parameter values used for obtaining the input dataset $x_k = \rho_{\text{APPARENT}}(k)$, $k = 1, 2, 3, \dots, 5$ (Figure 3).

Depending on geographical position and on the local character of the soil, as well as on seasonal variations, the specific electrical resistivity of the upper soil layer can be higher or lower than the specific electrical resistivity of the lower soil layer. In this paper, the considerations are limited to a specific case when variations of the specific electrical resistivity of the upper and lower soil layer range from 50 Ωm to 250 Ωm , with an assumption that the thickness of the upper soil layer ranges from 0,125 m to 1,25 m. These changes of the specific electrical resistivity are typical for Slavonia. In this case, the neural network learning is simplified as there are fewer possible cases that may occur, whereas the generality of the reasoning has not been lost.

The input dataset for the learning of the neural network has been obtained by discretization of the equation (8). For that purpose, at discrete values of specific electrical resistivity of the upper and lower soil layer, as well as of the upper soil layer thickness, the distance a (Figure 4) between the two adjacent electrodes has been altered. The apparent specific resistivities obtained are taken to the neural network input. Values of specific electrical resistivity of the upper and lower soil layer, as well as the thickness of the upper soil layer, are taken to the neural network output and learning is performed. The procedure is successively repeated, whereupon the values of specific electrical resistivity of the upper and lower soil layer and the thickness of the upper soil layer are altered. The input and output datasets that were used for the learning of the neural network are summarized in Table 1.

Tablica 1 – Ulazno-izlazni skup podataka korišten za učenje neuronske mreže
Table 1 – The input-output dataset used for learning of the neural network

	Debljina gornjeg sloja / Thickness of the upper soil layer h (m)	Specifični otpor gornjeg sloja tla / Specific resistivity of the upper soil layer ρ_g (Ωm)	Specifični otpor donjeg sloja tla / Specific resistivity of the lower soil layer ρ_d (Ωm)
Referentna veličina / Reference value	od 0,125 do 1,25 u koracima po 0,125 / from 0,125 to 1,25 in increments of 0,125	od 50 do 250 u koracima po 50 / from 50 to 250 in increments of 50	od 50 do 250 u koracima po 50 / from 50 to 250 in increments of 50
Varijable / Variable	h_k $k=1,2,3,\dots,10$	ρ_{gj} $j=1,2,3,\dots,5$	ρ_{dz} $z=1,2,3,\dots,5$
Ulazna veličina / Input value	$\rho_{\text{PROVJERENI}}(a) = \rho_{gj} \left[1 + 4 \cdot \sum_{j=1}^5 \left(\frac{\rho_{dz} - \rho_{gj}}{\rho_{dz} + \rho_{gj}} \right)^{10} \left(\left(1 + \left(i \cdot \frac{2h_k}{a} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} - \left(4 + \left(i \cdot \frac{2h_k}{a} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \right) \right]$ $a=1,2,3,4,5$		

Nakon završetka postupka učenja neuronske mreže provjereno je stečeno znanje i sposobnost neuronske mreže pri donošenju suvislih odluka u slučajevima kada skup ulaznih podataka sadrži šum koji izaziva slučajne promjene amplitude do $\pm 5\%$. U ovom članku korištena je gotova neuronska mreža kompanije Alyuda, pod nazivom Forecaster XL. Navedeno softversko rješenje integrira se u Microsoftov program Excel, te je na taj način olakšana manipulacija ulaznim i izlaznim podacima, a za grafički prikaz koristi se grafičko sučelje programa Excel.

Više informacija o navedenom softveru može se naći na stanicama proizvođača: <http://www.alyuda.com>. O ostalim softverskim rješenjima neuronskih mreža zainteresirani čitatelj može pronaći na web stranicama: <http://www.neuroshell.com>, <http://www.palisade-europe.com>. Priprema ulaznih podataka izvršena je matematičkim paketom opće namjene Mathcad 2000, a proizvod je tvrtke: MathSoft Inc. (www.mathsoft.com).

5 NUMERIČKI REZULTATI

Uspješnost rasuđivanja umjetne neuronske mreže na nove ulazne mjerne podatke, koji sadrže uniformno distribuirani šum do $\pm 5\%$ iznosa amplitude iskazana je postotnom pogreškom u određivanju parametara dvoslojnog modela tla. Pogreške koje donosi neuronska mreža u određivanju parametara dvoslojnog tla prikazane su na slikama 7, 8 i 9. Na slikama 7, 8 i 9 krivulje pogreške određivanja parametara dvoslojnog tla odnose se na skupove podataka koji sadrže jednak

After completion of the learning procedure of the neural network, the acquired knowledge of the neural network and its capability of making the relevant decisions in cases when the input dataset contains noise that causes accidental changes of amplitude up to $\pm 5\%$ were tested. In this paper, a neural network of the company Alyuda, known under the name Forecaster XL, has been used. This software concept has been integrated in the Microsoft Excel, which makes manipulation by input and output data easier, whereas the Excel graphic interface has been used for graphic presentation.

More information about this software is available on the manufacturer's web site: <http://www.alyuda.com>. Various software solutions for neural networks are available on web sites: <http://www.neuroshell.com>, <http://www.palisade-europe.com>. The input data have been processed by a general purpose mathematical package Mathcad 2000, by MathSoft Inc. (www.mathsoft.com).

5 NUMERICAL RESULTS

The reasoning of the artificial neural network using the new input measured data that contain uniformly distributed noise up to $\pm 5\%$ of the amplitude value is expressed by a percentage error in determining the parameters of the double-layer soil model. The errors caused by the neural network in determining the parameters of the double-layer soil are presented in Figures 7, 8 and 9. The curves of the error in determining the parameters of the double-layer soil, Figures 7, 8 and 9, refer to the datasets that contain the same number of elements as the dataset that has been used for the learning

broj elemenata kao i skup podataka s kojim je učena neuronska mreža. Skup podataka s kojim je ispitano stečeno znanje neuronske mreže sadrži u sebi smetnju uniformno distribuiranog šuma do $\pm 5\%$ iznosa svakog pojedinog elementa u ispitnom skupu.

Kako je odziv neuronske mreže na ispitni skup podataka koji sadrži stohastičku smetnju također stohastički, potrebno je ponoviti ispitivanje s većim brojem istovrsnih ispitnih skupova. Ispitivanje s istovrsnim skupovima podataka treba ponavljati sve dok se na temelju izračunatog prosjeka ne dobije glatka krivulja odziva. Kako je u promatranom slučaju odziv u vidu pogreške, na jedan ispitni skup podataka koji sadrži šum davao relativno glatku krivulju, bez ekstrema, dovoljno je bilo ponoviti ispitivanje još samo četiri puta. Nakon pet uzastopno ponovljenih ispitivanja odziva neuronske mreže ispitnim podacima koji sadrže smetnju dobivena je krivulja prosjeka odziva iskazana u vidu pogreške i prikazana je crvenom bojom na slikama 7, 8 i 9.

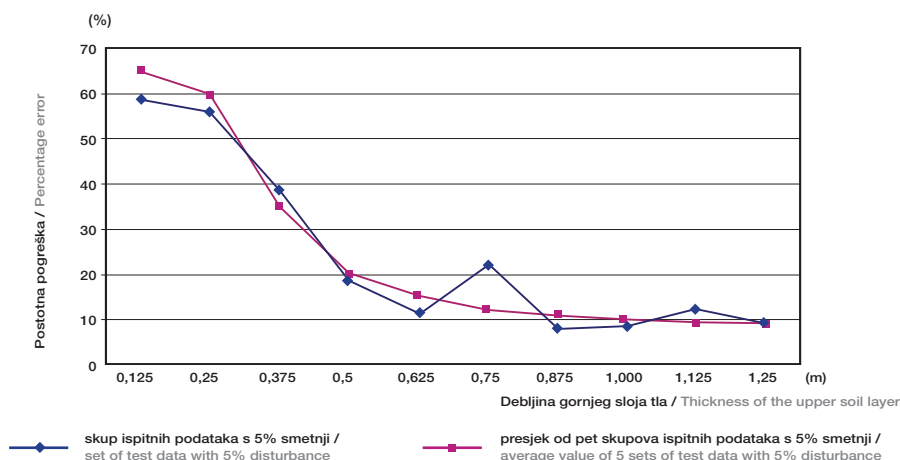
Na slici 7 prikazane su krivulje postotnih pogreški neuronske mreže pri procjeni debljine gornjeg sloja dvoslojnog tla u funkciji debljine gornjeg sloja tla.

of the neural network. The dataset that has been used for testing the acquired knowledge of the neural network contains disturbance with uniformly distributed noise up to $\pm 5\%$ of the value of each element in the testing dataset.

As the neural network response to the testing dataset containing stochastic disturbance is also stochastic, the testing needs to be repeated with more testing datasets of the same type. Testing with datasets of the same type must be repeated until a smooth response curve is obtained based on the calculated average value. Since in the case monitored the response in an error form, per set of test data containing the noise, provided quite a smooth curve, with no extreme points, it was satisfactory to repeat this testing four times only. After five successively repeated tests of the neural network response to the test data containing disturbance, a curve of average response values has been obtained, expressed as an error and shown by the red colour in Figures 7, 8 and 9.

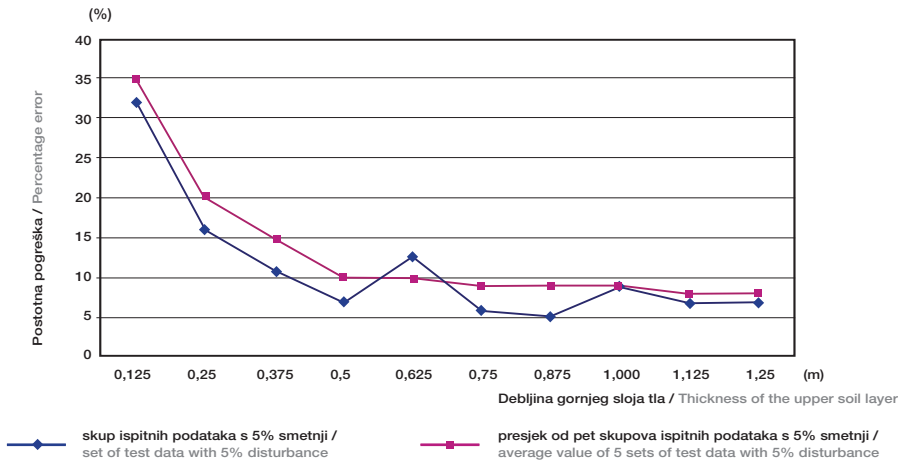
In Figure 7 the curves of percentage errors of the neural network in assessment of thickness of the upper soil layer are presented as a function of the thickness of the upper soil layer.

Slika 7
Postotna pogreška određivanja debljine gornjeg sloja tla
Figure 7
Percentage error in determining of thickness of the upper soil layer



Na slici 8 prikazane su krivulje postotnih pogreški neuronske mreže pri procjeni specifičnog električnog otpora gornjeg sloja dvoslojnog tla u funkciji debljine gornjeg sloja tla.

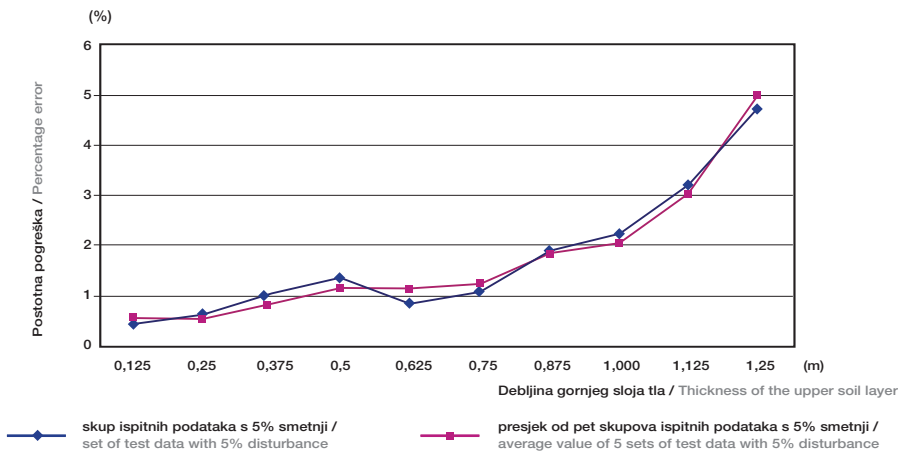
Figure 8 shows the curves of percentage errors of the neural network in assessment of the specific electrical resistivity of the upper layer in double-layer soil as a function of the thickness of the upper layer.



Slika 8
Postotna pogreška određivanja specifičnog električnog otpora gornjeg sloja tla
Figure 8
Percentage error in determining the specific electrical resistivity of the upper soil layer

Na slici 9 prikazane su krivulje postotnih pogreški neuronske mreže pri procjeni specifičnog električnog otpora donjeg sloja dvoslojnog tla u funkciji debljine gornjeg sloja tla.

Figure 9 shows the curves of percentage errors of the neural network in assessment of the specific electrical resistivity of the lower layer of double-layer soil as a function of the thickness of the upper soil layer.



Slika 9
Postotna pogreška određivanja specifičnog električnog otpora donjeg sloja tla
Figure 9
Percentage error in determining the specific electrical resistivity of the lower soil layer

6 ANALIZA REZULTATA

Kratki osvrt na krivulje postotnih pogrešaka odziva neuronske mreže pri procjeni parametara tla u odnosu na točne vrijednosti ukazuju na vrlo dobro rasuđivanje neuronske mreže. Usporedbom krivulja pogrešaka na slikama 7, 8 i 9 lako je zaključiti da neuronska mreža najbolje procjenjuje specifični električni otpor donjeg sloja tla (slika 9).

Krivulja postotne pogreške u procjenjivanju specifičnog električnog otpora donjeg sloja tla je monotono rastuća sa smjernicom porasta debljine gornjeg sloja tla. Rezultat je očekivan, jer se

6 ANALYSIS OF RESULTS

A short review of the curves presenting the percentage errors of the neural network response in assessment of the soil parameters in comparison with actual values indicates very good reasoning on the part of the neural network. Comparison of the error curves presented in Figures 7, 8 and 9 shows that the neural network performs best in assessing the specific electrical resistivity of the lower soil layer (Figure 9).

The percentage error curve in assessing the specific electrical resistivity of the lower soil layer increases

porastom debljine gornjeg sloja tla povećava i duljina puta kojeg silnice strujnog polja prolaze kroz gornji sloj tla, te na taj način raste i utjecaj gornjeg sloja tla na prividni specifični električni otpor, a time i na pogrešku.

Prilikom procjene parametara, odnosno značajki gornjeg sloja tla, krivulje postotnih pogreški su monotono padajuće s obzirom na porast debljine gornjeg sloja tla. I ovaj rezultat je očekivan. Naime, porastom debljine gornjeg sloja tla raste i duljina puta kojeg silnice strujnog polja prelaze u gornjem sloju tla, te na taj način prividni specifični otpor tla sadrži sve veću informaciju o gornjem sloju tla. Kao rezultat navedenog porast debljine gornjeg sloja tla ima blagodatan utjecaj na rasuđivanje neuronske mreže, odnosno pogreška se smanjuje.

Postoji nekoliko postupaka uz pomoć kojih bi se moglo poboljšati rasuđivanje neuronske mreže pri procjeni parametara gornjeg sloja tla, kada je on tanak. Neuronsku mrežu bi trebalo učiti s većim skupom ulaznih podataka, odnosno koraci promjene debljine gornjeg sloja tla bi trebali biti manji. Učinkovitiji postupak bi bio da se veći broj diskretnih vrijednosti razmaka elektroda a odnosi na manje razmake (npr. $a = 0,75$ m, 1 m, 1,5 m, ...). Pri povećanju broja ulaznih podataka s kojima se uči neuronska mreža treba imati na umu da odstupanje (disperzija) odziva neuronske mreže načelno prati zakonitost: $\sigma \propto 1/\sqrt{N}$, gdje je N broj ulaznih podataka. Iz tog razloga dvostruko povećanje broja ulaznih podatka smanjit će disperziju odziva za faktor $1/\sqrt{2}=0,7$, četverostruko povećanje za faktor $1/\sqrt{4} = 0,5$ itd. Iz tog razloga pri povećanju broja podataka s kojima se uči neuronska mreža treba biti odmjeren.

7 ZAKLJUČAK

Na temelju dobivenih rezultata i njihove analize, neosporno je i razvidno da se neuronske mreže mogu uspješno koristiti za procjenu parametara dvoslojnog tla. Ovaj članak dao je potvrđan odgovor na pitanje: Može li se iskustvo čovjeka za takvu vrstu odlučivanja replicirati korištenjem umjetnih neuronskih mreža? Autori smatraju da će se primjena neuronskih mreža u energetici i dalje povećavati. Za takvo razmišljanje postoji više argumenata.

Predviđanja rasta procesorske snage i dalje prate Mooreov zakon, prema kojemu se procesorska snaga udvostručuje svakih 18 do 24 mjeseci, što daje hardversku osnovu za složenije, a time i moćnije neuronske mreže. Dinamika rada uvjetuje veću produktivnost djelatnika, koja se

uniformly, while the thickness of the upper soil layer tends to increase. This result is expected, as the increase of thickness of the upper soil layer affects the increase of the journey length of the current field lines through the upper soil layer. Therefore, the influence of the upper soil layer on the apparent specific electrical resistivity and on the error increases.

In assessment of the parameters, i.e. the properties of the upper soil layer, the percentage error curves decrease uniformly with regard to the increase of thickness of the upper soil layer. This result is also expected. The increase of thickness of the upper soil layer affects the increase of the journey length of the current field lines through the upper soil layer, therefore the apparent specific soil resistivity is getting more and more information about the upper soil layer. As a result of the above-mentioned, the increase of thickness of the upper soil layer has a beneficial influence on the neural network's reasoning, i.e. the error decreases.

There are several processes that might improve the neural network's reasoning in assessment of parameters of the upper soil layer when it is thin. The neural network needs to learn using a bigger dataset, i.e. change increments of the upper soil layer thickness need to be smaller. If the majority of discrete values of the electrode distances a refer to smaller distances (e.g. $a = 0,75$ m, 1 m, 1,5 m, ...), the process is more effective. If the number of input data used for the learning of the neural network increases, it needs to be taken into consideration that deviation (dispersion) of the neural network response basically follows the rule: $\sigma \propto 1/\sqrt{N}$, where N is the number of input data. For this reason, redoubling the number of input data decreases the response dispersion by the factor $1/\sqrt{2}=0,7$, at fourfold decreases by the factor $1/\sqrt{4} = 0,5$ etc. Therefore, the increase of the number of data used for the learning of the neural network needs to be reasonable.

7 CONCLUSION

Based on the obtained results and their analysis, it is evident that neural networks can be successfully used for assessment of the parameters of double-layer soil. This paper gives an affirmative answer to the question: Can human experience for such the type of decision-making be replicated by means of artificial neural networks? The authors hold that application of neural networks in energetics will continue to increase. There are number of reasons for such a standpoint.

može povećati jedino pomoćnim sredstvima, kao što su prikladni programski alati, koji ne iziskuju posebne zahtjeve za školovanjem, a time i financijskim sredstvima. Programski alati temeljeni na neuronskim mrežama udovoljavaju takvim zahtjevima. Primjena neuronskih mreža izuzetno je učinkovita kod složenijih sustava, a kojima obiluje energetika. Minimiziranje gubitaka proizvodnje i prijenosa električne energije, pomoć dispečerima u donošenju odluka, predviđanje potrošnje na temelju prethodnih razdoblja, samo su neki od primjera u kojima se mogu primijeniti neuronske mreže.

The increase of processor capacity continues to follow the Moore law that says that processor capacity is doubled every 18 to 24 months, which provides a hardware basis for neural networks of higher complexity, i.e. higher power. Due to work dynamics, a higher productivity of employees is required, and this increase can be realized by auxiliary means only, e.g. by suitable software tools that do not require any special training i.e. financial resources. The software tools based on neural networks meet such requirements. Application of neural networks is very efficient in complex systems, which are widespread in energetics. Minimizing the losses in production and transmission of electrical power, assistance to dispatchers in making decisions, forecasting of consumption based on previous time periods – these are a few examples which demonstrate the possibilities for application of neural networks.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] MAJDANDŽIĆ, F., Uzemljivači i sustavi uzemljenja, Graphis, Zagreb, 2004.
- [2] IEEE Std. 81-1983, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System, (Revision of IEEE Std. 81-1962), The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 1983
- [3] HADDAD, A., WARNE, D. F., Advanced High Voltage Engineering, The Institution of Electrical Engineers, London, 2004
- [4] IEEE Std. 80 - 2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 2000
- [5] TAGG G. F., Earth Resistances, G. Newnes Ltd., England, 1964, 1st ed.
- [6] Engineering Recommendation S.34-a: Guide for Assessing The Rise Of Earth Potential at Substation Sites, The Electricity Association, London, 1986
- [7] WENNER, F., A Method for Measuring Earth Resistivity, Bureau of Standards scientific paper, no. 258, Washington D.C., 1915
- [8] VAN NOSTRAND, R. G., COOK, K. L., Interpretation of Resistivity Data, Geological Survey professional paper 499, US Dept. Of the Interior, Washington D.C., 1966
- [9] VUJEVIĆ, S. , KURTOVIĆ, M. , Direct and Iterative Automatic Interpretation of Resistivity Sounding Data, ENGINEERING MODELLING 5(1992), No. 3-4, Split, 1992.
- [10] VUJEVIĆ, S. , KURTOVIĆ, M. , Efficient Use of Exponential Approximation of the Kernel Function in Interpretation of Resistivity Sounding Data, ENGINEERING MODELLING, 5(1992), No. 1-2, Split, 1992.
- [11] NOVAKOVIĆ, B., MAJETIĆ, D., ŠIROKI, M., Umjetne neuronske mreže, X-Press, Zagreb, 1998.
- [12] SENIOR, T.B.A., VOLAKIS, J. L., Approximate Boundary Conditions in Electromagnetics, The Institution of Electrical Engineers, London, 1995
- [13] HAZNADAR, Z., ŠTIH, Ž., Elektromagnetizam 1, Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [14] HAZNADAR, Z., ŠTIH, Ž., Electromagnetic Fields, Waves and Numerical Methods, IOS Press, Ohmsha, Amsterdam, Volume 20, 2000

Uredništvo primilo rukopis:
2006-11-15

Manuscript received on:
2006-11-15

Prihvaćeno:
2007-01-04

Accepted on:
2007-01-04

PRINCIP IZVOĐENJA OPCIJA NA TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE

THE PRINCIPLE OF EXERCISING OPTIONS ON THE ELECTRICITY MARKET

Mr. sc. Vedran Uran,
A. Kovačića 20, 51000 Rijeka, Hrvatska

Rizik od stalnih promjena cijena moguće je umanjiti korištenjem različitih financijskih instrumenata. U tu skupinu instrumenata spadaju ugovori o opcijama, odnosno opcije. Po njima kupac otkupljuje pravo na ugovorene cijene nekog predmetnog sredstva, na primjer električne energije. S obzirom na varljivost cijena kupac ne mora izvesti opciju. Tada je njegov jedini gubitak otkupljeno pravo ili premija, što odgovara vrijednosti jedne opcije. Matematički modeli za određivanje vrijednosti opcija razvijaju se već više od sto godina. No, svoj procvat doživljaju sedamdestih godina 20. stoljeća zahvaljujući formuli Black-Scholes kojom se određuje teoretska vrijednost opcija. U članku se daje podjela opcija po različitim kriterijima, opisuju načini njihovog izvođenja te prati povijesni razvoj modela za određivanje vrijednosti opcija. Izložen je primjer izvođenja opcije na najvećoj srednjoeuropskoj burzi električne energije EEX uz primjenu margina. Continual price fluctuations are possible to hedge by using various financial instruments, including options. An option buyer buys the right to the settlement price of an underlying asset such as electricity. Due to the volatility of the asset price, the buyer is not obliged to exercise the option. In such a case, the buyer's only loss is the purchased right or the option premium, which is equal to the option price. Mathematical models for option pricing have been developed in the last hundred years. These models were very popular during the 1970s, owing to the application of the Black-Scholes formula for the calculation of theoretical option prices. In this article, options are distinguished according to various criteria, specific exercising methods are described and the historical development of option pricing models is reviewed. An example of option exercising with closing out of the margins on the largest Middle European electricity exchange, EEX, is presented.

Ključne riječi: električna energija, opcija, tržište
Key words: electricity, market, option



1 UVOD

Sudionici tržišta upravljaju rizicima koristeći se različitim financijskim instrumentima. Među njima su terminski ugovori (*futures* i *forwards*), ugovori o zamjeni jedne vrste imovine za drugu (*swaps*) i ugovori o opcijama, odnosno opcije (*options*). Navedeni ugovori razlikuju se po obvezama koje se nameću sudionicima tržišta te po načinu prebijanja potraživanja i obveza. Dok terminski ugovor obvezuje kupca i prodavatelja na njegovo izvođenje, dotle je u tom pogledu opcija obvezna samo za njenog prodavatelja.

Ideja o korištenju opcija u trgovini nije nova. Nju su na svojstven način koristili stari Rimljani, Grci i Feničani. Kao financijski instrument opcija predstavlja sporazum između dviju strana u kojoj jedna strana ima pravo, ali ne i obvezu da nešto učini, na primjer da kupi ili proda neko određeno predmetno sredstvo (*asset*) ili vrijednosnicu (*security*). Imati prava bez obveza daje neku određenu financijsku vrijednost. Stoga se ta prava radi izbjegavanja obveza kupuju. Vrijednost tog prava proizlazi iz vrijednosti predmetnog sredstva ili vrijednosnice. Na tržištu električne energije to je terminska cijena (*future price*) koja se određuje na temelju sklopljenog terminskog ugovora. Iz tog razloga opcija spada u red financijskih derivata.

Kupac opcije (*option holder*) može dotičnu opciju izvoditi do dana njenog dospjeća (*exercise day*). Prodavatelj opcije (*option writer*) obavezan je uvažiti sve stavke iz ugovora o dotičnoj opciji. Kako kupac ima pravo a prodavatelj obvezu, tada kupac prodavatelju plaća premiju (*option premium*) što predstavlja cijenu ili vrijednost opcije. Matematički modeli za određivanje vrijednosti opcija razvijaju se već više od sto godina. No, svoj procvat doživljaju sedamdestih godina 20. stoljeća zahvaljujući formuli Black-Scholes kojom se određuje teoretska vrijednost opcija. Nakon toga se razvijaju ostali matematički modeli poput modela binomnog stabla i kasnije modela Monte Carlo. Težnja je da se utvrde vrijednosti opcija na što realnijoj osnovi [1], [2] i [3].

Ovaj je članak organiziran na sljedeći način: nakon uvoda u drugom poglavlju slijedi opis različitih tipova opcija te načini njihovog izvođenja. U trećem poglavlju daje se kratka povijest razvoja modela za određivanje vrijednosti opcija, s naglaskom na formule Black-Scholes i Black 76. Četvrto poglavlje izlaže primjer realizacije opcije na burzi EEX (*European Electricity Exchange*) uz primjenu margina. Nakon toga slijedi zaključak.

1 INTRODUCTION

Market players manage certain risks by using various financial instruments, such as futures, forwards, swaps and options. These instruments differ according to the obligations imposed upon the market players as well the offsetting of receivables and liabilities. While exercising futures and forwards is the obligation of both the buyer and the seller, exercising options is solely the obligation of the seller.

The idea of exercising options on the market is not new. Such instruments were exercised by the Romans, Greeks and Phoenicians in a certain manner. As a financial instrument, an option represents an agreement between two parties in which one party has the right but not the obligation to do something, e.g., to buy or sell an underlying asset or a security. Having a right but not an obligation represents a specific financial value. The right to avoid the obligation must be purchased. The value of the right is derived from the value of the underlying asset or security, such as the future price settled by a future contract on the electricity market. For this reason, options belong to the group of financial derivatives.

An option buyer (or an option holder) can exercise the option until the expiry day. An option seller (or an option writer) is obliged to accept all the conditions from the option contract. Since the buyer has the right and the seller has the obligation, the seller receives an option premium from the buyer, which represents the price or value of the option. Mathematical models for option pricing have been developed in the last hundred years. These models were very popular during the 1970s, owing to the application of the Black-Scholes formula for the calculation of theoretical option prices. Subsequently, other option pricing models, such as the binomial tree model and later the Monte Carlo model, were developed. The general tendency has been to seek a model for defining option price with greater emphasis on real option value [1], [2] and [3].

This article is organized into several chapters. Following the introductory chapter, in the second chapter several option types and ways of exercising them are described. In the third chapter, a short historical overview of option pricing model development is provided, with a detailed elaboration of the Black-Scholes and Black 76 formulae. The fourth chapter presents an example of exercising and margining options on the EEX bourse, followed by the conclusion.

2 TIPOVI OPCIJA I NAČINI NJIHOVOG IZVOĐENJA

Izvođenje opcije moguće je ako su zadani parametri pomoću kojih se može izračunati vrijednost opcije. Predmetno sredstvo koje čine temelj opcije mogu biti dionice, vrijednosnice, obveznice, indeksi, valuta, raznorazna roba poput zemnog plina i električne energije itd. Za odnose na tržištu opcijama potrebno je razlučiti sljedeće:

- pozicije zauzete prilikom trgovanja opcijama – *long*, odnosno duga pozicija ili *short*, tj. kratka pozicija,
- oblike trgovanja opcijama – *call* opcija ili *put* opcija,
- tipove opcija – realne opcije, tržišne opcije, standardne ili *plain-vanilla* opcije i egzotične opcije,
- trenutak za izvođenje opcija – dijeli se na američki, europski i bermudski tip opcija,
- klase opcija – po kalendaru (godišnje, tromjesečno, mjesečno), načinu isplaćivanja (financijski ili fizički), te spot robi (opcije sa fiksnom cijenom predmetnog sredstva, odnosno dnevne opcije i opcije s plivajućom cijenom predmetnog sredstva, odnosno indeksne ili novčane opcije).

Prilikom ugovaranja potrebno je utvrditi cijenu (*exercise price* ili *strike*) po kojoj će se neko predmetno sredstvo neke određene opcije kupovati ili prodavati. Ta se cijena kao zadani parametar razlikuje od tekuće cijene tog istog predmetnog sredstva na spot ili future tržištu. Isto tako je potrebno utvrditi količinu tog predmetnog sredstva koja će biti obuhvaćena dotičnom opcijom. Na primjer, jednim se ugovorom može obuhvatiti sto dionica, ili se pak jednim ugovorom može utvrditi kupnja, odnosno prodaja od 100 MWh električne energije.

2.1 Oblici i pozicije kod trgovanja opcijama

Kupac za stjecanje prava prodavatelju isplaćuje premiju. U tom slučaju kupac zauzima *long* ili dugu poziciju, a prodavatelj *short* ili kratku poziciju prilikom određenog trgovanja opcijom. Najčešći oblik opcija su [1] i [2]:

- *call* opcija,
- *put* opcija.

Call opcija daje kupcu pravo da kupi neko predmetno sredstvo po određenoj cijeni. *Put* opcija pak kupcu daje pravo da proda neko predmetno sredstvo po određenoj cijeni. Nadovezujući se na dugu, odnosno kratku poziciju, mogući su različiti odnosi između kupca i prodavatelja opcije. Tako prodavatelj *call* opcije zauzima kratku poziciju te

2 TYPES OF OPTIONS AND THE EXERCISE THEREOF

The exercising of an option is possible if certain informations are known as well as the parameters for calculating the option price. The types of underlying assets on which options are based can be shares, securities, bonds, indices, foreign currencies, and various kinds of goods such as natural gas and electricity. For option trading, the following relations can be distinguished:

- option positions – long or short positions,
- option forms – call options or put options,
- types of options – real options, traded options, plain-vanilla options and exotic options,
- exercise period – European options, American options as well as Bermudan options,
- option classes – calendar-year options (yearly, quarterly, monthly), option exercise payoffs (financially settled options and physically settled options), options on spot commodities (fixed-strike options or daily options and floating-strike options or index/cash options).

During the agreement procedure, it is necessary to settle the exercise price or the strike price of the underlying asset of the option which will be purchased or sold. This price differs from the current price of the underlying asset on the spot and future markets. It is also necessary to define the quantity of the underlying asset of the option. For example, an agreement can hold one hundred stocks or the buying and selling of 100 MWh of electricity can be also an issue of an agreement.

2.1 Option forms and positions

To gain a right, an option buyer has to pay the option premium to an option seller. In this situation, the buyer takes a long position while the seller takes a short position. The two most common forms of options are as follows [1] and [2]:

- call option,
- put option.

A call option gives its holder the right to buy the underlying asset at a fixed price. A put option gives to its holder the right to sell the underlying asset at a fixed price. Combining both positions, long and short, it is possible to have several option relations between the buyer and the seller. Thus, the call option seller takes a short position with the obligation to sell the underlying asset to the call option buyer, who takes a long position. On the other side, the put option seller takes a short position with the obligation to buy the underlying

ima obvezu da proda neko predmetno sredstvo kupcu dotične *call* opcije koji pak zauzima dugu poziciju. S druge strane, prodavatelj *put* opcije zauzima kratku poziciju i ima obvezu da kupi neko predmetno sredstvo od kupca te iste *put* opcije, koji u tom slučaju zauzima dugu poziciju.

Odnosi na tržištu *call* i *put* opcija s dugom ili kratkom pozicijom mogu se kombinirati na sljedeći način [1]:

Dugi *call* (Long Call)

Sudionik tržišta, koji pretpostavlja rast cijene predmetnog sredstva na tržištu, otkupljuje pravo za kupnju tog sredstva radije nego da ga kupuje samog. To znači da kupac opcije neće imati obvezu kupiti to sredstvo, nego pravo kupovati sve do datuma dospeljeća dotične opcije. Ukoliko cijena predmetnog sredstva u međuvremenu postane viša od njegove utvrđene cijene za više nego što je plaćeno to pravo za kupnju, odnosno premija, tada će kupac opcije profitirati. U suprotnom, ako cijena predmetnog sredstva bude padala, kupac opcije opciju neće izvesti, pa će u tom slučaju izgubiti samo na premiji koju je platio za stjecanje prava kupnje predmetnog sredstva po utvrđenoj cijeni. Krivulje koje pokazuju trend kretanja isplate i dobiti iz duge *call* opcije prikazane su na slici 1.

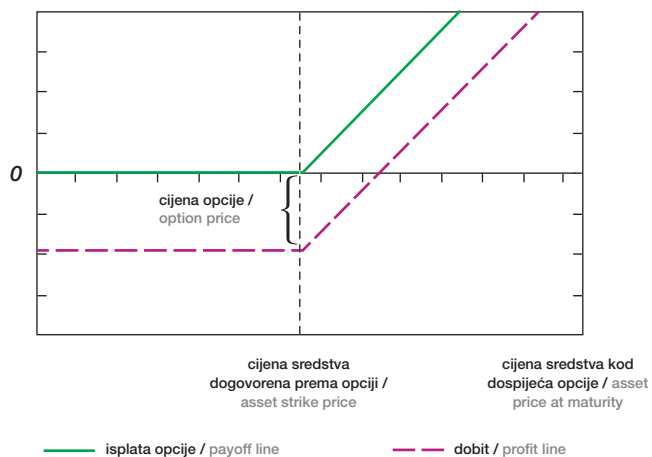
asset from the put option buyer, who takes a long position.

The relations on the call/put option market with both positions, long and short, can be combined in the following manner [1]:

Long Call

A market participant who believes that the price of an underlying asset will increase may buy the right to purchase the underlying asset rather than just buy the underlying asset. The option buyer would have no obligation to buy the underlying asset, only the right to do so until the expiry date. If the price of the underlying asset increases over the exercise price by more than the premium paid, the option buyer will make a profit. If the price of the underlying asset decreases, the option buyer will allow the call contract to expire as worthless and only lose the amount of the premium. The payoffs and profits lines of a long call are shown in Figure 1.

Slika 1
Pravci isplate i dobiti iz duge *call* opcije
Figure 1
Payoffs and profits from a long call

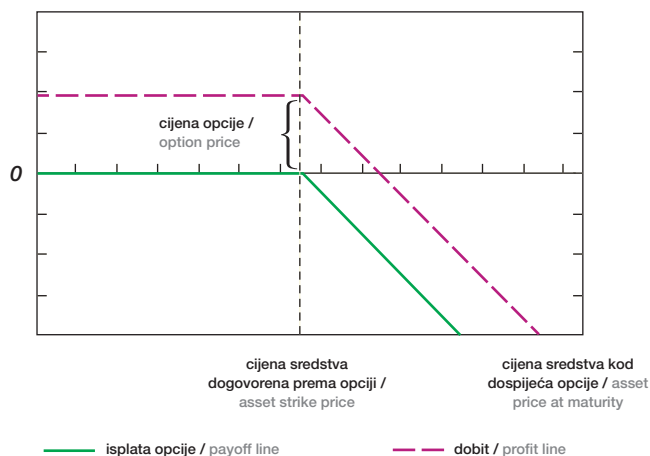


Kratki *call* (Short Call)

Sudionik tržišta može prodati predmetno sredstvo, ili pak prodati pravo kupcu da kupi to isto sredstvo. Ako tržišna cijena predmetnog sredstva bude padala, kratka će pozicija prodavatelju opcije donijeti dobit u vrijednosti jedne premije. Ukoliko ta cijena bude rasla iznad utvrđene cijene za iznos veći od premije, prodavatelj opcije će imati gubitak. Krivulje koje pokazuju trend kretanja isplate i dobiti iz kratke *call* opcije prikazane su na slici 2.

Short Call

A market participant can sell an underlying asset or sell a buyer the right to buy the same underlying asset. If the price of the underlying asset decreases, the short call position will make a profit to the option seller in the amount of the premium. If the price of the underlying asset increases over the exercise price by more than the amount of the premium, the option seller will lose money. The payoffs and profits lines of a short call are shown in Figure 2.



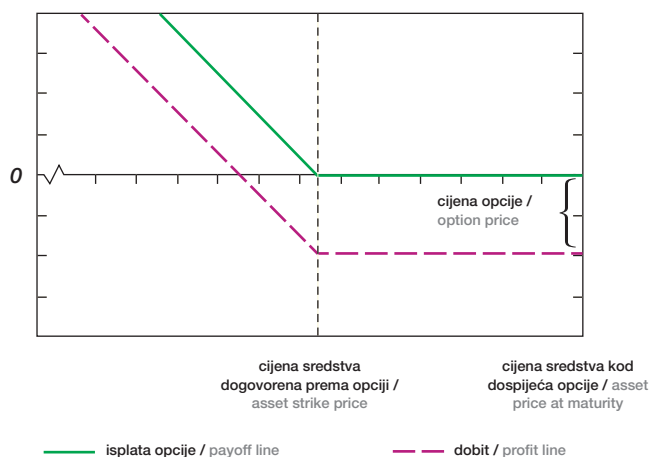
Slika 2
 Pravci isplate i dobiti
 iz kratke *call* opcije
Figure 2
 Payoffs and profits of
 a short call

Dugi put (Long Put)

Sudionik tržišta koji predviđa pad tržišne cijene predmetnog sredstva može otkupiti pravo na prodaju tog sredstva po fiksnoj cijeni. To znači da kupac opcije neće imati obvezu prodati predmetno sredstvo, nego samo da zadrži to pravo sve do dospjeća opcije. U slučaju pada tržišne cijene ispod utvrđene cijene za više od iznosa plaćene premije kupac opcije će profitirati. Ako tržišna cijena bude rasla, kupac opcije opciju neće izvesti i izgubit će samo plaćenu premiju. Krivulje koje pokazuju trend kretanja isplate i dobiti iz duge *put* opcije prikazane su na slici 3.

Long Put

A market participant who believes that the price of the underlying asset will decrease can buy the right to sell the underlying asset at a fixed price. The option buyer will be under no obligation to sell the underlying asset but has the right to do so until the expiry date. If the price of the underlying asset decreases below the exercise price by more than the premium paid, the option buyer will profit. If the price of the underlying asset increases, the option buyer will just let the put contract expire as worthless and only lose the premium he paid. The payoffs and profit lines of a long put are shown in Figure 3.



Slika 3
 Pravci isplate i dobiti
 iz duge *put* opcije
Figure 3
 Payoffs and profits of
 a long put

Kratki put (Short Put)

Sudionik tržišta koji prognozira rast tržišne cijene predmetnog sredstva može prodati pravo na prodaju tog sredstva po fiksnoj cijeni. Taj sudionik tržišta ima obvezu kupiti predmetno sredstvo po fiksnoj cijeni. Ako tržišna cijena tog sredstva bude rasla, od zauzete kratke pozicije

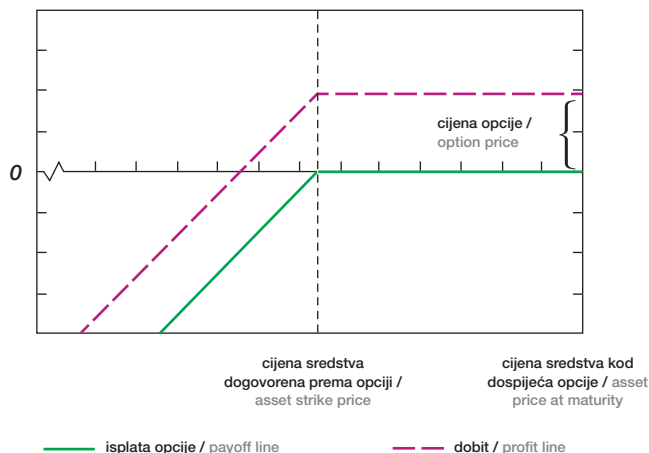
Short Put

A market participant who believes that the price of the underlying asset will increase can sell the right to sell the underlying asset at a fixed price. The market participant now has the obligation to purchase the underlying asset at a fixed price. If the price of the underlying asset increases, the short

prodavatelj opcije će postići dobit u vrijednosti premije. Bude li tržišna cijena pala ispod utvrđene cijene za više nego što iznosi premija, prodavatelj opcije će izgubiti novac. Krivulje koje pokazuju trend kretanja isplate i dobiti iz kratke *put* opcije prikazane su na slici 4.

put position will make a profit to the option seller in the amount of the premium. If the price of the underlying asset decreases below the exercise price by more than the premium, the option seller will lose money. The payoff and profit lines of a short put are shown in Figure 4.

Slika 4
Pravci isplate i dobiti iz kratke *put* opcije
Figure 4
Payoffs and profits of a short put



2.2 Tipovi opcija

Razlikuju se sljedeći tipovi opcija:

Realne opcije

Spadaju u red jednostavnijih tipova opcija kada je investitoru bolji izbor ulagati svoj vlastiti kapital u proizvodnju ili pružanje usluga nego u ugovore financijske prirode. Takve se opcije izvode tako da njihov imatelj ima pravo proširivati proizvodnju ili opseg pružanja usluga, ili u krajnosti mijenjati svoju osnovnu djelatnost. Uobičajeno je da se s takvim opcijama ne trguje.

Tržišne opcije

Pripadaju onim tipovima opcija po kojima se trguje na burzama. Ugovori su standardizirani, vrlo se brzo uspostavlja sustav određivanja vrijednosti tih opcija te ih je moguće izvoditi putem klirinških kuća kako bi se osigurala likvidnost burze, tj. ispunili uvjeti iz sklopljenih ugovora o opcijama. Predmetno sredstvo tih opcija mogu biti dionice, roba, obveznice, kamatna stopa itd.

Standardne ili *plain-vanilla* opcije

Pripadaju tipu jednostavnih i lako razumljivih opcija.

Složene ili egzotične opcije

Takve su opcije na primjer azijske opcije, retrospektivne (*lookback*) opcije, *barrier* opcije i *spread* opcije. Te potonje su najinteresantije za tržišta različitim energentima i tržišta električne energije. Posebnu važnost uzima podgrupa opcija koje se nazivaju *spark spread* opcijama. Njihova baza je (*spark*) *spread* ili razlika između tržišne cijene

2.2 Option types

Several option types can be distinguished:

Real option

This is a simplified option when the investor has choice to invest in the production of goods or services rather than in financial contracts. This option type can be exercised in a manner whereby its holder has the right to expand his own production or services, or simply to change the core-business. This type of option is usually not tradable.

Traded option

An option which can be traded on the exchange markets. As for other classes of exchange traded derivatives, a trade option has standardized contracts, quick systematic pricing, and is settled through a clearing house (to ensure fulfillment). Traded options include stock options, commodity options, bond options, interest rate options etc.

Standard or plain-vanilla option

Simple and easy to understand type of option.

Complex or exotic option

This is a less understandable and rather complex type of option. Asian options, look back options, barrier options and spread options are considered to be exotic. Spread options are the most interesting for the primary fuels market and electricity market. The subgroup of this options, i.e. spark spread options, is of special importance. The base of these options is the (spark) spread, which means the difference between the market price of primary

energenta koji pogoni energetska postrojenja (npr. loživo ulje, zemni plin, ugljen ili nuklearno gorivo) i tržišne cijene električne energije.

Cijena energenta ne izražava se po jedinici električne energije nego po jedinici topline koja je sadržana u energentu. Za izračunavanje cijene energenta po jedinici električne energije potrebno je znati koliki je specifični potrošak topline (*heat rate*), odnosno kolika je potrošnja energenta po jednom proizvedenom kilovatsatu električne energije. Taj specifični potrošak topline ovisi o tipu elektroenergetskog postrojenja [2].

2.3 Opcije u ovisnosti o trenutku njihovog izvođenja

Trenuci za izvođenje opcija utječu na njihovu vrijednost. U tom pogledu navodi se tri tipa opcija [2]:

Američki tip opcija

Omogućuje imatelju izvođenje opcije bilo koji dan prije dana njenog dospjeća. Za određivanje njene vrijednosti koristi se model binomnog stabla.

Europski tip opcija

Omogućuje imatelju izvođenje opcije samo na dan njenog dospjeća. Vrijednost ovakve opcije izračunava se formulama Black-Scholes i Black 76.

Bermudski tip opcija

Omogućuje imatelju izvođenje opcije na jedan od nekoliko prethodno odabranih dana prije dana dospjeća opcije.

2.4 Klase opcija

Opcije se mogu izvesti samo jednom, no to ovisi o izboru klase opcija i njihovim kombinacijama, a one se dijele na [2]:

Opcije po vremenskoj klasi:

- mjesečne opcije – kupac ove klase opcija ima pravo, ali ne i obvezu zakupiti od prodavatelja, npr. električnu snagu od 50 MW. Tad će prodavatelj kupcu imati obvezu isporučivati električnu energiju npr. u razdoblju od 7 do 23 sata tijekom npr. lipnja po cijeni od npr. 500 HRK/MWh. Po ovim uvjetima opcija se mora izvesti najkasnije do 29. svibnja tekuće godine,
- tromjesečne opcije – isti uvjeti kao i kod mjesečne opcije osim što je prodavatelj dužan isporučivati električnu energiju u sljedeća tri ugovorena mjeseca,
- godišnje opcije – isti uvjeti kao i kod mjesečne opcije, osim što će se električna energija od strane prodavatelja isporučivati tijekom cijele godine.

fuel consumed by the power plants (e.g., heating oil, natural gas, coal or nuclear fuel) and the market price of electricity.

The price of primary fuel is not expressed in the unit of electricity but in the unit of the heat content. To calculate the price of primary fuel in the unit of electricity, it is necessary to know the heat rate, i.e. the amount of primary fuel consumption needed to produce one kilowatt hour of electricity in the power plant. The heat rate depends on the type of power plant [2].

2.3 Options and their exercise periods

The exercise periods of options have influence on their values. In this aspect, three option types can be considered [2]:

American option

An option holder has the right to exercise the option any day before the expiry date. The American options are pretty flexible in their exercising but it is rather difficult to define their prices. Therefore, the binomial tree model is usually applied for their pricing.

European option

An option holder has the right to exercise the option on the expiry date only. Therefore, this type of option is easy to calculate by using the Black-Scholes and Black 76 formulae.

Bermudan option

An option holder has the right to exercise the option on the day chosen from previously selected dates before the expiry date.

2.4 Option classes

Options can be exercised only once, depending on the option classes and their combinations, which can be divided as follows [2]:

Calendar-year options:

- monthly options – a buyer of the option has the right but not the obligation to call the seller of the option to deliver for example 50 MW of power for each peak hour (from 7 a.m. until 11 p.m.) during the month of June at 500 HRK/MWh. Under these conditions, the option has to be exercised not later than May 29 of the current year,
- quarterly options – the same conditions as for the monthly options unless the seller is obliged to deliver the power in the next three months,
- yearly options – the same conditions as for the monthly options unless the seller is obliged to deliver the power during the entire current year.

Opcije po klasi njene isplate:

- financijski utvrđena vrijednost predmetnog sredstva po kojoj će se opcija isplatiti – vrijednost se utvrđuje na osnovi prihvaćenog ili obračunatog tržišnog indeksa,
- fizički utvrđena vrijednost predmetnog sredstva po kojoj će se opcija isplatiti – npr. imatelj opcije ima pravo, ali ne i obvezu kupiti neku robu po utvrđenoj cijeni K kroz razdoblje od npr. jedan mjesec. Kako bi isplatio opciju njen kupac mora prodati robu na spot tržištu. Tad je opcija zapravo efektivna opcija koja se isplaćuje na osnovi prosječne cijene te robe na spot tržištu.

Opcije po klasi spot cijene predmetnog sredstva:

- opcije po fiksno utvrđenoj cijeni (ili dnevne opcije) – opcije koje se izvode svakodnevno i dopuštaju kupcu donošenje odluke o njenoj kupnji (*call* opcija), odnosno prodaji (*put* opcija) na dnevnoj bazi,
- opcije s plivajućom cijenom (indeksne ili novčane opcije) – opcija koja se izvodi svakodnevno, a čiji tržišni indeks na mjesečnoj bazi predstavlja njenu vrijednost izvođenja. Osim toga kupcu dopušta da na dnevnoj bazi donosi odluke o kupnji ili prodaji robe, npr. zemnog plina ili električne energije, po njenoj cijeni izvođenja određenoj na početku mjeseca unutar kojeg će se ona izvesti, i to prema tržišnom indeksu na mjesečnoj bazi.

2.5 Utjecaj rizika na vrijednost opcija

Trgovanje opcijama nosi sa sobom određene rizike, kako za kupca tako i za prodavatelja opcija. Ti se rizici nešto razlikuju od rizika koji se pojavljuju zbog trgovanja određenim predmetnim sredstvom. Ukoliko se opcija ne realizira pravodobno, njena vrijednost može naglo pasti, što znači stvaranje gubitaka. Ovisno o rastu ili padu, opcije mogu poprimiti vrijednosti *in-the-money*, *at-the-money* ili *out-of-the-money*.

Call opcija *in-the-money* je ona čija je je vrijednost manja, a u slučaju *put* opcije veća od tekuće cijene predmetnog sredstva. Takve se *call* i *put* opcije preporuča realizirati ako odmah dospijevaju. *Call* ili *put* opcija *at-the-money* je po svojoj vrijednosti jednaka tekućoj cijeni predmetnog sredstva. Suprotno *call*, odnosno *put* opciji *in-the-money*, *call* opcija *out-of-the-money* je ona čija je vrijednost veća, a u slučaju *put* opcije manja od tekuće cijene predmetnog sredstva. Stoga nije preporučljivo izvoditi ovakve opcije ako one odmah dospijevaju.

Option exercise payoffs:

- financially settled options – the price of the option is settled according to the accepted or settled financial index of the market,
- physically settled options – for example, an option holder has the right but not the obligation to buy the commodity at a fixed price, K , for the period of, let us say, one month. To realize the option payoff, the option holder must now sell the commodity at the spot price. The option is then effectively an option on the average spot price.

Options on a spot commodity:

- fixed-strike options (or daily options) – an option exercised every day. It allows its holder to make daily decisions about buying (call option) or selling (put option),
- floating-strike options (index or cash options) – an option exercised every day with a specified monthly index as a strike price. It allows its holder to make daily decisions about buying or selling for example spot gas or power, at the strike price determined at the beginning of the month as a settled value of the monthly index.

2.5 Value-at-risk options

Option trading can carry a risk for an option buyer as well as for an option seller. These risks somehow differ from the risks assigned to the asset's trading procedure. If an option is not exercised in due time, its value can drop quickly and cause financial losses. Depending on their increasing or decreasing values, the options can be *in-the-money*, *at-the-money* and *out-of-the-money*.

The value of an *in-the-money* call option is smaller and the value of an *in-the-money* put option is greater than the current value of the underlying asset. In this case, it is recommended to exercise this call and put option if they are just about to expire. The value of an *at-the-money* call or put option is equal to the current value of the underlying asset. Unlike the *in-the-money* call and put options, an *out-of-the-money* call option has a greater value and an *out-of-the-money* put option has a smaller value than the current value of the underlying asset. Therefore, it is not recommended to exercise this options if they are just about to expire.

3 RAZVOJ MODELA ZA ODREĐIVANJE VRIJEDNOSTI OPCIJA

3.1 Povijesni razvoj

Modeli za određivanje vrijednosti opcija nastali na osnovi stohastičkog izračuna često se smatraju jednim od najsloženijih matematičkih oblika primijenjenih u financijama. Ti modeli vuku korijene još iz 19. stoljeća kada je Charles Castelli u svojoj knjizi *The Theory of Options in Stocks and Shares* predstavio koncepte hedgiranja i špekuliranja s opcijama. No, knjizi je nedostajala čvrsta matematička podloga na kojoj bi se ti modeli izgrađivali [4].

Dvadeset i tri godine kasnije francuski matematičar i profesor na Sorbonni Louis Bachelier u svojoj disertaciji *Theorie de la Speculation* objavljuje određena matematička rješenja koja nude analitičko vrednovanje opcije. Glede vrednovanja opcija Bachelier je bio na pravom tragu, no sve bi to na kraju rezultiralo negativnim cijenama opcija koje bi uvijek prelazile cijenu predmetnog sredstva. Inače je ovaj znameniti francuski matematičar poznat po tome što je prvi izveo model Brownovog gibanja [4].

Bachelierov rad zainteresirao je Paul A. Samuelsona, profesora u školi menadžmenta na MIT-u, koji je 1955. napisao neobjavljeni rad pod nazivom *Brownian Motion in the Stock Market* (Samuelson je inače dobitnik Nobelove nagrade za ekonomiju). Negdje iste godine Samuelsonov student, Richard Kruizenga, citirao je Bachelierov rad u svojoj disertaciji pod nazivom *Put and Call Options – A Theoretical and Market Analysis*. Godine 1962. još jedna disertacija, potpisnika A. James Bonessa, daje značajan doprinos u određivanju teoretske vrijednosti opcija [4].

Fischer Black i Myron Scholes su kao matematičku podlogu koristili rješenja iz Bonessove disertacije kako bi konačno 1973. godine predstavili svoj matematički model za određivanje vrijednosti opcija. Taj model vrijedi samo za spot cijenu predmetnog sredstva. No, već 1976. Fischer Black razvija modificiranu verziju formule Black-Scholes i dobiva formulu poznatu pod imenom Black 76 kojom se izračunava vrijednost opcije na osnovi terminske cijene predmetnog sredstva (Black i Scholes su inače dobitnici Nobelove nagrade za ekonomiju).

Formule Black-Scholes i Black 76 pogodne su za one opcije koje je moguće izvesti samo na dan njihovog dospijanja (kao što su to opcije europskog tipa). No, kad se radi o opcijama koje se mogu izvesti i na neki dan prije njihova dospijanja (američki tip opcija), tada su potrebni neki drugi

3 THE DEVELOPMENT OF OPTION PRICING MODELS

3.1 History of development

Option pricing models based on stochastic calculations are often considered among the most complex mathematical issues applied in finances. These models have their roots in a book entitled: *The Theory of Options in Stock and Shares*, written by Charles Castelli in 19th century, which presents the concepts of hedging and speculating with options. However, the book did not provide a firm mathematical foundation for the construction of such models [4].

Twenty-three years later a French mathematician and professor at the Sorbonne, Louis Bachelier, published mathematical solutions for analytical option pricing in his dissertation, entitled: *Theorie de la Speculation*. Regarding option pricing, Bachelier was on the right track but his research resulted in negative option prices and values that were always higher than the prices of the underlying assets. This eminent French mathematician was to become popular because he was the first to derive the Brownian motion model [4].

Bachelier's work interested Paul A. Samuelson, a professor at the M.I.T. Sloan School of Management, who wrote in 1955 an unpublished work entitled: *Brownian Motion in the Stock Market* (Samuelson was awarded the Nobel Prize in Economic Sciences). In the same year Samuelson's student, Richard Kruizenga, cited Bachelier's work in his dissertation: *Put and Call Options – A Theoretical and Market Analysis*. In 1962, another dissertation, written by A. James Boness, made a significant contribution in defining the theory of option value [4].

Fischer Black and Myron Scholes used Boness' dissertation and in 1973 finally issued their mathematical model of option pricing. The model is valid only for the spot prices of an underlying asset. In 1976, Fischer Black expanded the Black-Scholes model and derived his own model, which he called Black 76. This model can calculate any option price on the basis of the forward price of the underlying asset (Black and Scholes were awarded the Nobel Prize in Economic Sciences).

The Black-Scholes model and the Black 76 model are appropriate for those options which can be exercised on the day of their expiry date (i.e., European options). However, other option pricing models are necessary for options which can be exercised at any time before their expiry date (i.e., American options). Such a model is the binomial tree model, developed by Cox, Ross and Rubinstein

modeli za određivanje vrijednosti opcija. Takav je model binomnog stabla kojeg su 1979. prvi predstavili Cox, Ross i Rubinstein u svom radu *Option Pricing – A Simplified Approach* [5] i [6].

Vrijednosti opcije koje se sastoje od složenijih elemenata izračunavaju se pomoću metode Monte Carlo koja uključuje simulaciju slučajnih varijabli. Danas se ova metoda dosta često koristi i popularna je među matematičarima, s obzirom da se iz dana u dan pojavljuju sve jača računala.

3.2 Model za vrednovanje opcija po formulama Black-Scholes i Black 76

Model za vrednovanje opcija po Blacku i Scholesu čini poboljšanu verziju modela koju je prethodno razvio Boness u svojoj disertaciji na čikaškom sveučilištu. Fischer Black je prvi počeo raditi na razvoju modela za vrednovanje obveznica. Taj rad uključuje računanje derivata kojim se pokazuje variranje diskontne stope obveznice u odnosu na vrijeme i cijenu dionice. Rezultat tog matematičkog izvođenja sličan je jednadžbi za prijenos topline. Nakon tog otkrića Fischer Blacku se pridružuje Myron Scholes i zajednički započinju s razvojem modela za vrednovanje opcija. U odnosu na Bonessov model, Black-Scholes model daje nerizičnu kamatu u obliku diskontnog faktora.

Black-Scholes model zasniva se na sljedećim pretpostavkama [5]:

- cijena predmetnog sredstva S_t prati geometrijsko Brownovo gibanje s konstantnim poticajem μ i volatilnosti σ :

$$dS_t = \mu \cdot S_t \cdot dt + \sigma \cdot S_t \cdot dW_t, \quad (1)$$

- postoji mogućnost prodaje predmetnog sredstva,
- ne postoje nikakve mogućnosti za arbitražu,
- trgovanje na burzi je kontinuirano,
- ne postoje nikakvi troškovi transakcije ili porezi,
- nerizična kamatna stopa postoji i konstantna je za vrijeme trgovanja opcijama.

Formula Black-Scholes u obzir uzima sve navedene pretpostavke i daje vrijednost *call* opcije za predmetno sredstvo (u njihovom slučaju dionice) po spot cijeni S i dogovorenoj cijeni za određenu opciju K , odnosno cijeni po kojoj će se kupovati predmetno sredstvo u toku budućeg razdoblja T . Konstantna je nerizična kamatna stopa r i volatilnost σ koja je odraz spot cijene predmetnog sredstva. Formula Black-Scholes za *call* opciju glasi [5]:

in their work: *Option Pricing – A Simplified Approach*, released in 1979 [5] and [6].

Option values with more complex elements are calculated with the Monte Carlo method using the simulation of random variables. This method is applied fairly often today and is very popular in the world of mathematicians, considering that increasingly powerful computers are coming to market every day.

3.2 The Black-Scholes and Black 76 Option Price Models

Option price models such as the Black-Scholes model represent an upgraded version of the model developed by Boness in his dissertation at the University of Chicago. Fischer Black had first started to work on developing a model of pricing bonds. His work involved the calculation of derivatives, demonstrating varying bond interest rates proportional to time and share price. The result of this mathematical derivation is similar to the heat transfer equation. Myron Scholes joined Fischer Black after this discovery and together they started to develop their option pricing model. Compared to the Boness model, the Black-Scholes model provides a risk-free interest rate in the form of a discount factor.

The key assumptions of the Black-Scholes model are as follows [5]:

- the price of the underlying asset S_t follows a geometric Brownian motion with constant drift μ and volatility σ :

- it is possible to short sell the underlying asset,
- there are no arbitrage opportunities,
- trading in the exchange market is continuous,
- there are no transaction costs or taxes,
- a risk-free interest rate is present and constant for the option trading.

Given the above assumptions, the Black-Scholes model calculates the call option price of the underlying asset (stocks in their case) at the spot price S and strike price K , i.e. the price at which the underlying asset will be bought in period T . The risk-free interest rate r is constant as well as the volatility σ affected by the spot price of the underlying asset. The Black-Scholes equation for a call option is as follows [5]:

$$C(S, T) = S \cdot N(d_1) - K \cdot e^{-rT} \cdot N(d_2), \quad (2)$$

a za *put* opciju:

while for a put option it is:

$$P(S, T) = K \cdot e^{-rT} \cdot N(-d_2) - S \cdot N(-d_1), \quad (3)$$

gdje su:

where:

$$d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2) \cdot T}{\sigma \sqrt{T}}, \quad (4)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T}, \quad (5)$$

gdje je N funkcija normalne kumulativne distribucije. U programu Office Excel ta funkcija nosi naziv NORMDIST(...).

here N is function of normal cumulative distribution. In the program Office Excel, this function is called NORMDIST (...).

Za bolje razumijevanje modela Black-Scholes, potrebno je formulu (2) podijeliti na dva dijela. Prvi dio, $S \cdot N(d_1)$, je očekivana dobiti od izravnog kupovanja predmetnog sredstva. To se dobiva množenjem spot cijene predmetnog sredstva S s promjenom premije *call* opcije, tj. promjenom cijene predmetnog sredstva $N(d_1)$. Drugi dio, $K \cdot e^{-rT} \cdot N(d_2)$, ukazuje na sadašnju vrijednost cijene opcije u trenutku njezinog dospijanja. Pravična tržišna vrijednost *call* opcije se računa tako da se oduzmu ta dva dijela formule Black-Scholes. Analogno vrijedi i za *put* opciju.

For a better understanding of the Black-Scholes model, it is necessary to divide the equation (2) into two parts. The first part, $S \cdot N(d_1)$, is the expected gain from buying the underlying asset directly. It is calculated by multiplying the spot price of the underlying asset S and the premium change of the call option, i.e. the changed price of the underlying asset $N(d_1)$. The second part, $K \cdot e^{-rT} \cdot N(d_2)$, indicates the present value of the option price at its expiry day. The fair market value of the call option is calculated by subtracting these two parts of the Black-Scholes formula. It is also analogous for the put option.

Iz izvođenja svoje formule, Black i Scholes su svoj model proširili na mjere koje opisuju tržišnu osjetljivost opcije. Te se pojedine mjere označuju grčkim slovima pa se u financijama one popularno nazivaju Grcima (*The Greeks*). One su proizašle iz diferencijalnih jednadžbi za određivanje formule Black-Scholes. To su sljedeće mjere [5]:

Deriving their own formula, Black and Scholes extended it to measures that represent the market sensitivities of the options. These measures, indicated by Greek letters and popularly called "the Greeks" in the in the financial world, represent the derivation of differential equations for defining the Black-Scholes formula. The measures are as follows [5]:

- delta, Δ , mjeri osjetljivosti na spot cijenu S ,
- gama, Γ , mjeri drugi red osjetljivosti na spot cijenu S ,
- vega, koja ne pripada grčkoj abecedi, mjeri osjetljivosti na volatilnost σ (neke trgovačke kuće umjesto vege ovu mjeru označuju sa kapa, κ , ili tau, τ),
- theta, Θ , mjeri osjetljivost na protok vremena T ,
- rho, ρ , mjeri osjetljivost primjenjene kamatne stope r .

- Delta, Δ , measures sensitivity to spot price S ,
- Gamma, Γ , measures second order sensitivity to spot price S ,
- Vega, which is not a Greek letter, measures sensitivity to volatility σ (some trading firms have used the term kappa, κ , or tau, τ , instead of the term vega),
- Theta, Θ , measures sensitivity to the passage of time T ,
- Rho, ρ , measures sensitivity to the applicable interest rate r .

U tablici 1 dan je popis svih formula za određivanje Grka, posebno za *call* i posebno za *put* opciju.

A list of all the equations for calculating the Greeks, particularly for call and put options, is provided in Table 1.

Tablica 1 – Izrazi za mjerenje tržišne osjetljivosti *call* i *put* opcija [5]
Table 1 – Formulas for measuring the market sensitivity of call and put options [5]

	<i>Call</i> opcija / Call option	<i>Put</i> opcija / Put option
delta / delta Δ	$N(d_1)$	$N(d_1) - 1$
gama / gamma Γ	$\frac{\varphi(d_1)}{S \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}}$	$\frac{\varphi(d_1)}{S \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}}$
vega / vega	$S \cdot \varphi(d_1) \cdot \sqrt{T}$	$S \cdot \varphi(d_1) \cdot \sqrt{T}$
theta / theta Θ	$-\frac{S \cdot \varphi(d_1) \cdot \sigma}{2 \cdot \sqrt{T}} - r \cdot K \cdot e^{-rT} \cdot N(d_2)$	$-\frac{S \cdot \varphi(d_1) \cdot \sigma}{2 \cdot \sqrt{T}} + r \cdot K \cdot e^{-rT} \cdot N(-d_2)$
ro / rho ρ	$K \cdot T \cdot e^{-rT} \cdot N(d_2)$	$-K \cdot T \cdot e^{-rT} \cdot N(-d_2)$

U tablici 1 φ predstavlja funkciju normalne vjerojatnosti. Uočava se da su gama i vega jednaki za *call* i *put* opciju.

In Table 1, φ is the standard normal probability function. Note that the gamma and vega formulas are the same for call and put options.

Fischer Black je 1976. stvorio vlastiti model za vrednovanje opcija, koje umjesto o spot cijeni ovise o terminskoj cijeni predmetnog sredstva. Iz tog proizlaze sljedeće formule za određivanje vrijednosti *call* odnosno *put* opcije [7]:

Fischer Black created in 1976 his own option pricing model, which is based on the forward price of the underlying asset instead of the spot price. The equations of the call and put options are as follows [7]:

$$C(F, T) = e^{-rT} \cdot (F \cdot N(d_1) - K \cdot N(d_2)), \quad (6)$$

$$P(F, T) = (K \cdot N(-d_2) - F \cdot N(d_1)), \quad (7)$$

gdje je:

- r – nerizična kamatna stopa,
- F – terminska cijena predmetnog sredstva na dan dospjeća opcije,
- σ – volatilnost terminske cijene i
- $N(\dots)$ – funkcija normalne kumulativne distribucije.

where:

- r – risk-free interest rate,
- F – forward price of the underlying asset at expiry day,
- σ – volatility of the forward price, and
- $N(\dots)$ – function of normal cumulative distribution.

Additionally, two more equations are given [7]:

Nadalje slijede još dvije jednačbe [7]:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{F}{K}\right) + \frac{\sigma^2 \cdot T}{2}}{\sigma \cdot \sqrt{T}}, \quad (8)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T}. \quad (9)$$

Pretpostavke i način izvođenja formule Black 76 jednake su kao i kod izvođenja formule Black-Scholes, osim što je spot cijena predmetnog sredstva zamijenjena s terminskom cijenom koja pak predstavlja očekivanu buduću vrijednost diskontiranu za nerizičnu stopu.

The assumptions and derivation of the Black 76 formula are the same as those of the Black-Scholes formula, unless the spot price of the underlying asset is replaced by the forward price, which represents the expected future value discounted by a risk-free interest rate.

4 PRIMJER REALIZACIJE OPCIJE NA BURZI EEX UZ PRIMJENU MARGINA

4 AN EXAMPLE OF EXERCISING AND MARGINING FOR AN OPTION ON THE EEX BOURSE

4.1 Opći uvjeti trgovanja opcijama na burzi EEX

EEX, burza sa sjedištem u Leipzigu jedna je od rijetkih tržišta električne energije na kojoj se može trgovati opcijama. Ovisno o tome je li potražnja za električnom energijom bazna ili vršna burza EEX nudi trgovanje sa Phelix Base opcijama i Phelix Peak opcijama (u riječi Phelix dio koji se odnosi na Phel znači fizičku isporuku električne energije).

4.1 General conditions of the option trading on the EEX bourse

The EEX, a bourse located in Leipzig, is one of rare electricity markets in which is possible to trade with options. Depending on the electricity demand, whether off-peak or on-peak, the EEX bourse offers option types such as Phelix Base and Phelix Peak to trade with (the word Phelix refers to the term Phel and means the physical delivery of electricity).

Opcije se na ovoj burzi mogu izvoditi tako da sudionik tržišta zauzme određenu future poziciju. Drugim riječima, temelj opcije čini terminska cijena električne energije i njoj pridružen future ugovor. Na primjer, u slučaju izvođenja *call* opcije (opcije koja se kupuje), duga pozicija po ugovoru tipa Phelix Base Year Future za godinu 2005. otvorena je za kupca opcije, dok je kratka pozicija po tom istom ugovoru otvorena za prodavatelja opcije, i to po odgovarajućoj cijeni opcije koja dopijeva samo na posljednji dan trgovanja, u razdoblju između 9 sati i 15 sati. To znači da su opcije na burzi EEX europskog tipa [8].

In this bourse, options can be exercised after a market participant takes a particular future position. In other words, the base of an option is the forward price of the electricity settled by the futures. For example, in the case of the exercise of a call option (buying option), the long position to the Phelix Base Year Future for year 2005 is opened for an option buyer, while the short position to the same futures is opened for an option seller and only for the price of the option, which expires on the last trading day, between 9 a.m. and 3 p.m. This rule indicates that the option type accepted by the EEX bourse is the European option [8].

Po pravilima trgovanja, kupac opcije mora platiti premiju da bi stekao pravo na njeno izvođenje. Osim toga premijom se kupac opcije zaštićuje od tržišnog rizika. Nadalje, taj kupac koji je isplatio premiju nije dužan ništa više plaćati, kao na primjer pokrivati margine u slučaju da terminska cijena električne energije počne padati. To je obveza prodavatelja opcije koji njenom prodajom treba pokrivati premijski i dodatnu marginu. Veličina tih margina ovisi o poziciji na kojoj se imatelj opcije trenutačno nalazi. Ako je prodavatelj opcije prisiljen da se odmakne od pozicije tada on

Due to trading rules, an option buyer must pay the premium to receive the right to exercise the option. Moreover, the buyer is hedged from market risk by the premium. The buyer is not obliged to make additional payments, i.e. to close out the margins if the forward price of the electricity starts to decrease. Closing out the margins is the obligation of the option seller, i.e. closing out both the premium and additional margins. The value of these margins depends on the particular position taken by the seller. If the seller is forced

prilikom prodaje opcije mora pokriti premijsku marginu koja se zatim usklađuje s novom cijenom opcije na dnevnoj bazi. Dodatna margina koristi se za pokrivanje gubitaka koji su mogući zbog nepovoljnog kretanja cijene opcije. Kako je opcijama temelj terminska cijena električne energije, to znači da se za njeno vrednovanje koristi formula Black 76. Cijene za realizaciju opcija kotiraju u eurima po kilovatsatima, obračunate na najviše tri decimale, s promjenom od najmanje 0,001 EUR/kWh [8] i [9].

Moguće je trgovanje opcijama na temelju pet Phelix Base Month Futures ugovora (što je pridruženo opciji tipa Phelix Base Month Option), šest Phelix Base Quarter Futures ugovora (što je pridruženo opciji tipa Phelix Base Quarter Option) te tri Base Load Year Futures ugovora (opcija tipa Base Load Year Option) [8].

Prema pravilima burze EEX opcije obično dospijevaju u trenutku kada se njima može trgovati po posljednji put. Tako posljednji dan trgovanja opcijom tipa Phelix Base Year Option pada na drugi četvrtak u prosincu. Za opcije tipa Phelix Base Month Option po kojoj je isporuka električne energije u siječnju i Phelix Base Quarter Option što se odnosi na prvi kvartal u godini posljednji dan trgovanja pada na treći četvrtak u prosincu. Posljedni dan trgovanja svim ostalim opcijama tipa Phelix Base Quarter Options i Phelix Base Month Options je četiri dana prije početka isporuke električne energije [8].

Ukupan broj *call* i *put* opcija raspoloživih za trgovanje po istoj cijeni njihovog izvođenja, datumom dospijeaća i tipom električne energije naziva se serija opcija. Za isti tip električne energije, za isti datum dospijeaća, ali s različitim cijenama izvođenja može biti utrživo najmanje tri serije opcija.

4.2 Primjer pokrivanja margina tijekom trgovanja opcijama na burzi EEX

Kupac i prodavatelj future ugovora obvezni su pokrivati margine kojima se osigurava likvidnost burze [10]. Kod trgovanja opcijama jedino prodavatelj opcije je obvezan pokrivati određene margine, dok kupac prodavatelju plaća premiju. Po zahtjevu klirinške kuće koja predstavlja posebnog člana burze odgovornog za prikupljanje sredstava za pokrivanje margina prodavatelj opcije dužan je pokriti premijsku marginu i dodatnu marginu. Premijska margina pokriva gubitke nastale od premalo naplaćene premije, a dodatna margina od promjenjive vrijednosti te premije. Te se margine obračunavaju po metodi mark-to-market, odnosno metodi usklađivanja vrijednosti premije sa tržišnom vrijednošću opcije. Zahvaljujući toj metodi burza osigurava svoju daljnju likvidnost.

to go forward from the current position, then he must close out the premium margins, which will be rated with new option prices on a daily basis. The additional margin is proportional, so that it covers additional losses under the assumption of the most unfavorable price movement in the option price. Since the forward price of the electricity is essential for the option, the Black 76 formula is usually applied to calculate the option price. The option prices are quoted in Euros per kilowatt-hour, mostly to three decimal places and with a minimum change of 0,001 EUR/kWh [8] and [9].

Option trading is possible on the basis of the next five Phelix Base Month Futures (assigned to the Phelix Base Month Option), the next six Phelix Base Quarter Futures (assigned to the Phelix Base Quarter Option) and the next three Phelix Base Year Futures (assigned to the Base Load Year Option) [8].

Due to the rules of the EEX bourse, the options expire at the moment of their last trading day. Hence, the second Thursday in December is the last trading day for the Phelix Base Year Option. The third Thursday in December is the last trading day for both the January Phelix Base Month Option and the first quarter Phelix Base Quarter Option. Four days before the beginning of the delivery of electricity is the last trading day for all other options, such as the Phelix Base Quarter Options and the Phelix Base Month Options [8].

The total number of call and put options available for trading, with the same exercise price, expiry date and electricity type is called the option series. At least three option series can be traded if the type of electricity and expiry date are the same but the exercise price is different.

4.2 An example of margining for options in the EEX bourse

Futures buyers and sellers are obliged to close-out the margins in order to ensure the liquidity of the bourse [10]. In the case of option trading, the seller must close out the margins, while the buyer pays the option premium. The clearing house, a special member of the bourse, requests the seller to close the premium margin as well as the additional margin. The premium margin covers all the losses from the underpaid premium, while the additional margin covers losses from the volatile premium value. Both margins are calculated with the help of the mark-to-market method, which means leveling the premium rate with the market value of the option. Thanks to this method, the further liquidity of the market is ensured.

Premijska margina odgovara premiji za kupovanje opcije te se računa na sljedeći način [9]:

The premium margin corresponds to the premium of option buying and can be calculated in the following manner [9]:

$$\text{Premijska margina/Premium margin (EUR)} = \text{Pozicija/Position} \times \text{Ugovorena količina/Contracted volume (MWh)} \times \text{Obračunata cijena opcije/Settlement price of the option (EUR/MWh)}. \quad (10)$$

Premijskom marginom se konačno obračunava pozicija koja se odnosi na tekuću tržišnu cijenu električne energije.

Finally, the position referring to the current price of electricity is calculated by this premium margin.

Dodatna margina odraz je najnepovoljnijeg kretanja cijene opcije te se u skladu s tim računa na sljedeći način [9]:

The additional margin is a reflection of the most unfavorable price movements in the option pricing and therefore can be calculated as follows [9]:

$$\text{Dodatna margina/Additional margin (EUR)} = \text{Pozicija/Position} \times \text{Ugovorena količina/Contracted volume (MWh)} \times \text{Najnepovoljnije kretanje cijene opcije/Most unfavorable option price movements (EUR/MWh)}. \quad (11)$$

Ovom je marginom moguće uspostaviti gornju i donju granicu očekivane buduće cijene električne energije. Projicirana vrijednost opcije određuje se formulom Black 76.

The additional margin can establish the minimum and maximum prices expected for the electricity. The projected option price is calculated by the Black 76 formula.

Primjer računanja premijske i dodatne margine prikazan je u tablici 2.

An example of calculating the premium and additional margins is shown in Table 2.

Model računanja margina iz tablice 2 ne može biti održiv ako je vrijednost opcije znatno manja od svoje realne vrijednosti tj. *out-of-the-money*. U tom slučaju burza EEX podešava vrijednosti kratke opcije prema sljedećoj formuli [9]:

The margin calculation model from Table 2 cannot be sustainable if the option value is significantly lower than its real value, i.e. *out-of-the money*. In this case, the EEX bourse is in charge of short option adjustment according to the following equation [9]:

$$\text{Podešavanje vrijednosti opcije/Short option adjustment (EUR/MWh)} = \text{Stupanj pad vrijednosti opcije/Out-of-the money minimum (\%)} \times \text{Parametar dodatne margine/Additional margin parameter (EUR/MWh)} + \text{Obračunata cijena opcije/Settlement of the option price (EUR/MWh)}. \quad (12)$$

Tablica 2 – Primjer računanja premijske i dodatne margine [9]

Table 2 – Example regarding the calculation of the premium and the additional margin [9]

Ugovor / Contract	C (Call) O1BY (Phelix Base Year Option) JAN08 25,00 (EUR/MWh)		
Ugovorena količina električne energije / Contract volume	366 dana / days x 24 sata / hours x 1 MW = 8 784 MWh		
Parametar dodatne margine / Additional margin parameter	2,50 EUR/MWh		
Pozicija / Position	25 L (Long) ili 25 S (Short)		
Obračun cijena opcije na dnevnoj bazi / Daily settlement price of the option	0,800 EUR/MWh		
Obračunata cijena električne energije na dnevnoj bazi / Daily settlement price of electricity	25,10 EUR/MWh		
Premijska margina / Premium margin			
Duga pozicija / Long position		Kratka pozicija / Short position	
Premijska margina / Premium margin = - 25 x 8 784 MWh x 0,800 EUR/MWh = - 175 680 EUR (dobitak / profit)	Premijska margina / Premium margin = 25 x 8 784 MWh x 0,800 EUR/MWh = 175 680 EUR (gubitak / loss)		
Dodatna margina / Additional margin			
Duga pozicija / Long position		Kratka pozicija / Short position	
	Future (predmet trgovanja) / Future (undelying asset)		
Projekcija / Projection	Obračunata cijena električne energije na dnevnoj bazi / Daily settlement price	Projekcija / Projection	
22,60 EUR/MWh	← 25,10 EUR/MWh →	27,60 EUR/MWh	
	Opcija / Option		
Projekcija / Projection	Dnevno obračunata cijena opcije / Settlement price	Projekcija / Projection	
0,200 EUR/MWh	← 0,800 EUR/MWh →	2,800 EUR/MWh	
Najlošiji slučaj: cijena opcije je pala za 0,600 EUR/MWh, od 0,800 EUR/MWh na 0,200 EUR/MWh / Worst case: Option price falls by 0,600 EUR/MWh from 0,800 EUR/MWh to 0,200 EUR/MWh	Najlošiji slučaj: cijena opcije je narasla za 2,000 EUR/MWh, od 0,800 EUR/MWh na 2,800 EUR/MWh / Worst case: Option price rises by 2,000 EUR/MWh from 0,800 EUR/MWh to 2,800 EUR/MWh		
Dodatna margina / Additional margin = 25 x 8 784 MWh x 0,600 EUR/MWh = 131 760 EUR (gubitak / loss)	Dodatna margina / Additional margin = 25 x 8 784 MWh x 2,000 EUR/MWh = 439 200 EUR (gubitak / loss)		
Ukupna margina / Total margin			
Duga pozicija / Long position		Kratka pozicija / Short position	
Premijska margina / Premium margin	- 175 680 EUR	Premijska margina / Premium margin	175 680 EUR
Dodatna margina / Additional margin	131 760 EUR	Dodatna margina / Additional margin	439 200 EUR
Marginski kredit / Margin loan	- 43 920 EUR	Potrebno za pokriti marginu / Total margin to be furnished	614 880 EUR
Mogućnost prebacivanja marginskog kredita na drugu poziciju koja pripada istoj marginskoj klasi / The margin loan can be set off against margin for same margin class	Prodavatelj opcija je obvezan uložiti 614 680 EUR kako bi pokrio marginu / The seller has to deposit for margin in the amount of 614 680 EUR		

S obzirom da opcija terminske cijene električne energije predstavlja predmet trgovanja, to znači da se opcija nadovezuje na future ugovor. Imatelj opcija i future ugovora zauzima dvije dodjeljene pozicije. Razlika je samo u obvezama koje proizlaze iz trgovanja opcijama odnosno future ugovorima. Da ne bi za svaku posebnu poziciju pokrивao margine, imatelj opcije i future ugovora može kompenzirati te margine međusobno ih zbrajajući. Margina proizašla iz trgovanja opcijom i margina proizašla iz trgovanja future ugovorom pripadaju istoj marginjskoj klasi.

Dobitak, odnosno gubitak, nastao iz pozicije trgovanja po future ugovoru računa se na sljedeći način:

$$\begin{aligned} \text{Dobitak/gubitak/Profit/loss (EUR)} &= \text{Pozicija/Position} \times \text{Ugovorena} \\ &\text{količina/Contracted volume (MWh)} \\ &\times (\text{Projecirana terminska cijena/} \\ &\text{Projected price of the future} - \\ &\text{Ugovorena terminska cijena/} \\ &\text{Settlement price of the future}) \\ &\text{(EUR/MWh),} \end{aligned} \quad (13)$$

dok se dobitak odnosno gubitak proizišao iz pozicije trgovanja po opciji izračunava kao:

$$\begin{aligned} \text{Dobitak/gubitak/Profit/loss (EUR)} &= \text{Pozicija/Position} \times \text{Ugovorena} \\ &\text{količina/Contracted volume (MWh)} \\ &\times \text{Projecirana cijena opcije/} \\ &\text{Projected price of the option} \\ &\text{(EUR/MWh).} \end{aligned} \quad (14)$$

I u ovom slučaju burza EEX koristi formulu Black 76 za izračunavanje vrijednosti opcije, pri tom uzimajući u obzir impliciranu volatilnost koja se izvodi iz tekućih ugovorenih cijena opcije.

U tablici 3 prikazan je primjer obračunavanja margina koje pripadaju istoj marginjskoj klasi.

Since the option of the forward price of electricity represents an object of trade, this indicates that the option is connected to the future contract. A holder of options and of futures is also a holder of the assigned positions. The only difference is the obligations that ensue from the option trading or futures trading. To avoid the closing out of each margin, it is possible for the holder to compensate for all the margins by simply adding them together. Margins for options and futures belong to the same margin class.

The profits and losses of positions in futures are calculated in the following manner:

while the profits and losses of positions in options are calculated as follows:

The EEX bourse calculates the option values by the Black 76 formula and uses the implied volatility derived from the current settlement of the option.

In Table 3, an example of the calculation of margins from the same margin class is presented.

Tablica 3 – Primjer obračunavanja margina iste marginske klase [9]
Table 3 – Example regarding the calculation of the margins from the same margin class [9]

Predmetno sredstvo marginske klase (Phelix Base Year Future za 2008. godinu) / Underlying asset of the margin class (Phelix Base Year Future for year 2008)				F1BY JAN08		
Prva pozicija (Short Call Phelix Base Year Option za 2008. godinu) / 1 st position (Short Call Phelix Base Year Option for year 2008)				5S C 01BY JAN08 25,00		
Druga pozicija (Long Phelix Base Year Option za 2008. godinu) / 2 nd position (Long Phelix Base Year Option for year 2008)				25L F 1BY JAN08		
Ugovorena količina električne energije (366 dana x 24 sata x 1 MW) / Contract volume (366 days x 24 hours x 1 MW)	MWh			8 784		
Parametar dodatne margine / Additional margin parameter	EUR/MWh			2,50		
Obračunata cijena predmetnog sredstva na dnevnoj bazi / Daily settlement price of the underlying asset	EUR/MWh			25,10		
Obračunata cijena prve pozicije na dnevnoj bazi / Daily settlement of 1 st position	EUR/MWh			0,731		
Obračunata cijena druge pozicije na dnevnoj bazi / Daily settlement price of 2 nd position	EUR/MWh			25,10		
Marginski interval / Marginal interval	Projicirana cijena predmetnog sredstva / Projected price in underlying asset (EUR/MWh)	5S C 01BY JAN08 25,00		25L F1BY JAN08		Ukupni dobitak/gubitak / Total profits/loss (EUR)
		Projicirana cijena / Projected price (EUR/MWh)	Dobitak/gubitak / Profit/loss (EUR)	Projicirana cijena / Projected price (EUR/MWh)	Dobitak/gubitak / Profit/loss (EUR)	
Obračunata cijena na dnevnoj bazi / Daily settlement price (-2,50 EUR/MWh)	27,60	2,744	120 516,48	27,60	-549 000,00	-428 483,52
	27,00	2,321	101 938,32	27,00	-417 240,00	-315 301,68
	26,00	1,402	61 575,04	26,00	-197 640,00	-136 064,16
	25,10	0,731	32 105,52	25,10	0,00	32 105,52
	25,00	0,679	29 821,68	25,00	21 960,00	51 781,68
	24,00	0,453	19 895,76	24,00	241 560,00	261 455,76
	23,20	0,283	12 429,36	23,20	417 240,00	429 669,36
	22,60	0,256	11 243,20	22,60	549 000,00	560 243,52

5 ZAKLJUČAK

Opcijama se koriste oni sudionici tržišta koji su spremni platiti pravo da kupe ili prodaju električnu energiju po nekoj utvrđenoj cijeni koja vrijedi do dana dospijeca opcije. Ukoliko se radi o pravu na kupnju električne energije, tada kupac opcije može računati na zaradu u slučaju rasta buduće tržišne cijene električne energije. Ako se pak radi o pravu na prodaju električne energije, tada kupac profitira na račun pada tržišne cijene električne energije. Ne ostvare li se navedeni scenariji o rastu i padu cijena električne energije, kupac neće izvesti svoju opciju, odnosno snosit će gubitak u iznosu kupljenog prava ili premije.

5 CONCLUSION

Options are utilized by those market players who are willing to purchase the right of buying or selling electricity at a fixed price that is valid until the expiry day of the option. In the case of buying electricity, the buyer can count on a profit if the expected market price of electricity increases. In a case of selling electricity, the seller can profit from the decreasing market price of electricity. If the market price of electricity neither increases nor decreases, the buyer will not exercise his option, i.e. he will have a loss equal to the value of the right or the premium that he has purchased.

Kupac opcije je samo naočigled u boljoj poziciji nego njen prodavatelj. Naime, kupac prodavatelju opcije plaća premiju, i ništa više, odnosno nije obvezan svojim novcem, vrijednosnicama ili garancijama pokrivati margine u slučaju naglog povećanja budućih tržišnih cijena električne energije. Za razliku od kupca, prodavatelj opcije treba pokrivati margine jer se na taj način osigurava trajna likvidnost burze. S druge strane prodavatelj odmah zarađuje na premiji koju je naplatio kupcu opcije.

The option buyer is apparently in a better position than the option seller. Namely, the buyer pays the premium to the seller and nothing more, i.e. he is not obliged to close out the margins with his own cash, securities or guarantees if the expected market price of electricity increases sharply. Unlike the buyer, the option seller must close out the margins in order to ensure the liquidity of the exchange market. On the other hand, the seller immediately makes a profit on the premium that he collects from the buyer.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] HULL, J., Options, Futures and Other Derivates, 6th ed., Prentice Hall, 2005
- [2] EYDELAND, A., WOLYNIEC, K., Energy and Power: Risk Management, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003
- [3] DENG, S.J., OREN, S.S., Electricity Derivates and Risk Management, Energy, 31(2006) 6-7
- [4] DAVIS, M., Mathematics of Financial Markets, work supported by the Austrian Science Foundation (FWF) under grant Wittgenstein Prize Z36-MAT, September, 2000, (www.ma.ic.ac.uk/~mdavis/docs/math2001.pdf)
- [5] BLACK, F., SCHOLES, M., The Pricing of Options and Corporate Liabilities, Journal of Political Economy, 81(1973) 3
- [6] COX, J., ROSS, S., RUBINSTEIN, M., Option Pricing, a Simplified Approach, Journal of Financial Economics, 7(1979) 3
- [7] BLACK, F., The Pricing of Commodity Contracts, Journal of Financial Economics, 3(1976) 1-2
- [8] EEX Derivatives Market Concept (Futures and Options), European Electricity Exchange, October 2004, (<http://www.eex.de>)
- [9] EEX Margining, European Electricity Exchange, May 2006, (<http://www.eex.de>)
- [10] URAN, V., Tehnika izvođenja terminskih ugovora uz primjenu hedging metode, Energija, 55(2006), br.5.
- [11] ZGOMBIĆ, H., Business Dictionary (English – Croatian), IV. Izdanje, Faber & Zgombić Plus, Zagreb, 2002.

Uredništvo primilo rukopis:
2006-11-29

Manuscript received on:
2006-11-29

Prihvaćeno:
2007-01-15

Accepted on:
2007-01-15

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, u dvostrukom proredu i s dostatnim marginama. 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 se navode u neskrćenom obliku.

Časopis

[1] FRAZIER, L., FODOR, J. D., *The sausage machine: A new two-stage parsing model. Cognition*, 6 (1978), 291– 325

Knjiga

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

Referat

[7] WATROUS, R. L., SHASTRI, L., *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/teze

[10] ROZENBLIT, J. W., *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:
HEP d.d. - Energija
N/r tajnika Uredivačkog odbora – mr. sc. Slavica Barta-Koštrun
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Tel.: +385 (1) 632 2641
Faks: +385 (1) 617 0438
e-mail: slavica.barta@hep.hr

KOREKTURA I AUTORSKI PRIMJERC

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.

MANUSCRIPTS

1. Energija 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, with double line spacing and adequate margins. Pages are numbered consecutively.
3. As a rule articles cannot exceed 14 pages of the Energija journal (about 9000 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 a rounded off whole comprehensible to an average reader apart from the context of the article. The summary is followed by the listing of the key words.
6. Articles 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 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), 291–325

Book

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

Conference paper

[7] WATROUS, R. L., SHASTRI, L., *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

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

10. An article will be accepted for publication if it is positively evaluated by two professional reviewers. In the review, articles are categorised as follows:
 - original scientific articles – works containing hitherto unpublished full results of original research,
 - preliminary information – works containing hitherto unpublished preliminary results of original research,
 - review articles – works containing the original, summarized 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 necessarily derived from original research.
11. Articles will undergo language editing and metrological reviews.
12. Articles are to be submitted in a machine-readable form plus one printout to the following address:
HEP d.d. - Energija
N/r tajnika Uređivačkog odbora – mr. sc. Slavica Barta-Koštrun
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia
Tel.: +385 (1) 632 2641
Fax: +385 (1) 617 0438
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. Authors will receive free of charge 5 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



CIGRE Symposium

HRVATSKA - CROATIA

Prijelazne
pojave u
velikim
elektro-
energetskim
sustavima

Transient
Phenomena
in Large
Electric
Power
Systems

18-21 *Travanj*
April
2007

ZAGREB



www.ho-cigre.hr/hrv/ics2007.aspx



ZAŠTO STUDIRATI NA FER-U:

- Kako bismo studirali u nadahnjujućem i vrlo organiziranom okruženju
- Kako bismo postali inženjeri, magistri ili doktori znanosti

ZAŠTO SURADIVATI S FER-OM:

- Zato da nađemo rješenja za izazove koje pred nas stavlja globalno tržište
- Zato da poboljšamo postojeće i razvijemo nove proizvode oslanjajući se na vrhunske istraživačke potencijale FER-a
- Zato da ostanemo ili postanemo konkurentni na europskoj i svjetskoj razini kroz znanstvenu i istraživačku izvrsnost

ZAŠTO FER:

- Kako bih u potpunosti uživao u životu kao student i kasnije kao profesionalac radeći u području elektrotehnike, informacijskih i komunikacijskih tehnologija ili računarstva – trenutno najpropulzivnijim područjima modernog društva

WHY STUDY AT FER:

- To study in an inspiring and highly organized environment
- To become an excellent engineer, master or doctor of science

WHY COOPERATE WITH FER:

- To reach more easily the solutions to the challenges we face in the global market
- To improve our existing products and to develop new products by relying on the top-most research potential of FER
- To stay or become competitive at the European and world-wide level through R&D excellence

WHY FER:

- To enjoy fully life as a student and later as a professional by working in the field of electrical engineering, information and communication technology, or computing – the most propulsive fields of modern society

