

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 Krajcar, 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
Urednički 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 55(2006)
Zagreb, 2006
Broj 5, str. 477–600

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 Krajcar, 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 55(2006)
Zagreb, 2006
No 5, pp 477–600

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

SADRŽAJ

Bandelj, B., Copot, D., Miklič, J., Petan, Z., Rijavec, P., Žebeljan, Dj.,
IZAZOVI I PRILIKE SLOVENSKOG TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE
(pregledni članak)

Lokner, V., Subašić, D., Levanat, I., Lokner, P.,
UDIO TROŠKOVA RAZDRAGNJE U CIJENI ELEKTRIČNE
ENERGIJE IZ NE KRŠKO
(pregledni članak)

Božić, H.,
SVRHA I METODE MODELIRANJA ENERGETSKOG SUSTAVA
(pregledni članak)

Mileusnić, E.,
IZLOŽENOST LJUDI ELEKTROMAGNETSKIM POLJIMA
(stručni članak)

Uran, V.,
TEHNIKA IZVOĐENJA TERMINSKIH UGOVORA UZ PRIMJENU
HEDGING METODE
(stručni članak)

CONTENTS

Bandelj, B., Copot, D., Miklič, J., Petan, Z., Rijavec, P., Žebeljan, Dj.,
CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR THE SLOVENIAN
ELECTRICITY MARKET
(review article)

Lokner, V., Subašić, D., Levanat, I., Lokner, P.,
THE SHARE OF DECOMMISSIONING COSTS IN THE PRICE OF
ELECTRICITY FROM THE KRŠKO NPP
(review article)

Božić, H.,
THE PURPOSES AND METHODS OF ENERGY SYSTEM MODELING
(review article)

Mileusnić, E.,
HUMAN EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS
(professional article)

Uran, V.,
THE TECHNIQUES OF EXERCISING FUTURES AND FORWARDS
BY THE HEDGING METHOD
(professional article)

Časopis je objavljen 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.

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.



482-501

502-529

530-549

550-577

578-595

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, cijeliti 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,

energetske teme preplavile su medijski prostor u Europi, a posljedično i u Hrvatskoj. Potreba za objektivnom elaboracijom pojedinih energetske teme je velika, daleko veća od ponude u sredstvima javnog priopćavanja. Površno i populistički intonirano prezentiranje energetske teme može se potisnuti većim javnim angažiranjem energetske stručnjaka i specijaliziranih novinara. U tom smislu ohrabrujemo kompetentno pisanje o energetske temama, a izborom članaka u ovom broju vjerujem da dajemo i konkretan doprinos.

U Energiji 5/2006 objavljujemo pet članaka:

- Izazovi i prilike slovenskog tržišta električne energije,
- Udio troškova razgradnje u cijeni električne energije iz NE Krško,
- Svrha i metode modeliranja energetske sustava,
- Izloženost ljudi elektromagnetskim poljima i
- Tehnika izvođenja terminskih ugovora uz primjenu hedging metode.

U prvom članku ovog broja Energije prikazane su dileme koje su bile prisutne tijekom procesa restrukturiranja elektroenergetske sektora i postupnog otvaranja tržišta u Sloveniji. Slovenija je bliski i svježi primjer potrebnih reformi u elektroenergetskom sektoru, koji je vrlo instruktivan za zemlje koje kandidiraju za pristup Europskoj uniji. Opisane su provedene institucionalne i organizacijske promjene te aktualno stanje slovenskog elektroenergetske sustava. Također je opisan način na koji se žele riješiti razvojni problemi elektroenergetske sustava u uspostavljenom tržišnom okruženju.

U drugom članku obrađena je vrlo aktualna tema financiranja troškova razgradnje NE Krško te utjecaja tih financijskih obveza na proizvodnu cijenu električne energije iz te elektrane. Članak se bavi pouzdanosću procjene troškova s tehnološkog i fiskalnog stajališta. Razmotren je i hipotetički scenarij produljenog financiranja razgradnje u varijanti da je hrvatski fond uspostavljen ranije i varijanti produljenja radnog vijeka NE Krško za 20 godina. Članak ukazuje da glavni utjecaj imaju

Dear Readers,

Energy topics have flooded the media in Europe, and consequently also in Croatia. There is a greater need for the objective elaboration of individual energy topics than that which is offered in the mass media. Superficial and popularly intoned presentations of energy topics could be countered by the greater public engagement of energy experts and specialized journalists. In this sense, we encourage competent writing on energy topics. With the selection of the articles in this issue, I believe that we are making a substantial contribution.

In Energija 5/2006, we are publishing five articles:

- Challenges and Opportunities for the Slovenian Electricity Market,
- The Share of Decommissioning Costs in the Price of Electricity from the Krško NPP
- The Purposes and Methods of Energy System Modeling,
- Human Exposure to Electromagnetic Fields, and
- The Techniques of Exercising Futures and Forwards by the Hedging Method.

In the first article of this issue of Energija, dilemmas that have arisen during the process of the restructuring of the electricity sector and the gradual opening of the market in Slovenia are considered. Slovenia is a nearby and fresh example of the needed reforms in the electricity sector, which is highly instructive for candidate countries for membership in the European Union. The institutional and organizational changes are described as well as the current state of the Slovenian electricity system. There is also a description of the manner in which it is desired to resolve the development problems of the electricity system within the established market environment.

The second article deals with the very current topic of financing the decommissioning costs of the Krško Nuclear Power Plant and the impact of these financial obligations on the production cost of electricity from this plant. The article is concerned with the reliability of the cost estimates from the technological and fiscal standpoints. A hypothetical scenario is considered for the prolongation of the

fiskalne okolnosti i način upravljanja izdvojenim financijskim sredstvima.

Razina interakcije među elementima energetskog sustava se neprestano povećava zbog tehnološkog razvoja, izgradnje velikih međunarodnih energetskih sustava i tržišnog načina poslovanja. Ta okolnost nametnula je potrebu jedinstvenog i kompleksnog modeliranja energetskih sustava kao potpore vođenju energetske politike i poslovnom odlučivanju. Treći članak u ovom broju časopisa Energija je na sustavan i kondenzirani način prikazao bitne okolnosti vrlo dinamične znanstvene discipline modeliranja energetskog sustava.

Četvrti članak bavi se temom ugroženosti zdravlja u slučaju izloženosti ljudi elektromagnetskim poljima. To je tema koja se ranije razmatrala i rješavala u kontekstu profesionalnog rada u elektroenergetskim postrojenjima. Međutim, posljednjih nekoliko godina postala je važna javna tema koja je nezaobilazni čimbenik izgradnje novih elektroenergetskih postrojenja i drugih instalacija koje generiraju elektromagnetsko zračenje. U članku su elaborirani izvori elektromagnetskih polja, mogući biološki učinci te propisi i mjere zaštite.

Posljednji ali nikako ne i manje važan članak elaborira temu financijskih derivata u trgovanju električnom energijom. Rizici poslovanja na spot tržištu električne energije naveli su tržišne subjekte na primjenu stabilnijih formi tržišnog poslovanja kao što su terminski ugovori, ugovori o zamjeni i opcije. Članak opisuje obilježja svake od navedenih metoda trgovanja, a posebno su obrazložene teoretske osnove i praktična primjena hedging metode.

U ovom broju članke potpisuje trinaest autora, od kojih je čak šest iz Slovenije. Prvi i drugi članak napisale su grupe stručnjaka koje i inače poslovno surađuju i bave se problematikom elaboriranom u njihovim člancima. Kao takvi imaju kapaciteta za opsežniju suradnju na temi tržišta električne energije, odnosno troškova razgradnje nuklearne elektrane. Posebno ukazujem na autorski doprinos kolege Egona Mileusnića dipl.ing. koji je godinama dokazivao svoju stručnu kompetentnost kao jedan od vodećih stručnjaka u djelatnosti prijenosa Hrvatske elektroprivrede.

**Glavni urednik
Nikola Bruketa dipl.ing.**

financing of the decommissioning in a variant that the Croatian Fund established previously and a variant for prolonging the working lifetime of the Krško Nuclear Power Plant by 20 years. The article demonstrates that the fiscal circumstances and the manner of managing the financial assets set aside have a major impact.

The level of interaction among the elements of an energy system is constantly increasing due to technological development, the construction of large international energy systems and market operations. Such circumstances pose the need for the uniform and complex modeling of energy systems to provide support for the implementation of energy policies and business decisions. The third article in this issue of the journal Energija presents the essential aspects of the highly dynamic scientific discipline of modeling an energy system.

The fourth article is on the topic of the hazards to human health from exposure to electromagnetic fields. This is a topic that has been previously discussed and solved within the context of operations in electrical power plants. However, in the past several years it has become an important public topic that is an inescapable factor in the construction of new electrical power plants and other installations that generate electromagnetic radiation. In this article, sources of electromagnetic fields, possible biological effects, regulations and safety measures are elaborated.

The last but certainly no less important article elaborates the topic of financial derivatives in electricity trading. The risks of operations on the electricity spot market have led to the exercising of futures, forwards and options. The article describes the characteristics of each of these methods and provides an explanation of the theoretical foundations and practical applications of the hedging method.

The articles in this issue are signed by thirteen authors, of whom six are from Slovenia. The first and second articles were written by groups of experts who are otherwise professionally associated and engaged in the subjects elaborated in their articles. As such, they have the capacity for extensive cooperation on the topics of the electricity markets and the costs of decommissioning a nuclear power plant. I call particular attention to the contribution by my colleague Egon Mileusnić, dipl.ing., who for years has demonstrated his professional competence as one of the leading experts in the transmission operations of Hrvatska elektroprivreda.

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

IZAZOVI I PRILIKE SLOVENSKEG TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR THE SLOVENIAN ELECTRICITY MARKET

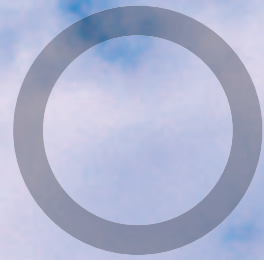
Mr. sc. Boštjan Bandelj, mr. sc. Damjana Copot, mr. sc. Jana Miklič, Zvone Petan, dipl. ing., mr. sc. Petja Rijavec, mr. sc. Djordje Žebeljan, HSE d.o.o.,
Koprska ulica 92, 1000 Ljubljana, Slovenija
Boštjan Bandelj, MSc, Damjana Copot, MSc, Jana Miklič, MSc, Zvone Petan, dipl.ing., Petja Rijavec, MSc, Djordje Žebeljan, MSc, HSE d.o.o.,
Koprska ulica 92, 1000 Ljubljana, Slovenia

Slovenija je nakon osamostaljenja prilikom priprema za uključenje u Europsku uniju krenula na put institucionalnog i organizacijskog preoblikovanja elektroenergetskog sektora sukladno europskim smjernicama i direktivama. Pri tome je morala pratiti osnovni cilj, to jest, kako s uvođenjem tržišnih odnosa unutar elektroprivrednih djelatnosti i između elektroprivrede i potrošača postići konkurentne cijene električne energije i na taj način sniziti troškove te povećati dodanu vrijednost i konkurentnost gospodarstva. Poslovni rezultati elektroenergetskog sektora ukazuju na uspješnost restrukturiranja. Slovenska se elektroprivreda ubrzano priprema na nove izazove elektroenergetskog sektora – prije svega potpuno otvaranje tržišta i tržišno dodjeljivanje prekograničnih prijenosnih kapaciteta, nakon 1. srpnja 2007. godine.

Following independence and during the period of preparation for entry into the European Union, Slovenia embarked upon the institutional and organizational reconstruction of the electricity sector, pursuant to European guidelines and directives. The basic goals were to achieve competitive electricity prices, and so reduce costs and increase the added value and competitiveness of the economy through the introduction of market relations within the operations of the electric power industry and between the electric power industry and electricity consumers. The performance of the electricity sector is an indication of the success of this reconstruction. The Slovenian electric power industry has accelerated preparations for the new challenges confronting the electricity sector – first of all the complete opening of the market and the market allocation of cross-border transmission capacities after July 1, 2007.

Ključne riječi: električna energija, elektroprivreda, otvaranje tržišta električne energije, privatizacija elektroprivrede

Key words: electric power industry, electricity, opening the electricity market, privatization of the electric power industry



1 UVOD

U proteklih petnaest godina elektroenergetski sektor u većini je razvijenih država krenuo na put restrukturiranja. U sektor koji je desetljećima djelovao u monopolističkim uvjetima, u pojedine je djelatnosti ušla konkurencija. Uzrok deregulacije sektora i otvaranja tržišta je želja za povećanjem učinkovitosti elektroprivrednih poduzeća i dugo očekivani dodatni učinak sniženja cijena električne energije za potrošače.

Države Europske unije krenule su prema otvaranju tržišta u skladu s Direktivom 96/92/EC. Cilj ove direktive uz već spomenute ciljeve bilo je i kreiranje homogenog europskog tržišta električne energije. Direktiva propisuje i rokove za minimalno otvaranje tržišta (minimalni udio potrošača koji mogu slobodno birati dobavljača električne energije). U ostalom su dijelu odredbe direktive općenite budući da je svaka država krenula u procese deregulacije i otvaranje tržišta na svoj način, a zajednička točka većine njih je briga za domaća elektroprivredna poduzeća.

I Slovenija je donošenjem energetskeg zakona i kasnijim ulaskom u Europsku uniju krenula na put restrukturiranja sektora i otvaranja tržišta električne energije, što ima, kako za sektor, tako i za njegove pojedine sudionike, značajne posljedice. Među njima bi se glede značenja moglo istaknuti dvije: prva je izgradnja novih kapaciteta za proizvodnju električne energije u svjetlu činjenica, kao što su relativna starost proizvodnih objekata, nedostatak proizvodnih kapaciteta i položaj Slovenije kao neto uvoznice električne energije i druga je privatizacija elektroprivrede, gdje je glavni cilj povećanje učinkovitosti opskrbe električnom energijom s novim zahvatima vlasnika. Uza sve to postoje i problemi internacionalizacije poslovanja i partnerskih odnosa sa susjednim državama i njihovim makro i mikro gospodarskim sustavima od kojih djelomično ovisi i gospodarska učinkovitost Slovenije kao cjeline i energetike kao njezinog sastavnog dijela.

1 INTRODUCTION

During the past fifteen or so years, the electricity sector in the majority of developed countries has embarked upon the path of reconstruction. In this sector, which for decades operated under monopolistic conditions, competition has been introduced in individual operations. The reason for the deregulation of the sector and the opening of markets is the desire to increase the effectiveness of the electric power enterprises and the long-awaited additional impact of lowered electricity prices upon the consumers.

The member states of the European Union have moved toward the opening of markets, pursuant to Directive 96/92/EC. The goal of this directive, in addition to the previously mentioned goals, was the creation of a homogenous European electricity market. The directive also stipulates the deadlines for the minimal opening of markets (the minimal percentage of consumers who can freely choose their electricity suppliers). In other areas, the stipulations of the directive are of a general nature because each member state has embarked on the processes of deregulation and the opening of markets in its own way. A common concern shared by the majority of them involves their domestic electric power enterprises.

Slovenia has also adopted energy legislation and later, subsequent to its entry into the European Union, has embarked on the path of the reconstruction of the sector and the opening of the electricity market, which has had significant repercussions for both the sector and the individual participants therein. Among these in terms of significance, two could be singled out: the first is the construction of new capacities for the production of electricity in the light of the facts, such as the relative age of the production objects, the shortage of production capacities and Slovenia's position as a net importer of electricity; and the second is the privatization of the electric power industry, where the main goal is to increase the effectiveness of the electricity supply with new undertakings by the owner. With all of this, there is also the problem of the internationalization of operations and partnerships with neighboring countries and their macro and micro economic systems, upon which the economic effectiveness of Slovenia partially depends as a whole and in terms of energy supply as an integral part thereof.

2 POLAZIŠTA ZA RESTRUKTURIRANJE SLOVENSKEG ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA

2.1 Kratka povijest slovenske elektroprivrede

Do 1991. godine slovenski elektroenergetski sustav bio je dio jugoslavenskog elektroenergetskog sustava. Potrebe tadašnje Jugoslavije na području elektroenergetike zadovoljavale su se kroz samoopskrbu električnom energijom, proizvedenom iz različitih izvora energije (hidro, termo i nuklearne elektrane), pa i niskom cijenom električne energije. Sve je to bilo pod nadzorom države koja je administrativnim određivanjem cijena regulirala elektroenergetsku politiku. Tek nakon osamostaljenja i samostalnim djelovanjem elektroenergetskog sustava (EES) Slovenije u prvi su plan izbili područja koja zahtijevaju prilagodbu novome stanju [1]:

- Veličina agregata slovenskih elektrana: snaga određenih proizvodnih agregata (TE Šoštanj blok 5, NE Krško) prevelika je za maleno tržište kao što je Slovenija, jer ne omogućava prilagođavanje potrebama za električnom energijom.
- Odnos između proizvodnje temeljne, trapezoidne i vršne električne energije i korištenja pojedine vrste energije morao se prilagoditi manjem tržištu.
- Konfiguracija prijenosne mreže na području Slovenije: u Jugoslaviji je bila planirana i izvedena 400 kV prijenosna mreža kao prsten koji je povezivao sve republike i pokrajine i omogućavao uključivanje cjelokupnog elektroenergetskog sustava u UCTE preko povezivanja s Italijom i Austrijom. Sa stajališta slovenske države nakon osamostaljenja a time i odnosa u sustavu prijenosa koji su diktirali autonomni sustav prijenosa, ugrađen u interkonekciju, nedostajalo je unutarnje 400 kV povezivanje između središnjeg dijela države i Dolenjske. To povezivanje bilo je planirano već u prvoj fazi izgradnje 400 kV prstena Nikola Tesla, međutim, još uvijek nije izgrađeno.

Za elektroenergetske uređaje u Sloveniji karakteristična je visoka starost, no oni su dobro održavani, a većina vitalnih elemenata sustava je u proteklim godinama zamijenjena ili će biti zamijenjena u sljedećim godinama. Upravo zbog tog razloga u sustav prijenosa je uveden način održavanja koji je učinkovito pratio potrebu obnove ključnih elemenata, pa stoga sustav djeluje pouzdano i sigurno. U proteklom desetljeću i pol Slovenija nije doživjela energetske kolapse i krize.

2 STARTING POINT FOR THE RECONSTRUCTION OF THE SLOVENIAN ENERGY SECTOR

2.1 A brief history of the Slovenian electric power industry

Until the year 1991, the Slovenian electric power industry system was a part of the Yugoslav electric power industry system. The requirements of the former Yugoslavia in the area of electricity were met by the domestic energy supply, produced from various energy sources (hydroelectric, thermoelectric and nuclear power plants), and with low electricity prices. All of this was under the supervision of the state, which regulated energy policy by determining prices administratively. It was only after Slovenian independence and the establishment of independent operations by the Electric Power System of (EPS) Slovenia that new situations arose which required adaptation [1]:

- The majority of the power generating units of the Slovenian electric power plants and the power rating of certain production units (Šoštanj Thermoelectric Power Plant – Block 5, the Krško Nuclear Power Plant) were too large for a small market such as Slovenia, precluding adaptation to the electricity requirements.
- The relationship among the basic, trapezoidal and peak electricity production and the use of individual types of energy had to be adjusted to a smaller market.
- Regarding the configuration of the transmission network in Slovenia, in the former Yugoslavia, a 400 kV transmission network was planned and constructed as a ring that connected all the republics and territories, permitting inclusion within the Union for the Coordination of the Transmission of Electricity (UCTE) via connection with Italy and Austria. From the Slovenia standpoint following independence and the relations within the transmission system, which dictated an autonomous transmission system that was interconnected, there was no 400 kV link between the central part of the country and Dolenjsko. This link had already been planned in the first phase of the construction of the 400 kV Nikola Tesla Ring. However, it has still not been constructed.

Electric power plants and equipment in Slovenia are characterized by advanced old age but they are well maintained and the majority of the vital elements of the system have been replaced in recent years or will be replaced in the coming years. It is precisely for this reason that a maintenance arrangement has been introduced into the transmission system that effectively monitors the requirements for the replacement of key elements, and therefore the

U prvom razdoblju samostalnosti Slovenije opskrba potrošača električnom energijom bila je dobra jer se potrošnja nakon 1989. godine, kada je postigla najvišu dotadašnju razinu (10 500 GWh), jako smanjila. Od 1994. godine potrošnja se počela povećavati i 1999. godine postigla je već skoro razinu iz 1989. godine (10 450 GWh). Elektroprivreda stoga nije previše opterećivala vlasti u Sloveniji, koji su se morali posvetiti izlječenju gospodarstva, stjecanju međunarodnog priznanja, financijskim pitanjima, vlasničkim odnosima i sl.. Svi su napori bili usmjereni prema pripremanju za uključivanje Slovenije u Europsku uniju, koja je sa svojim zahtjevima utjecala na institucionalnu i organizacijsku uređenost elektroenergetskog sektora u Sloveniji. Pri tome je trebalo pratiti osnovni cilj, to jest kako uvođenjem tržišnih odnosa unutar elektroprivrednih djelatnosti i elektroprivrede i potrošača postići konkurentne cijene električne energije i na taj način sniziti troškove, povećati dodanu vrijednost i konkurentnost gospodarstva [1].

Nakon osnivanja javnih poduzeća u 1990. godini izrađeno je čak nekoliko studija i prijedloga za izradu nacionalnog energetskog programa, novoga zakona i novog organizacijskog ustrojstva elektroprivrednih djelatnosti. Nakon izbora novog predsjednika Vlade Republike Slovenije 1993. godine, zadaci Ministarstva energetike preneseni su u nadležnost Ministarstva gospodarstva. Sljedeće je godine Vlada na osnovi Zakona o gospodarskim javnim službama elektroprivredna poduzeća preoblikovala uredbom u javna poduzeća u vlasništvu Republike Slovenije. Ministarstvo gospodarstva je uz suradnju s ostalim vladinim resorima, institucijama, poduzećima i pojedincima izradilo rezoluciju o strategiji potrošnje i opskrbe Slovenije energijom, koju je Državni zbor Republike Slovenije prihvatio 11. siječnja 1996. godine.

2.2 Donošenje Energetskog zakona, početak restrukturiranja sektora i otvaranja tržišta

U 1999. godini (16. rujna 1999. godine) Državni zbor Republike Slovenije je donio Energetski zakon koji je u cijelosti usvojio direktive i smjernice Europske unije. Energetski zakon je po sadržaju bitno drukčiji od svih dotadašnjih zakona koji su uređivali energetske djelatnosti. Uveo je više značajnih novosti. Jedna od njih jest da je za obavljanje energetske djelatnosti potrebno dobiti licencu koju izdaje Agencija za energiju. Za vođenje energetske politike i izradu nacionalnog energetskog programa odgovorno je ministarstvo nadležno za energetiku.

system operates reliably and safely. During the past decade and a half, Slovenia has neither experienced energy collapse nor crisis.

During the initial period of Slovenian independence, the supply of electricity to customers was good. After the year 1989, consumption dropped after having risen to the highest level thus far (10 500 GWh). Since the year 1994, consumption began to increase and in 1999 nearly reached the 1989 level (10 450 GWh). Therefore, the electric power industry did not pose an excessive burden to the authorities in Slovenia, which had to attend to the recovery of the economy, obtaining international recognition, financial questions, property ownership relations etc. All efforts were directed toward the preparation of Slovenia for inclusion in the European Union, the requirements of which affected the institutional and organizational system of the electricity sector in Slovenia. Moreover, it was necessary to work toward the basic goal, i.e. with the introduction of market relations among electric power operations, the electric power industry and consumers, how to achieve competitive electricity prices and thereby reduce costs, increase added value and boost the level of the competitiveness of the economy [1].

After the establishment of public enterprises in the year 1990, several studies and proposals were prepared for a national energy program, a new law and a new organizational system for the operations of the electric power industry. After the new president of the Government of the Republic of Slovenia was elected in the year 1993, the tasks of the Ministry of Energy were transferred to the authority of the Ministry of the Economy. The following year, pursuant to the Public Services Management Act, by decree the Government transformed the electric power enterprises into public enterprises under the ownership of the Republic of Slovenia. The Ministry of the Economy, in cooperation with other government departments, institutions, enterprises and individuals, prepared a resolution on the strategy for the energy consumption and supply of Slovenia, which the National Assembly (Lower House of Parliament) of the Republic of Slovenia accepted on January 11, 1996.

2.2 The adoption of the Energy Act, the beginning of the restructuring of the sector and the opening of the market

On September 16, 1999, the National Assembly of the Republic of Slovenia passed the Energy Act, which adopted the directives and guidelines of the European Union in their entirety. The Energy Act in terms of content was significantly different from all the preceding acts which regulated energy activities.

Za uvođenje tržišta električne energije Energetski zakon određuje obvezne republičke gospodarske javne službe za prijenos električne energije, za upravljanje prijenosnom mrežom, za distribuciju električne energije, za upravljanje distribucijskom mrežom, za isporuku električne energije tarifnim kupcima i za organiziranje tržišta električne energije (burza). Energetski zakon uređuje i pitanja učinkovitog korištenja energije, uporabe obnovljivih izvora i zaštite okoliša koji moraju biti sastavni dio energetske politike. Odnosi između nositelja gospodarskih javnih službi moraju biti organizirani tako da su međusobno neposredno informirani o svim proizvodnim i poslovnim pitanjima.

Agencija za energiju kao neovisna pravna osoba javnog prava odgovorna je za nadzor nad djelovanjem tržišta električne energije. Ona odlučuje o cijenama za uporabu elektroenergetske mreže, o opravdanosti mrežnih troškova, o sporovima i izdavanju licenci, a surađuje s drugim tijelima, inspekcijama i slično. Vlada daje suglasnost na metodologiju određivanja cijena električne energije za tarifne kupce.

Proizvodnja i trgovanje električnom energijom i isporuka električne energije povlaštenim kupcima postali su tržišne djelatnosti u kojima je dozvoljena i poželjna konkurencija više ponuđača.

U Sloveniji je država prema elektroprivrednim poduzećima nastupala u dvostrukoj ulozi. Bila je većinski vlasnik elektroprivrednih poduzeća i istodobno je s tadašnjom energetsom politikom pokušavala kroz mehanizam cijena nametnuti nacionalne gospodarske interese. U prošlosti je bilo najvažnije samostalno opskrbljivanje električnom energijom, a nacionalni gospodarski interesi pretpostavljali su se poduzetničkim interesima elektroprivrednih poduzeća. Posljedica toga bile su propale investicije u proizvodnim poduzećima i loše pokrivanje troškova kroz cijenu električne energije zbog nadzora nad cijenama, koje su služile očuvanju socijalnog mira i snižavanju inflacije. Donošenjem Zakona vlada je izgubila neposredni nadzor nad cijenama na otvorenom tržištu. Međutim, još uvijek će imati mogućnost određivanja tarifa za opskrbu potrošača koji na to imaju pravo, ali samo do 1. srpnja 2007. godine, kada će se tržište otvoriti i za tarifne kupce [2].

Vlada Republike Slovenije osnovala je 26. srpnja 2001. godine Holding Slovenske elektrane (HSE). Za njegovo osnivanje odlučila se zbog tri razloga: prvi je da će omogućiti jedinstveni nastup grupi proizvođača električne energije u uvjetima slobodnog tržišta, drugi, da će omogućiti realizaciju projekta izgradnje pet novih hidroelektrana na donjem dijelu Save, i treći, da

It introduced several significant innovations. One of them is that it is necessary to obtain a license that is issued by the Energy Agency in order to perform energy operations. The ministry in charge of energy supply is in charge of conducting energy policy and preparing a national energy program.

The Energy Act stipulates the obligations of the republican economic public services for the transmission of electricity, the control of the transmission network, the distribution of electricity, the control of the distribution network, the delivery of electricity to tariff customers and the organization of the electricity market (exchange). The Energy Act also regulates the questions of efficient energy use, the use of renewable sources and environmental protection, which must be an integral part of energy policies. The relationships among those in charge of economic public services must be organized so that they keep each other informed regarding all the production and business questions.

The Energy Agency, as an independent legal entity of public law, is responsible for the supervision of the operations of the electricity markets. It decides on the prices for the use of the electricity network, on the justifiability of network expenditures, disputes, the issue of licenses, cooperation with other bodies, inspection services etc. The Government grants approval for the methodology of the determination of electricity prices to tariff customers.

The production and trade of electricity and the delivery of electricity to eligible customers have been market activities in which competition among several bidders is permitted and desirable.

In Slovenia, the state assumed a dual role toward electric power enterprises. It was the majority owner of the electric power enterprises and at the same time attempted to further the national economic interests through the pricing mechanism of the former energy policy. In the past, priority was afforded to the electricity supply and the national economic interests were assumed to be more important to those of the entrepreneurial interests of the electricity companies. This resulted in failed investments in production enterprises and poor coverage of expenses by the price of electricity due to price supervision, which served to maintain social peace and lower inflation. With the passage of the Act, the Government relinquished direct supervision over the prices on the open market. However, it will still have the opportunity to determine the tariff for the supply of consumers who are entitled to it, but only up to July 1, 2007, when the market will also be open to tariff customers [2].

će povećati konkurentnost proizvodnih poduzeća koja sačinjavaju HSE (Dravske elektrane Maribor, Savske elektrane Ljubljana, Soške elektrane Nova Gorica, Termoelektrana Brestanica, Termoelektrana Šoštanj, Ugljenokop Velenje) na slovenskom i europskim tržištima. Postojanje i uspješno poslovanje HSE iznimno su važni za ostvarivanje sigurne i pouzdane opskrbe Slovenije električnom energijom jer HSE spaja različite vrste proizvođača električne energije, koji mogu zajedno i povezani osiguravati konkurentnu električnu energiju. Ako bi proizvođači nastupali pojedinačno vjerojatno bi se nekoliko elektrana moralo zatvoriti jer na tržištu nisu konkurentne. Time bi izgubili na tisuće radnih mjesta, a namirivanje potreba za električnom energijom bilo bi još gore. Prva zadaća novoosnovanog poduzeća bila je da se u ovom prijelaznom vremenu do potpunog otvaranja tržišta postigne konkurentnost proizvodnje električne energije i otkloni međusobno subvencioniranje [3].

Glavni cilj liberalizacije elektroenergetskog tržišta bio je poboljšanje ekonomske učinkovitosti proizvođača i dobavljača električne energije. Konkurencija između proizvođača trebala bi poboljšati proizvodnu učinkovitost uz smanjenje operativnih troškova.

2.3 Postupno otvaranje tržišta električne energije

U procesu priključivanja Slovenije Europskoj uniji u godinama od 2001. do 2003. godine odvijale su se aktivnosti povezane s otvaranjem tržišta električne energije. Izmjene Energetskog zakona odredile su postupak i terminski plan otvaranja domaćeg tržišta električne energije u smislu približavanja regulativi europskih tržišta. Glavni rezultat reforme bio je taj da većina slovenskih potrošača električne energije (priključna snaga iznad 41 kW) sama bira dobavljača. Ostali potrošači imali su status tarifnih kupaca i njihova je cijena određena tarifnim sustavom kojeg potvrđuje Vlada Republike Slovenije. Cijena opskrbe električnom energijom za sve potrošače sastavljena je iz cijene energije i naknade za korištenje mreže koja pokriva prije svega troškove korištenja mreže. Visinu naknade propisuje Agencija za energiju Republike Slovenije. Cijena električne energije za povlaštene kupce oblikuje se na tržištu prema ponudi i potražnji, dok je cijena električne energije za tarifne kupce jednaka razlici između cijene opskrbe koju potvrđuje Vlada Republike Slovenije i visine naknade za korištenje mreže.

Usvojene izmjene slovenskog Energetskog zakona u 2004. godini predstavljale su nastavak procesa otvaranja tržišta električne energije. Tržište se u 2004. godini dodatno otvorilo pa su status

On July 26, 2001, the Government of the Republic of Slovenia established Holding Slovenske elektrane (HSE). There were three reasons for its establishment: the first is that it will facilitate uniform market access to a group of electricity producers under the conditions of a free market; the second is that it will facilitate the realization of the project of the construction of five new hydroelectric power plants on the lower part of the Sava River, and third that it will increase the competitiveness of products from the companies that comprise HSE: the Drava River Hydroelectric Power Plants – Maribor (Dravske elektrane Maribor), the Sava River Hydroelectric Power Plants – Ljubljana (Savske elektrane Ljubljana), the Soča River Hydroelectric Power Plants – Nova Gorica (Soške elektrane Nova Gorica), the Brestanica Thermoelectric Power Plant (Termoelektrana Brestanica), the Šoštanj Thermoelectric Power Plant (Termoelektrana Šoštanj) and the Velenje Coal Mine (Ugljenokop Velenje) on the Slovenian and European markets. The existence and successful operations of HSE are of exceptional importance for achieving secure and reliable electricity supplies for Slovenia because HSE links various types of producers of electricity, who can together assure competitive electricity. If the producers acted individually, it is likely that several power plants would have to close because they are not competitive on the market. This would result in the loss of thousands of jobs and meeting energy requirements would be hampered. The first task of the newly established enterprise during this transition period was to achieve competitiveness of electricity production and eliminate mutual subsidies prior to the opening of the market [3].

The main goal of the liberalization of the electricity market was to improve the economic effectiveness of electricity producers and suppliers. The competition among producers should improve production efficiency and reduce operational costs.

2.3 The gradual opening of the electricity market

In the process of Slovenia's joining the European Union, during the years from 2001 to 2003 there were activities connected with the opening of the electricity market. Amendments to the Energy Act regulated the procedure and schedule for the opening of the domestic electricity market in the sense of making regulations more similar to those of the European markets. The chief result of the reform was that the majority of Slovenian consumers of electricity (with an installed power rating of greater than 41 kW) chose the suppliers themselves. The remaining consumers had the status of tariff customers and their price was determined by a tariff system that was confirmed by the Government of the Republic of Slovenia. The price of electricity supply

povlaštenih kupaca od 1. srpnja 2004. godine dobili svi osim kućanstava. Status tarifnih kupaca imaju samo još kućanstva i to do 1. srpnja 2007. godine. Cijena za njihovu opskrbu određena je odlukom o određivanju cijena za isporuku električne energije za kućanstva i cijena za pokriće troškova dobavljača kod isporuke električne energije.

3 SLOVENSKO TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE DANAS

3.1 Organiziranost i sudionici

Ponuđače električne energije na slovenskom tržištu predstavljaju proizvođači i dobavljači električne energije koja može dolaziti i iz izvoza. Proizvođači električne energije na slovenskom tržištu razlikuju se prema vrstama elektrana (HE, TE i NE) i prema tome, da li imaju status kvalificiranog proizvođača električne energije ili nemaju. Status kvalificiranog proizvođača električne energije znači ispunjen uvjet za subvencioniranje proizvodnje ili garantirani otkup proizvodnje električne energije po cijeni koja je viša od tržišne i koja je određena Uredbom o uvjetima za dobivanje statusa kvalificiranog proizvođača električne energije. Status kvalificiranog proizvođača električne energije mogu dobiti prije svega elektrane koje su ekološki najprihvatljivije, na primjer manje kogeneracije, elektrane na biomasu ili plin iz odlagališta otpada, manje hidroelektrane, solarne elektrane i elektrane na vjetar i druge. Otkup prema garantiranoj cijeni omogućen je i Termoelektrani Trbovlje s ciljem garantiranja otkupa zasavskog ugljena do zatvaranja rudnika.

for all consumers consists of the price of energy and the compensation for the use of the network which covers, first of all, the costs of using the network. The amount of compensation is stipulated by the Energy Agency of the Republic of Slovenia. The price of energy for eligible consumers is formed on the market according to supply and demand, while the price of energy for tariff customers is equal to the difference between the price of supply that is confirmed by the Government of the Republic of Slovenia and the amount of compensation for the use of the network.

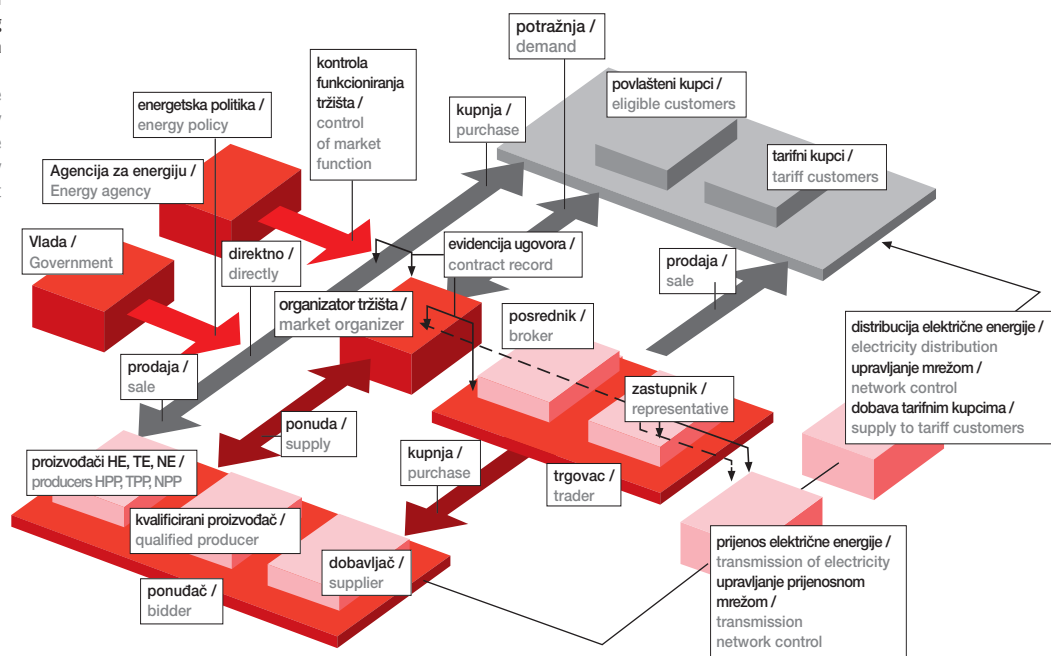
The adopted amendments to the Slovenian Energy Act in 2004 represented a continuation of the process of opening the electricity market. In the year 2004, the market was further opened so that as of July 1, 2004, all except households acquired the status of eligible customers. Households will retain the status of tariff customers until July 1, 2007. The price for their supply was established by the decision on the determination of the prices for the delivery of electricity to households and for price for covering the expenses of suppliers in the delivery of electricity.

3 THE SLOVENIAN ELECTRICITY MARKET TODAY

3.1 Organization and participants

Those offering electricity on the Slovenian market represent the producers and suppliers of electricity that may also be imported. Electricity producers on the Slovenian market differ among themselves according to the types of power plants (hydroelectric, thermoelectric and nuclear), and accordingly to whether or not they have the status of qualified electricity producers. The status of a qualified electricity producer means that the conditions have been met for the subsidizing of production or the guaranteed purchase of the electricity produced according to a price that is higher than that on the market and is determined by the Decree on the Conditions for Obtaining the Status of a Qualified Electricity Producer. The status of a qualified electricity producer can be obtained first of all by power plants that are ecologically acceptable, for example small cogeneration plants, power plants fueled by biomass or gas from waste repositories, small hydroelectric plants, solar power plants, wind power plants etc. The purchase of electricity according to the guaranteed price is afforded to the Trbovlje Thermoelectric Power Plant, with the goal of guaranteeing the purchase of the coal until the closing of the mine.

Slika 1
 Shema slovenskog
 tržišta električne
 energije nakon
 donošenja Energetskog
 zakona
 Figure 1
 The scheme of the
 Slovenian electricity
 market after the
 adoption of the Energy
 Act



Trgovanje električnom energijom (slika 1) odvija se preko bilateralnih ugovora ili trgovanja na organiziranom tržištu (burzi) električne energije. Ulogu organizatora tržišta električne energije u Sloveniji obavlja javno poduzeće Borzen d.o.o.. Uloga dobavljača je da u okviru tržišta na veliko kupuju električnu energiju i da je distribuira većem broju korisnika. Posrednici i zastupnici kupuju energiju za potrošače, odnosno ostale sudionike tržišta. Potrošači mogu slobodno birati s kojim dobavljačem će zaključiti ugovor o isporuci električne energije. Njihov cilj je kupnja energije po najpovoljnijim uvjetima. Sistemski operater prijenosne mreže (SOP) brine za upravljanje, pogon i usklađeno djelovanje slovenske mreže za prijenos sa susjednim mrežama i pružanje usluga sustava. Sistemski operater prijenosne mreže u Sloveniji organiziran je kao javna služba u okviru poduzeća ELES d.o.o.. Sistemski operater distribucijske mreže (SODO) odgovoran je za upravljanje, pogon i usklađeno djelovanje distribucijske mreže s prijenosnom mrežom. Upravljanje distribucijskim mrežama u Sloveniji organizirano je kao javna služba u okviru distribucijskih poduzeća. Nad svim sudionicima tržišta električne energije bdiye regulator. Taj zadatak u Sloveniji vrši Agencija za energiju Republike Slovenije. Zadatak tog regulatora

Electricity trade (Figure 1) is conducted via bilateral contracts or trading on the organized electricity market. The role of the organizer of the electricity market in Slovenia is performed by the public enterprise Borzen d.o.o.. The role of suppliers is to purchase electricity within the framework of the wholesale electricity market and to distribute it to a large number of users. Brokers and representatives purchase energy for consumers, i.e. for other market participants. Consumers may freely choose with which supplier they will contract the delivery of electricity. Their goal is the purchase of energy under the most favorable conditions. The system operator of the transmission network is in charge of controlling, operating and coordinating the operations of the Slovenian network for transmission with the neighboring networks and securing the system services. The system operator of the transmission network in Slovenia is organized as a public service within the framework of the enterprise ELES d.o.o.. The system operator of the distribution network is responsible for the control, operation and the coordination of the operations of the distribution network with the transmission network. The control of the distribution networks in Slovenia is organized as a public service within the framework of distribution enterprises. The regulator watches over all the participants in the

je prije svega nadzor tržišta i osiguravanje nepristranog i preglednog djelovanja tržišta u interesu svih sudionika. Vlada Republike Slovenije utječe na elektroenergetski sektor preko svoje vlasničke funkcije (većina elektroenergetskog sektora u državnom je vlasništvu). Prijedloge mjera i dokumente u vezi s energetsom politikom potvrđuje Državni zbor Republike Slovenije. Sheme ostalih europskih tržišta električne energije bitno se ne razlikuju od predočene sheme slovenskog tržišta.

3.2 Karakteristike novog liberaliziranog tržišta

Ulazak Slovenije u Europsku uniju nije posebno utjecao na poslovanje slovenskih elektroprivrednih poduzeća jer je Slovenija na području tržišta električne energije već u proteklim godinama pratila europske smjernice. Na osnovi toga može se tvrditi da slovensko tržište električne energije glede stupnja razvoja i deregulacije ne odudara od prosjeka ostalih država članica Europske unije.

Slovenija je pored Nizozemske prva članica u Europskoj uniji koja je u svoje zakonodavstvo uključila odredbe najnovije europske direktive o unutarnjem tržištu električne energije. U odnosu na direktivu o prekograničnom trgovanju Slovenija je od Europske komisije dobila pravo na primjenu vlastitih rješenja na unutarnjim granicama Europske unije za prijelazno razdoblje koje istječe 30. lipnja 2007. godine. Na osnovi tog odobrenja dio tih prekograničnih prijenosnih kapaciteta za uvoz preko slovensko-austrijske granice i za izvoz preko slovensko-talijanske granice dodjeljuje se putem natječaja sistemskog operatera ELES-a. Za preostale prekogranične prijenosne kapacitete koji su na raspolaganju glede vrijednosti prekograničnog prijenosnog kapaciteta (Net Transfer Capacity – NTC) ELES organizira aukcije za različita vremenska razdoblja.

Europska komisija u svom Izvješću iz siječnja 2005. godine relativno povoljno ocjenjuje razvoj slovenskog tržišta električne energije i stupanj konkurencije. Na temelju analiza pojedinih pokazatelja konkurentnosti slovenskog tržišta električne energije Komisija je utvrdila da konkurentnost slovenskog tržišta ne odudara od prosjeka konkurentnosti ostalih tržišta država članica. Za većinu pokazatelja vrijedi da je na slovenskom tržištu čak manje prepreka za konkurenciju nego na ostalim europskim tržištima. Komisija je utvrdila da je praktično jedini nedostatak slovenskog tržišta električne energije njegova struktura. Međutim, može se reći da ovakva struktura proizlazi iz nedovoljne veličine slovenskog tržišta i vlasničke strukture elektroenergetskog sektora. Taj strukturni ne-

electricity market of Slovenia. In Slovenia, this task is performed by the Energy Agency of the Republic of Slovenia. The task of this regulator is, first of all, to supervise the market and assure the impartial and transparent operation of the market, in the interest of all the participants. The Government of the Republic of Slovenia influences the electricity sector via its ownership functions (the majority of the electricity sector is under state ownership). The proposed measures and documents in connection with the energy policy are confirmed by the National Assembly of the Republic of Slovenia. The organizational schemes of the other European electricity markets do not differ significantly from the presented scheme of the Slovenian market.

3.2 Characteristics of the new liberalized market

The entry of Slovenia into the European Union did not have a particular impact upon the operations of the Slovenian electric power enterprises because Slovenia had already been following the European guidelines in the area of the electricity market for years. Therefore, it can be stated that the Slovenian electricity market in terms of development and deregulation does not differ from the average of the other member states of the European Union.

Slovenija and the Netherlands are the first members of the European Union to have incorporated the provisions of the most recent European directive on the internal energy market in their legislation. In reference to the directive on cross-border trading, Slovenia obtained the right to apply its own solutions at the internal borders of the European Union for the transition period, which expires on June 30, 2007, from the European Commission. On the basis of this decree, part of these cross-border transmission capacities for import via the Slovenian-Austrian border and for export via the Slovenian-Italian border are awarded through the competition conducted by the system operator of ELES. For the remaining cross-border net transfer capacity (NTC), auctions will be organized for various time periods.

In the Report of the European Commission dated January 2005, there is a relatively favorable evaluation of the development of the Slovenian electricity market and the degree of competition. Based upon analyses of the individual indices of the competitiveness of the Slovenian electricity market, the Commission determined that the competition of the Slovenian market does not differ from the average competition of the other markets of the member states. For the majority of the indices, it is assessed that there are even fewer barriers to competition on the Slovenian market than on other European markets. The Commission

dostatak, kojega se zbog ograničene veličine slovenskog tržišta ni ubuduće neće moći potpuno zaobići, na drugoj strani neutralizira iznimno dobra povezanost sa susjednim tržištima električne energije. To podiže razinu, odnosno mogućnost konkurencije na slovenskom veleprodajnom tržištu iznad razine prosječne konkurentnosti na tržištima država članica Europske unije.

Slovenija je potpisnica Kyoto protokola i kao država članica Europske unije sudjeluje i u europskoj shemi trgovanja s emisijskim dozvolama za CO₂, s velikim implikacijama za elektroenergetski sektor i cijene električne energije. Na temelju europske sheme trgovanja za razdoblje od 2005. do 2007. godine svi veći industrijski emiteri CO₂ (najveći udio imaju elektrane) besplatno su primili određeni broj emisijskih dozvola. Kod proizvodnje električne energije više od referentne, termoelektrane moraju na tržištu kupiti dozvole za povećanu emisiju CO₂. U slučaju niže proizvodnje dozvole se isto tako mogu prodavati na likvidnom tržištu CO₂ dozvola. Na taj način cijena emisijskih dozvola igra značajnu ulogu i pri odlučivanju o visini proizvodnje pojedine elektrane jer predstavlja nov utjecajni parametar pri optimizaciji proizvodnih i tržišnih aktivnosti proizvođača električne energije. Cijena emisijskih dozvola u posljednje vrijeme jako varira (7 do 30 EUR/t) i time povećava volatilnost cijene električne energije. U posljednje se vrijeme već pokreću aktivnosti za alokaciju emisijskih dozvola i za sljedeće tržišno razdoblje od 2008. do 2012. godine, kada će države potpisnice morati ispuniti dogovore iz Kyota.

3.3 Usporedba sa susjednim državama

Slovenija je u povoljnom geostrateškom položaju za opskrbu električnom energijom. U budućem desetljeću može se iskoristiti činjenica da države jugoistočne Europe nisu potpisnice Kyoto protokola. Već sada je u prekograničnom trgovanju sa zemljama jugoistočne Europe Slovenija uspostavila nešto nižu cijenu električne energije no što je u zapadnoj Europi (Njemačka, Francuska), a usto i dosta nižu nego u Italiji. Slovensko se tržište električne energije trenutačno nalazi između tri regionalna tržišta s različitim cjenovnim profilima. Za talijansko tržište karakteristične su visoke cijene, za tržište kontinentalne Europe vrlo dobra likvidnost, a za tržišta jugoistočne Europe niže cijene u razdobljima sezonskih viškova.

determined that practically the only shortcoming of the Slovenian electricity market is its structure. However, it can be said that such a structure is the result of the insufficiently large size of the Slovenian market and the ownership structure of the electricity sector. This structural shortcoming, which owing to the limited size of the Slovenian market cannot be overcome in the future, on the other hand is neutralized by the exceptionally good linkage with the neighboring electricity markets. This raises the level, i.e. the possibility, of competitiveness on the Slovenian wholesale market above the level of the average competitiveness on the markets of the other member states of the European Union.

Slovenia is a signer of the Kyoto Protocol and as a member state of the European Union also participates in the European scheme of trading emission allowances for CO₂, with great implications for the electricity sector and electricity prices. On the basis of the European trading scheme for the period from 2005 to 2007, all the larger industrial emitters of CO₂ (electric power plants have the largest share) received a certain number of emission allowances free of charge. In electricity production that exceeds the reference values, thermoelectric power plants must purchase additional allowances for increased CO₂ emissions on the market. In the event of lower production, allowances may also be sold on the CO₂ allowances market. In this manner, the price of emission allowances plays a significant role in deciding upon the level of the production of an individual power plant because it represents a new impact parameter in the optimization of the production and market activities of electricity producers. The prices of emission allowances have fluctuated greatly in recent times (7–30 EUR/t) and thereby increase the volatility of electricity prices. In recent times, activities have already been initiated for the allocation of emission allowances and for the next market period from 2008 to 2012, when the signatory states will have to fulfill the terms of the Kyoto Protocol.

3.3 Comparison with neighboring states

Slovenia is in a favorable geostrategical position for electricity supply. In the coming decade, it will be possible to take advantage of the fact that the states of South Eastern Europe are not signers of the Kyoto Protocol. Already now in cross-border trading with countries of South Eastern Europe, Slovenia has established a somewhat lower electricity price than in Western Europe (Germany, France), which is also considerably lower than in Italy. The Slovenian electricity market is currently bordered by three regional markets with different price profiles. High prices are characteristic of the Italian market, very

3.4 Ključne brojke slovenskog tržišta

Slovenija je neto uvoznik električne energije (tablica 1). Uvozna ovisnost u proteklim godinama ustrajno raste zbog rastuće potrošnje i nedovoljnih investicija u veće proizvodne jedinice. S obzirom na veličinu slovenskog tržišta električne energije iznimno dobra povezanost slovenskog elektroenergetskog sustava sa susjednim omogućava veliku razmjenu električne energije, s kojom se pokriva i slovenski manjak električne energije (slika 2).

good liquidity is characteristic of the continental European market, and lower prices during seasonal surpluses are characteristic of the South Eastern European markets.

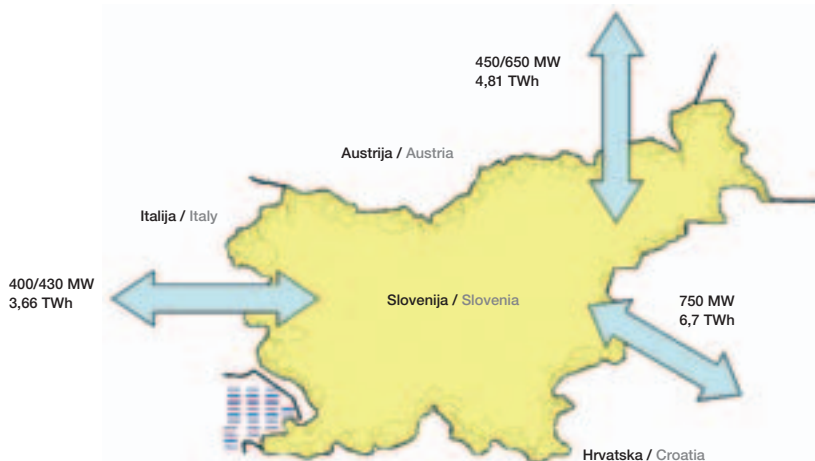
3.4 Key numbers of the Slovenian market

Slovenia is a net importer of electricity (Table 1). Import dependency has persistently increased during past years due to growing consumption and insufficient investments in large production units. Considering the size of the Slovenian electricity market, the exceptionally good linkage between the Slovenian electricity system and neighboring systems permits a large energy exchange, with which the Slovenian electricity deficit is covered (Figure 2).

Tablica 1 – Elektroenergetska bilanca Slovenije
Table 1 – Slovenian electricity balance

		1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.*
Proizvodnja / Production (TWh)	Hidroelektrane (HE) / Hydro power plants (HPP)	3,0	3,4	3,7	3,8	3,7	3,3	2,9	4,0	3,0
	Termoelektrane (TE) / Thermoelectric power plants (TPP)	4,5	4,7	4,3	4,5	4,8	4,5	5,1	5,0	4,6
	Nuklearna elektrana (NE) Krško / Krško Nuclear power plant (NPP)	4,8	4,9	4,5	4,5	5,0	5,3	3,3	2,6	2,8
	UKUPNO / TOTAL	12,3	12,9	12,5	12,8	13,6	13,7	11,3	11,7	10,4
Potrošnja / Electricity consumption (TWh)		9,9	10,2	10,4	10,7	11,1	11,8	12,5	12,7	13,0

* bez proizvodnje kvalificiranih proizvođača / not including the production of qualified producers



Slika 2

Bilanca snage i energije slovenskog tržišta električne energije s prikazanim mogućnostima uvoza i izvoza (2005. godina)

Figure 2

Capacity and energy balance of the Slovenian electricity market with the import/export opportunities (2005)

Maksimalna snaga / Peak power	2 051 MW	Potrošnja / Consumption	13 030 GWh
Instalirana snaga / Installed power	2 451 MW	Proizvodnja / Production	10 459 GWh
– HSE	1 817 MW	– HSE	6 687 GWh
– NE Krško / Krško NPP	338 MW	– NE Krško / Krško NPP	2 806 GWh
– TE Trbovlje / Trbovlje TPP	176 MW	– TE Trbovlje / Trbovlje TPP	588 GWh
– TETO Ljubljana / Ljubljana CHP	103 MW	– TETO Ljubljana / Ljubljana CHP	407 GWh

U slovenskom elektroenergetskom sustavu veliki problem predstavljaju tzv. kružni tokovi, koji predstavljaju razliku između ugovornih i fizičkih tokova električne energije na određenom mjestu u mreži. Ti su tokovi posljedica fizikalnih karakteristika povezane europske elektroenergetske mreže gdje ugovorni tokovi električne energije teku u skladu sa cjenovnim prilikama na različitim tržištima i s obzirom na ograničenja NTC vrijednosti, dok fizički tokovi teku putovima najmanjeg otpora. Kružni tokovi najviše opterećuju slovensku mrežu prijenosa prema slovensko-talijanskoj granici, što negativno utječe na raspoloživost prekograničnog prijenosnog kapaciteta i niže NTC vrijednosti. Fizički tokovi preko slovensko-talijanske granice na taj način premašuju ugovorne i za preko 1 000 MW.

In the Slovenian electricity system, a great problem is presented by the loop flows, which represent the difference between the contracted and physical energy flows on a particular place in the network. These flows are the consequence of the physical characteristics connected with European energy supply network where the contracted electricity flows are pursuant to the price conditions on various markets, taking into account the limitations on the net transfer capacity (NTC) values, while the physical flows follow the routes of least resistance. Loop flows cause the greatest burden on the Slovenian transmission network toward the Slovenian-Italian border, which has a negative impact on the availability of cross-border capacities for transmission and low NTC values. The physical flows across the Slovenian-Italian border exceed the contracted flows in this manner by over 1 000 MW.

4 DILEME I PRILIKE

4.1 Rješavanje nedostatka električne energije

Slovensko tržište je neto uvoznik električne energije. U projekcijama budućeg rasta potrošnje električne energije postavlja se pitanje mogućnosti rješavanja tog nedostatka u sljedećim godinama. HSE ima ambiciozne planove za izgradnju novih proizvodnih jedinica u Sloveniji u srednjoročnom razdoblju (tablica 2). Izvedba planiranih investicija u mnogome će ovisiti o kretanju cijena na slovenskom i europskim tržištima električne energije i dogovorima Slovenije za smanjenje emisija CO₂.

4 DILEMMAS AND OPPORTUNITIES

4.1 Solving the electricity shortage

The Slovenian market is a net importer of electricity. In the projections of the future growth of electricity consumption, the question is posed about the possible solutions to this shortage in the coming years. HSE has ambitious plans for the construction of new production units in Slovenia in the medium-term period (Table 2). The implementation of the planned investments will largely depend upon the price trends on the Slovenian and European electricity markets and the Slovenian agreements for the reduction of CO₂ emissions.

Tablica 2 – Prikaz mogućih investicija HSE u Sloveniji do 2025. godine
Table 2 – Presentation of potential HSE investment in Slovenia up to 2025

	Projekt / Project	Snaga / Capacity (MW)	Srednja godišnja proizvodnja / Average annual production (GWh)	Investicijska vrijednost**** / Investment value (10 ⁶ EUR)	Građevna dozvola / Construction permit	Početak gradnje / Beginning of construction Trajanje gradnje / Duration of construction
Prioritet I / Priority I						
1	HE Boštanj / Boštanj HPP	33,0	115,0	65,0	11/2002.	05/2006.
2	PT B5 TE Šoštanj* / Soštanj TPP, GT Block 5	42,0	300,0	23,0	04/2006.	05/2008.
3	ČHE Avče / Avče Pumped storage HPP	178,0	426,0	86,9	09/2004.	11/2008.
4	HE Blanca / Blanca HPP	42,5	160,0	85,6	11/2005.	05/2009.
5	Sanacija HE Moste ** / Repair of Moste HPP	12,5	59,6	10,1	12/2006.	09/2009.
6	HE Zlatoličje / Zlatoličje HPP	24,0	45,0	57,2	12/2005.	05/2008.
7	B6 TE Šoštanj / Šoštanj TPP, Block 6	600,0	3 234,0	598,7	06/2008.	02/2011.
8	HE Krško / Krško HPP	41,5	145,0	88,9	07/2007.	05/2012.
9	ČHE Kozjak / Kozjak Pumped storage HPP	400,0	776,0	153,3	08/2009.	07/2015.
10	HE Brežice / Brežice HPP	41,5	161,0	57,0	07/2010.	05/2015.
11	HE Mokrice / Mokrice HPP	30,5	135,0	53,7	07/2013.	05/2018.
12	Obnovljivi izvori energije*** / Renewable energy sources	15,0	35,0	20,0		2007.–2018.
13	Kogeneracija / Cogeneration	100,0	600,0	53,0		2008.–2015.
	Zajedno prioritet I. / Jointly priority I	1 560,5	6 191,6	1 352,4		
Prioritet II / Priority II						
1	KTE Brestanica / Brestanica CCGT	163,0	1 037,0	66,0		2,5 god./year
2	Doinstalacija HE Moste** / Capacity increase of Moste HPP	49,4	98,0	75,0		3 god./year
3	KTE Kidričevo / Kidričevo CCGT	360,0	2 700,0	181,0		2,5 god./year
4	HE Formin / Formin HPP	10,0	32,0	50,0		3 god./year
5	HE Učja / Učja HPP	24,0	35,0	40,0		4 god./year
6	HE na srednjoj Savi / The Mid Sava River HPP	304,0	997,0	685,0		2009.–2025.
7	HE na Muri / The Mura River HPP	131,6	667,4	331,0		2010.–2038.
8	HE na Idrijci / The Idrijca River HPP	117,0	200,0	152,0		2012.–2023.
9	HE Kobarid / Kobarid HPP, HE Kamno / Kamno HPP	81,2	268,0	96,0		2015.–2025.
	Zajedno prioritet II. / Jointly priority II	1 237,8	6 043,4	1 676,0		
	Zajedno prioritet I. i II. / Jointly priorities I & II	2 785,8	12 175,4	3 018,0		

Napomena / Notes:

* Prigradnja jedne plinske turbine / Addition of one gas turbine

** U slučaju prihvatanja odluke za doinstalaciju HE Moste, ne ide se u projekt sanacije (zato sanacija HE Moste nije uzimana u obzir u zbroju obiju prioriteta) / In the event of accepting the decision for the capacity increase of the Moste HPP, it will not be the repair project (because the repair of the Moste HPP is not in the sum of both priorities)

*** male HE, sunčeve elektrane i geotermalna energija / small HPP, solar energy plants and geothermal energy

**** Investicijska vrijednost obuhvaća samo energetske dio prema stalnim cijenama bez troškova financiranja. / The investment value covers only energy portion according to constant prices and without financial expenditures.

HSE se namjerava aktivno uključiti i u investicijski ciklus u državama jugoistočne Europe. Upravo iz proizvodnje u tim državama vjerojatno će se u sljedećim godinama dobivati većina električne energije kojom će se pokriti deficit na slovenskom tržištu, jer je slovensko tržište električne energije najbolje povezano upravo s državama jugoistočne Europe. Mogućnost uvoza električne energije još će se povećati planiranom izgradnjom dalekovodne veze između Slovenije i Mađarske i predviđenim pojačanjem austrijske prijenosne mreže.

4.2 Potpuno otvaranje tržišta

Slovensko tržište električne energije već je danas u većoj mjeri otvoreno za konkurenciju iz Slovenije i inozemstva na područjima proizvodnje, trgovanja i isporuke električne energije. Pri isporuci električne energije postoje do 30. lipnja 2007. godine ograničenja kod kućanstava koja će do tog datuma biti tarifni potrošači, a cijenu za njihovu električnu energiju potvrđuje Vlada Republike Slovenije. Također 30. lipnja 2007. godine isteći će i prijelazno razdoblje, koje je Europska komisija odobrila Sloveniji za dodjeljivanja prekograničnih prijenosnih kapaciteta. Tako će se i na preostala dva uvozno-izvozna pravca (od njih šest) prekogranični prijenosni kapaciteti dodjeljivati putem aukcija.

Na slovenskom tržištu električne energije već su danas prisutni novi sudionici, prije svega u segmentu veleprodajnog tržišta, a u posljednje vrijeme ubrzano ulaze i na maloprodajno tržište (prodaja krajnjim korisnicima). Zanimljivo je to da se među novim sudionicima na slovenskom tržištu pojavljuju i slovenska poduzeća, jednako kao i na energetske unije i jugoistočne Europe. Na osnovi navedenog može se reći da 2007. godina na slovenskom tržištu električne energije, sa stajališta mogućnosti dolaska novih konkurentnih ponuđača, neće donijeti veće promjene. Već danas može svako poduzeće sa sjedištem u Sloveniji obavljati poslove s područja trgovanja i isporuke električne energije. Uvjet za obavljanje tih aktivnosti je samo licenca dodijeljena od Agencije za energiju Republike Slovenije.

Uz rastuću potrošnju na slovenskom tržištu električne energije (kao i na susjednim tržištima) i uz uvoznu ovisnost ne nedostaje prilika za nove sudionike, posebno ako se uzme u obzir položaj slovenskog tržišta koje je umetnuto između tri cjenovne zone (tržište kontinentalne Europe, talijansko tržište i tržište jugoistočne Europe).

U pripremi su nove izmjene postojećeg Energetskog zakona koje bi trebale biti donesene

HSE intends to become actively involved in the investment cycle in the countries of South Eastern Europe. It is precisely from the production of these countries that in the coming years it will probably obtain the majority of the electricity with which it will cover the deficit on the Slovenian market, because the Slovenian electricity market is best linked with the countries of South Eastern Europe. The possibility of importing electricity will increase further with the planned construction of power lines between Slovenia and Hungary and the anticipated strengthening of the Austrian transmission network.

4.2 Complete opening of the market

Already today, the Slovenian electricity market is largely open to competition from Slovenia and foreign countries in the areas of the production, trade and delivery of electricity. Until June 30, 2007, there will be a limit on electricity delivery for households, which until that date will be tariff customers, and the price of their electricity will be confirmed by the Government of the Republic of Slovenia. Furthermore, on June 30, 2007, the period expires for which the European Commission has granted approval to Slovenia for the allocation of cross-border transmission capacities. Thus, on the remaining two import-export routes (out of six), the cross-border transmission capacities will be awarded by auction.

New participants are already present on the Slovenian electricity market, first of all in the segment of the wholesale market, and in recent times there has been accelerated entrance into the retail market (sales to the final user). It is interesting that Slovenian enterprises are also appearing among the new participants on the Slovenian market, as well as in the energetics area of the recognized enterprises of the European Union and South Eastern Europe. Therefore, it can be said that the year 2007 will not bring major changes to the Slovenian electricity market regarding the arrival of new competing bidders. It is already possible today for each enterprise with headquarters in Slovenia to conduct operations in the trading area and deliver electricity. The prerequisite for performing these activities is merely a license awarded by the Energy Agency of the Republic of Slovenia.

Together with growing consumption on the Slovenian electricity market (as on neighboring markets), and dependence upon imports, there is no shortage of opportunities for new participants, particularly if it is taken into account that the Slovenian market is situated among three price zones (the markets of continental Europe, Italy and South Eastern Europe).

već ove godine. Glavna predložena promjena sa stajališta djelovanja tržišta električne energije je da za trgovanje na slovenskom veleprodajnom tržištu više ne će biti potrebna licenca Agencije za trgovanje energijom. Time će otpasti i zahtjev za osnivanje poduzeća u Sloveniji radi dobivanja ove licence.

4.3 Privatizacija elektroprivrede

Na nove izazove elektroenergetskog sektora – prije svega potpuno otvaranje tržišta električne energije i tržišno dodjeljivanje prekograničnih prijenosnih kapaciteta nakon 1. srpnja 2007. godine Vlada će prema riječima ministra za gospodarstvo gospodina Vizjaka odgovoriti postupnom i promišljeno provedenom privatizacijom elektroenergetskog sektora. Budući da se radi o modelu privatizacije s dokapitalizacijom, društva će na taj način zajedno s izabranim suulagačima nastojati postići veću učinkovitost, prije svega proizvodnih jedinica [4]. Naime, zajednički cilj je povećanje učinkovitosti opskrbe električnom energijom uz primjenu tržišnih instrumenata. Zajednički zahtjev je da se opskrba električnom energijom mora temeljiti na otvorenoj konkurenciji dobavljača, a ova skoro isključuje državno vlasništvo u tržišnim segmentima elektroenergetike.

Temeljni ciljevi privatizacije elektroprivrede su:

- razvoj poslovnih sustava elektroenergetike u pravcu konkurentnosti na regionalnom i europskom tržištu,
- povećanje učinkovitosti poslovanja uz aktivnu ulogu privatnih vlasnika,
- povećanje aktivnosti na ulaganju u nove izvore nužne za dugoročnu pouzdanu, ekonomičnu i ekološko prihvatljivu proizvodnju električne energije s ciljem smanjivanja uvozne ovisnosti.

Postizanjem tih ciljeva poboljšat će se kvaliteta usluga, povećati globalna konkurentnost gospodarstva i pružiti potpora trajnom razvoju Slovenije. Donesene strateške smjernice predviđaju da za uspostavu konkurentnosti treba osigurati najmanje dva veća ponuđača cjelovite opskrbe električnom energijom (od proizvodnje do izravne prodaje kupcima). Time će kupci dobiti mogućnost izbora dobavljača, što će povratno utjecati na racionalnost poslovanja oba ponuđača, konkurentnost investicija i optimalnu cijenu za potrošača. Paralelno s preoblikovanjem proizvodnje, prodaje i trgovanja morat će se preoblikovati i distribucijska poduzeća s odvajanjem djelatnosti sistemskog operatera distribucijske mreže (SODO) od trgovanja i

New amendments are being prepared to the existing Energy Act, which should be adopted this year. The main proposed change, from the standpoint of the electricity market operations, is that trading on the Slovenian wholesale market would no longer require a license from the Energy Agency. Thereby, the requirement for the establishment of an enterprise in Slovenia in order to obtain this license would also be eliminated.

4.3 Privatization of the electric power industry

In response to recent challenges to the electricity sector, first of all the complete opening of the electricity market and the market allocation of cross-border transmission capacities after July 1, 2007, according to the minister of the economy, Mr. Vizjak, the Government will respond gradually with the well-considered implementation of the privatization of the electricity sector. Since this concerns a privatization model with financial restructuring, in this manner companies together with the selected co-investors will attempt to achieve greater efficiency, especially of the production units [4]. The common goal is to increase the effectiveness of the electricity supply with the application of market instruments. The common requirement is that the electricity supply must be based upon open competition among suppliers, and this will soon exclude state ownership in the market segments of the electric power supply.

The fundamental goals of the privatization of the electric power industry are as follows:

- the development of commercial systems of electric power supply in the direction of competition on the regional and European markets,
- increasing the effectiveness of operations, with private owners taking an active role,
- increasing activities in the investment in new sources necessary for long-term reliable, economical and ecologically acceptable electricity production with the goal of reducing import dependence.

By achieving these goals, the quality of services will be improved, the global competitiveness of the economy will increase and support will be provided for the long-term development of Slovenia. The adopted strategic guidelines anticipate that for the establishment of competition it is necessary to secure a minimum of two major bidders for the overall electricity supply (from production to direct sale to customers). Thereby, customers will gain the opportunity to choose their suppliers, which will have a feedback impact on the rationality of the operations of the bidders, investment competition and the optimal price for consumers. Parallel to

prodaje, te organizacijom izvođačkih poslova održavanja preko koncesijskih ugovora.

Vlada Republike Slovenije već je donijela strateška usmjerenja za privatizaciju slovenske elektroprivrede, dok će program, koji će biti rezultat stručnog i društvenog konsenzusa, izraditi posebna privatizacijska komisija. Dakle, u skladu s vladinim strateškim usmjerenjima slijedi imenovanje privatizacijske komisije. Potvrđivanjem programa u Vladi započet će prva faza privatizacije, u kojoj će se putem javnog međunarodnog natječaja ponuditi na prodaju manjinski vlasnički udio HSE. Prema ocjeni ministra do kraja 2008. godine izabrat će se investitor putem spomenutog javnog međunarodnog natječaja. Druga faza privatizacije HSE slijedi nakon uspješno izvedene prve faze, međutim, samo u slučaju pozitivnih učinaka prve faze.

Prijenosna mreža kao i poduzeće koje obavlja zadaće sistemskog operatera ostat će u državnom vlasništvu. Većina europskih država teži prema neovisnom, često državnom vlasništvu mreža [5].

Kod privatizacije elektroenergetskog sektora potrebno je krenuti od dva vrlo značajna polazišta [6]:

- prije privatizacije potrebno je do kraja reorganizirati elektroenergetski sektor u skladu s pravilima Europske unije, kojima se uvodi prije svega veća transparentnost i razdvajanje poslovnih djelatnosti elektroenergetskog sektora od javnih djelatnosti i
- uspostava veće konkurencije na tržištu električne energije.

Slovenski je elektroenergetski sektor potrebno potpuno prilagoditi direktivama i mjerama Europske unije, što je ključni uvjet za izvedbu daljnje privatizacije. Privatizacijom se žele ostvariti nove investicijske mogućnosti, prije svega u proizvodnji električne energije i povećati učinkovitost sektora. Traže se dugoročni partneri i suinvestitori za ključne razvojne projekte slovenskih elektroenergetskih poduzeća, koji će omogućavati sigurnu i pouzdanu opskrbu Slovenije električnom energijom po konkurentnim cijenama.

Privatizacijski proces elektroenergetskog sektora nikako ne smije ići i ne smije biti izveden bez sudjelovanja regulatora sustava. Ovaj mora svoj regulatorni proces prethodno doraditi do te mjere da suvereno vlada tržištem električne energije, kvalitetom usluga i infrastrukturom, odnosno ulaganjima u nju.

the transformation of production, sales and trading, it is also necessary to transform the distribution enterprises through the separation of the activities of the system operator of the distribution network (SODO) from trading and sales, and with the organization of contracted maintenance work via concession contracts.

The Government of the Republic of Slovenia has already adopted strategic guidelines for the privatization of the Slovenian electric power industry, while a program, which will be the result of the professional and public consensus, will be prepared by a special privatization commission. Thus, pursuant to the Government's strategic guidelines, the appointment of privatization commission will follow. With the confirmation of the program in the Government, the first phase of privatization will begin, whereby the part of HSE under minority ownership will be offered via public international competition. In the opinion of the minister, by the end of the year 2008 an investor will be chosen via this public international competition. The second phase of the privatization of HSE will follow after the successful completion of the first phase but only in the event of the positive effects of the first phase.

The transmission network and the enterprise that performs the task of system operator will remain under state ownership. The majority of European countries tend toward independent, frequently state-owned, networks [5].

In the privatization of the electricity sector, there are two significant starting points [6]:

- prior to privatization, it is necessary to reorganize the electricity sector completely, pursuant to the regulations of the European Union, in which greater transparency and the separation of the business operations of the electricity system from the public operations will be a priority, and
- the establishment of greater competition on the electricity market.

The Slovenian electricity sector needs to adapt to the directives and measures of the European Union, which is a key requirement for the implementation of further privatization. Through privatization, it is desired to achieve new investment opportunities, first of all in the production of electricity and in increasing the effectiveness of the sector. Long-term partners and co-investors are being sought for the key development projects of the Slovenian electricity enterprises, which will make the secure and reliable supply of electricity to Slovenia at competitive prices possible.

5 SLOVENIJA I HRVATSKA KAO PARTNERI NA PODRUČJU ELEKTROENERGETIKE: POGLED HSE

Republika Slovenija i Republika Hrvatska od uspostave diplomatskih odnosa 6. veljače 1992. godine do danas razvijaju dobre, prijateljske i svestrane odnose, iako su se raspadom nekadašnje zajedničke države i objavom samostalnosti i suverenosti 25. lipnja 1991. godine otvorila brojna složena i zahtjevna pitanja i na području energetike, a prije svega glede statusa NE Krško. Međudržavni ugovor o uređenju statusnih i ostalih pravnih pitanja, povezanih s ulaganjem u NE Krško, njezino korištenje i razgradnju potpisan je 19. prosinca 2001. godine. Stupanjem na snagu tog ugovora završena su višegodišnja nastojanja da se u novim okolnostima samostalne Republike Slovenije i Republike Hrvatske uredi način zajedničkog korištenja proizvodnih kapaciteta NE Krško, koja je u sedamdesetim godinama izgrađena kao zajednička investicija elektroprivrednih poduzeća objiju tadašnjih republika [7].

Poduzeća hrvatske i slovenske elektroprivrede danas dobro surađuju na području trgovanja i tranzita električne energije. Za slovenska poduzeća tržišta jugoistočne Europe predstavljaju glavni izvor nabave, dok tranzit te energije ide preko hrvatske mreže. Na drugoj strani slovenska mreža za Hrvatsku elektroprivredu predstavlja pristup likvidnim tržištima kontinentalne Europe.

Hrvatska i Slovenija će se u bliskoj budućnosti zbog rastuće uvozne ovisnosti objiju država suočiti sa sličnim problemima, prije svega u smislu kako osigurati cjenovno konkurentnu dodatnu proizvodnju za pokrivanje vlastitih manjkova. Kod toga elektroprivredna poduzeća objiju država mogu sudjelovati kod investicija u nove jedinice kako na teritoriju objiju država tako i u trećim državama. Time bi poboljšale svoje mogućnosti u usporedbi s velikim europskim elektroprivrednim poduzećima koja s velikim ambicijama ulaze na tržište jugoistočne Europe.

The privatization process of the electricity sector must not be permitted to be implemented without the participation of the system regulator. System regulator must refine all the regulatory processes in advance to the extent that they control the electricity market, quality of services and infrastructure, i.e. investment in it.

5 SLOVENIA AND CROATIA AS PARTNERS IN THE ELECTRICITY AREA: THE VIEW OF HSE

The Republic of Slovenia and the Republic of Croatia, since the establishment of diplomatic relations on February 6, 1992 until the present, have developed good and friendly relations, although with the disintegration of the former common country and the proclamation of independence and sovereignty on June 25, 1991, numerous complex and demanding questions were posed in the area of energy, first of all regarding the status of the Krško Nuclear Power Plant. The contract between Slovenia and Croatia on the determination of status and other legal questions in connection with investment in the Krško Nuclear Power Plant, its use and decommissioning, was signed on December 19, 2001. When this contract went into effect, attempts of many years were concluded, which under the new circumstances of the independent Republic of Slovenia and the Republic of Croatia determine the manner of the joint use of the production capacities of the Krško Nuclear Power Plant, which was built in the 1970s as a joint investment electric power supply enterprise by both former republics [7].

The enterprises of the Croatian and Slovenian electric power supply industry today co-operate well in the area of the trading and transit of electricity. For the Slovenian enterprises, the markets of South Eastern Europe represent the main source of procurement, while the transmission of this energy is via the Croatian network. On the other side, the Slovenian network represents access to the liquid markets of continental Europe for Hrvatska elektroprivreda.

In the near future due to growing dependence on imports, Croatia and Slovenia will be confronting similar problems, first of all in the sense of how to assure price competitive additional production for covering their own shortages. In this, the electric power supply enterprises of both countries could participate with investment in new units in both the territories of both countries and in third countries. This would improve their opportunities in comparison to the large European electric power enterprises which are entering the markets of South Eastern Europe with great ambitions.

6 ZAKLJUČAK

Slovenska elektroprivreda i slovensko tržište električne energije od objave samostalnosti do danas prešli su dugačak put od reguliranog sustava, koji je bio potpuno u rukama države do tržišnog uređenja u skladu s europskim smjernicama i direktivama. Elektroprivredna poduzeća danas uspješno posluju, pa od osamostaljenja Slovenija nije doživjela energetske kolapse i krize. Slovenska energetska postrojenja dobro su održavana, a većina vitalnih elemenata sustava u proteklih je deset godina zamijenjena ili će biti zamijenjena u sljedećim godinama.

Glavni je cilj liberalizacije elektroenergetskog tržišta poboljšanje ekonomske učinkovitosti proizvođača i dobavljača električne energije. Postojanje i uspješno poslovanje HSE od iznimne je važnosti za postizanje sigurne i pouzdane opskrbe Slovenije električnom energijom, jer HSE objedinjava različite proizvođače električne energije, koji mogu samo zajedno i povezano osiguravati konkurentnu električnu energiju.

Slovensko tržište električne energije danas uz veliku uveznu ovisnost, dobru povezanost sa susjednim elektroenergetskim mrežama, rastućim cijenama električne energije i otvorenošću za strana poduzeća (koja će se donošenjem izmjena Energetskog zakona još povećati) pruža čitav niz prilika za nove sudionike na tržištu – uključivo i hrvatska poduzeća. Uz to se slovenskim i hrvatskim elektroprivrednim poduzećima pružaju nove prilike na brzo rastućim tržištima jugoistočne Europe, gdje postoje mogućnosti za partnersko sudjelovanje.

6 CONCLUSION

The Slovenian electric power industry and the Slovenian electricity market from the proclamation of independence to the present have traveled a long way from the regulated system, which was completely in the hands of the state, to the market organization pursuant to the European guidelines and directives. The electric power enterprises today have been operating successfully so that since independence Slovenia has not experienced either energy collapse or crisis. The Slovenian energy plants are well maintained and most of the vital elements of the system have either been replaced during the past ten years or will be replaced in coming years.

The main goal of the liberalization of the electricity market is to improve the economic effectiveness of the producers and suppliers of electricity. The existence and successful operations of HSE are of exceptional importance in order to achieve a secure and reliable electricity supply for Slovenia, because HSE unites various electricity producers which will only be able to secure competitive electricity by working together.

The Slovenian electricity market today, with great import dependence, good connection with neighboring electricity markets, rising electricity prices, and openness to foreign enterprises (which will continue to increase with the amendments to the Energy Act), will provide a whole series of opportunities for new participants on the market, including Croatian enterprises. In addition, Slovenian and Croatian electricity enterprises are being offered new opportunities on the rapidly growing markets of South Eastern Europe, where there are opportunities for partnerships.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] STRNIŠA, J., LEŠNIK, I., RITLOP, D., 3. knjiga razvoja elektroenergetike u Sloveniji u razdoblju 1981.– 2000., radni materijal, 2006.
- [2] Pregled poslovanja EES Slovenije u razdoblju 1991.–2000. u svijetlu otvaranja tržišta, Javno poduzeće Elektroprivreda Slovenije - Razvoj i inženiring d.d., Trpin, Maribor, 2001.
- [3] BEVK, A., Domaće elektrane moraju biti spremne za inozemnu konkurenciju – intervju s mr. sc. Andrejom Vizjakom, ministrom gospodarstva, Energija – časopis grupe HSE, travanj 2005.
- [4] MARCON, P., Privatizacija energetike: prva će biti na redu proizvodnja, Finance: 6. travnja 2006.
- [5] TOMŠIČ, M., Mogući razvoj elektrogospodarstva. <http://www.energetika.net>
- [6] KOCJAN, V., Privatizacija energetike će biti usmjerena razvojno – intervju s mr. sc. Andrejom Vizjakom, Demokracija, 13. travnja 2006.
- [7] Ured vlade za informiranje, Republika Slovenija - Republika Hrvatska, Brdo, Bled, 31. svibnja – 1. lipnja 2002., <http://www.uvi.si/slovenija-summit/slo/bilateral/hrvatska>

Uredništvo primilo rukopis:
2006-09-28

Manuscript received on:
2006-09-28

Prihvaćeno:
2006-10-06

Accepted on:
2006-10-06

UDIO TROŠKOVA RAZGRADNJE U CIJENI ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ NE KRŠKO

THE SHARE OF DECOMMISSIONING COSTS IN THE PRICE OF ELECTRICITY FROM THE KRŠKO NPP

Dr. sc. Vladimir Lokner, mr. sc. Damir Subašić, APO d.o.o.,
Savska 41/IV, 10000 Zagreb, Hrvatska

Ivica Levanat, dipl.ing., mr. sc. Petronila Lokner,
Tehničko veleučilište Zagreb, Konavoska 2, 10000 Zagreb, Hrvatska

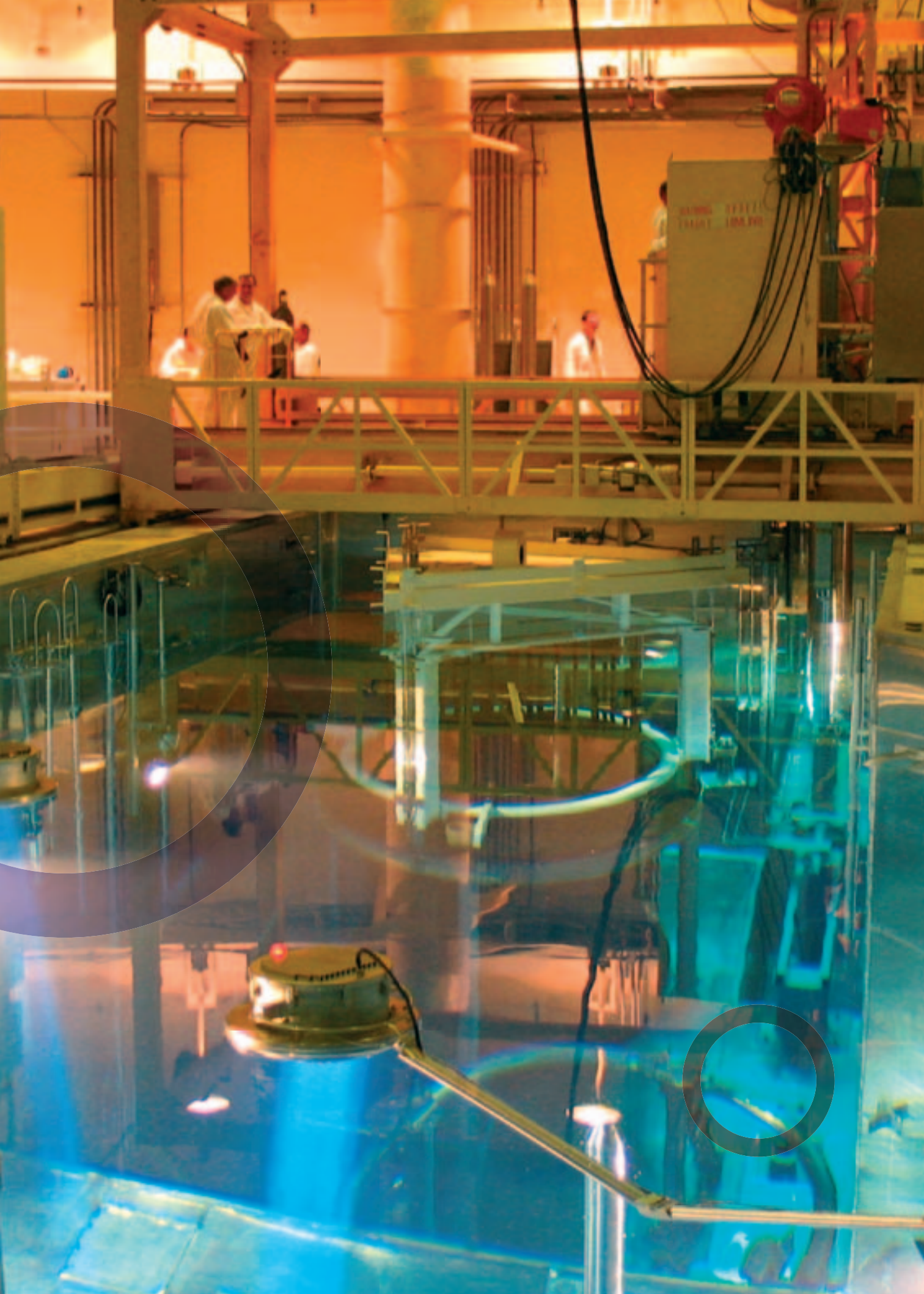
Vladimir Lokner, PhD, Damir Subašić, MSc, APO d.o.o.,
Savska 41/IV, 10000 Zagreb, Croatia

Ivica Levanat, dipl. ing., Petronila Lokner, MSc, Polytechnic of Zagreb,
Konavoska 2, 10000 Zagreb, Croatia

Polazeći od Programa razgradnje NE Krško, ovaj tekst analizira potrebna hrvatska izdvajanja za troškove razgradnje u odnosu na cijenu električne energije iz te elektrane. Raspravlja se o pouzdanosti procjena Programa, a napose pretpostavljenih financijskih parametara. Radi toga je provedeno variranje diskontne stope u uobičajenom rasponu od 1 % do 5 %, kao i modela jednakih i rastućih anuiteta. Analiziraju se i hipotetički scenariji duljeg prikupljanja sredstava, jedan sličan slovenskom slučaju (opisuje što bi bilo da smo ranije počeli), dok drugi scenarij analizira moguće produljenje radnog vijeka elektrane. Posebno je raspravljen odnos financiranja kakvo preporuča

Program i mjera koje su do sada poduzete za ostvarivanje tih preporuka u Hrvatskoj. Starting from the Decommissioning of the Krško Nuclear Power Plant Program, this text analyzes the necessary Croatian allocations for the decommissioning costs in relation to the price of electricity from this power plant. The reliability of the Program estimates is analyzed, particularly the assumed financial parameters. Therefore, a variable discount rate was implemented in the customary range of from 1 % to 5 %, as well as models of equal and escalating annuities. Hypothetical scenarios were also analyzed for the long-term collection of monetary resources, similar to the Slovenian case (a description of what would have happened if we had started earlier), while the second scenario analyzes the possibility for prolonging the working lifetime of the power plant. There is also a separate discussion of the relation between the financing recommended by the Program and the measures that have been undertaken to date in order to implement these recommendations in Croatia.

Ključne riječi: fond za razgradnju, NE Krško, troškovi razgradnje
Key words: decommissioning costs, decommissioning fund, Krško Nuclear Power Plant



1 UVOD

Nuklearna elektrana Krško (NE Krško), Westinghouseovo postrojenje s jednim lakovodnim tlačnim reaktorom električne snage od oko 700 MW_e nakon nedavnih rekonstrukcija, zajedničko je vlasništvo Slovenije i Hrvatske u jednakim dijelovima. Puštena je u pogon 1982. godine, s planiranim radnim vijekom od 40 godina. Količina istrošenog nuklearnog goriva (ING) koja bi mogla nastati u planiranom radnom vijeku procijenjena je na 1 531 gorivnih elemenata ili 620 tona metalnog urana. Do kraja radnog vijeka NE Krško predviđa se da će nastati oko 3 600 m³ tehnološkog nisko i srednje radioaktivnog otpada (NSRAO). Ako mu se pribroji i otpad koji će nastati pri razgradnji te tijekom izmjena većih komponenata, ukupna količina NSRAO koja će se nakupiti radom i razgradnjom elektrane procjenjuje se na 17 500 m³.

Temeljem Ugovora između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju nuklearne elektrane Krško (Ugovor) [1], tijekom 2003. i početkom 2004. godine izrađen je zajednički Program razgradnje nuklearne elektrane Krško i zbrinjavanja nisko i srednje radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva (Program) [2]. Glavna svrha Programa bila je da procijeni ukupne troškove svih planiranih aktivnosti i predloži način osiguranja potrebnih sredstava. Nakon što je odobren u nadležnim tijelima objiju država (u Hrvatskoj je Sabor dao suglasnost krajem 2004. godine [3]), Program je početkom 2005. godine prihvatilo i Međudržavno povjerenstvo za praćenje provedbe Ugovora.

Razgradnja nuklearne elektrane obuhvaća sve aktivnosti potrebne za rastavljanje postrojenja, uklanjanje objekata i materijala te restauriranje lokacije tako da se dalje može koristiti kao da na njoj nije bilo elektrane. Program uz to obuhvaća i zbrinjavanje radioaktivnog otpada i istrošenog goriva (osim obrade i skladištenja u krugu elektrane za vrijeme pogona), uključujući njihovo trajno odlaganje u konačna odlagališta.

U ovome se članku termin troškovi razgradnje odnosi na ukupne troškove Programa, tj. obuhvaća i troškove razgradnje i troškove zbrinjavanja otpada i istrošenog goriva. Prema Ugovoru Hrvatska i Slovenija će financirati troškove razgradnje u jednakim dijelovima, kao što koriste i električnu energiju iz elektrane. Međutim, prikupljanje sredstava za financiranje razgradnje ne teče u obje države simetrično, jer je Slovenija još prije desetak godina osnovala svoj fond za razgradnju NE Krško.

1 INTRODUCTION

The Krško Nuclear Power Plant (Krško NPP), a Westinghouse plant with a pressurized water reactor approximately 700 MW_e following recent reconstruction, is jointly owned by Slovenia and Croatia in equal shares. It was placed in operation in the year 1982, with an anticipated working lifetime of 40 years. The quantity of spent nuclear fuel (SNF) that could be produced during the planned working lifetime is estimated at 1 531 fuel elements or 620 tons of metallic uranium. By the end of the working lifetime of the Krško NPP, it is anticipated that approximately 3 600 m³ of low and intermediate level radioactive waste (LILW) will be produced. If to this is also added the waste that will be produced during decommissioning and the replacement of large components, the total quantity of LILW that will accumulate during the operation and decommissioning of the plant is estimated at 17 500 m³.

Pursuant to the Contract between the Government of the Republic of Slovenia and the Government of the Republic of Croatia on the Regulation of the Status and other Legal Issues Regarding the Investment, Exploitation and Decommissioning of the Krško Nuclear Power Plant (Contract) [1], during 2003 and in early 2004 a joint Decommissioning Program for the Krško Nuclear Power Plant and the Management of Low and Intermediate Level Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel (Program) was developed [2]. The main purpose of the Program was to estimate the total costs of all the planned activities and propose a manner for securing the necessary monetary resources. After the Program was approved by the authorized bodies of both countries (the Parliament in Croatia approved it in late 2004 [3]), in early 2005 it was also accepted by the Joint Commission on the Monitoring of the Implementation of the Contract.

The decommissioning of a nuclear power plant encompasses all the activities necessary for the dismantling of the plant, removing the objects and materials, and restoring the site so that it can continue to be used as if a power plant had never been located there. In addition, the Program also includes the management of radioactive waste and spent fuel (except processing and storage within the premises of the plant during its lifetime), including eventual disposal in a final repository.

In this article, the expression decommissioning costs refers to the total costs of the Program, i.e. it also includes the costs of dismantling and the costs of managing waste and spent fuel. According to the Contract, Croatia and Slovenia will be required to finance the costs of the decommissioning in equal shares, as they use the electricity from the plant. However, the monetary resources collected for financing decommissioning are not flowing symmetrically in both countries, because Slovenia already established its fund for the decommissioning of the Krško NPP ten years ago.

Sredstva za troškove razgradnje nuklearne elektrane u pravilu se osiguravaju iz cijene njezine električne energije. Što ranije tijekom radnog vijeka elektrane započne prikupljanje sredstava za razgradnju, ona će manje opteretiti tekuću cijenu električne energije. Za razgradnju NE Krško slovenska će strana do kraja predviđenog radnog vijeka prikupljati sredstva u razdoblju od 30-tak godina, dok hrvatskoj strani ostaje manje od 20 godina da prikupi jednaki iznos. Polazeći od preporuka Programa, u ovome se članku analizira udio koji će troškovi razgradnje imati u cijeni električne energije iz NE Krško u Hrvatskoj. Raspravlja se pouzdanost procjena Programa, napose pretpostavljenih financijskih parametara, a za usporedbu se analiziraju i hipotetički scenariji duljeg prikupljanja sredstava. Jedan je od njih sličan slovenskom slučaju (opisuje što bi bilo da smo ranije počeli), a drugi scenarij analizira hipotetičko produljenje radnog vijeka elektrane.

2 TROŠKOVI PREMA USVOJENOM PROGRAMU RAZGRADNJE NE KRŠKO

Program, dovršen 2004. godine završava preporukom da osnova za prikupljanje sredstava u fondove razgradnje (do iduće procjene troškova u sljedećoj reviziji Programa) bude procijenjeni ukupni trošak Programa diskontiran na 2002. godinu u zaokruženom iznosu od 350 milijuna eura, te da se sredstva koja odgovaraju tome iznosu mogu prikupiti pomoću 19 jednakih anuiteta od 28,5 milijuna eura uplaćenih od 2004. do 2022. godine u jedan hipotetički fond koji bi bio ustanovljen potkraj 2004. godine. Iz Ugovora je jasno da svaka država treba prikupiti polovicu planiranih sredstava, a formulacija o jednom hipotetičkom fondu odabrana je zato da se ne bi morala razmatrati asimetrična situacija u pogledu nacionalnih fondova za razgradnju u vrijeme izrade Programa, već je svakoj državi prepušteno da poslovanje svoga fonda prilagodi potrebnom ciljnom iznosu.

Za Hrvatsku je bila najjednostavnija opcija, sukladna preporukama Programa, da osnuje fond u koji će uplaćivati godišnje rate jednake polovici preporučenog anuiteta, tj. po 14,25 milijuna eura, počinjući od 2004. godine. U slovenskom su fondu u vrijeme izrade Programa već bila akumulirana značajna sredstva (preko 80 milijuna eura krajem 2003. godine), pa su se mogle planirati znatno manje daljnje uplate, tim više što je fond poslovao s godišnjom zaradom koja je bila daleko veća od kamate pretpostavljene u Programu.

The monetary resources to cover the costs of the decommissioning of a nuclear power plant are as a rule provided from the price of its electricity. The earlier that the collection of monetary resources begins during the working lifetime of a power plant, the less that the decommissioning costs will encumber the current price of electricity. For the decommissioning of the Krško NPP, by the end of its anticipated working lifetime the Slovenian side will have been collecting monetary resources for a period of approximately 30 years, while the Croatian side has less than 20 years remaining to collect the same amount. Starting from the Program recommendations, in this article there is an analysis of the share that the decommissioning costs will have in the price of electricity from the Krško NPP in Croatia. The reliability of the Program estimate is analyzed, particularly the assumed financial parameters, and hypothetical scenarios of longer collection of monetary funds are analyzed for purposes of comparison. One of these is similar to the Slovenian case (describing what would have happened if we had begun earlier), and another scenario analyzes the hypothetical prolongation of the working lifetime of the power plant.

2 COSTS ACCORDING TO THE PROGRAM ADOPTED FOR THE DECOMMISSIONING OF THE KRŠKO NPP

The Program, completed in the year 2004, concludes with the recommendation that the basis for the collection of monetary resources for the decommissioning fund (until the next cost estimate in the next audit of the Program) should be the estimated total cost of the Program discounted as of the year 2002 in the rounded amount of 350 million euros, and that the monetary resources corresponding to this amount can be collected through 19 equal annuities of 28,5 million euros each, to be paid from 2004 to 2022 into a hypothetical fund that would be established at the end of the year 2004. From the Contract, it is clear that each country is supposed to collect one half of the planned monetary resources, and the formulation of one hypothetical fund was chosen in order to avoid having to consider the asymmetrical situation regarding the national funds for decommissioning at the time that the Program was developed, but each country would be allowed to adjust the operations of its fund according to the target amount.

For Croatia, the simplest option, pursuant to the recommendations of the Program, was to establish a fund into which it would pay annual installments equal to one half of the recommended annuity, i.e. 14,25 million euros, starting from the year 2004.

Hrvatska, međutim, nije odmah nakon usvajanja Programa osnovala svoj fond za razgradnju NE Krško. Umjesto toga, Vlada je tek Uredbom od 28. travnja 2006. godine odredila da će Hrvatska elektroprivreda (HEP) uplaćivati godišnje iznose predviđene Programom na račun državnog proračuna, a sredstvima će upravljati Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva. Uredba uz to predviđa i osnivanje hrvatskog fonda za razgradnju NE Krško nakon donošenja zakona o fondu i prenošenju sredstava na račun fonda.

Uredbom se precizira da će anuiteti u protuvrijednosti od 14,25 milijuna eura za 2006. godinu i nadalje biti uplaćivani u jednakim kvartalnim ratama (prve dvije rate za 2006. godinu do kraja lipnja). Zaostatak za 2004. i 2005. godinu namirit će se kroz sljedećih 5 godina (računajući od kraja lipnja 2006. godine), također u jednakim kvartalnim ratama iako je Hrvatska elektroprivreda po godišnjem obračunu već rezervirala ukupni iznos zaostatka [4].

To što se sredstva do sada nisu oplodivala u fondu, prema dinamici pretpostavljenoj u Programu, podrazumijeva izvjesno povećanje kasnijih uplata, ali ono ne mora biti značajno u odnosu na korekcije koje se ionako planiraju kod sljedeće revizije Programa (a dijelom će biti i kompenzirano kvartalnim uplatama, budući da model iz Programa predviđa uplate krajem godine). No, daleko bi veći problem nastao ako se sredstva i dalje ne bi oplodivala, nego samo knjigovodstveno evidentirala u državnom proračunu. Budući da je dosta očigledno kako bi u takvom slučaju anuitete trebalo čak nekoliko puta povećati, razumno je očekivati da će hrvatski fond biti osnovan uskoro ili da će se ustanoviti ekvivalentni mehanizam oplodivanja uplaćenih sredstava. Uz tu pretpostavku, ovdje se u daljnjem razmatranju zanemaruju posljedice kašnjenja prvih uplata.

U preporukama Programa naglašava se da se predloženi iznosi izdvajanja za troškove razgradnje odnose samo na razdoblje do izrade sljedeće revizije Programa koja, prema Ugovoru, treba biti dovršena najkasnije pet godina nakon prethodne verzije Programa. Od iduće se revizije očekuje da će znatno detaljnije analizirati pojedine komponente Programa, što će rezultirati i pouzdanijom procjenom troškova. No, ne očekuje se da će se to značajnije odraziti na veličinu nominalnih troškova, ali bi promjene financijskih parametara u periodu između dviju revizija (inflacije i kamata) mogle imati znatno veći utjecaj na visinu budućih izdvajanja u fondove. Tako bi, na primjer, porast inflacije posljednjih godina mogao zahtijevati ozbiljno povećanje anuiteta, ali to ne mora značiti

In Slovenia, at the time the Program was developed, significant monetary resources had already been accumulated in the fund (over 80 million euros by the end of the year 2003), so they could plan significantly lower subsequent installments, especially because the fund was operating with an annual income that was far greater than the interest rate assumed in the Program.

Croatia, however, did not establish its fund for the decommissioning of the Krško NPP immediately after the adoption of the Program. It was not until the enactment of April 28, 2006 that the Government ordered Hrvatska elektroprivreda (HEP) to pay the annual amounts stipulated by the Program to the account of the state budget, and the monetary resources will be managed by the Ministry of the Economy, Labor and Entrepreneurship. In addition, the enactment also provides for the establishment of the Croatian fund for the decommissioning of the Krško NPP after the adoption of the Fund Act and the transfer of monetary assets to the fund account.

According to the enactment, the annuity has also been precisely specified as the kuna equivalent of 14,25 million euros for the year 2006 and will continue to be payable in equal quarterly installments (the first two installments for the year 2006 are payable by the end of June). The outstanding debt for the years 2004 and 2005 is to be settled during the next five years (calculated from the end of June 2006), also in equal quarterly installments although Hrvatska Elektroprivreda has already reserved the total amount of the outstanding debt according to its annual account [4].

Until now, these monetary resources have not accrued capital in the fund, according to the dynamics assumed in the Program, which implies a certain increase in subsequent payments, but this does not necessarily have to be significant in relation to the correction which is in any case planned during the next auditing of the Program (and will be partially compensated for by quarterly payments, since the model from the Program anticipates payment at the end of the year). However, a far greater problem would occur if the monetary funds were to continue to fail to accrue capital, not only that recorded by bookkeeping in the state budget. Since it is fairly obvious that in such a case the amount of the annuity would have to be increased several times, it is reasonable to anticipate that the Croatian fund will be established soon or an equivalent mechanism for the accrual of capital from the monetary resources paid into it. Under this assumption, in this article there will be no further consideration of the consequences of the postponement of the first payments.

i povećanje njihove relativne vrijednosti u odnosu na tržišnu cijenu električne energije.

Preporučeni anuitet za Hrvatsku prema sadašnjoj verziji Programa od 14,25 milijuna eura opterećuje cijenu električne energije iz NE Krško sa oko 0,5 EURc/kWh. Preciznije, ako se za izračun odabere proizvodnja električne energije u elektrani u protekle dvije godine, preporučeni anuiteti za hrvatski fond razgradnje mogli su se prikupiti povećanjem cijene hrvatske polovice električne energije za 0,55 EURc/kWh u 2004. godini, odnosno za 0,51 EURc/kWh u 2005. godini (tablica 1), prema podacima o proizvodnji i troškovima proizvodnje preuzetim iz godišnjih izvješća NE Krško [5].

In the Program recommendations, it is emphasized that the proposed amounts to be set aside for the decommissioning costs refer only to the period up to the preparation of the next audit of the Program, which according to the Contract is supposed to be completed no later than five years after the previous version of the Program. From the next audit, it is anticipated that there will be a significantly more detailed analysis of the individual components of the Program, which will result in a more reliable estimate of the costs. However, it is not anticipated that this will be more significantly reflected in the amount of the nominal expenditures but changes in the financial parameters in the period between the two audits (inflation and interest) could have a significantly greater impact upon the amount of the future monetary resources allocated to the funds. Thus, for example, the rise in inflation during the past years could require a serious increase in the amount of the annuities but this does not necessarily mean an increase in their relative value in relation to the market price of electricity.

The recommended annuity for Croatia according to the current version of the Program of 14,25 million euros adds approximately 0,5 EURc/kWh to the cost of electricity from the Krško NPP. More precisely, if the production of electricity in the power plant during the past two years is taken for purposes of calculation, the recommended annuity for the Croatian decommissioning fund could be collected by increasing the price of the Croatian half of the electricity by a surcharge of 0,55 EURc/kWh in the year 2004 and by 0,51 EURc/kWh in the year 2005 (Table 1), according to data on the production and production costs taken from the annual reports of the Krško NPP [5].

Tablica 1 - Proizvodna cijena električne energije iz NE Krško i dodani trošak za hrvatski fond razgradnje
Table 1 - Production costs of electricity from the Krško NPP and additional costs for the Croatian decommissioning fund

Godina / Year	Proizvodnja / Production (GWh)	Troškovi / Expenditures (10 ⁶ EUR)	Proizvodna cijena / Production cost (EURc/kWh)	Cijena razgradnje / Decommission cost (EURc/kWh)	Udio u cijeni / Percentage of price (%)
2004.	5 212	110,25	2,12	0,55	21
2005.	5 613	113,37	2,02	0,51	20

Koliki je udio, odnosno relativni značaj toga opterećenja od 0,5 EURc/kWh u cijeni električne energije? Ako se za taj iznos uveća proizvodna cijena električne energije iz NE Krško (koja je iznosila tek malo više od 2 EURc/kWh (tablica 1), vidi se da u tako dobivenoj ukupnoj cijeni (oko 2,5 EURc/kWh) troškovi razgradnje iznose oko 20 %.

How great is the share, i.e. the relative significance of this surcharge of 0,5 EURc/kWh on the price of electricity? If this amount increases the production cost of electricity from the Krško NPP (which only amounts to somewhat more than 2 EURc/kWh, (Table 1), it is evident that the decommissioning costs amount to approximately 20 % of the total price thus obtained (approximately 2,5 EURc/kWh).

Tako visoki udio, međutim, posljedica je niske proizvodne cijene električne energije iz nuklearne elektrane koja, i nakon uvećanja za troškove razgradnje, ostaje značajno niža od prosječne proizvodne cijene električne energije u HEP-u, a napose od HEP-ovih termoelektrana. Mada sustavni eksplicitni podaci o tim cijenama nisu objavljeni, iz godišnjeg se izvješća [4] može procijeniti (oko 2,5 milijarde kuna proizvodnih troškova na 11 milijardi kWh) da je HEP-ova prosječna proizvodna cijena za 2004. godinu bila oko 3 EURc/kWh, i to pri udjelu hidroelektrana od 63 %, što znači da je proizvodna cijena termoelektrana bila barem dvostruko veća. Konkurentnost nuklearnih elektrana danas se temelji upravo na niskoj ukupnoj cijeni energije i nakon uračunatog financiranja razgradnje, odnosno potpunog uklanjanja svih korištenih objekata i materijala te otpada.

Stoga nema smisla u daljnjoj analizi promatrati izdvajanja za troškove razgradnje NE Krško kao postotak u cijeni njezine jeftine energije. Iz sličnih razloga nije osobito relevantna ni usporedba troškova s tržišnim cijenama električne energije (prema podacima European Energy Exchange [6]), u proteklih se godinu dana cijena kod kontinuiranih isporuka kretala od 2,5 do 15 EURc/kWh, s prosjekom blizu 8 EURc/kWh). Ako bi se umjesto proizvodne cijene NE Krško koristila prosječna tržišna cijena, očigledno je da bi izdvajanja za razgradnju predstavljala svega nekoliko postotaka. No, ni iz takvog podatka ne može se procjenjivati je li to malo ili mnogo, jer jedini pravi kriterij predstavlja odnos ukupne cijene električne energije nuklearne elektrane prema cijeni električne energije iz drugih baznih elektrana.

Zato će se u daljnjoj analizi troškova razgradnje promatrati samo njihov apsolutni udio u cijeni električne energije koju Hrvatska dobiva iz NE Krško, tj. koliko bi EURc/kWh isporučene energije trebalo izdvojiti za financiranje anuiteta. Treba, međutim, spomenuti da HEP izdvajanja za razgradnju ne veže formalno na cijenu električne energije iz NE Krško, nego na ukupno poslovanje. Uz to, troškovi razgradnje formalno se ne uključuju u cijenu električne energije iz NE Krško ni prema Ugovoru.

Such a high percentage, however, is a consequence of the low production cost of electricity from the nuclear power plant which, even after it is increased by the decommissioning cost, remains significantly lower than the average production cost of electricity in HEP, particularly from HEP's thermoelectric power plants. Although systematically explicit information on these prices has not been published, from the annual report [4] it is possible to make an estimate (approximately 2,5 billion kunas of production costs per 11 billion kWh) so that HEP's average production costs for the year 2004 were approximately 3 EURc/kWh, of which 63 % were for hydroelectric power plants, meaning that the production costs of the thermoelectric power plants were approximately twice as high. The competitiveness of nuclear power plants today is actually based upon the low total energy cost, even after the calculated financing of the decommissioning or the total removal of all the objects and materials used, as well as the waste.

Therefore, there is no point in the further analysis of the monetary resources set aside for the costs of decommissioning the Krško NPP as a percentage of the price of its cheap energy. For similar reasons, it is not particularly relevant to compare the costs with the market costs of electricity (according to the data of the European Energy Exchange [6], which ranged in price from 2,5 do 15 EURc/kWh during the past year for continuous delivery, with an average of approximately 8 EURc/kWh). If the average market cost is used instead of the production costs of the Krško NPP, it is obvious that the monetary resources set aside for decommissioning represent only a few percentage points. However, from such data it is not possible to assess whether this is a little or a lot, because the sole genuine criterion is the relation of the total cost of electricity from nuclear power plant to the cost of electricity from other basic power generating plants.

Therefore, henceforth the decommissioning costs will be only considered as their absolute participation in the price of electricity that Croatia obtains from the Krško NPP, i.e. how many EURc/kWh of the delivered energy must be set aside in order to finance the annuities. It is necessary, meanwhile, to mention that the monetary resources that HEP is setting aside for decommissioning are not formally connected with the price of electricity from the Krško NPP, but rather with overall operations. Furthermore, the decommissioning costs are also not formally included in the price of electricity from the Krško NPP, pursuant to the Contract.

3 FAKTORI NEPOUZDANOSTI SADAŠNJE PROCJENE

Preporučeni anuiteti iz Programa temelje se na prvoj cjelovitoj procjeni troškova međusobno integriranih projekata razgradnje i zbrinjavanja otpada. Integriranje tih projekata provedeno je u nekoliko različitih scenarija koji su izloženi u završnim poglavljima Programa (gdje je proveden i obrazložen konačni izbor scenarija), a bili su i analizirani na međunarodnim radionicama i stručnim skupovima [7]. No, unatoč raznim provjerama i bez obzira na iscrpnost analiza i obrazloženja, svaka procjena, a osobito procjena troškova dugoročnih projekata, ima ograničenu točnost.

Odlučujući faktori nepouzdanosti u procjeni troškova i načina prikupljanja sredstava za ovakve programe mogu se svrstati u tri skupine:

- nepouzdanost tehničkih rješenja i njihove nominalne cijene,
- nepouzdanost modela financiranja te
- nepouzdanost u procjeni budućih društvenih i političkih okolnosti.

U ovakvim je projektima najmanja nepouzdanost tehničkih rješenja, zato što se ta rješenja temelje na tehnologijama koje su već primjenjivane ili barem dobro istražene. Nominalna cijena pojedinih radova, opreme, materijala itd. određuje se kao iznos koji bi za njih trebalo platiti u nekoj odabranoj godini kao da se tada obavljaju ili kupuju (u Programu odabrana je 2002. godina). U cijene se ugrađuju prikladni iznosi nepredvidljivih troškova, ovisno o stupnju razrađenosti projekta i poznavanja tehnologija. Tako se dobiva konzervativna procjena nominalnih cijena za koje se s razumnom sigurnošću može očekivati da obuhvaćaju sve troškove Programa.

U dugoročnim projektima daleko je veća nepouzdanost modela financiranja i njemu pridruženih parametra, zbog promjene vrijednosti novca u vremenu, koju nije moguće pouzdano predvidjeti. Opasnost od te vrste nepouzdanosti može se umanjiti konzervativnim izborom parametara, a napose redovitim revizijama programa razgradnje u kojima se parametri revidiraju prema financijskim trendovima, odnosno izračunavaju revidirani iznosi anuiteta.

Osobito je značajna nepouzdanost povezana s razvojem budućih društvenih i političkih okolnosti, zbog njihova potencijalnog utjecaja na provedbu i troškove ovakvog projekta (npr. zbog političkih usuglašavanja ili budućih raspoloženja šire javnosti svaki program razgradnje može doživjeti

3 FACTORS OF UNRELIABILITY OF THE CURRENT ASSESSMENT

The recommended annuities from the Program are based upon the first all-inclusive cost estimate of the mutually integrated projects of decommissioning and waste management. The integration of these projects has been performed in several different scenarios, which are presented in the final chapters of the Program (where the final choice of the scenario was made and explained), and they were also analyzed at international workshops and professional meetings [7]. Nonetheless, despite various types of verification and regardless of the exhaustiveness of the analysis and explanations, every estimate, particularly the estimate of the costs of long-term projects, has limited accuracy.

The deciding factors of unreliability in the estimate of costs and the manner of collecting monetary resources for such programs can be classified into the following three groups:

- the unreliability of the technical solutions and their nominal costs,
- the unreliability of the financing model, and
- the unreliability of the assessment of future social and political circumstances.

In such projects, the least unreliability is in the technical solutions, because such solutions are based upon technologies that have already been applied or are at least well researched. The nominal prices of individual tasks, equipment, materials etc. are determined as the amount that they would cost in a given year as if they were being performed or purchased then (the year 2002 was selected in the Program). The price includes suitable amounts for unforeseen expenditures, depending on the degree of the elaboration of the project and the familiarity with the technology. Thus, conservative estimates of the nominal costs are obtained, which can be expected to cover all the Program costs with reasonable certainty.

In long-term projects, there is much greater unreliability of the financing models and associated parameters due to changes in the value of money over time, which cannot be forecast reliably. The danger of such types of unreliability can be reduced by the conservative selection of parameters and especially by the regular auditing of the Program in which the parameters are audited according to the financial trends, or the revised amount of the annuity is calculated.

radikalne izmjene). Zbog nedostatka verificiranih metoda, tu vrstu nepouzdanosti nemoguće je izravno procjenjivati modeliranjem i projekcijama očekivanog razvoja. No, može se pretpostaviti da su najvjerojatnije opcije lokalnog razvoja događaja (barem u pogledu utjecaja na troškove razgradnje) uglavnom obuhvaćene rasponom relevantnih društvenih i političkih okolnosti u zemljama koje upravo provode ili su nedavno dovršile slične projekte razgradnje. Stoga nominalne cijene pojedinih komponenata programa razgradnje treba usporediti s troškovima u drugim državama. Takve usporedbe ne treba shvaćati kao provjeru pouzdanosti tehničkih rješenja (iako ponekad tako izgledaju), jer se tehnička rješenja znatno bolje mogu provjeriti analizom projekata. Razlike u nominalnim cijenama sličnih zahvata u drugim programima razgradnje prvenstveno odražavaju različite društvene, političke i gospodarske okolnosti zbog kojih su mogla ili morala biti odabrana specifična tehnička rješenja i troškovi.

3.1 Pouzdanost procjene troškova s tehnološkog stajališta

Procjena ukupnih nominalnih troškova Programa (u eurima iz 2002. godine) provedena je na temelju triju nezavisnih studija. Ovisno o detaljima poznavanja projekta, u konačni iznos uključeni su različiti iznosi nepredvidljivih troškova. Rezultati su rezimirani u tablici 2.

The unreliability in connection with the development of future social and political circumstances is of particular significance, due to the potential impact upon the implementation and costs of this project (e.g., due to political agreements or the future moods of the general public, each decommissioning program can potentially undergo radical changes). Due to the lack of verification methods, this type of unreliability is not possible to estimate directly by modeling and projections of anticipated development. However, it may be assumed that the most likely options for the local development of events (at least regarding the impact on the decommissioning costs) are generally included within the range of relevant social and political circumstances in the countries that are currently implementing or have recently completed similar decommissioning projects. Therefore, the nominal costs of the individual decommissioning program components should be compared with the costs in other countries. Such comparisons do not need to be considered as verification of the reliability of technical solutions (although they sometimes look that way), because technical solutions can be significantly better verified through project analyses. The differences in the nominal prices of similar undertakings in other decommissioning programs primarily reflect the various social, political and economic circumstances, due to which specific technical solutions and costs may have been or had to have been selected.

3.1 Reliability of cost estimates from the technological standpoint

An estimate of the total nominal costs of the Program (in euros from the year 2002) was performed, based upon three independent studies. Depending upon the detail of familiarity with the project, various amounts of unforeseeable costs are included in the final amount. The results are summarized in Table 2.

Tablica 2 – Procjena nominalnih troškova Programa razgradnje NE Krško
Table 2 – Estimate of the nominal costs of the decommissioning of the Krško NPP Program

	Odlaganje NSRAO / Disposal of LILW	Odlaganje ING / Disposal of SNF	Skladište ING / Warehousing oh SNF	Razgradnja NE Krško / Decommissioning the Krško NPP	Ukupno / Total
Procjena / Estimate (10 ⁶ EUR)	186	568	189	206	1 149
Nepredvidljivi trošak / Unforeseeable cost (%)	10	30	10-15		21

Procjena troškova odlaganja NSRAO izvršena je na temelju detaljnog projekta pripovršinskog odlagališta tunelskog tipa, koje je konzervativno odabrano umjesto jeftinijeg površinskog tipa, pa su u konačni iznos uračunati nepredvidljivi troškovi od samo 10 %.

Za odlaganje ING, u Programu je izrađen samo idejni koncept prema švedskoj tehnologiji. U izradi koncepta i procjeni troškova sudjelovali su švedski stručnjaci i eksperti IAEA. Budući da projekt tek treba detaljnije razraditi u idućim iteracijama Programa, u troškove odlaganja ING uračunati su nepredvidljivi troškovi od 30 %.

Troškovi razgradnje postrojenja elektrane, te suhog skladištenja ING prije odlaganja, izračunati su na temelju analize i prilagodbe ranije studije koju je izradila njemačka tvrtka NIS Ingenieurgesellschaft GmbH [8]. Cijene iz njemačke studije (USD iz 1995. godine) preračunate su u eure iz 2002. godine, uz obračun inflacije prema rastu cijena industrijskih proizvoda u Njemačkoj, a potom su izvršene korekcije koje su uključivale i nepredvidljive troškove. Najprije su udvostručeni troškovi radne snage (blizu 60 % ukupnog troška), koji su u studiji NIS bili ozbiljno podcijenjeni jer su odražavali tadašnje zaostajanje lokalnih nadnica za europskim. Zatim su svi ostali iznosi uvećani za nepredvidljive troškove od 50 %, osim cijena spremnika za ING kod kojih je kao primjereniji odabran nepredvidljivi trošak od 20%. Zbog nepotpunog razdvajanja nekih aktivnosti razgradnje i suhog skladištenja ING (osobito pripremnih), u razgraničenju troškova ima manjih nepreciznosti, a udio nepredvidljivih troškova u ukupnim iznosima je između 10 i 15 %. Za iduću iteraciju Programa predložena je *ab ovo* izrada razgraničenih studija razgradnje postrojenja i skladištenja ING.

U ukupnim nominalnim troškovima Programa ukupni nepredvidljivi iznosi čine malo više od 20 %. To je i vjerojatna gornja granica iznosa za koji bi nominalni troškovi mogli biti precijenjeni. Ne može se, dakako, isključiti ni mogućnost da će nepredvidljivi troškovi biti doista utrošeni, kao niti da su podcijenjeni. Nije, međutim, nimalo vjerojatno da bi procjena nepredvidljivih troškova mogla biti višestruko manja od stvarno potrebnih; u najgorem slučaju, stvarno potrebni izdaci možda bi se mogli, zbog nepreciznosti projekata i nepotpunog uvida u moguće troškove tehnološke realizacije, približiti dvostrukom iznosu procjene nepredvidljivih troškova u Programu. Stoga se može s velikom sigurnošću tvrditi da je, s tehnološkog stajališta, pouzdanost procjene ukupnih troškova unutar granica od 20 %. U prilog ovakvoj ocjeni idu i činjenice da je u analizi

The estimate of the costs for the disposal of LILW was performed based upon a detailed project for a tunnel-type near-surface repository, which was conservatively selected instead of a less expensive surface type, so that only 10 % of the unforeseen costs are calculated in the final amount.

For the disposal of SNF, only the basic concept has been prepared according to Swedish technology in the Program. Swedish professionals and experts from the International Atomic Energy Agency (IAEA) participated in the preparation of the concept and cost estimate. Since the project requires more detailed work in the future iterations of the Program, the costs of SNF disposal include unforeseen expenditures of 30 %.

The costs of the decommissioning of the existing nuclear power plant and the dry warehousing of SNF prior to disposal are calculated on the basis of the analysis and adaptation of earlier study that was prepared by the German firm of NIS Ingenieurgesellschaft GmbH [8]. The costs from the German study (1995 USD) were converted into 2002 euros, with inflation calculated according to the increases in the cost of industrial products in Germany, after which corrections were performed that also included unforeseen expenditures. First of all, the costs for labor were doubled (nearly 60 % of the total cost), which in the NIS study were seriously underestimated because they reflected the local wages at the time, which lagged behind European wages. All the other amounts were then increased by unforeseen costs of 50 %, except the price of containers for the SNF, which were increased by 20 % for unforeseen expenditures. Due to the incomplete separation of some of the decommissioning activities and dry warehousing of the SNF (especially preparatory), in the determination of the expenditures there is minor imprecision, and the share of unforeseen expenditures in the total amounts is between 10 % and 15 %. For the next iteration of the Program, the *ab ovo* preparation of separate studies for the decommissioning of the plant and the warehousing of the SNF is proposed.

In the total nominal costs of the Program, the total unforeseen amounts comprise slightly over 20 %. This is most probably the upper limit of the amounts by which the nominal costs could be overestimated. The possibilities certainly should not be excluded that unforeseen expenditures will actually be incurred or that they are underestimated. It is not, however, even slightly probable that the estimate of the unforeseen costs could be several times lower than actually required. In the worst case, the actually necessary expenditures could perhaps, due to the lack of precision of the project and incomplete insight into the potential costs of

projekata i procjeni troškova Programa sudjelovalo nekoliko ekspertnih misija IAEA, te da je Program dobio pozitivnu ocjenu neovisnog recenzenta, tvrtke EDF (Electricite de France).

Usporedba s troškovima sličnih projekata u drugim zemljama nije u ovoj reviziji Programa provedena na tako sustavan način da bi se mogla uporabiti za raspravu o nepouzdanosti procjene koja bi proizlazila iz raspona mogućih društvenih, političkih i gospodarskih okolnosti. Stoga bi bilo potrebno pažljivo odabrati usporedive elemente troškova, kompenzirati razlike u načinima obračuna i valutama, te analizirati uzroke zbog kojih se tako revidirani iznosi razlikuju. Umjesto toga, u završnom poglavlju Programa samo su prikazani rasponi troškova iz dostupnih kompilacija, što se ovdje ukratko rekapitulira (uz zanemarivanje male razlike između eura i dolara 2001. godine).

Raspon cijena izgradnje odlagališta NSRAO (preračunat na jediničnu količinu odloženog otpada) prikazan je prema poznatoj studiji Agencije za nuklearnu energiju NEA [9]. On varira, otprilike, od 150 USD/m³ do preko 7 000 USD/ m³. U cijenu na jedinicu odloženog otpada nisu uračunati troškovi izbora lokacije te troškovi godišnjeg pogona. U slučaju tunelskog odlagališta NSRAO iz Programa, ta cijena bi iznosila oko 3 800 EUR/m³, tj. bila bi bliže gornjoj granici navedenog raspona.

Procjena troškova razgradnje postrojenja NE Krško uspoređena je s podacima iz studije OECD/NEA [10] za 11 PWR elektrana. Srednja vrijednost troškova razgradnje tih elektrana iznosi 350 EUR/kW_e uz standardnu devijaciju od 185 EUR/kW_e. Troškovi scenarija za NE Krško koji je usvojen u Programu iznose oko 250 EUR/kW_e, što znači da su ispod srednje cijene, ali unutar raspona vrijednosti izvedenih za slične elektrane.

Troškovi za suho skladištenje ING načelno su analizirani u preliminarnoj nezavisnoj studiji o zbrinjavanju ING [11]. Ona je ukazala na poteškoće preračunavanja između različitih projekata, te usporedila scenarij skladištenja ING iz Programa (189 milijuna eura) s ukupnim troškovima nizozemskoga primjera (za skladištenje ING u istom periodu iznosili bi oko 218 milijuna eura), što pokazuje da između ta dva projekta nema značajnih razlika u troškovima.

I procjena troškova odlaganja ING uspoređena je s jednom kompilacijom OECD/NEA [12] koja ukazuje na veliki raspon cijena. Navedene procjene troškova po jedinici količine otpada variraju od 80 000 do 1 200 000 EUR/t metalnog urana, pri čemu niže cijene po jedinici količine

the technological solutions, be close to twice the amount of the estimated unforeseen expenditures in the Program. Therefore, it can be asserted with great certainty that from the technological standpoint, the reliability of the estimate of the total costs is within a limit of 20 %. In support of such an estimate are the facts that several expert missions from the IAEA participated in the project analysis and cost estimate, and that the Program received a positive evaluation from an independent reviewer, the firm of Électricité de France (EDF).

Comparison with the costs of similar projects in other countries was not performed in this audit of the Program in such a systematic manner that could be used for the discussion of the unreliability of the estimate due to the range of the potential social, political and economic circumstances. Therefore, it would be necessary to select the comparative elements of expenditures carefully, compensate for the differences in the manner of the statement of accounts and foreign currencies, and analyze the causes due to which such audited amounts differ. Instead of this, in the concluding chapter of the Program only the ranges of expenditures from the available compilations are presented, which are recapitulated here briefly (ignoring the small differences between the euro and dollar in the year 2001).

The range of the costs of constructing a repository for LILW (calculated per unit measure of disposed waste) is presented according to the well-known study by the Nuclear Energy Agency (NEA) [9]. It varies, approximately, from 150 USD/m³ to over 7 000 USD/m³. The costs of location selection and the annual operation costs are not calculated in the cost per unit of disposed waste. In the event of a tunnel repository for the LILW from the Program, this expenditure would amount to 3 800 EUR/m³, i.e. it would be closer to the upper limit of the aforementioned range.

The estimate of the decommissioning costs of the Krško NPP is compared with the data from an OECD/NEA study [10] for 11 PWR power plants. The average value of the decommissioning costs for these power plants amounts to 350 EUR/kW_e, with a standard deviation of 185 EUR/kW_e. The cost scenario for the Krško NPP that was adopted in the Program amounts to approximately 250 EUR/kW_e, which means that the costs are below the average but within the value range for similar power plants.

Costs for the dry warehousing of SNF were in principle analyzed in a preliminary independent study on SNF management [11]. It demonstrated the difficulties of conversion between different projects and compared the scenario for the warehousing of SNF from the Program (189 million euros) with the total costs of the

otpada u pravilu iskazuju države koje imaju veće količine goriva. Cijena odlaganja ING iz Programa (916 000 EUR/t), sukladno tome pravilu, nalazi se blizu gornje granice navedenog raspona.

U cjelini gledano, citirane usporedbe više doprinose dojmu realističnosti procjene ukupnih troškova Programa, nego što omogućuju ocjenu njihove nepouzdanosti zbog mogućeg razvoja društvenih i političkih okolnosti.

3.2 Fiskalna pouzdanost procijenjenih uplata

Da bi se odredilo kolike anuitete treba uplaćivati u nacionalne fondove, u Programu je odabran jednostavan i transparentan financijski model. Njegovu je pouzdanost lako analizirati, kao i korigirati iznos daljnjih anuiteta u slučaju znatnijih promjena kamatne i inflacijske stope.

Nominalni troškovi svih aktivnosti Programa, određeni u cijenama na kraju 2002. godine, najprije su raspoređeni prema vremenskom planu po godinama u kojima će se radovi izvoditi (pretpostavlja se plaćanje na kraju svake godine). Potom je svaki nominalni trošak, iz godine u kojoj je planiran, diskontiran na početni trenutak, tj. na kraj 2002. godine. Zbrajanjem svih diskontiranih iznosa dobiven je ukupni diskontirani trošak Programa. On odgovara iznosu koji bi, da se od 2002. godine oplođuje (ukamaćuje) u nekom fondu, bio dovoljan za financiranje svih budućih troškova Programa kojima će cijena u međuvremenu narasti zbog inflacije (u odnosu na nominalne cijene iz 2002. godine).

Obrazloženje takvog izračuna općenito je poznato i može se kratko opisati u nekoliko rečenica. Ako cijena nekog posla ili proizvoda u početnom trenutku (kraj 2002. godine) iznosi c_0 (nominalna cijena), ona će n godina kasnije iznositi:

Dutch example (the warehousing of SNF during the same period cost approximately 218 million euros), which shows that between these two projects there are no significant differences in expenditures.

Also, the estimated costs of the disposal of SNF were compared to a compilation by OECD/NEA [12] that demonstrates the large range of prices. The aforementioned cost estimates per unit measure of waste vary from 80 000 to 1 200 000 EUR/t of metallic uranium, and the lower unit prices are seen as a rule in countries that have larger quantities of fuel. The cost of the disposal of the SNF from the Program (916 000 EUR/t), pursuant to this rule, is near the upper limit of the aforementioned range.

Viewed as a whole, the cited comparisons contribute more to the impression of the realistic nature of the estimate of the total costs of the Program than facilitate an assessment of their unreliability due to potential developments in the social and political milieu.

3.2 The fiscal reliability of the estimated payments

In order to determine how many annuities must be paid to the national funds, a simple and transparent financial model has been chosen in the Program. It is easy to analyze its reliability as well as to correct the amounts of subsequent annuities in the event of significant changes in the interest and inflation rates.

The nominal costs of all the activities of the Program, determined according to the prices at the end of the year 2002, are primarily distributed according to a schedule of the years in which the work will be performed (assumed to be paid for at the end of each year). Subsequently, each nominal expenditure from the year in which it is planned is discounted as of the end of the year 2002. By adding together all the discounted amounts, the total discounted expenditures of the Program is obtained. It corresponds to the amount that, if it had been accruing interest since the year 2002 in some fund, would have been sufficient for the financing of all the future expenditures of the Program, the costs of which in the meantime will increase due to inflation (in comparison to the nominal prices from the year 2002).

The explanation of such a calculation is generally known and can be briefly explained in several sentences. If the price of a job or product at the initial moment (the end of the year 2002) is equal to c_0 (the nominal price), in n years it will equal:

$$c_n = c_0 I^n, \quad (1)$$

gdje je i faktor inflacije.

Ako se u istom početnom trenutku novčana masa m_0 investira s kamatnim faktorom k , ona će nakon n godina narasti na:

$$m_n = m_0 k^n. \quad (2)$$

Da bi tako narasla novčana masa bila jednaka inflatiranoj cijeni:

$$m_0 k^n = c_0 i^n, \quad (3)$$

očito je trebalo imati početni iznos:

$$m_0 = c_0 / d^n, \quad (4)$$

gdje je:

$d = k/i$ diskontni faktor.

Taj se početni iznos naziva cijenom posla ili proizvoda diskontiranom na 2002. godinu, te može biti znatno manji od nominalne cijene (ovisno o diskontnom faktoru), jer se pretpostavlja da se investirana novčana masa uvećava brže od inflacijskog rasta cijena.

U Programu korištena je godišnja stopa inflacije od 0,73 %, odnosno faktor inflacije 1,0073. Dobiveni su na temelju rasta cijena industrijskih proizvoda u Njemačkoj, koji je u razdoblju od 1995. do 2002. godine iznosio ukupno 5,23 %. To sedmogodišnje razdoblje odabrano je zato što su u Programu korišteni neki elementi izračuna troškova njemačke tvrtke NIS s cijenama iz 1995. godine, koje je prethodno trebalo revalorizirati na 2002. godinu. Za obračun kamata odabrana je dugoročna stopa na slovenske državne obveznice u eurima, koja je krajem 2003. godine iznosila 4,29 %, čemu odgovara kamatni faktor od 1,0429. Diskontna stopa dobivena iz navedenih faktora kamata i inflacije iznosi oko 3,53 % godišnje (preciznije, diskontni faktor na 6 decimala je 1,035342).

Nakon određivanja ukupnih diskontiranih troškova programa razgradnje, proveden je jednostavan izračun anuiteta. Odabran je uobičajeni konzervativni model jednakih anuiteta, kod

where i is the inflation factor.

If at the same initial moment the monetary mass of m_0 is invested with an interest factor of k , it will after n years grow to:

In order for such an increased monetary mass to be equal to the inflated price:

it is evident that it had to have the initial amount of:

where:

$d = k/i$ is discount factor.

This initial amount is called the price of the job or product discounted as of the year 2002 and may be significantly less than the nominal price (depending upon the discount factor), because it is assumed that the invested monetary mass increases more rapidly than the inflationary increases in prices.

In the Program, the annual rate of inflation used is 0,73 %, i.e. an inflation factor of 1,0073, obtained on the basis of the price increases of industrial products in Germany, where during the period from 1995 to 2002 they amounted to a total of 5,23 %. This seven-year period was chosen because some elements of the calculation of the expenditures by the German firm of NIS from 1995 prices are used, which first had to be revalorized to the year 2002. For the calculation of the interest, the long-term rate on Slovenian state bonds in euros was chosen, which at the end of the year 2003 amounted to 4,29 %, corresponding to the interest factor of 1,0429. The discount rate obtained from the aforementioned factors of interest and inflation amounts to approximately 3,53 % annually (more precisely, the discount factor to 6 decimal places is 1,035342).

After the determination of the total discounted expenditures of the Program, a simple calculation of annuity was performed. A common conservative

kojih realna vrijednost uplata vremenom opada pa se lakše mogu uvesti korekcije naviše, ako budu potrebne. Pretpostavljeno je da će prva od 19 jednakih uplata u hipotetički zajednički fond biti izvršena krajem 2004. godine (u kojoj je dovršena izrada Programa), a posljednja na kraju 2022. godine (potkraj planiranog radnog vijeka NE Krško). Ako se ukupni trošak razgradnje diskontiran na kraj 2002. godine označi sa D , on treba biti jednak sumi svih anuiteta, u kojoj je vrijednost pojedinog anuiteta a uplaćenog n godina nakon 2002. umanjena faktorom k^{-n} (jer se kroz to vrijeme nije ukamaćivao).

To je parcijalna suma geometrijskog reda, iz koje se dobije:

$$a = D k(k-1) / (1 - k^{-19}). \quad (5)$$

Korišteni parametri i rezultati izračuna za usvojeni scenarij Programa rezimirani su u tablici 3. U preporukama Programa, međutim, diskontirani je trošak zaokružen naviše na 350 milijuna eura, čemu odgovara preporučeni anuitet od 28,5 milijuna eura za hipotetički zajednički fond (iznos anuiteta zaokružen je na jednu decimalu, preciznija vrijednost bila bi 28,48 milijuna eura).

model of equal annuities was chosen, in which the real value of the payments decline with time so that it is easier to make corrections upward, if necessary. It is assumed that the first of the 19 equal payments in the hypothetical joint fund would be completed by the end of the year 2004 (during which the preparation of the Program was completed), and the last in the year 2022 (at the end of the planned working lifetime of the Krško NPP). If the total decommissioning expenditures discounted at the end of the year 2002 are indicated by D , it should be equal to the sum of all the annuities, in which the value of an individual annuity a paid n years after 2002 is reduced by a factor of k^{-n} (because during this time it has not accrued interest).

This is the partial sum of the geometric series, from which the following is obtained:

The parameters used and the results of computations for the adopted Program scenario are summarized in Table 3. In the Program recommendations, however, the discounted expenditures are rounded upward to 350 million euros, accordingly corresponding to the recommended annuity of 28,5 million euros for the hypothetical joint fund. (The amount of the annuity is rounded to one decimal place, so that a more precise value would be 28,48 million euros.)

Tablica 3 – Pregled izračuna Programa razgradnje NE Krško
Table 3 – Review of the calculations of the decommissioning Program for the Krško NPP

Parametri / Parameters		Ukupni trošak Programa / Anuitet / Total Program Expenditures / Annuity (10 ⁶ EUR)	
k faktor / factor	1,0429	Nominalni trošak (cijene iz 2002.) / Nominal expenditure (prices from the year 2002)	1 149,3
i faktor / factor	1,0073	Diskontirani trošak (na kraj 2002.) / Discounted expenditures (at the end of the year 2002)	338,5
d faktor / factor	1,0353	Anuiteti (krajem 2004. do 2022.) / Annuities (from the end of 2004 to 2022)	27,5

Za analizu pouzdanosti predloženog načina financiranja ovdje se koristi isti model diskontiranja kao u Programu, a u daljnjem će se tekstu razmatrati samo polovica hipotetičkog anuiteta za cijeli Program, tj. anuitet koji treba uplaćivati u hrvatski fond za razgradnju. Za izračun povećanja cijene hrvatske polovice električne energije iz NE Krško, kojim bi se ostvarile potrebne uplate, konzervativno će se uzeti 2004. godina zbog razmjerno niske proizvodnje. Tako dobivene polazne veličine za razmatranje hrvatskih troškova Programa navedene su u tablici 4.

For analysis of the reliability of the proposed manner of financing, the same discount model is used here as in the Program, and in the rest of the text only half of the hypothetical annuity for the entire Program will be considered, i.e. the annuity that is supposed to be paid into the Croatian fund for decommissioning. For the calculation of the increase in the price of the Croatian half of the electricity from the Krško NPP, by which the required payments will be covered, the year 2004 will be taken conservatively due to relatively low production. Thus, the initial amounts obtained for the discussion of the Croatian expenditures for the Program are presented in Table 4.

Tablica 4 – Hrvatski troškovi Programa razgradnje NE Krško
Table 4 – Croatian expenditures for the decommissioning of the Krško NPP

	Anuitet / Annuity (10 ⁶ EUR)	Poskupljenje električne energije iz NE Krško / Surcharge on the electricity from the Krško NPP (EURc/kWh)
Proračunati / Calculated	13,75	0,53
Preporučeni / Recommended	14,25	0,55

Ključni problem za analizu fiskalne pouzdanosti izračuna anuiteta je odabir diskontne stope. Ona je približno jednaka razlici između očekivane kamatne i inflacijske stope, te opisuje očekivanja da će fond za razgradnju dobro poslovati. Diskontna stopa od 3,53 %, dobivena u Programu na temelju odabranih stvarnih podataka o inflaciji i kamatama, vrlo je blizu iznosa od 3,5 % koji se često koristi u sličnim dugoročnim projektima. Za raspravu fiskalne pouzdanosti preporuka Programa, ovdje je najprije provedeno variranje godišnje diskontne stope u uobičajenom rasponu od 1 % do 5 %, koristeći model jednakih anuiteta kao u Programu (za iste iznose i raspored nominalnih troškova), a rezultati su prikazani u tablici 5 i na slici 1.

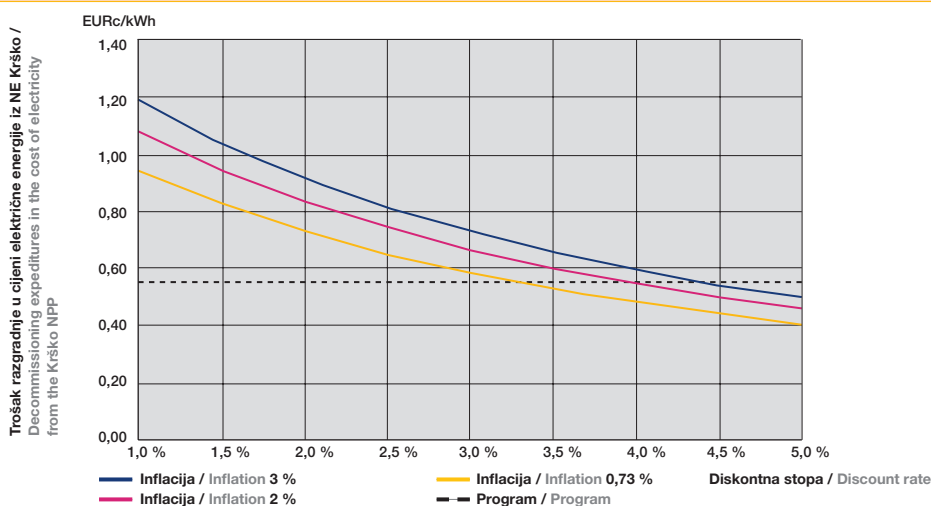
The key problem in the analysis of the fiscal reliability of the calculation of the annuity is the selection of the discount rate. It is nearly equal to the difference between the anticipated interest and inflation rate, and assumes that the decommissioning fund will operate successfully. The discount rate of 3,53 %, obtained in the Program on the basis of selected actual data on inflation and interest, is very close to the amount of 3,5 %, which is frequently used in similar long-term projects. For the discussion of the fiscal reliability of the Program recommendations, varying annual discount rates were first used within the customary range of from 1 % to 5 %, with the application of the model of equal annuities as in the Program (for the same amounts and distribution of nominal expenditures), and the results are presented in Table 5 and Figure 1.

Tablica 5 – Ovisnost anuiteta o diskontnoj stopi i o stopi inflacije
Table 5 – The dependence of the annuity on the discount rate and on the inflation rate

Diskontna stopa / Discount rate (%)	Anuitet / Annuity (10 ⁶ EUR)		
	uz inflaciju / with inflation of 0,73 %	uz inflaciju / with inflation of 2 %	uz inflaciju / with inflation of 3 %
1,0	24,65	28,04	30,91
1,5	21,65	24,59	27,06
2,0	19,17	21,73	23,88
2,5	17,09	19,34	21,23
3,0	15,35	17,34	19,00
3,5	13,87	15,64	17,11
4,0	12,60	14,18	15,50
4,5	11,51	12,93	14,12
5,0	10,56	11,85	12,92

Dok diskontirani trošak ovisi samo o odnosu kamata i inflacije (tj. o diskontnoj stopi), anuiteti ovise i o apsolutnom iznosu kamata ili inflacije. Šesti redak u tablici 5 prikazuje anuitete pri diskontnoj stopi 3,5 % (približno jednakoj stopi u Programu); za stopu inflacije Programa od 0,73 % anuitet iznosi 13,87 milijuna eura (približno kao proračunati hrvatski anuitet u Programu). No, pri stopi inflacije od 3 %, anuitet bi bio znatno veći i iznosio bi 17,11 milijuna eura. To je razumljiva posljedica modela financiranja nominalno jednakim anuitetima, kojima realna vrijednost tijekom 19 godina opada, i to utoliko više što je veća inflacija (pa im zato početna nominalna vrijednost mora biti veća).

While the discounted expenditure depends only upon the ratio between interest and inflation (i.e. on the discount rate), annuities also depend on the absolute amount of interest or inflation. The sixth row in Table 5 presents annuities at a discount rate of 3,5 % (approximately equal to the rate in the Program); for the inflation rate of 0,73 % in the Program, the annuity amounts to 13,87 million euros (approximately equal to the calculated Croatian annuity in the Program). However, at an inflation rate of 3 %, the annuity would be significantly larger and amount to 17,11 million euros. This is an understandable consequence of the model for the financing of nominally equal annuities, the real values of which decline over a period of 19 years. The higher the rate of inflation, the greater decline in the real values of the annuities (and therefore the initial nominal value must be higher).



Slika 1
Ovisnost procjene troška o diskontnoj stopi i o stopi inflacije
Figure 1
Dependence of the costs estimate on the discount rate and on the inflation rate

Međutim, za dugoročne se projekte može odabrati i model financiranja anuitetima jednake realne vrijednosti, kojima nominalni iznosi tijekom vremena rastu sukladno pretpostavljenoj inflaciji (ovdje će se za njih koristiti i kraći naziv - rastući anuiteti). U tablici 6 i na slici 2 prikazan je taj vremenski rast, odnosno rast nominalnog opterećenja cijene struje iz NE Krško u tome modelu, za diskontnu stopu od 3,5 %.

However, for long-term projects it is also possible to choose a model for financing annuities of equal real value, for which the nominal amounts over time increase pursuant to the assumed inflation (henceforth: escalating annuities). In Table 6 and Figure 2, this temporal growth is presented, i.e. the growth of the nominal surcharge on the price of electricity from the Krško NPP in this model, at a discount rate of 3,5 %.

Rastući anuiteti jednake realne vrijednosti dobivaju se množenjem prethodnog anuiteta s faktorom inflacije i . Ako se s a označi prvi anuitet (za 2004. godinu), 2005. godine treba uplatiti ai , 2006. godine ai^2 , itd. Jednostavnim se razmatranjem za iznos prvog anuiteta dobije izraz sličan relaciji (5), u kojemu se umjesto kamatnog faktora pojavljuje diskontni faktor d :

Escalating annuities of equal real value are obtained by multiplying the previous annuity by the inflation factor i . If a signifies the first annuity (for the year 2004), for the year 2005 it is necessary to pay ai , for 2006 ai^2 etc. For the calculation of the amount of the first annuity, an equation similar to expression (5) is obtained, in which the interest factor is replaced by the discount factor d :

$$a = D\dot{r}^2 d(d-1) / (1 - d^{19}).$$

(6)

Kako se vidi iz tablice 6 i slike 2, u modelu rastućih anuiteta jednake realne vrijednosti, pri zadanoj diskontnoj stopi, početna nominalna izdavanja približno su jednaka za sve stope inflacije (bila bi točno jednaka da se prva godina uplaćivanja podudara s godinom na koju je provedeno diskontiranje). Ako se anuiteti financiraju poskupljenjem električne energije iz NE Krško, sva izdavanja (prikazana rastućim krivuljama na slici 2) predstavljaju kroz cijelo to vrijeme isti postotak tržišne cijene električne energije, uz pretpostavku da i ona raste prema istom faktoru inflacije i (iste krivulje prikazivale bi i rast cijene električne energije, ako se iznosi na ordinati pomnože s odgovarajućim faktorom).

As seen from Table 6 and Figure 2, in the model of escalating annuities of equal real value, at the given discount rate, the initial nominal payments are nearly equal for all the inflation rates (they would be precisely equal if during the first year the payment coincided with the year during which the discount was performed). If the annuities are financed by increasing the price of electricity from the Krško NPP, all the allocations throughout that period (shown by the rising curves in Figure 2) represent the same percentage of the market price of electricity, assuming that it is increasing according to the same factor of inflation i (the same curves also present the increases in the price of electricity, if the amounts on the ordinates are multiplied by the corresponding factor).

Tablica 6 – Anuiteti jednake vrijednosti pri diskontnoj stopi 3,5 %
Table 6 – Annuities of equal value at a discount rate of 3,5 %

Godina / Year	Inflacija / Inflation 0,73 %	Inflacija / Inflation 2 %	Inflacija / Inflation 3 %
	Anuitet / Annuity (10 ⁶ EUR)	Anuitet / Annuity (10 ⁶ EUR)	Anuitet / Annuity (10 ⁶ EUR)
2004.	13,10	13,43	13,69
2007.	13,38	14,25	14,96
2010.	13,68	15,12	16,35
2013.	13,98	16,05	17,87
2016.	14,29	17,03	19,52
2019.	14,61	18,07	21,33
2022.	14,93	19,18	23,31

Prethodna razmatranja dokazuju da proračunate uplate dramatično ovise o izboru modela financiranja i njegovih parametara, za iste nominalne troškove Programa i isti period uplaćivanja. Uz to, potrebno je razlikovati raspon nominalnih iznosa uplata od raspona njihovih realnih vrijednosti.

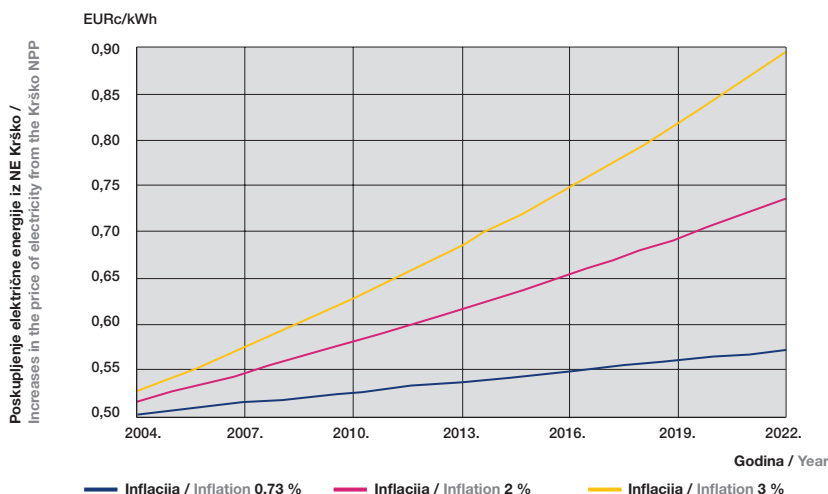
Ako se koristi model jednakih anuiteta, tj. jednakih nominalnih iznosa uplata u cijelom periodu (koji je u Programu odabran da bi se očuvala konzervativnost pristupa pri maloj pretpostavljenoj stopi inflacije), dobije se vrlo veliki raspon iznosa potrebnih uplata za promatrani izbor financijskih parametara (tablica 7). Gornji iznos (pri diskontnoj stopi od 1 % i stopi inflacije od 3 %) je čak 2,17 puta (ili za 117 %) veći od preporuka Programa,

The previous discussion demonstrates that the calculation of payments dramatically depends upon the choice of the financing model and its parameters for the same nominal expenditures of the Program and the same period of payment. Moreover, it is necessary to differentiate the range of the nominal amounts of payment from the range of their real values.

If a model of equal annuities is used, i.e. equal nominal payments during the entire period, which was chosen in the Program in order to preserve the conservative approach, with a low assumed rate of inflation, a large range of amounts is obtained for the necessary payments for the considered selection of financial parameters (Table 7). The highest amount (at a discount rate of 1 % and an inflation rate of

prema kojima je uredbom Hrvatske vlade određena visina HEP-ovih uplata.

3 %) is 2.17 times (or 117 %) greater than the Program recommendations, pursuant to which the enactment of the Croatian Government determined the amount of HEP's payments.



Slika 2
Izdvajanja jednake vrijednosti pri diskontnoj stopi 3,5 %
Figure 2
Allocations of equal value at a discount rate of 3,5 %

Međutim, pri znatnim stopama inflacije nije primjereno uspoređivati nominalne visine uplata u modelu jednakih anuiteta (jer im realna vrijednost brzo opada, i to ovisno o inflaciji), niti je vjerojatno da bi se taj model doista koristio. Kod znatne inflacije, relevantnija je usporedba uplata za različite diskontne stope u modelu rastućih anuiteta jer im se realna vrijednost ne mijenja s vremenom. Za prikaz raspona takvih uplata (posljednji red tablice 7) odabran je njihov početni iznos, tj. 2004. godina. I u ovom je slučaju gornji iznos (pri diskontnoj stopi od 1 % i stopi inflacije od 3 %) znatno veći (za 70 %) od preporuka Programa. U idućim godinama omjer bi postajao još nepovoljniji (veći), dakako ne zbog rasta relativnog opterećenja cijene električne energije, nego zbog pada realne vrijednosti preporučenih jednakih anuiteta iz sadašnjeg Programa.

However, when there is significant inflation, it is not appropriate to compare the nominal amounts of payments in a model of equal annuities (because their real value rapidly declines due to inflation), and it is also not likely that such a model would actually be used. In the case of significant inflation, it is relevant to compare the payments according to the various discount rates in a model of escalating annuities because their real value does not change with time. For a presentation of the range of such payments (the last row of Table 7), the initial amount has been selected, i.e. the year 2004. In this case, the upper amount (at a discount rate of 1 % and an inflation rate of 3 %), is significantly higher (by 70 %) than the Program recommendations. In subsequent years, the ratio would become even less favorable (higher), not due to the increase of the relative surcharge on the price of electricity but due to the decline in the real values of the recommended equal annuities from the current Program.

Tablica 7 – Ovisnost uplata za 2004. godinu o modelima i parametrima
Table 7 – Dependence of the payments for 2004 on the model and parameters

Model / Model	Diskontna stopa 5 % uz inflaciju 0,73 % / Discount 5 % with inflation at 0,73 %		Diskontna stopa 1 % uz inflaciju 3 % / Discount 1 % with inflation at 3 %	
	(10 ⁶ EUR)	(EURc/kWh)	(10 ⁶ EUR)	(EURc/kWh)
Jednaki anuiteti / Equal annuities	10,56	0,41	30,91	1,19
Rastući anuiteti / Escalating annuities	10,01	0,38	24,21	0,93

Usto, već spomenuta pogodnost modela rastućih anuiteta, te da sama inflacija nema znatnog utjecaja na visinu početnih uplata, dopušta da se u ovoj analizi ne razmatraju eksplicitno stope inflacije veće od 3 %. To, međutim, nameće ograničenje da se ne provode nepažljive usporedbe s nominalno jednakim anuitetima, odnosno, da se provede korektno obrazloženje odnosa vrijednosti u kasnijim ratama.

No, bez obzira na model financiranja, za odabrani raspon parametara je očigledno da je fiskalna pouzdanost procjene troškova razgradnje daleko slabija od tehničke pouzdanosti, te se ne može reducirati ispod reda veličine otprilike oko 100 % u ovako ranoj fazi financiranja projekta.

Štoviše, moglo bi se tvrditi da ni tako visoka ocjena nepouzdanosti ne obuhvaća puni raspon fiskalnih rizika. Iako je to u načelu točno, jer nije moguće isključiti rizike od nepredvidljivog potpunog financijskog sloma, nijedan model financiranja projekata pomoću fondova koji komercijalno posluju ne može smisljeno obuhvatiti takve rizike, već se protiv njih uvode vanjski instrumenti osiguranja (kao što je npr. krajnja odgovornost države za projekte razgradnje nuklearnih postrojenja). Stoga se u ovakvim analizama pretpostavlja kontinuirano pozitivno poslovanje fondova, a rasprava pouzdanosti procjene ograničava se na prikladnost odabira financijskog modela i njegovih parametara.

U provedenom razmatranju korišteni su uobičajeni modeli financiranja i tipični raspon diskontnih stopa koje se primjenjuju u sličnim projektima. Mogućnost razmatranja diskontne stope veće od 5 % nema praktičnog značenja: ona je dugoročno malo vjerojatna i nepotrebno bi sugerirala opciju preniskih anuiteta. No, ključno je pitanje treba li razmatrati diskontne stope manje od 1 %, pri kojima je oplođivanje realne vrijednosti uplata zanemarivo malo, pa bi njihov iznos trebalo dodatno uvećati (tj. znatno više od 100 % u odnosu na preporuke Programa).

To je, dakako, moguće, te ima i primjera planiranja razgradnje uz nultu diskontnu stopu, no uz takvu je pretpostavku besmislen model financiranja pomoću fondova koji komercijalno posluju. Ako se od fondova ne očekuje nikakva zarada, logičnije bi bilo uplaćivati sredstva u državni proračun, i daljnju brigu o pokrivanju troškova razgradnje od početka prepustiti državi. No, kako je za Program predviđeno financiranje iz dvaju nacionalnih fondova (od kojih jedan već godinama uspješno komercijalno posluje), za ovu se analizu smatra razumnim pretpostaviti da je dugoročno ostvariva kamatna stopa toliko veća od inflacije da ne

In addition, due to the previously mentioned suitability of the model of escalating annuities and the fact that inflation does not have a significant impact on the amount of the initial payments, in this analysis explicit inflation rates of greater than 3 % are not discussed. This, however, requires the avoidance of making casual comparisons to nominally equal annuities, i.e. it is necessary to provide a correct explanation of the relations among the values in the later installments.

However, regardless of the financing model, for the selected range of parameters it is evident that the fiscal reliability of the estimated decommissioning costs is far less than the technical reliability, and that it cannot be reduced below an order of magnitude of approximately 100 % in this early phase of the financing of the project.

Moreover, it could be stated that even such a high estimate of unreliability does not cover the full range of fiscal risk, and therefore it is precise in principle, because it is not possible to exclude the risk from an unforeseen total financial collapse. No model of financing the project using funds that operate commercially can rationally cover such risks, but external instruments of insurance have been introduced to combat them (such as, for example, the ultimate responsibility of the state for the projects of the decommissioning of nuclear power plants). Therefore, continuous positive operations of the funds are assumed in such analyses, and discussion of the reliability of estimates is limited to the suitable selection of a financial model and its parameters.

In performing the analysis, customary models of financing and the typical range of discount rates that are applied in similar projects have been used. The possibility of analyzing discount rates greater than 5 % does not have practical significance; such rates are unlikely over a long period and it would not be necessary to suggest the option of annuities that are too low. However, a key question is whether it is necessary to analyze discount rates lower than 1 %, at which the accrual of interest on the real value of the payments is negligible, so that the amount should be further increased (i.e. significantly higher than 100 % in relation to the Program recommendations).

This is, indeed, possible and there is the example of planned decommissioning with a zero discount rate, but besides this there is also the assumption of an absurd model of financing using funds that operate commercially. If no earnings were anticipated from the funds, it would be logical to pay the funds into the state budget and the further coverage of the costs of decommissioning would be left to the state from the beginning. However, since financing is anticipated for the Program from two national funds (of which one

treba razmatrati diskontne stope manje od 1 %. Time se granica fiskalne nepouzdanosti zadržava na oko 100 % u odnosu na uplate preporučene Programom.

Navedena ocjena fiskalne pouzdanosti preporučenih uplata ima smisla samo u ukupnom kontekstu prethodnih razmatranja. Ona se temelji na financijskom modelu Programa, pretpostavlja njegovo dosljedno provođenje i odnosi se na ukupno njegovo financiranje. Stoga treba posebno naglasiti sljedeće:

- Uredba Hrvatske vlade, prema kojoj HEP uplaćuje sredstva u državni proračun (umjesto da je osnovan fond sličan slovenskom), ne uklapa se u financijski model Programa. Dodatno odstupanje od toga modela uvedeno je rastezanjem zaostalih uplata na idućih 5 godina, ali će negativni učinak kašnjenja biti djelomično kompenziran kvartalnim uplatama, ako se fond osnuje uskoro (Program je konzervativno pretpostavio uplate krajem godine).

Procjenu potrebne korekcije zbog odstupanja sadržaja Uredbe od financijskog modela Programa najjednostavnije je prikazati kao manjak u budućem fondu na kraju 2011. godine (u kojoj bi trebalo dovršiti uplaćivanje zaostalih rata). Tablica 8 prikazuje kako taj manjak ovisi o datumu osnivanja fonda, uz pretpostavku da se do tada sredstva uplaćena u državni proračun samo evidentiraju, dok bi se u fondu oplođivala prema kamati iz Programa.

has already been successfully operating commercially for years), for this analysis it is considered responsible to assume that the long-term feasible interest rates are sufficiently higher than inflation and that it is not necessary to analyze discount rates lower than 1 %. Therefore, the limits of the fiscal unreliability are maintained at approximately 100 % in relation to the payments recommended by the Program.

The aforementioned assessment of the fiscal reliability of the recommended payments only makes sense within the overall context of the previous analysis. It is based upon the financial model of the Program, assumes its consistent implementation and relates to its overall financing. Therefore, it is necessary to emphasize the following:

- The enactment of the Croatian Government, according to which HEP contributes to the state budget (instead of establishing a fund similar to the Slovenian one), does not fit into the financial model of the Program. Additional deviation from this model has been introduced by extending the remaining payments over the subsequent five years. The negative impact of the delay will be partially compensated for by quarterly payments, providing that the fund is established soon (the Program has conservatively assumed payment by the end of the year).

Due to deviation of the content of the enactment from the financial model of the Program, the assessment of the necessary corrections is presented most simply as a deficit in the future fund at the end of the year 2011 (during which the payment of the remaining installments should be completed). Table 8 presents how this deficit depends on the date of the establishment of the fund, with the assumption that until then the contributions paid to the state budget are only recorded, while in the fund they would be accruing income according to the interest rate from the Program.

Tablica 8 – Manjak ovisno o datumu osnivanja fonda
Table 8 – The deficit, depending upon the date of the establishment of the Fund

Osnivanje fonda / Establishment of the Fund	Način uplate / Manner of payment	Stanje na kraju 2011. / Status at the end of 2011 (10 ⁶ EUR)	Manjak / Deficit (10 ⁶ EUR)
Kraj 2004. / End of 2004	Krajem godine / Year end	132,67	0,00
30. lipnja 2006. / June 30, 2006	Kvartalno, prema vladinjoj Uredbi / Quarterly, according to the Government Enactment	129,27	3,40
Kraj 2007. / End of 2007		127,66	5,01
Kraj 2009. / End of 2009		122,34	10,33
Kraj 2011. / End of 2011		114,00	18,67

Ako bi se fond osnovao u vrijeme prvih HEP-ovih uplata (kraj lipnja 2006), sredstva akumulirana do kraja 2011. godine bila bi za 3,4 milijuna eura manja nego da se postupalo prema preporuci Programa. Malo odgađanje osnivanja fonda neće dramatično uvećati taj manjak, ali bi se za nekoliko godina uvećao nekoliko puta. A u ekstremnom slučaju (nije prikazan u tablici 8) da Hrvatska uopće ne osnuje fond za razgradnju NE Krško koji bi oplodivao uplaćena sredstva, već istu svotu hoće prikupiti jednostavnim pribrajanjem 19 anuiteta na pasivnom računu, iznos svakog anuiteta trebalo bi uvećati s 14,25 na 42,51 milijuna eura.

- Odstupanja od planirane dinamike korištenja sredstava mogu značajno promijeniti izračun anuiteta. Primjerice, ako bi se sadašnji slovenski planovi o otvaranju odlagališta NSRAO u 2013. godini (umjesto u 2018.) prihvatili kao izmjena u Programu, diskontirani troškovi odlaganja NSRAO porasli bi s 93,9 na 111,5 milijuna eura, tj. za 18,8 %. U ukupnim troškovima Programa to bi povećanje iznosilo 5,2 %. Ako bi se jednako rasporedilo na obadva fonda, preporučene hrvatske anuitete (svih 19) trebalo bi povećati s 14,25 na 14,99 milijuna eura, tj. za 740 000 eura svaki.
- Sumarna ocjena o granici nepouzdanosti otprilike oko 100 % je kompromis kojim se izbjegava daljnja rasprava o distinkcijama između modela jednakih i rastućih anuiteta (općenito poznata u modeliranju komercijalnog financiranja dugoročnih projekata), koja bi se mogla sustavno provesti na temelju prethodnih razmatranja. Ona bi pokazala kako bi nominalne iznose nekih uplata na nepovoljnoj granici promatranog raspona parametara trebalo uvećati i znatno više od 100 %, ali bi pritom njihova realna vrijednost u odnosu na sadašnje preporučene uplate ostala ispod 100 %.
- Glavna svrha ocjene nepouzdanosti je da pokaže kolika bi povećanja uplata mogla biti potrebna u nepovoljnim okolnostima. Navedena ocjena o granici od 100 % odnosi se, međutim, na korekciju ukupnih uplata u predloženom modelu hrvatskih izdvajanja za Program. Budući da još nije počelo ni planiranje iduće revizije Programa, malo je vjerojatno da bi eventualne korekcije (čak i kad bi potreba za njima bila već sada očigledna) mogle započeti prije 2010. godine. Stoga će se eventualno povećanje uplata (u prethodnoj analizi raspoređeno na svih 19 godišnjih rata) trebati ostvariti kroz 12–13 preostalih rata, što znači da bi se u linearnoj preraspodjeli povećanje rata od 100 % pretvorilo u povećanje preostalih rata

If the fund had been established at the time of HEP's first payments (at the end of June 2006), the monetary resources accumulated up to the end of the year 2011 would be 3,4 million euro less than if the recommendations of the Program had been followed. A slight delay in the establishment of the fund would not dramatically increase this deficit but it would increase several times in several years. In the extreme situation (not shown in Table 8) that Croatia does not establish a fund at all for the decommissioning of the Krško NPP that would accrue income from interest, but instead simply wants to collect 19 annuities in a passive account, the amount of each annuity should be increased from 14,25 million euros to 42,51 million euros.

- Deviations from the planned dynamics for the use of monetary resources could significantly change the calculation of the annuities. For example, if the current Slovenian plans for the opening of a repository for LILW in the year 2013 (instead of 2018) are accepted as an amendment to the Program, the discounted expenditures for the disposal of LILW would increase from 93,9 to 111,5 million euros, i.e. by 18,8 %. In the total expenditures of the Program, this increase would amount to 5,2 %. If this were to be equally distributed in both funds, the recommended Croatian annuities (all 19) would have to be increased from 14,25 million euros to 14,99 million euros, i.e. by 740 000 euros each.
- The summarized evaluation of the unreliability limits of approximately 100 % is a compromise to avoid further discussion about the distinctions between the models of equal and escalating annuities (generally known in the modeling of the commercial of long-term projects), which could be systematically performed on the basis of the previous analyses. It would demonstrate that the nominal amounts of some payments at the unfavorable limit of the parameter range being considered should be increased by significantly more than 100 %, but their real value in relation to the currently recommended payments would remain below 100 %.
- The main purpose of the evaluation of unreliability is to demonstrate how much of an increased payment would be necessary under unfavorable circumstances. The stated evaluation of the limit of 100 % refers, however, to the correction of the total payments in the proposed model for Croatian allocations for the Program. Since the next audit of the Program has not been begun planned, it is unlikely that eventual corrections (even if the need for them were already evident) could be instituted before the year 2010. Therefore, an eventual payment increase (in the previous analysis distributed

od 150 %. Međutim, preraspodjela mora biti nepovoljnija od linearne, jer se ranije uplate nadomještaju kasnijima; a ako se još uzme u obzir kašnjenje prvih hrvatskih rata, sumarna ocjena nepouzdanosti za hrvatske uplate od 2010. godine nadalje bliža je granici od 200 % nego 100 % od iznosa sadašnjih rata.

Ne može se definitivno tvrditi da je potreba za značajnim korekcijama budućih uplata već sada očigledna, ali su sve čvršće indicije da će se mijenjati iznosi parametara korištenih u izračunu Programa. Prema podacima Statističkog ureda Europske zajednice [13], prosječne dugoročne kamate na državne obveznice u euro-zoni značajno su se smanjile, od 4,14 % iz 2003. godine na 3,42 % u 2005. godini (u Sloveniji na 3,81 %). Istodobno, rast cijena industrijskih proizvoda (bez energetike i graditeljstva), koji je 2000.–2004. godine bio manji od 1 % godišnje, u posljednje dvije godine kreće se po godišnjoj stopi oko i iznad 2 %.

Ako bi se zadržao sadašnji odnos kamata i inflacije, a izbor parametara Programa orijentirao prema prosječnim pokazateljima euro-zone, trebalo bi diskontnu stopu spustiti na oko 1,5 %, što bi godišnju uplatu u modelu 19 jednakih anuiteta podiglo na skoro 25 milijuna eura. Ipak, još je prerano za takva predviđanja, jer ima naznaka da se i na kamatnim stopama počinje osjećati utjecaj inflacije uzrokovane poskupljenjem nafte. Već i manji oporavak diskontne stope mogao bi njezinu prosječnu vrijednost u periodu između dvije revizije Programa zadržati iznad 2 %, što znači da bi dostajalo znatno manje povećanje anuiteta. Ako se usto uzme u obzir da cijene energenata rastu znatno brže nego industrijskih proizvoda, relativna vrijednost daljnjih potrebnih izdvajanja za razgradnju NE Krško (u odnosu na cijenu električne energije) možda će se tek neznatno povećavati. No, ako ne dođe do dramatičnog pada inflacije, nominalni iznos preostalih anuiteta svakako će osjetno porasti.

among all 19 annual installments) should be achieved through the 12–13 remaining installments, which means that in the linear distribution the increased installment of 100 % would be transformed into a 150 % increase in the remaining installments. However, reallocation should be less favorable than linear, because previous payments replace later ones; and if the delay in the first Croatian installments is taken into account, the summary evaluation of unreliability for Croatian payments from 2010 onward is nearer the limit of 200 % than 100 % of the amount of the current installments.

It cannot be stated decisively that the need for significant corrections of the future payments is already evident but there are increasingly solid indications that the ratios of the parameters used in the calculation of the Program will change. According to statistical data of the European Community [13], the average long-term interest on state bonds in the euro zone has significantly declined from 4,14 % in the year 2003 to 3,42 % in the year 2005 (in Slovenia to 3,81 %). At the same time, the increase in the prices of industrial products (excluding energy and construction), which in 2000–2004 was less than 1 % per year, has ranged during the past two years at an annual rate of around and over 2 %.

If the current ratio between interest and inflation continues, and the choice of the parameters of the Program will be oriented to the average indices of the euro zone, the discount rate should be reduced to approximately 1,5 %, which would raise the annual payments in the model of 19 equal annuities to nearly 25 million euros. Nonetheless, it is still too early for such a forecast because there are indications that the impact of inflation due to rising oil prices is beginning to be felt on interest rates. A slight recovery in the discount rate could keep its average value in the period between the two audits of the Program at above 2 %, which means that a significantly lower increase in the annuities would be sufficient. If it is also taken into account that the prices of energy sources are rising significantly more rapidly than those of industrial products, the relative value of the further required allocations for the decommissioning of the Krško NPP (in relation to the price of electricity) could increase insignificantly. However, if no dramatic decline in inflation occurs, the nominal amount of the remaining annuities will certainly rise perceptibly.

4 HIPOTETIČKI SCENARIJI PRODULJENOG FINANCIRANJA RAZGRADNJE

Za ocjenu relativne opterećenosti cijene električne energije Programom u širem kontekstu, osobito prema drugim projektima razgradnje nuklearnih elektrana, prikladno je analizirati i dva hipotetička scenarija produljenog financiranja razgradnje.

4.1 Što bi bilo da je hrvatski fond ustanovljen 1994. godine

Ovaj je scenarij posve hipotetički, ali je prikladan za usporedbu sa slovenskim izdvajanjima za Program, budući da je tada osnovan njihov fond. U tablici 9 uspoređuju se aktualna hrvatska izdvajanja za Program s onima koja bi se dobila u istom financijskom modelu da je uplaćivanje u hrvatski fond bilo planirano od 1994. godine (provedena su ekvivalentna mala zaokruživanja naviše kojima se iz proračunatog anuiteta dobio aktualni iznos od 14,25 milijuna).

4 HYPOTHETICAL SCENARIOS FOR THE PROLONGED FINANCING OF DECOMMISSIONING

For the assessment of the relative surcharge on electricity prices by the Program in the broad context, particularly according to other projects for the decommissioning of nuclear power plants, it is also appropriate to analyze two hypothetical scenarios for the prolonged financing of decommissioning.

4.1 What would have happened if the Croatian Fund had been established in the year 1994?

This scenario is entirely hypothetical but it is suitable for comparison to the Slovenian allocations for the Program, since their fund was established then. In Table 9, the actual Croatian allocations for the Program are compared to those that would have been obtained in the same financial model if payments into the Croatian fund had been planned as of the year 1994 (there has been slight rounding upwards of the figures, according to which the calculated annuity was 14,25 million).

Tablica 9 – Usporedba godišnjih izdvajanja za periode od 19 i 29 godina
Table 9 – Comparison of annual allocations for the period of 19 and 29 years

Godina prve uplate / Year of the first payment	Broj anuiteta / Number of annuities	Anuitet / Annuity (10 ⁶ EUR)	Poskupljenje / Increase in cost (EURc/kWh)
2004.	19	14,25	0,55
1994.	29	7,31	0,28

Da je hrvatski fond za razgradnju počeo s radom 1994. godine, godišnje bi uplate u istom modelu financiranja bile upola manje. Sadašnje stanje bilo bi gotovo identično slovenskom, mada je njihova akumulacija u proteklom periodu ostvarena nižim uplatama i većim prihodima fonda.

4.2 Hipotetički scenarij produljenja radnog vijeka NE Krško za 20 godina

Produljenje radnog vijeka NE Krško opcija je koja se u Hrvatskoj neslužbeno razmatra već neko vrijeme (a u Sloveniji se počela pojavljivati i u službenim dokumentima). Iako je to za sada još posve hipotetički scenarij, s tehničkog i regulatornog stajališta moguće je radni vijek elektrane produljiti za 20 godina, tj. povećati ga za 50 % u odnosu na sadašnji plan. U pogledu nominalnih troškova Programa razgradnje,

If the Croatian fund for decommissioning had started operating in the year 1994, the payments in the same model of financing would be half as much. The present situation would be nearly equal to that of Slovenia, although their accumulation during the past period was achieved with lower payments and greater incomes from the fund.

4.2 Hypothetical scenario of the prolongation of the working lifetime of the Krško NPP by 20 years

Prolongation of the working lifetime of the Krško NPP is an option that has been discussed unofficially in Croatia for some time and in Slovenia has begun to appear in official documents. Although for now it is an entirely hypothetical scenario, from the technical and regulatory standpoints it is possible to prolong the working lifetime by 20 years, i.e. to increase it by 50 % in relation to the current plan.

posljedice 50 % dužeg rada NE Krško mogu se grubo procijeniti pomoću sljedećih pretpostavki:

- Količina NSRAO mogla bi se uvećati i za više od 50 %, zbog starenja postrojenja i eventualnih zamjena dijelova. Stoga će se pretpostaviti 100 % povećanje NSRAO, što zahtijeva odlagalište dvostrukog kapaciteta. Ako bi se planirala modularna gradnja odlagališta, najjeftinije bi bilo dodavati module prema potrebi. Umjesto toga, konzervativno će se pretpostaviti izgradnja još jednog nezavisnog odlagališta, koje je identično do sada planiranome, ali koje će biti pušteno u pogon 20 godina nakon prvog odlagališta, upravo kada je planiran početak zatvaranja prvoga. To će udvostručiti nominalne troškove za NSRAO planirane u sadašnjem Programu, ali će znatno manje utjecati na njihovu diskontiranu cijenu.
- Količina ING će se uvećati za oko 50 %, no izgradnja za toliko većeg odlagališta ne povećava sve nominalne troškove za 50 %. Usto, u njemu će znatno porasti udio dobro ohlađenih elemenata ako se početak odlaganja odgodi u skladu s produženim radom NE Krško. S druge strane, unaprijed je jasno da bi moguća odgoda ukupne izgradnje odlagališta za 20 godina jako obezvrijedila svako povećanje nominalnih troškova prilikom izračuna diskontirane cijene. K tome, takvo produženje projekta dodatno povećava nepouzdanost procjene, što je osobito nepoželjno za trošak odlaganja ING, koji je najveći nominalni trošak u Programu. Zato će se pretpostaviti da se sve aktivnosti vezane uz odlagalište ING odvijaju samo 10 godina kasnije nego u sadašnjem Programu, i to uz 50 % povećane nominalne troškove. Takva je pretpostavka opravdana i zato što ni projektno-tehnički argumenti o hlađenju gorivih elemenata neće više poticati na dulje odgađanje. Opcija produljenja radnog vijeka NE Krško pojačava razloge za suho skladištenje ING predviđeno Programom. Najjednostavnije je konzervativno pretpostaviti da će skladište planiranog kapaciteta početi s radom prema sadašnjem rasporedu u Programu (iako bi tehnološki moglo početi i kasnije, i/ili sa znatno manjim kapacitetom), a da će samo dodatnih 50 % prostora i spremnika biti uključeno 20 godina kasnije, te proporcionalno povećati nominalne troškove.
- Kod razgradnje elektrane, koja se u cijelosti odgađa za 20 godina, pretpostavit će se povećanje nominalnih troškova za 50 %, više zbog nepouzdanosti modela produženog financiranja nego zbog minornog doprinosa eventualnih tehničkih rekonstrukcija.

Regarding the nominal expenditures of the Program, the consequences of a 50 % increase in the working lifetime of the Krško NPP may be roughly assessed with the help of the following assumptions:

- The quantity of the LILW could be increased by more than 50 % due to the aging of the plant and the eventual replacements of parts. Therefore, a 100 % increase in the LILW will be assumed, which requires a repository with twice the capacity. If a modular construction of the repository is planned, it would be the least expensive to add modules as needed. Instead of this, the construction of one more independent repository will be conservatively assumed, which would be identical to the one planned but would be placed into operation 20 years after the first repository when the closing of the first is planned. This will double the nominal expenditures for LILW planning in the current Program but will have significantly less impact on its discounted price.
- The quantity of the SNF will increase by approximately 50 % but the construction of such a large repository does not increase all the nominal expenditures by 50 %. Moreover, the share of good refrigerated elements will significantly rise if the beginning of disposal is postponed by the prolonged operation of the Krško NPP. From the other side, it is clear that the possible postponement of the construction of the repositories by 20 years would greatly devaluate all the increased nominal costs during the calculation of the discount price. Furthermore, such a prolongation of the project additionally increases the unreliability of the estimate, which is particularly undesirable regarding the cost of the disposal of SNF, which is the highest nominal expenditure in the Program. Therefore, it will be assumed that all the activities in connection with the repository for the SNF should be performed only 10 years later than in the current Program, and this with a 50 % increase in the nominal expenditures. Such an assumption is justified and therefore even the project-technical arguments on the cooling of the fuel elements will no longer affect the length of postponement. The option of the prolongation of the working lifetime of the Krško NPP strengthens the reasons for the dry warehousing of SNF anticipated by the Program. It is simplest to assume conservatively that the warehouse of the planned capacity will commence operations according to the current Program schedule (although technologically it could also begin later, and/or with a significantly lower capacity), and that only an additional 50 % of the premises and storage facility will

Uz navedene pretpostavke, te procjene troškova i financijski model iz Programa, dobiju se rezultati prikazani u tablici 10.

- be included 20 years later, and proportionally increase the nominal expenditures.
- In the decommissioning of the nuclear power plant, which as a whole would be postponed for 20 years, it is assumed that the nominal expenditures would increase by 50 %, more due to the unreliability of the model of prolonged financing than due to the minor contribution of eventual technical reconstruction.

Together with the aforementioned assumptions, cost estimates and the financial model from the Program, the results presented in Table 10 have been obtained.

Tablica 10 – Usporedba troškova za produženi radni vijek NE Krško
Table 10 – Comparison of the costs of the prolongation of the working lifetime of the Krško NPP

Vrste troškova / Types of expenditures		Troškovi / Expenditures (10 ⁶ EUR)	
		Radni vijek 40 godina / Working lifetime 40 years	Radni vijek 60 godina / Working lifetime 60 years
Odlaganje NSRAO / Disposal of LILW	Nominalni troškovi / Nominal expenditures	186	372
	Diskontirani troškovi / Discounted expenditures	94	141
Odlaganje ING / Disposal of SNF	Nominalni troškovi / Nominal expenditures	568	852
	Diskontirani troškovi / Discounted expenditures	85	90
Suho skladište ING / Dry warehousing of SNF	Nominalni troškovi / Nominal expenditures	189	284
	Diskontirani troškovi / Discounted expenditures	79	98
Razgradnja NE Krško / Decommissioning of the Krško NPP	Nominalni troškovi / Nominal expenditures	206	309
	Diskontirani troškovi / Discounted expenditures	81	61
Ukupno / Total	Nominalni troškovi / Nominal expenditures	1 149	1 817
	Diskontirani troškovi / Discounted expenditures	339	390

Zbog produženja radnog vijeka NE Krško, nominalni trošak Programa povećao se za 58 %, a diskontirani samo za 15 %. No, ako se pretpostavi da će se i uplaćivanje u fondove razgradnje produžiti za 20 godina, iznos anuiteta će se značajno umanjiti.

Tablica 11 uspoređuje izdvajanja za hrvatski fond proračunata u sadašnjem Programu (koja su nešto niža od zaokruženog preporučene iznosa) s onima koja bi se sličnim računom dobila za produženi radni vijek i razdoblje uplaćivanja, a zbog produženog razdoblja financiranja usporedba je provedena i u modelu rastućih anuiteta.

Due to the prolonged working lifetime of the Krško NPP, the nominal expenditure of the Program would be increased by 58 % and the discounted expenditure by only 15 %. However, if it is assumed that the payment into the funds for decommissioning will be prolonged by 20 years, the amounts of the annuities will be significantly lowered.

Table 11 compares the outlays for the Croatian fund computed in the current Program (which are somewhat lower than the rounded recommended amount) to those that would be obtained using similar calculations for the prolonged working lifetime and period of payment. Due to the prolonged period of financing, a comparison has also been performed in the model of escalating annuities.

Tablica 11 – Usporedba nominalnih i realnih troškova za produženi radni vijek NE Krško
 Table 11 – Comparison of nominal and real expenditures for the prolongation of the working lifetime of the Krško NPP

Radni vijek / Working lifetime (broj godina / number of years)	Razdoblje uplate / Period of payment (broj godina / number of years)	Anuitet / Annuity (10 ⁶ EUR)		Poskupljenje električne energije / Increased electricity price (EURc/kWh)
40	19	jednaki / equal	13,77	0,53
		rastući(2004) / escalating(2004)	12,97	0,50
60	39	jednaki / equal	10,82	0,42
		rastući(2004) / escalating(2004)	9,70	0,37

Iako smanjenje nominalnih izdvajanja u modelu jednakih anuiteta ne izgleda jako veliko (opterećenje po jednom kWh električne energije iz NE Krško smanjilo bi se s 0,53 na 0,42 EURcenta), realna će vrijednost uplata padati zajedno s inflacijom kroz približno dvostruko duži period nego u sadašnjem scenariju. Čak i kad bi cijena struje rasla samo po pretpostavljenoj niskoj stopi inflacije za industrijske proizvode, nominalni trošak od 0,42 EURc/kWh bio bi u posljednjem desetljeću produženog radnog vijeka na razini današnje realne vrijednosti od 0,3 EURc/kWh.

Stoga je prikladnije posljedice hipotetičkog produljenja radnog vijeka NE Krško na financiranje Programa promatrati u modelu rastućih anuiteta jednake realne vrijednosti. U tablici 11 prikazan je nominalni iznos uplata za 2004. godinu prema tome modelu pod nazivom rastući (2004). Treba napomenuti da se rastući anuitet za 2004. godinu ne razlikuje dramatično od anuiteta jednake nominalne vrijednosti samo zbog male pretpostavljene inflacije, koja vjerojatno neće biti održiva dugoročno.

Prednost korištenja modela rastućih anuiteta upravo je u tome što očiglednije prikazuje smanjenje realne vrijednosti godišnjih izdvajanja za financiranje troškova Programa (bez obzira na kretanje same inflacije). Proračunato opterećenje cijene struje iz NE Krško za 2004. godinu prema sadašnjem scenariju (0,50 EURc/kWh) smanjilo bi se u scenariju produljenog radnog vijeka za 26 % (na 0,37 EURc/kWh), a za isti postotak bile bi manje i daljnje uplate troškova razgradnje. Dakako, uplaćivanje anuiteta trebalo bi nastaviti i u periodu produljenja rada elektrane, a prikupljena sredstva pokrivala bi i vrlo konzervativno procijenjeno povećanje nominalnih troškova Programa zbog povećanja količine ING i tehnološkog NSRAO te posljedica mogućih rekonstrukcija postrojenja elektrane.

Although the reduction of the nominal allocations in the model of equal annuities does not appear very large (the surcharge per kWh of electricity from the Krško NPP would be reduced from 0,53 to 0,42 EURcenta), the real value of the payments would decline together with inflation during a period approximately twice as long as in the current scenario. Even if the price of electricity were to rise by only the assumed low rate of inflation for industrial products, the nominal expenditure of 0,42 EURc/kWh would be in the last ten years of the prolongation of the working lifetime at the level of the current real value of 0,3 EURc/kWh.

Therefore, it is more appropriate to analyze the consequences of the hypothetical prolongation of the working lifetime of the Krško NPP on the financing of the Program in the model of escalating annuities of equal real value. In Table 11, the nominal amount of payment for the year 2004 is presented according to this model under the heading of escalating (2004). It should be noted that the escalating annuity for the year 2004 does not differ dramatically from the annuity of equal nominal value, except due to the low assumed inflation that probably will not be sustainable over the long term.

The advantage of using the model of escalating annuities is that it provides a better presentation of the decline in the real value of the annual outlays for the financing of the Program costs (regardless of the trends in inflation). The calculated surcharge on electricity prices from the Krško NPP for the year 2004 according to the current scenario (0,50 EURc/kWh) would be reduced in the scenario for the prolonged working lifetime by 26 % (on 0,37 EURc/kWh), and further payments for the decommissioning expenditures would be reduced according to the same percentage. Certainly, the payment of the annuities should also continue during the period of the prolonged operation of the power plant, and the collection of monetary resources would also cover the very conservatively

Zbog konzervativnih pretpostavki u navedenoj procjeni smanjenje anuiteta nije osobito impresivno. Ako bi se za usporedbu uzelo nerealni hipotetički scenarij jednostavnog odlaganja svih aktivnosti Programa za 20 godina zbog produljenja radnog vijeka elektrane, dobio bi se proračunski iznos jednakih anuiteta od 4,69 milijuna eura umjesto 10,82 milijuna eura u opisanom realističnom i konzervativnom scenariju produljenja. Primarni razlog za tako veliku razliku nisu odnosi nominalnih troškova zbog dodatnih količina otpada, već pretpostavka o odgađanju pojedinih aktivnosti Programa u hipotetičkom scenariju.

Ipak, moguće je koncipirati i jeftin realističan scenarij Programa za produljeni radni vijek, ali on podrazumijeva različita politička usuglašavanja i odluke, pa nije prikladan za detaljno razmatranje u ovakvoj analizi. Primjera radi, moglo bi se a) odlagalište i skladište ING (50 % većeg kapaciteta) samo pomaknuti u budućnost za svih 20 godina, b) razgradnju bez poskupljenja samo pomaknuti za 20 godina, te c) odlagalište NSRAO graditi modularno tako da kapacitet 2018. godine bude pola od sada planiranog (uz npr. 70 % troška), a 20 godina kasnije izgraditi dodatak dvostruko većeg kapaciteta. Uz takve pretpostavke, proračunski jednaki anuiteti iznosili bi 7,65 milijuna eura (umjesto 10,82 milijuna eura u konzervativnom scenariju) i bili bi oko 56 % sadašnjih. Rastuće anuitete produljenje bi reduciralo na manje od polovice realne vrijednosti.

5 ZAKLJUČCI

Ukupni troškovi financiranja Programa prema sadašnjim službenim procjenama ne povećavaju cijenu električne energije toliko da ne bi i dalje ostala značajno jeftinijom od električne energije iz termoelektrana, odnosno od prosječne tržišne cijene električne energije. Za hrvatski fond razgradnje trebalo bi nisku proizvodnu cijenu (oko 2 EURc/kWh) povećati za oko 0,5 EURc/kWh (na hrvatski dio električne energije iz NE Krško).

Pouzdanost ovakve procjene troškova s tehnološkog je stajališta vrlo visoka, jer moguća odstupanja ne prelaze 20 %. Međutim, pouzdanost modela financiranja i pretpostavljenih financijskih parametara (kamata i inflacije) daleko je manja. Tu se ne mogu isključiti dugoročne promjene koje bi zahtijevale povećanje uplata reda veličine 100 %. Zbog toga je predviđeno da će se u redovitim revizijama Programa prema potrebi vršiti korekcije daljnjeg financiranja. Nije, međutim, vjerojatno

estimated increased nominal expenditures of the Program due to the increased quantity of SNF and technological LILW and the consequences of the eventual reconstruction of the existing power plant.

Due to the conservative assumptions in the stated estimate, the reduction in the annuity is not particularly impressive. If an unrealistic hypothetical scenario of the simple postponement of all the activities of the Program for 20 years due to the prolongation of the working lifetime of the power plant were used for purposes of comparison, a budgetary amount of equal annuities of 4,69 million euros would be obtained instead of the 10,82 million euros in the described realistic and conservative scenario of prolongation. The primary reason for such a great difference is not the relations of the nominal expenditures due to additional quantities of waste but the assumed postponement of the individual activities of the Program in the hypothetical scenario.

Nonetheless, it is also possible to conceive of an inexpensive realistic scenario for the Program for the prolongation of the working lifetime, but it would presume various types of political coordination and decisions and is not suitable for detailed consideration in such an analysis. For example, it would be possible a) merely to shift the repository and warehouse for SNF (50 % greater capacity) into the future for the entire 20 years, b) merely to shift the decommissioning 20 years ahead without raising the price, and c) to build the repository for LILW modularly so that the capacity in 2018 would be half of that which is currently planned (at, for example, 70 % of the cost), and to build an addition 20 years later with twice as much capacity. Together with such assumptions, the budgetary equal annuities would amount to 7,65 million euros (instead of 10,82 million euros in the conservative scenario) and would be approximately 56 % of the current ones. The escalating annuities would be reduced by the prolongation to less than half of their real values.

5 CONCLUSIONS

The total expenditures for the financing of the Program according to the current estimates do not increase the price of electricity to such an extent that it would not continue to be significantly less expensive than electricity from thermoelectric power plants, i.e. than the average market price of electricity. For the Croatian decommissioning fund, it would be necessary to increase the low production cost (approximately 2 EURc/kWh) by approximately 0,5 EURc/kWh (on the Croatian share of the electricity from the Krško NPP).

da bi čak i dva ili tri puta povećana izdvajanja za razgradnju mogla ugroziti konkurentnost cijene električne energije iz NE Krško.

Da su hrvatska izdvajanja za razgradnju počela ranije, npr. u vrijeme osnivanja slovenskog fonda, nominalna godišnja izdvajanja prema istom financijskom modelu bila bi otprilike upola manja (zahvaljujući i većoj realnoj vrijednosti istih izdvajanja u ranijim godinama), a sredstva do danas akumulirana u fondu predstavljala bi uvjerljivo jamstvo da buduća izdvajanja neće trebati dramatično uvećavati. Sličan se učinak još uvijek može postići produljenjem radnog vijeka elektrane za 20 godina, mada bi smanjenje godišnjih uplata iznosilo samo jednu četvrtinu njihove realne vrijednosti (ako se procjena vrši konzervativno, samo uz manje prilagodbe Programa).

The reliability of such estimated expenditures from the technological standpoint is very high because the potential deviation does not exceed 20 %. However, the reliability of the financing model and the presumed financial parameters (interest and inflation) is far lower. Here it is not possible to exclude long-term changes that could require an increase in the payment of an order of magnitude of 100 %. Therefore, it is anticipated that correction of the continued financing will be performed as required in the regular audits of the Program. It is not, however, likely that increasing the allocations for decommissioning by even two or three times could endanger the competitiveness of the price of electrical energy from the Krško NPP.

If the Croatian allocations for decommissioning had begun earlier, for example at the time of the establishment of the Slovenian fund, the nominal annual allocation according to the same financial model would have been approximately half as much (owing to the greater real value of the same allocations in earlier years), and the funds accumulated up to the present in the fund would have been a convincing guarantee that future allocations would not need to be increased dramatically. A similar effect can still be achieved by prolonging the working lifetime of the power plant by 20 years, although the reduction in the annual allocations would amount to only one fourth of their real value (if the estimate is performed conservatively, with only minor adjustment to the Program).

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Narodne novine – Međunarodni ugovori, broj 9/2002
- [2] LOKNER, V., LEVANAT, I., RAPIĆ, A., ŽELEZNIK, N., MELE, I., JENKO, T., Program razgradnje nuklearne elektrane Krško i zbrinjavanja nisko i srednje radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva, ARAO/APO 2004, <http://www.apo.hr>
- [3] Narodne novine, broj 175/2004
- [4] <http://www.hep.hr/publikacije/2004godisnje.pdf>
- [5] http://www.nek.si/hr/novinarski_centar/izvjesca
- [6] <http://www.eex.de>
- [7] LEVANAT I., LOKNER V., SUBAŠIĆ D., Scenario Development and Evaluation for the NPP Krško Revised Decommissioning Program, Proceedings of the 5th International Conference on Nuclear Option in Countries With Small and Medium Electricity Grids, Dubrovnik, 2004.
- [8] Development of the site specific decommissioning plan for Krško NPP, NIS Ingenieurgesellschaft GmbH, 1996
- [9] Low-Level Radioactive Waste Repositories: An Analysis of Costs, NEA, Paris, 1999
- [10] Decommissioning Nuclear Power Plants: Policies, Strategies and Costs, OECD/NEA, 2003
- [11] Slovenian Strategy for Disposal of Spent Fuel, McComby, 2004
- [12] The Cost of High-Level Waste Disposal in Geological Repositories, OECD/NEA, 1993
- [13] Internet stranica <http://epp.eurostat.cec.eu>

Uredništvo primilo rukopis:
2006-07-05

Manuscript received on:
2006-07-05

Prihvaćeno:
2006-09-15

Accepted on:
2006-09-15

SVRHA I METODE MODELIRANJA ENERGETSKOG SUSTAVA THE PURPOSES AND METHODS OF ENERGY SYSTEM MODELING

Dr. sc. Helena Božić, Energetski institut Hrvoje Požar,
Savska cesta 163, 10001 Zagreb, Hrvatska
Helena Božić, PhD, Hrvoje Požar Institute for Energy,
Savska cesta 163, 10 001 Zagreb, Croatia

U radu je opisana svrha modeliranja energetskog sustava i podjela modela za planiranje s obzirom na različitosti pristupa i metodologije. Pojava modernih računala i razvoj računalnih programa pojednostavnila je korištenje modela za planiranje. Ovakvi modeli koriste snažne matematičke algoritme i baze podataka koji u relativno kratkom vremenu mogu riješiti vrlo složene probleme. To je dalje omogućilo nastanak tzv. E³ modela (engl. energy-ecology-economy) koji imaju mogućnost istodobnog sagledavanja pitanja vezanih za energetiku, ali i za ekologiju i ekonomiju. Posebno su prikazane karakteristike modela MARKAL kroz primjer integriranog povezivanja s drugim modelima za planiranje. Pokazuje se da je primjena optimizacijskog modela MARKAL za planiranje energetskog sustava Republike Hrvatske od velikog značenja s obzirom na potrebne analize energetskog tržišta jugoistočne Europe, korištenje obnovljivih izvora energije, energetsku učinkovitost i trgovinu emisijama.

This article describes the purpose of energy system modeling and the classification of planning models according to approaches and methodologies. The advent of modern computers and computer programs has simplified the use of planning models. Such models employ powerful mathematical algorithms and databases which can solve highly complex problems in a relatively short time. This has led to energy-ecology-economy (E³) models, which are simultaneously able to consider questions in connection with energy supply, ecology and economics. The characteristics of a MARKAL model are presented separately through an example of integration with other planning models. It is demonstrated that the application of an optimizing MARKAL model for the planning of the energy supply system of the Republic of Croatia is of great significance for the analysis of the energy market of South Eastern Europe, the use of renewable energy sources, energy efficiency and emission trading

Ključne riječi: emisije, energetski sustav, linearno programiranje, model MARKAL, planiranje
Key words: emissions, energy system, linear programming, MARKAL model, planning



1 UVOD

Planiranje energetskeg sustava složen je proces koji se stalno razvija i nadograđuje. Energetski sustav je kompleksan i sastoji se od više međusobno povezanih subjekata, od strane proizvodnje i dobave energije, preko pretvorbe do strane potrošnje energije. Pojava modernih računala i razvoj računalnih programa pojednostavnila je korištenje modela za planiranje. Takvi modeli koriste snažne matematičke algoritme i baze podataka koji u relativno kratkom vremenu mogu riješiti vrlo složene probleme. To je nadalje omogućilo nastanak tzv. E³ modela (engl. energy-ecology-economy) koji imaju mogućnost istodobnog sagledavanja pitanja vezanih za energetiku, ali i za ekologiju i ekonomiju. S druge strane, razvitak modela za planiranje omogućava složene analize poput trgovine energijom i emisijama između više povezanih nacionalnih energetskeg sustava.

Dosadašnja iskustva u području planiranja energetskeg sustava u Republici Hrvatskoj prvenstveno su se odnosila na planiranje energetskeg podsustava (elektroenergetskeg i plinskog sustava), koji su u procesima planiranja bili međusobno povezani, ali ne i integrirano u jednom modelu. Razvoj energetskeg tržišta jugoistočne Europe i potrebe analize područja primjene obnovljivih izvora energije, energetske učinkovitosti i trgovanja emisijama nametnuli su potrebu korištenja integriranih modela, poput modela MARKAL.

2 SVRHA MODELIRANJA ENERGETSKOG SUSTAVA

Zbog složenosti procesa planiranja postavljanje samo jedne definicije koja bi u potpunosti opisala sam proces nije jednostavno, jer se on sastoji od sakupljanja i obrade podataka, izrade scenarija i prognoza potrošnje energije i primjene modela za planiranje. Budući da se svaki model temelji na matematičkim i ekonomskim osnovama, polazna definicija opisuje energetske planiranje kao procjenu i pronalaženje načina izjednačenja ponude i potražnje za energijom uz sagledavanje ekoloških ograničenja.

Prvi modeli nastali ranih 70-tih godina prošlog stoljeća u vrijeme naftne krize bili su inženjerski modeli. Prilikom postavljanja dugoročnih prognoza potrošnje energije polazilo se od ekonomskih parametara (promjena bruto domaćeg proizvoda, broja stanovnika itd.), gdje je svaka promjena parametara značila i potrebu ponavljanja analize

1 INTRODUCTION

The planning of an energy system is a sophisticated process that is subject to ongoing development and refinement. An energy system is complex and consists of numerous interacting entities, including energy production, supply, transformation and consumption. The advent of modern computers and computer programs has simplified the use of planning models. Such models employ powerful mathematical algorithms and databases which can solve highly complex problems in a relatively short time. This has led to energy-ecology-economy (E³) models, which are simultaneously able to consider questions in connection with energy supply, ecology and economics. The development of planning models also facilitates complex analyses, such as energy and emission trading among several interrelated national energy systems.

Experience to date in the planning of the energy system in the Republic of Croatia has primarily involved the planning of energy subsystems (the electricity and gas systems), which were mutually linked in the planning processes but not integrated within a single model. The development of the energy market of South Eastern Europe and the need to analyze the areas of the application of renewable energy sources, energy effectiveness and emission trading have made the use of integrated models such as MARKAL models essential.

2 THE PURPOSE OF ENERGY SYSTEM MODELING

Due to the complexity of the planning process, it is difficult to provide an all-encompassing definition to cover the collection and processing of data, the development of scenarios, forecasts of energy consumption and the application of planning models. Since every model is based upon mathematical and economic foundations, a preliminary definition describes energy planning as the assessment and determination of a manner to equalize the supply and demand for energy, taking ecological restrictions into account.

The first models that appeared in the early 1970s during the time of the oil crisis were engineering models. Long-term forecasts of energy consumption started from economic parameters (trends in the gross domestic product, population figures etc.), where each applied parameter required the re-analysis of energy consumption. This was due to the fact that at the time the energy system represented a very small share of the overall economic system. Thus, for example, during the 1970s the energy

potrošnje energije. Razlog je bio u činjenici da je tada energetski sustav činio jako maleni dio u ukupnom gospodarskom sustavu. Tako na primjer, 70-tih godina prošlog stoljeća energetski ulaz SAD nije bio veći od 4 % njenog BDP, dok je u Velikoj Britaniji bio oko 5 % [1].

Naftna kriza nametnula je početak razmišljanja o rizicima smanjenja raspoloživosti energetskih izvora kao i rasprave oko primjene nuklearne energije. Time je stvorena podloga za razvikanje modela koji su imali mogućnost prikazivanja tehnoloških promjena unutar sustava. Tijekom 70-tih godina prošlog stoljeća uvedena je i mogućnost analize emisije stakleničkih plinova, a usporedno je počela primjena prvih dinamičkih optimizacijskih linearnih modela [2]. Dodatni razvoj i primjena modela nametnuli su potrebu analize utjecaja energetskog sustava na gospodarstvo, što je rezultiralo kombinacijom inženjerskog i ekonomskog modela u jedinstveni model. Primjene modela za planiranje energetskog sustava su raznolike, a kao primjeri mogu se navesti:

- analiza utjecaja između zemalja ili teritorijalnih segmenata unutar jedne zemlje, koji se međusobno razlikuju u klimatskim obilježjima, propisima koji se odnose na emisije stakleničkih plinova, raspoloživosti energetskih izvora, mogućnostima uvoza/izvoza energije i karakteristikama potrošnje,
- analiza novih energetskih tržišta i tehnologija,
- sagledavanje posljedica primjene poreza, subvencija i regulacije na tržištima,
- utjecaj uklanjanja subvencije na određeni energent u energetskom sustavu,
- račun emisija stakleničkih plinova i njihov utjecaj na sustav (mjere za smanjenje emisija, ograničenja na količinu emisija, međunarodne obveze poput Kyoto protokola, trgovanje emisijama),
- izrada studija i planova razvoja i strategije,
- analiza diverzifikacije energenata, sagledavanje ekonomskog i ekološkog utjecaja,
- primjena novih tehnologija za proizvodnju i potrošnju energije,
- povezivanje i međudjelovanje energetskog sustava s gospodarstvom,
- posljedice uvođenja ili prestanka pogona nuklearne elektrane na sustav,
- analiza utjecaja mjera na potrošnju energije na proizvodnju energije i obratno.

Modeli za planiranje koriste se za rješavanje složenih problema zbog čega je najčešće potrebno osigurati velike količine podataka i postaviti više različitih scenarija događaja unutar sustava. Postavljeni model mora biti jednostavan za

input in the United States did not exceed 4 % of the GDP, while in Great Britain it was approximately 5 % [1].

The oil crisis prompted deliberations on the risks of reducing available energy sources as well as discussions on the applications of nuclear energy. Thus, a foundation was created for the development of models that were able to represent technical changes within a system. During the 1970s, it also became possible to analyze emissions of greenhouse gases, and there were early concomitant applications of the first dynamic optimizing linear models [2]. Further development and the application of models made it necessary to analyze the impact of the energy system upon the economy, which resulted in the combining of engineering and economic models into a unified model. The applications of models for the planning of energy systems are varied, and the following examples may be cited:

- analysis of the influences among countries or territorial segments within a country, which differ from each other regarding climatic characteristics, regulations on greenhouse gas emissions, availability of energy sources, options for the import/export of energy and the characteristics of consumption,
- analysis of new energy markets and technologies,
- review of the impact of applied taxes, subsidies and regulations on the market,
- the effect of eliminating subsidies on a particular energy source in the energy system,
- calculation of greenhouse gas emissions and their impact upon the system (measures for reducing emission, restrictions on the quantities of emissions, international obligations such as the Kyoto Protocol and emission trading),
- preparation of studies, development plans and strategies,
- analysis of the diversification of energy sources, survey of the economic and ecological impact,
- application of new technologies for the production and consumption of energy,
- linkage and interaction of the energy system with the economy,
- the consequences of the introduction or the termination of a nuclear power plant on the system,
- analysis of the impact of energy consumption measures on energy production, and energy production measures on energy consumption.

Planning models are used to solve complex problems, for which it is most often necessary to obtain a large quantity of data and present several different scenarios for events within the system. The model presented must be simple to use but at

korištenje, ali istodobno mora dovoljno detaljno opisivati promatrane probleme. Pravilo dobro postavljenog modela je njegova razumljivost; kvaliteta dobivenih rezultata ovisit će o iskustvu korisnika modela i kvaliteti ulaznih podataka.

Kriteriji prema kojima se modeli međusobno razlikuju su [3]:

Razina analize – pristupa, vremenskog razdoblja i složenosti problema:

- teritorijalna podjela (globalna, međudržavna, nacionalna, teritorijalna podjela unutar jedne zemlje, lokalna),
- korisnici modela (međunarodne institucije i organizacije, nacionalne institucije, kompanije, pojedinci),
- vremensko razdoblje: jako dugoročno, dugoročno, srednje, kratko, vrlo kratko,
- složenost problema (prema vrstama energije, teritorijalnoj podjeli, funkciji cilja koja se u slučaju linearnih modela može sastojati od jednog ili više parametara),

Analiza dijela energetskog sustava:

- strana potrošnje energije; u modeliranju strane potrošnje energije postoje dva pristupa:
 - pristup odozgo prema dolje (engl. top-down approach) – opisuje potrošnju energije na temelju nekoliko osnovnih parametara i koristi statističku analizu za pronalaženje relacije između korištenih indikatora (napr. potrošnja energije je funkcija broja stanovnika, BDP, cijene itd.). Takav pristup prikladniji je za kratkoročne analize, budući da u kratkom vremenskom razdoblju nema većih promjena u parametrima,
 - pristup odozdo prema gore (engl. bottom-up approach) – koristi detaljniji pristup, zahtijeva više podataka, uzima u obzir političke odluke i modelira tehničke promjene. Takav pristup bolji je za dugoročne analize. U stvarnosti se koriste kombinacije oba pristupa, na način da se pristup odozgo prema dolje koristi za postavljanje prognoza potrošnje energije, što se dodatno kombinira s modelom za analizu potrošnje energije (pristup odozdo prema gore),
- strana proizvodnje energije,
- kombinirani prikaz strane potrošnje i proizvodnje energije – ravnotežni pristup (engl. equilibrium modelling).

the same time must describe the problems under consideration in sufficient detail. The rule for a well presented model is its understandability. The quality of the obtained results will depend on the expertise of the model user and the quality of the input data.

The criteria for differentiating models may be classified as follows [3]:

Analysis level – approach, time frame and the complexity of the problem:

- territorial division (global, international, national, territorial divisions within a country, local),
- model users (international institutions and organizations, national institutions, companies, individuals),
- time frame: very long term, long term, medium term, short term, very short term,
- problem complexity (according to energy type, territorial division, goal function, which in the case of linear models may consist of one or more parameters),

Analysis of part of the energy system:

- the side of energy consumption; there are two approaches in the modeling of the sides of energy consumption:
 - the top-down approach describes the consumption of energy on according to several basic parameters and employs statistical analysis to find correlation among the indicators used. (for example, energy consumption is a function of the number of inhabitants, GDP, prices etc). Such an approach is more suitable for short-term analyses, since there are no major changes in the parameters over a short period of time,
 - the bottom-up approach employs a more detailed approach, requires more data, takes political decisions into account and models technical changes. Such an approach is better for long-term analyses. In reality, a combination of both approaches is employed, in such a manner that the top-down approach is used for forecasting energy consumption, which is additionally combined with a model for the analysis of energy consumption (bottom-up approach),
- energy production side,
- a combined presentation of the energy consumption and energy production sides – equilibrium modeling.

Proces modeliranja je složen proces koji obuhvaća [4]:

Postavljanje pretpostavki:

- definiranje ulaznih podataka (baza podataka),
- odabir detaljnosti prikaza problema,

Definiranje modela:

- kalibracija bazne (početne) godine (postavljanje parametara u modelu tako da rezultat proračuna za baznu godinu odgovara stvarnim podacima iz energetske bilance ili vremenske serije podataka),
- definiranje scenarija,
- izrada prognoze potrošnje energije,

Konzultacije s korisnicima rezultata modela:

- pravilno tumačenje rezultata proračuna,
- primjena rezultata u praksi.

Osnova svakog modela za planiranje je integrirani pristup modeliranju, koji se očituje kao međudjelovanje sektora potrošnje (potražnje) i proizvodnje (ponude) energije, kao i povratna veza između cijene i potrošnje energije. Međudjelovanje sektora potrošnje i proizvodnje energije (slika 1) omogućuje sagledavanje utjecaja koje određena promjena u potrošnji energije (npr. primjena mjera upravljanja potrošnjom (DSM) ili uvođenje nove tehnologije) na vrhu mreže, ima na sve podsektore prema njenom dnu. Isto tako vrijedi i princip suprotnog smjera, tj. da promjene u proizvodnji energije (napr. ograničenje energetskih resursa) imaju za posljedicu promjene u potrošnji energije [5].

The modeling process is a complex process that includes the following [4]:

Statement of hypothesis:

- definition of the input data (database),
- selection of the level of detail for presenting the problem,

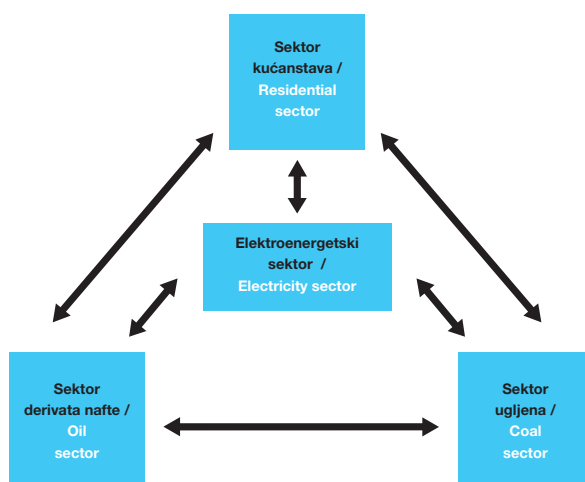
Model definition:

- calibration of the base (initial) year (setting parameters in the model so that the result of the calculation for the base year corresponds to the actual data from the energy balance or the time series of the data),
- definition of the scenarios,
- forecast of energy consumption,

Consultations with the users of the model results:

- correct interpretation of the calculation results,
- applying the results in practice.

The basis of every planning model is an integrated modeling approach to the interaction of the consumption sector (demand) and the production sector (supply), as well as the feedback connection between energy prices and consumption. The interaction of the sectors of energy consumption and production (Figure 1) make it possible to study the effects that certain changes in energy consumption (for example, the impact of the application of demand side management (DSM) measures or the introduction of new technologies) at the top of the network, exerts upon all the sub-sectors toward the bottom. Likewise, the principle of opposite directions also applies, i.e. changes in energy production (for example, limited energy resources) lead to changes in energy consumption [5].

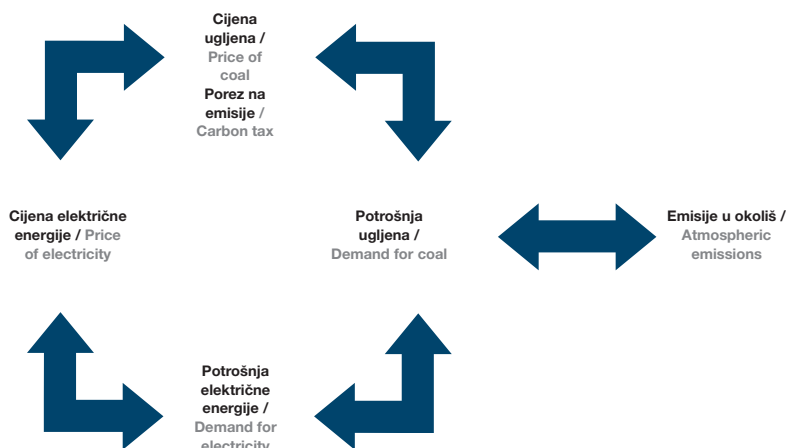


Slika 1
Integrirani pristup modeliranju energetskog sustava
Figure 1
Integrated approach to the modeling of an energy system

Integrirani pristup modeliranju omogućuje i sagledavanje povratne veze između cijene i proizvodnje (potrošnje) energije i samim time emisija u okoliš (slika 2). Svaki model temeljen je na matematičkim postavkama ekonomskih funkcija ponude i potražnje.

An integrated approach to modeling also provides insight into the feedback effect between the prices and production (consumption) of energy and thereby emissions into the environment (Figure 2). Each model is based upon the mathematical precepts of the economic functions of supply and demand.

Slika 2
Integrirani pristup
povratne veze između
cijene, potrošnje
energije i emisija
Figure 2
Evaluation of
feedback effects in
integrated framework



3 KLASIFIKACIJA MODELA ZA PLANIRANJE ENERGETSKIH SUSTAVA

3 THE CLASSIFICATION OF MODELS FOR THE PLANNING OF ENERGY SYSTEMS

3.1 Potreba klasifikacije modela

Razvojem informatičke tehnologije došlo je do pojave velikog broja različitih modela za planiranje energetske sustava. Razlika među modelima je velika s obzirom na njihove mogućnosti i namjene. Iz tog razloga javila se potreba za klasifikacijom modela, da bi se što bolje moglo odrediti koji model je najpogodniji za specifični problem kojeg treba analizirati. U procesu odabira najpogodnijeg modela za prikaz određenog energetske sustava, potrebno je uzeti u obzir sljedeće:

- prikazivanje energetske sustava od primarne strane do strane potrošnje ili postavljanje naglaska na određene dijelove sustava (napr. samo strana potrošnje),
- prikazivanje energetske sustava i promatranje utjecaja na gospodarstvo,
- da li se model želi primijeniti na razvijenu ekonomiju ili zemlju u razvoju ili tranziciji,
- je li potrebno naglasiti projekcije potrošnje, diversifikacije energetske izvora, međudjelovanje između primarne strane i strane potrošnje, ekološke utjecaje, ili sve zajedno,
- promatra li se nacionalni energetske sustav, ili se radi o teritorijalnoj podjeli unutar sustava,

3.1 The need to classify models

With the development of information technology, a large number of various models have appeared for the planning of energy systems. The differences among the models are considerable in terms of their possibilities and purposes. For this reason, the need has arisen for the classification of models, in order to determine which model is the most suitable for a specific problem that must be analyzed. In the process of the selection of the most suitable model for the representation of a specific energy system, it is necessary to take the following into account:

- representation of the energy system from the primary side to the side of consumption or the emphasis of specific parts of the system (for example, only on the consumption side),
- representation of the energy system and analysis of the impact upon the economy,
- whether model is to be applied to a developed economy, a developing country or a country in transition,
- whether it is necessary to place emphasis upon projections of consumption, diversification of energy sources, interaction between the primary side and the consumption side, ecological impact, or all of these together,

- sektore potrošnje obuhvaćene analizom,
- promatrano vremensko razdoblje.

3.2 Podjela modela za planiranje

Postoje karakteristike zajedničke svim energetske modelima. Tako svaki od njih predstavlja pojednostavnjenu sliku realnosti i uključuje sve aspekte za koje korisnik smatra da su bitni za prikaz sustava. Također svi modeli koji sadrže projekcije buduće potrošnje energije moraju sadržavati i pretpostavke pomoću kojih se definiraju promatrani scenariji. Točnost postavljenih pretpostavki utječe na rezultate dobivene modelskom analizom [6]. Osnovne karakteristike na temelju kojih se modeli međusobno razlikuju su:

- općenite i posebne namjene energetskih modela,
- struktura modela: unutarnje i vanjske pretpostavke,
- analitički pristup: odozgo prema dolje i odozdo prema gore,
- metodologija,
- matematički pristup,
- promatrano područje: globalno, nacionalno i lokalno,
- sektori potrošnje,
- vremensko razdoblje: kratkoročno, srednjoročno i dugoročno,
- zahtjevi za podacima.

3.2.1 Općenite i posebne namjene energetskih modela

Općenite i posebne namjene modela služe za objašnjenje načina prikazivanja budućih zbivanja u modelu s obzirom na:

- Predviđanje buduće potrošnje – Budući da se predviđanje potrošnje energije temelji na ekstrapolaciji trendova potrošnje iz prošlosti, takvi modeli koriste se za analizu relativno kratkoročnih utjecaja. Bitni uvjet koji se postavlja na takve modele je da ključni parametri unutar modela (poput elastičnosti), moraju ostati konstantni tijekom promatranog razdoblja. Takav pristup zahtijeva prikaz ekonomskog ponašanja subjekata unutar modela i uglavnom se primjenjuje u kratkoročnim, ekonometrijskim modelima.
- Istraživanje buduće potrošnje (analiza scenarija) – Istraživanje buduće potrošnje provodi se pomoću analize scenarija, referentnog (osnovnog) i posebnih scenarija. Pretpostavke koje određuju posebne scenarije i što ih razlikuje od referentnog scenarija, odnose se na ograničenje raspoloživosti energetskih izvora, tehnički napredak, gospodarski rast ili

- whether the national energy system or a territorial division within the system is being considered,
- the consumption sectors included in the analysis, and
- the time frame under consideration.

3.2 Classification of planning models

There are characteristics common to all energy models. Thus, each of them represents a simplified picture of reality and includes all the aspects that the user considers to be essential for presenting the system. Furthermore, all models that contain projections of future energy consumption must also contain assumptions according to which the scenarios considered are defined. The accuracy of the assumptions affect the results obtained through model analysis [6]. The basic characteristics according to which models differ from each other are as follows:

- the general and specific purposes of energy models,
- model structure: internal and external assumptions,
- analytical approach: top-down and bottom-up,
- methodology,
- mathematical approach,
- geographical coverage: global, national and local,
- consumption sectors,
- time frame: short term, medium term and long term, and
- data requirements.

3.2.1 The general and specific purposes of energy models

The general and specific purposes of models serve to explain the manner of presenting future events in the model, taking the following into account:

- Consumption forecasting – Since energy consumption forecasts are based on the extrapolation of consumption trends from the past, such models are used for the analysis of relatively short-term impacts. An essential prerequisite assumed for such models is that the key parameters within the models (such as elasticity), must remain constant throughout the observed time frame. Such an approach requires the representation of the economic behavior of the subjects within the model and is generally applied in short-term econometric models.
- Investigation of future consumption (scenario analysis) – Investigation of future consumption is performed with the help of scenario analysis, reference (basic/background) and intervention (specific) scenarios. The assumptions that

rast broja stanovnika. Takav pristup pomoću analize scenarija može se primijeniti kod modela s pristupom odozgo prema dolje i odozdo prema gore.

- Modeli za analizu potrošnje energije – promatraju potrošnju energije kao funkciju promjene broja stanovnika, dohotka i cijena energije.
- Modeli za analizu proizvodnje energije – Temeljeni su uglavnom na tehničkim aspektima energetskog sustava i brinu o zadovoljenju uvjeta ravnoteže između ponude i potražnje energije, ali mogu uključivati i financijske aspekte koji se analiziraju metodom najmanjeg troška.
- Modeli za analizu utjecaja unutar sustava – Utjecaj može uzrokovati postojanje određenog energetskog sustava ili uvođenje posebnih mjera, što može dovesti do promjene financijske situacije, socijalnih odnosa (zapošljavanje) ili utjecaja na zdravlje i okoliš (emisije, otpad).
- Modeli za ocjenu – U slučaju postojanja više opcija one se moraju usporediti i ocijeniti da bi se odabrala najbolja koja odgovara rješenju problema. Kriteriji za usporedbu mogu biti različiti, od kojih se najčešće koristi efikasnost (tehnička i troškovna).

3.2.2 Struktura modela: unutarnje i vanjske pretpostavke

S obzirom na strukturu razlikuju se četiri vrste modela:

- Stupanj endogenizacije – Endogenizacija je pokušaj sagledavanja svih parametara unutar modelskih jednažbi da bi na taj način broj vanjskih (egzogenih) parametara bio najmanji mogući. Ovakav pristup koriste modeli za predviđanje potrošnje.
- Opis neenergetskih sektora unutar gospodarstva – Komponente neenergetskih sektora uključuju investicije, trgovinu, potrošnju neenergetskih dobara i usluga, raspodjelu dohotka i slično. Pomoću prikaza ponašanja u neenergetskim sektorima, model može analizirati utjecaj mjera energetske politike na gospodarstvo.
- Opis krajnjih sektora potrošnje – uzimajući u obzir detaljniji prikaz sektora krajnje potrošnje energije, model postaje prihvatljiviji za analizu tehnološkog potencijala energetske učinkovitosti.
- Opis tehnologija za proizvodnju energije – Mogućnosti prikazivanja novih tehnologija za proizvodnju energije najbolje se analiziraju modelima koji omogućuju detaljni prikaz tehnologija. Većina modela s ekonomskom pozadinom predstavlja tehnologije vrlo

determine specific scenarios and which differentiate them from reference scenario refer to the limited availability of energy sources, technical progress, economic growth or population growth. Such an approach using scenario analysis can be applied with top-down and bottom-up models.

- Models for the analysis of energy consumption – These models study energy consumption as a function of changes in population figures, income and energy prices.
- Models for the analysis of energy production – These models are generally based upon the technical aspects of the energy system and are concerned with meeting the requirements for equilibrium between energy supply and demand, but can also include the financial aspects that are analyzed using the least-cost method.
- Models for the analysis of endogenous impacts – Impact can be caused by the existence of a particular energy system or the introduction of special measures, which can lead to changes in the financial situation, social relations (employment), or affect health and the environment (emissions, waste).
- Appraisal models – In the event that there are several options, they must be compared and appraised in order to select the best option for solving the problem. The criteria for comparison may be varied, of which the most frequently used is efficiency (technical and cost).

3.2.2 Model structure: internal and external assumptions

Based upon structural differences, there are four types of models:

- Degree of endogenization – Endogenization is the attempt to incorporate all the parameters within model equations in order to minimize the number of external (exogenous) parameters. Such an approach is used in predictive models of consumption.
- Description of the non-energy sectors within the economy – The components of the non-energy sectors include investment, trade, consumption of non-energy goods and services, income distribution etc. By depicting behavior in the non-energy sectors, the model can analyze the impact of energy policy measures on the economy.
- Description of energy end-use sectors – Taking a detailed description of the energy end-use sectors into account, the model is suitable for analyzing the technical potential for energy efficiency.

općenito, poput crne kutije, što ih čini manje pogodnima za analizu različitih tehnologija.

Kod modela kojima vrijednosti parametara nisu određene unutar modela, njihove vrijednosti mora postaviti korisnik. Kao primjeri vanjskih pretpostavki mogu se navesti:

- porast broja stanovnika (uz uvjet da su ostale stvari jednake, porast broja stanovnika uvjetuje porast potrošnje energije),
- gospodarski porast (ima za posljedicu povećanje aktivnosti koje troše energiju i smanjuje vrijeme trajanja energetske opreme),
- potražnja (potrošnja) energije (na potrošnju energije utječu strukturne promjene u gospodarstvu, kao i izbor tehnologija i primjena mjera energetske učinkovitosti),
- ponuda (proizvodnja) energije (određena je raspoloživošću alternativnih izvora energije, proizvodnim tehnologijama i potražnjom energije),
- elastičnost potražnje na cijenu i elastičnost potražnje na dohodak (elastičnost je mjera relativne promjene potražnje za energijom, u odnosu na relativne promjene u cijenama energije i dohocima),
- porezni sustav (utjecaj poreza na ukupne troškove u energetske sustavima).

3.2.3 Analitički pristup

S obzirom na način povezivanja energetskeg sustava i gospodarstva, modeli se mogu podijeliti na dvije osnovne skupine: s ekonomskim pristupom odozgo prema dolje i inženjerskim pristupom odozdo prema gore. Važnost takve podjele modela interesantna je sa stanovišta različitih posljedica njihove primjene, koje nastaju zbog načina korištenja tehnologija, ponašanja gospodarskih subjekata i načina djelovanja tržišta energije. Razlika između pristupa odozgo prema dolje i odozdo prema gore može se definirati kao razlika između općenitog i detaljnog modelskog prikaza, odnosno kao razlika između modela s minimalnim i maksimalnim stupnjem endogenizacije.

Prvi energetske modeli bili su vrlo općeniti modeli s pristupom odozgo prema dolje, gdje je za predviđanje potrošnje korišten samo ekonomski pristup za predviđanje potrošnje energije. Proizvodna funkcija korištena u tim modelima predstavljala je tehnologiju kao crnu kutiju i uključivala je samo općenite varijable za opis energetske potražnje. Kao odgovor na takav pristup, razvili su se prvi oblici inženjerskih simulacijskih modela.

- Description of energy supply technologies –The potential for presenting new technologies for energy production can best be analyzed using models that allow for a detailed description of the technologies. The majority of models with an economic background represent technology in a very general manner, like a black box, which makes them less suitable for analyzing various technologies.

For models in which the parameter values are not assumed within the model, the user will have to make assumptions about the values. Examples of external assumptions include the following:

- population growth (under the condition that other things remain equal, population growth causes increased energy consumption),
- economic growth (results in an increase in activities that consume energy and reduces the working lifetime of energy equipment),
- energy demand (consumption) (affected by structural changes in the economy, as well as the choice of technology and measures of energy efficiency),
- energy supply (production) (determined by the availability of alternative energy sources, production technologies and energy demand),
- price and income elasticities of energy demand (elasticity is a measure of the relative change in energy demand, in comparison to the relative changes in energy prices and incomes),
- tax system (the impact of taxes on the total costs in energy systems).

3.2.3 The analytical approach

Due to the manner in which the energy system and economy are connected, models can be classified into two basic groups: from the economic approach of top-down and the engineering approach of bottom-up. The importance of such model classification is interesting from the standpoint of the differing results of their application, that occur due to the manner in which technology is used, the behavior of economic entities and the manner of the operations of the energy market. The difference between the top-down and bottom-up approaches may be defined as the difference between a general and detailed model representation, i.e. as the difference between models with minimum and maximum degrees of endogenization.

The first energy models were very general models with the top-down approach, where only an economic approach for forecasting energy consumption was used for consumption forecasting. The production function used in these models represented technology as a black box and included

Inženjerski modeli s pristupom odozdo prema gore opisuju tehnike, načine izvođenja i direktne troškove svih tehnoloških opcija u cilju definiranja mogućih poboljšanja i učinkovitosti korištenja tehnologija, uz zanemarenje povratne veze prema gospodarstvu. Takvi modeli obično promatraju samo energetske sustav korištenjem podataka za prikaz sektora potrošnje energije.

U analizi interakcije između energetske sektora i gospodarstva ekonomski modeli koriste relacije za opis tih sustava. Takvi se modeli mogu koristiti samo uz uvjet da su njihovi parametri određeni na osnovi podataka o potrošnji energije u prošlosti. S druge strane, inženjerski modeli koriste se samo u slučajevima gdje nema povratne veze između energetske sektora i gospodarstva.

S obzirom na modelsku strukturu, prvi ekonomski modeli imali su visoki stupanj endogenizacije i mogućnosti prikazivanja sektora gospodarstva, dok su prvi inženjerski modeli mogli dobro prikazati krajnje sektore potrošnje i tehnologije za proizvodnju energije. S vremenom su razlike između tih modela postale manje, zahvaljujući mogućnosti kombinacije tih pristupa i razvoja hibridnih energetske-ekonomskih modela. Takvi su modeli namijenjeni prikazivanju povratne veze između gospodarstva i potrošnje energije, ne uključujući detalje vezano za same tehnologije unutar sektora potrošnje (efekt ekonomske povratne veze).

3.2.4 Podjela modela s obzirom na metodologiju

S obzirom na metodologiju modeli za planiranje mogu se podijeliti na ekonometrijske, makro-ekonomske, modele ekonomske ravnoteže, optimizacijske i simulacijske modele.

Ekonometrijski modeli koriste statističke metode za ekstrapolaciju tržišnih zbivanja i njihovu primjenu u budućnosti i uglavnom se koriste u okviru makroekonomskih analiza. Nedostatak ekonometrijske metode je što ne prikazuje određenu tehnologiju, a zahtjevna je i u pogledu potrebnih podataka.

Glavno obilježje makroekonomskih modela je mogućnost analize gospodarstva i međusobne interakcije među sektorima (poput energetske sustava kao jednog od sektora) pomoću ulazno-izlaznih tablica. Kao i u slučaju ekonometrijskih modela, primjena makroekonomskih modela zahtijeva relativno visoku razinu iskustva.

Dok se ekonometrijski i makroekonomski modeli uglavnom koriste za analizu kratkoročnih ili srednjoročnih efekata potrošnje energije, modeli

only a general variable to represent energy demand. The first forms of engineering simulation models were developed in response to such an approach.

Engineering models with the bottom-up approach describe the techniques, manners of implementation and direct costs of all the technological options for the purpose of defining potential improvements and the effectiveness of the technologies used, while neglecting the feedback connection with the economy. Such models generally only describe the energy system by using data for the presentation of the energy consumption sector.

In the analysis of the interaction between the energy sector and the economy, economic models use relations for the description of these systems. Such models can only be used under the condition that their parameters are determined on the basis of data on energy consumption in the past. On the other side, engineering models are used only in cases where there is no feedback connection between the energy sector and the economy.

Regarding the model structure, the first economic models had a very high degree of endogenization and the ability to describe the economic sector, while the first engineering models were able to present the end-use sectors of consumption and the technologies for producing energy. With time, the differences between these two models diminished, owing to the possibilities for combining these approaches and the development of hybrid energy-economic models. Such models were intended to show the feedback connections between the economy and energy consumption, without including details connected with the technologies within the consumption sector (the effect of economic feedback connection).

3.2.4 Classification of models according to methodology

Regarding methodology, planning models can be classified as econometric, macroeconomic, economic equilibrium, optimization and simulation models.

Econometric models use statistical methods for the extrapolation of market events and their application in the future. They are generally applied within the framework of macroeconomic analyses. A shortcoming of the econometric method is that it does not represent specific technologies, and it is demanding in respect to the data required.

The chief characteristic of macroeconomic models is the possibility for the analysis of the economic and mutual interactions among sectors (such as the energy system as one of the sectors) using

ekonomske ravnoteže koriste se za dugoročne analize energetskog sektora i njegove povezanosti s gospodarstvom. Modeli ekonomske ravnoteže dijele se na modele djelomične i potpune ravnoteže ili modele optimalnog porasta. Modeli djelomične ravnoteže usmjereni su na prikazivanje ravnoteže u pojedinim dijelovima gospodarstva, kao što je ravnoteža između potrošnje i proizvodnje energije. Modeli potpune ravnoteže promatraju ravnoteže na svim tržištima promatranog gospodarstva, s naglaskom na prikazivanje povratnih veza među pojedinim tržištima.

Optimizacijski modeli koriste metodologiju optimizacije za postizanje optimalnih investicijskih strategija. Osnovni uvjet postizanja optimalnog rješenja problema jest zadovoljenje zadanih ograničenja u energetskom sustavu (poput ograničenja raspoloživosti primarne energije i emisije stakleničkih plinova).

Simulacijski modeli su opisni modeli temeljeni na logičkom prikazu sustava i dijele se na statičke (promatraju samo jedno razdoblje) i dinamičke (na rezultat jednog razdoblja utječu rezultati iz prijašnjih razdoblja) i koriste se za analize scenarija potrošnje energije.

3.2.5 Matematički pristup u modelima za planiranje
Najčešće korištene matematičke tehnike u energetskim modelima su linearno, mješovito-cjelobrojno i dinamičko programiranje.

Linearno programiranje je matematička tehnika temeljena na principu maksimiziranja ili minimiziranja zadanog kriterija uz zadana ograničenja. Mješovito-cjelobrojno programiranje razvilo se kao nastavak linearnog programiranja i primjenjuje se za analize čiji su rezultati cjelobrojni. Dinamičko programiranje je metoda koja polazni problem dijeli na više manjih problema i za svaki od njih pronalazi optimalno rješenje.

U novije vrijeme koriste se modeli s tehnikom stohastičkog i Fuzzy-linearnog programiranja za rješavanje problema postojanja neodređenosti u vrijednostima parametara, podataka i varijabli odlučivanja (rješenja linearnog programa) [7].

3.2.6 Promatrano područje: globalni, nacionalni i lokalni modeli za planiranje
Globalni modeli opisuju stanje u svjetskoj energetici, nacionalni modeli prikazuju model energetskog sustava određene zemlje, a lokalnim

input-output tables. As in the case of econometric models, the application of macroeconomic models requires a relatively high level of experience.

While econometric and macroeconomic models are chiefly used for the analysis of the short-term or medium-term effects of energy consumption, economic equilibrium models are used for the long-term analysis of the energy sector and its linkage with the economy. Economic equilibrium models are divided into partial equilibrium models and general equilibrium models or optimal growth models. Partial equilibrium models are focused on presenting equilibria in individual parts of the economy, such as the equilibrium between energy consumption and production. General equilibrium models consider the equilibria in all the markets of the economy being studied, with emphasis on presenting the feedback connections among individual markets.

Optimization models use optimization methods in order to reach optimal investment strategies. The basic requirement for achieving an optimal solution to a problem is meeting the given constraints in the energy system (such as constraints on the availability of primary energy and greenhouse gas emissions).

Simulation models are descriptive models based upon the logical representation of a system and can be static (considering only one time period) or dynamic (the result of a time frame are affected by the results of previous periods) and are used for the analysis of energy consumption scenarios.

3.2.5 The mathematical approach in planning models
The most commonly used mathematical techniques in energy models are linear, mixed-integer and dynamic programming.

Linear programming is a mathematical technique based upon the principle of maximizing or minimizing a defined criterion, subject to the operative constraints. Mixed-integer programming developed as a continuation of linear programming and is applied to analyses in which the results are integers. Dynamic programming is a method that divides the original problem into several sub-problems and finds the optimal solution for each of them.

Recently, models with stochastic and fuzzy-linear programming have been used for solving problems with some uncertainty in the parameters, data and variables of decision making (linear program solutions) [7].

se modelima analiziraju manje teritorijalne cjeline unutar jedne zemlje, poput županije ili grada.

3.2.7 Promatrani sektori potrošnje energije

Modeli mogu biti namijenjeni analizi samo jednog sektora potrošnje energije, kao što je slučaj za većinu inženjerskih modela, ali postoje i modeli za analizu više sektora istodobno. Kod ovakve podjele modela ključna pretpostavka je način podjele gospodarstva na određene sektore. Modeli koji promatraju više sektora gospodarstva mogu se koristiti za analize na globalnoj, nacionalnoj i lokalnoj razini, uz postojanje međusobne interakcije svih sektora. Modeli sa samo jednim sektorom (energetski sustav) promatraju isključivo taj sektor ne uzimajući u obzir makroekonomske veze tog sektora i ostalih sektora.

3.2.8 Vremensko razdoblje: kratkoročno, srednjoročno i dugoročno

Budući da ne postoji standardna definicija koja određuje duljinu kratkoročnog, srednjoročnog i dugoročnog razdoblja, može se okvirno definirati trajanje kratkoročnog razdoblja u iznosu od 5 ili manje godina, srednjoročnog između 5 i 15 godina i dugoročnog 15 ili više godina.

3.2.9 Zahtjev za podacima

S obzirom na vrstu podataka potrebnih za analizu promatranog sustava, postoji razlika između vrsta podataka (novčani, energetski) i manje ili više detaljnih podataka.

3.3 Primjeri modela za planiranje energetskih sustava

Najčešće korišteni modeli za planiranje energetskih sustava su optimizacijski modeli. Njihova dodatna podjela moguća je s obzirom na kriterije:

- broj vremenskih razdoblja – statički (jedno vremensko razdoblje) ili dinamički (više razdoblja),
- modelski parametri – mogu biti konstantne veličine (deterministički model), definirani kao slučajne veličine (stohastički model) ili se mogu mijenjati sistematički (parametrijski model),
- ponašanje varijabli u optimalnom rješenju – varijable mogu poprimiti bilo koju vrijednost koja zadovoljava ograničenja (kontinuirani model), diskretne vrijednosti (cjelobrojni ili diskretni model), odnosno kontinuirane i cjelobrojne vrijednosti (engl. mixed model).

3.2.6 Geographical coverage: global, national and local planning models

Global models represent the world energy situation, national models represent a model of the energy system of a specific country, and local models analyze smaller territorial entities within a country, such as a county or city.

3.2.7 Coverage of energy consumption sectors

Models can be intended for the analysis of only a single sector of energy consumption, as is the case for the majority of engineering models, but there are also models for the analysis of several sectors at the same time. A key assumption in such modeling is the manner of dividing the economy into certain sectors. Models that cover several sectors of the economy can be used for analysis on the global, national and local levels, with mutual interaction among all the sectors. Models with only one sector (energy system) focus exclusively on that sector, without taking into account the macroeconomic linkages between that sector and other sectors.

3.2.8 Time period: short-term, medium-term and long-term

Since there is no standard definition that determines the length of short-term, medium-term and long-term time frames, it is generally possible to define a short-term time frame as 5 years or less, between 5 and 15 years for medium-term time frame and 15 years or more for a long-term time frame.

3.2.9 Data requirements

Regarding the type of data required for the analysis of a system, there are differences among the types of data (monetary, energy) as well as more or less detailed data.

3.3 Examples of energy planning system models

The most commonly used models for the planning of energy systems are optimization models. It is possible to classify them further, according to the following criteria:

- the number of time periods – static (one time period) or dynamic (several periods),
- model parameters – can be of constant values (deterministic model), defined as chance values (stochastic model) or it can change systematically (parametric model),
- behavior of variables in the optimal solution – variables can assume any value that meets the constraints (continuous model), discrete values (integer or discrete model), or continuous and integer values (mixed model).

Dinamički optimizacijski modeli kao inženjerski modeli koriste mogućnost savršenog predviđanja, tj. donošenja ekonomski optimalnih rješenja na temelju potpunog poznavanja budućih parametara u sustavu. Primjer modela koji prikazuju isključivo energetske sustave su optimizacijski modeli poput MARKAL (MARKet ALlocation), MESSAGE (Model for Energy Supply System Alternatives and their General Environmental Impacts), EFOM (Energy Flow Optimisation Model) i TIMES (The Integrated Markal Eform System) [4].

Uza sve prednosti dinamičkih optimizacijskih modela nedostatak im je što ne prikazuju ponašanje potrošača i zanemaruju vezu potrošnje i cijene energije (što nije slučaj za model MARKAL gdje postoji nadogradnja modela s obzirom na mogućnost korištenja parametara elastičnosti).

Modeli s kombiniranim inženjerskim i ekonomskim pristupom poput modela MARKAL-MACRO mogu optimizirati povezanost gospodarstva i energetske sustava. Dok model MARKAL koristi inženjerski pristup odozdo prema gore i na taj način prikazuje energetske sustave s bogatom bazom podataka, prikaz gospodarstva modelom MACRO prilično je jednostavan.

Model MACRO definira dugoročni gospodarski razvitak kao agregatnu ponudu prikazanu pomoću funkcije proizvodnje. Promatrana funkcija spada u grupu CES razgranatih proizvodnih funkcija (engl. constant elasticity of substitution), koje se sastoje od klasičnih proizvodnih faktora (kapitala i rada) s pridruženim faktorom energije (budući da je obuhvaćen i energetske sustav kao dio gospodarstva), s mogućom supstitucijom među faktorima proizvodnje. Upravo ovakva proizvodna funkcija predstavlja vezu između inženjerskog (MARKAL) i ekonomskog modela (MACRO) [8].

4 OPIS MODELA MARKAL

Model MARKAL je dinamički optimizacijski model koji koristi matematičku tehniku linearnog programiranja za prikazivanje kompleksnih energetske sustava na globalnoj, nacionalnoj ili lokalnoj razini planiranja. Model optimizira promatrani energetske sustav uz uvjet najnižeg troška, gdje objektna funkcija predstavlja sumu diskontiranih ukupnih troškova sustava (od strane proizvodnje do strane potrošnje energije). Minimizacija ukupnih troškova sustava temelji se na pretpostavkama da je proizvodnja energije veća ili jednaka potrošnji energije, potrošnja energije je u potpunosti zadovoljena kao i ograničenje na raspoloživost primarnih oblika energije [9].

Dynamic optimizing models such as engineering models use the assumption of perfect foresight, i.e., yielding economically optimal solutions on the basis of the complete knowledge of the future parameters in the system. Examples of models that present energy systems exclusively are optimizing models such as MARKAL (MARKet ALlocation), MESSAGE (Model for Energy Supply System Alternatives and their General Environmental Impacts), EFOM (Energy Flow Optimization Model) and TIMES (The Integrated Markal Eform System) [4].

Besides all the advantages of dynamic optimizing models, one of their shortcomings is that they do not represent consumer behavior and neglect the linkage between consumption and energy prices (which is not the case for the MARKAL model, where there is an addition to the model regarding the option to employ elasticity parameters).

Models with a combined engineering and economic approach such as the MARKAL-MACRO are able to optimize the linkage between the economy and energy system. While MARKAL uses a bottom-up engineering approach and thereby represents an energy system with a rich database, the representation of the economy with the MACRO model is fairly simple.

The MACRO model defines long-term economic development as the aggregate supply represented using the production function. This function belongs to the group of the constant elasticity of substitution (CES) production functions, which consists of the classical production factors (capital and labor) with the associated energy factor (since the energy system is also included as a part of the economy), with the option of substitution among the production factors. Such a production function represents the linkage between the engineering model (MARKAL) and economic model (MACRO) [8].

4 DESCRIPTION OF THE MARKAL MODEL

The MARKAL model is a dynamic optimizing model that uses mathematical linear programming technique for the representation of complex energy systems on the global, national or local planning level. The model optimizes the studied energy system with the constraint of least-cost, where the objective function represents the sum of the total discounted system expenditures (from energy production to consumption). Minimization of the total system expenditures is based upon the assumptions that energy production is greater than or equal to energy consumption, energy

4.1 Model nacionalnog energetskeg sustava

U planiranju nacionalnog energetskeg sustava Republike Hrvatske koriste se modeli poput ENPEP i MESSAGE te model MARKAL, koji ima niz prednosti u odnosu na prva dva spomenuta. Osim jednostavnosti korištenja (u odnosu na model MESSAGE) i tehnike optimizacije (u odnosu na model ENPEP), MARKAL model omogućuje integrirani prikaz proizvodnje i potrošnje energije uz mogućnosti postavljanja dodatnih ograničenja (npr. emisije stakleničkih plinova), a ima i veći broj korisnika.

MARKAL model nacionalnog energetskeg sustava Republike Hrvatske, prikazan na slici 3, sastoji se od više povezanih dijelova, od strane proizvodnje energije, pretvorbe energije u postrojenjima za energetske transformacije i elektroenergetskom sektoru, do strane potrošnje energije u različitim sektorima potrošnje. Proizvodnja energije definirana je podacima o proizvodnji i uvozu primarnih oblika energije u baznoj godini s pripadajućim troškovima. Osim podataka za baznu godinu, potrebno je postaviti prognozu promjene troškova proizvodnje, uvoza i raspoloživosti primarnih izvora energije.

Sustav plinovoda prikazan je odvojeno kao transportni i distribucijski sustav, svaki sa svojim karakteristikama i potrošačima, s obzirom da direktni potrošači (direktno priključeni na transportnu mrežu plinovoda) čine 67 % ukupne potrošnje prirodnog plina. Ulazni podaci potrebni za model plinskog sustava su iznos gubitaka, kapacitet i životni vijek plinovoda, specifične investicije za izgradnju novih plinovoda i troškovi održavanja. Na sličan način definira se i sustav transporta sirove nafte.

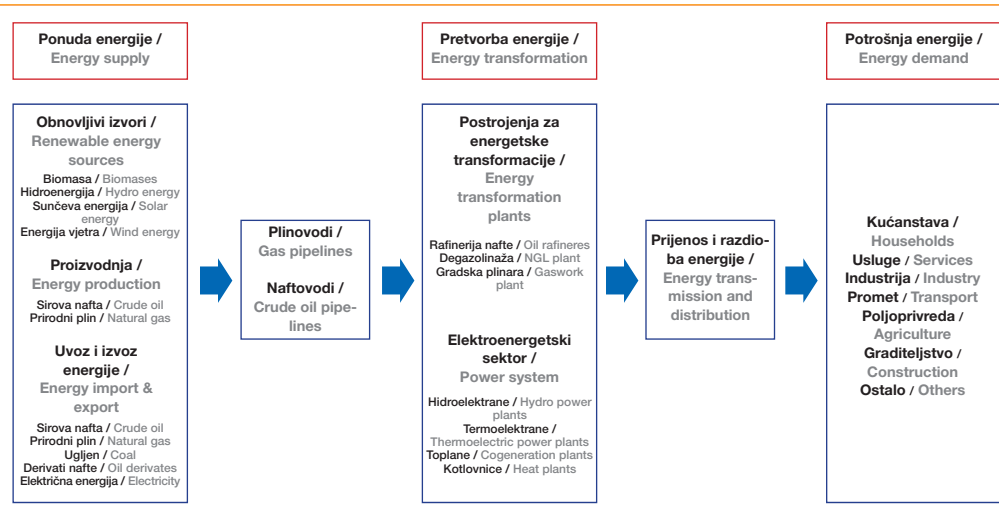
consumption requirements are met completely, as are the constraints on the availability of primary forms of energy [9].

4.1 Model of the national energy system

In the planning of the national energy system of the Republic of Croatia are used models such as ENPEP and MESSAGE and also model MARKAL, which have multiple advantages in comparison to those first two mentioned. In addition to simplicity of use (in comparison to the MESSAGE model), and optimizing technique (in comparison to the ENPEP model), the MARKAL model facilitates an integrated representation of energy production and consumption with the option of the posing of additional constraints (for example, on greenhouse gas emissions), and has a larger number of users.

The MARKAL model of the national energy system of the Republic of Croatia, presented in Figure 3, consists of several linked parts, from energy production, transformation in plants for energy transformation and the electricity sector, to energy consumption in various consumption sectors. Energy production is defined by data on the production and import of primary energy forms in the base year with the corresponding expenditures. In addition to data for the base year, it is necessary to forecast changes in the expenditures of production, import and the availability of primary energy sources.

The system of gas pipelines is represented separately as a transport and distribution system, each with its own characteristics and consumers, regarding direct consumers (directly connected to the gas pipeline network) comprising 67 % of the total natural gas consumption. The input data required for the gas system model are the amount of loss, capacity and lifetime of pipelines, specific investments for the construction of new gas pipelines and maintenance costs. The system for the transport of crude oil is defined in a similar manner.



Slika 3
Struktura MARKAL modela nacionalnog energetskeg sustava Republike Hrvatske
Figure 3
MARKAL model structure of the national energy system of the Republic of Croatia

Proizvodnja transformiranih oblika energije (električna energija, para i topla voda, tekuća goriva) odvija se u postrojenjima za energetske transformacije (rafinerije nafte, degazolinaža, gradska plinara) i u postrojenjima elektroenergetskog sektora (hidroelektrane, termoelektrane, javne i industrijske toplane i kotlovnice). Kogeneracijska postrojenja (javna i industrijska) za proizvodnju električne i toplinske energije prikazana su kao protutlačni procesi (odnos između proizvedene električne energije i topline je konstantan). Za sva postrojenja koja koriste loživo ulje, model omogućava supstituciju loživog ulja prirodnim plinom u skladu s uvjetom najmanjeg troška.

Gubici prijenosa i distribucije električne i toplinske energije u modelu MARKAL prikazani su indirektno pomoću posebnih parametara koji uključuju specifične investicije u izgradnju mreže, troškove pogona i održavanja i postotni iznos gubitaka.

Strana potrošnje energije u mreži energetskeg sustava Republike Hrvatske sastoji se od tehnologija za potrošnju energije i zadane potrošnje korisne energije (engl. demand). Potrošnja energije može se prikazati kao finalna (poput potrošnje električne energije za netoplinske namjene u kućanstvima) i korisna energija (poput potrošnje energije za grijanje). Detaljnost prikaza strane potrošnje energije u energetskeg sustavu ovisi o raspoloživim podacima i vrsti modela.

The production of transformed forms of energy (electricity, steam and hot water, liquid fuels), takes place in energy transformation plants (oil refineries, NGL plants, gasworks) and in plants in the electrical sector (hydroelectric power plants, thermolectric power plants, public and industrial cogeneration plants and heat plants). Cogeneration plants (public and industrial) for the production of electricity and thermal energy are represented as back pressure processes (the ratio between the electricity and heat produced is constant). For all the plants currently applying heating oil, the model permits the eventual substitution of natural gas for heating oil, according to the least-cost requirement.

Losses during the transmission and distribution of electricity and heat energy in the MARKAL model are represented indirectly using separate parameters that include specific investments in network construction, plant expenditures and maintenance, and the percentage amount of loss.

The energy consumption side in the energy system network of the Republic of Croatia consists of technology for energy consumption and the given consumption of useful energy (demand). Energy consumption can be represented as final (such as the complete consumption of electricity for non-heating purposes in households) and useful energy (such as the complete consumption of energy for heating). The degree of detail in the representation of the sides of energy consumption in the energy system depends upon the available data and the type of model.

4.2 Model teritorijalno segmentiranog energetskeg sustava

Osim nacionalnog energetskeg sustava model MARKAL može analizirati i više međusobno povezanih sustava, bilo da se radi o zasebnim nacionalnim sustavima ili teritorijalnim segmentima unutar jednog nacionalnog sustava. U slučaju analize više povezanih nacionalnih sustava promatra se model energetskeg tržišta (npr. tržište energije jugoistočne Europe). Pojedinačni sustavi međusobno su povezani vezama (linkovima) za bilateralnu trgovinu energijom i emisijama, koja se odvija zbog razlike u troškovima proizvodnje i pretvorbe energije između sustava iz kojeg se ona izvozi i sustava u koji se energija uvozi.

Potreba analize potrošnje energije teritorijalno segmentiranih energetskeg sustava nastala je zbog razlike u geopolitičkim i zemljopisnim obilježjima, strukturi gospodarstva i energetskeg opskrbi, mogućnosti proizvodnje primarnih oblika energije (prvenstveno prirodnog plina i sirove nafte) i električne energije, kao i razlikama u emisijama stakleničkih plinova. S obzirom na strukturu sustava i potrebne podatke, način prikazivanja modelom MARKAL svakog od segmenata unutar nacionalnog sustava jednak je prikazu jednog (nacionalnog) sustava, tj. elemente nacionalnog energetskeg sustava potrebno je raspodijeliti s obzirom na promatrane segmente.

Primjer analize teritorijalno segmentiranih energetskeg sustava kao dijelova energetskeg sustava Republike Hrvatske zanimljiv je za slučaj izgradnje plinovoda u području koji nije plinificirano (Dalmacija) a time i izgradnje elektroenergetskeg objekata (termoelektrana i kogeneracijskeg postrojenja) na plin. Ovakav model ujedno rješava pitanje buduće opskrbe prirodnim plinom (dodatni uvoz iz Mađarske ili gradnja LNG terminala u priobalnom pojasu). U slučaju međusobno povezanih nacionalnih sustava susjednih zemalja, ovakva analiza može odgovoriti na pitanje o opravdanosti izgradnje međunarodnih sustava transporta prirodnog plina i nafte.

4.2 Model of a territorially segmented energy system

In addition to the national energy system model, MARKAL can also analyze several mutually linked systems, whether this concerns a discrete national systems or a territorial segments within a national system. In the case of an analysis of several linked national systems, a model of the energy market is studied (for example, the energy market of South Eastern Europe). Individual systems are mutually linked for bilateral energy and emission trade, which occurs due to the differences in the expenditures for energy production and transformation between the system from which energy is exported and the system in which energy is imported.

The need to analyze the energy consumption of territorially segmented energy systems occurred due to the differences in the geopolitical and geographical characteristics, structures of the economies and energy supply, the possibilities for the production of primary forms of energy (with natural gas and crude oil in the first place) and electricity, as well as the differences in the emissions of greenhouse gases. Considering the structure of the systems and the necessary data, the manner of representing each of the segments within a national system using the MARKAL model is the same as the representation of a single (national) system, i.e. the elements of a national energy system must be divided according to the segments studied.

The example of the analysis of territorially segmented energy systems as parts of the energy system of the Republic of Croatia would be interesting in the case of the construction of a gas pipeline in a region which is not gassified (Dalmatia), and therefore also the construction of thermoelectric and cogeneration plants using gas. Such a model at the same time solves the question of the future natural gas supply (additional import from Hungary or the construction of LNG terminals in the coastal belt). In the case of the mutually linked national systems of neighboring countries, such an analysis can answer the question of the justification of the construction of international transport systems for natural gas and oil.

5 PRETPOSTAVKE ZA PRIMJENU MODELA MARKAL

Planiranje energetskeg sustava modelom MARKAL zahtijeva detaljni prikaz svih načina proizvodnje, pretvorbe, prijenosa, distribucije i sektora potrošnje energije, što istodobno zahtijeva poznavanje i unos velikog broja različitih podataka. Svaki linearni model je programski paket sastavljen od više međusobno povezanih komponenata (slika 4). Početak rada s takvim modelom pretpostavlja definiranje strukture referentnog energetskeg sustava (engl. Reference Energy System, RES) i baze ulaznih podataka (unosom podataka putem korisničkog sučelja) od strane korisnika modela. Slijedi postavljanje matematičke strukture, tj. matrice linearnih jednadžbi pomoću generatora matrice (korištenjem programskog jezika GAMS). Određivanjem scenarija događaja u potpunosti je završen proces postavljanja problema. Pokretanjem matematičkih algoritama dobiva se optimalno rješenje za postavljene scenarij [10].

5 ASSUMPTIONS FOR THE APPLICATION OF THE MARKAL MODEL

Energy system planning with the MARKAL model requires a detailed representation of all the types of production, transformation, transport, distribution and the energy consumption sectors, which at the same time requires knowledge and entry of a large number of various data. Each linear model is a program package consisting of several mutually linked components (Figure 4). The beginning of work with such a model involves the definition of the structure of the reference energy system (RES) and the input database (data entry via the user's interface) from the side of the model user. This is followed by the setting up of the mathematical structure, i.e. a matrix of linear equations using the matrix generator (in the GAMS programming language). With the determination of the scenario of events, the process of posing the problem is fully completed. Through the use of mathematical algorithms, the optimal solution for the scenario is obtained [10].



Slika 4

Komponente modela energetskeg sustava

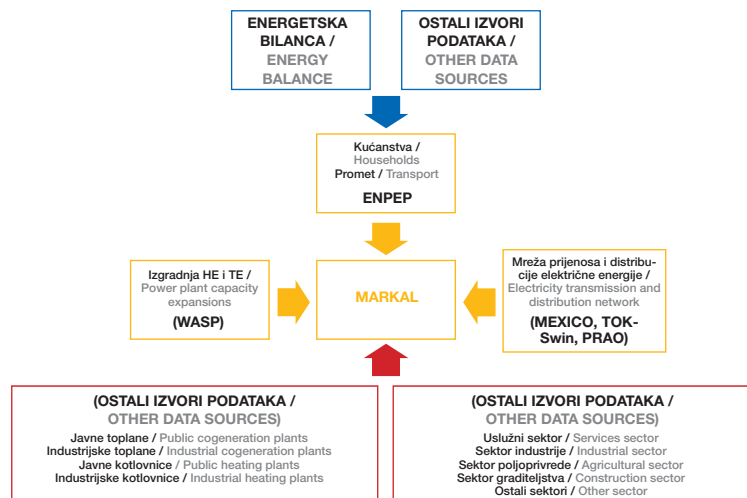
Figure 4

Components of an energy system model

Izvori podataka potrebnih za popunjavanje baze podataka su energetska bilanca (proizvodnja i uvoz primarne energije, potrošnja energije u kućanstvima), statistički podaci, subjekti poput Industrije nafte INA koja daje podatke o cijenama derivata nafte i troškovima uvoza i ostali izvori podataka (razne studije i baze podataka).

The sources of the data required for completing the data base are the energy balance (the production and import of primary energy, energy consumption in households), statistical data, subjects such as Industrija Nafte (INA) which provide data on the prices of oil derivatives and import costs, and other sources of data (various studies and databases).

Slika 5
Ulazni podaci
za modeliranje
nacionalnog
energetskog
sustava modelom
MARKAL
Figure 5
Input data for
national energy
system MARKAL
model



Ovisno o namjeni model MARKAL može se koristiti za planiranje energetskog sustava kao samostalni model ili u kombinaciji s više drugih modela (za planiranje pojedinih energetskih podsektora). U prvom primjeru model MARKAL metodom najmanjeg troška optimizira promatrani energetski sustav u cjelini. U slučaju potrebnih analiza utjecaja jednog podsektora (napr. elektroenergetskog) na zbivanja u ostalim podsektorima sustava (napr. plinskom), model MARKAL može se primijeniti u kombinaciji s više različitih modela, kako je prikazano na slici 5. Na ovaj način rezultati analize dodatnih modela služe kao ulazni podaci za model MARKAL. U prikazanom primjeru podaci potrebni za kreiranje scenarija pogona elektroenergetskih postrojenja dobivaju se iz rezultata modela WASP, a podaci o specifičnim investicijama prijenosnih i distribucijskih mreža električne energije prilagodbom rezultata modela MEXICO, TOKSWin i PRAO. Zbog potrebe postavljanja dodatnih ograničenja (s obzirom na način rada linearnog modela MARKAL) neki sektori potrošnje energije (poput kućanstava i prometa) zahtijevaju posebnu analizu simulacijskim modelom ENPEP.

Depending on the purpose, the MARKAL model can be used for the planning of an energy system as an independent model or in combination with several other models (for the planning of individual energy sub-sectors). In the first example, the MARKAL model optimizes the studied energy system as a whole, using the least-cost method. In the event of the need to analyze the impact of an individual subsector (for example, electricity) on events in other sub-sectors of the system (for example, gas), the MARKAL model may be applied in combination with several different models, as shown in Figure 5. In this way, the results of the analyses of additional models serve as input data for the MARKAL model. In the example presented, the data needed for creating the scenario of an electric power plant operation are obtained from the results of the WASP model, and data on specific investments in the electricity transport and distribution networks are obtained by adapting the results from the MEXICO, TOKSWin and PRAO models. Due to the requirements imposed by additional constraints (due to the manner in which the linear MARKAL model works), some energy consumption sectors (such as households and transport) require separate analysis using the ENPEP simulation model.

6 ZAKLJUČAK

Osnovna zadaća energetske politike svake zemlje su sigurnost dobave energije, sigurna opskrba potrošača energijom i isporuka energije uz što niže troškove. To je osobito važno za Republiku Hrvatsku zbog gospodarskih i političko-strateških razloga (zemljopisnog oblika, geopolitičkog položaja, ratnog iskustva), koji nameću potrebu takvog planiranja izvora i postrojenja za pretvorbu energije, koji će smanjiti rizike u opskrbi potrošača. Uz sigurnost opskrbe energijom usko je povezana i potreba za diverzifikacijom energetskih izvora u smislu smanjenja ili potpunog otklanjanja energetske

6 CONCLUSION

The basic tasks of the energy policy of every country are the secure procurement of energy, secure energy supply for consumers and the delivery of energy with the minimum expenditures. This is particularly important for the Republic of Croatia, due to economic and political-strategic reasons (geographical configuration, geopolitical position, war experience), which impose the need for such planned energy sources and energy transformation plants, that will reduce the risks in the consumer supply. The security of the energy supply is also closely connected with the need for

ovisnosti o samo jednom izvoru energije. Takve i slične probleme moguće je u potpunosti analizirati samo primjenom odgovarajućih modela za planiranje energetske sustava.

Zbog složenosti energetske sustava ne postoji idealni model za njegovo planiranje. Osim toga, nužno je povezivanje više različitih modela, koji mogu detaljno analizirati pojedine dijelove energetske sustava poput proizvodnje električne energije ili prijenosne i distribucijske mreže električne energije, s modelom koji iste dijelove prikazuje manje detaljno, ali ima mogućnost dodatnih analiza (račun emisije stakleničkih plinova ili prikazivanja mjera energetske učinkovitosti). Ne postoji problem koji se ne može analizirati primjenom modela za planiranje. Jedino ograničenje je dostupnost podataka, a odabir modela za planiranje ovisi o vrsti promatranog problema.

Zbog analize zajedničkog tržišta energije zemalja jugoistočne Europe, osim planiranja nacionalnog energetske sustava Republike Hrvatske, javlja se potreba širenja područja planiranja s nacionalnog na regionalno u smislu sagledavanja više međusobno povezanih nacionalnih sustava. Na isti način moguća je i analiza više nacionalnih sustava modelom trgovine emisijama. Predmet modelske analize mogu biti i teritorijalni segmenti unutar nacionalnog energetske sustava poput županije, otoka ili grada.

the diversification of energy sources, in the sense of reducing or entirely eliminating energy dependence upon only one energy source. Such problems can only be completely analyzed through the application of suitable planning models.

Due to the complexity of an energy system, there is no ideal model for planning one. Moreover, it is necessary to link several different models, which can analyze individual parts of an energy system in detail such as electricity production or the electricity transport and distribution networks, with a model that represents the same parts in less detail but provides the possibility of further analyses (calculation of greenhouse gas emissions or representation of energy efficiency measures). There is no problem that cannot be analyzed using planning models. The only constraint is the availability of data, and the selection of a planning model depends on the types of problems considered.

Due to analysis of the common energy market of the countries of South Eastern Europe, in addition to the planning of the national energy system of the Republic of Croatia, there is also a need for expanding the planning area from the national to the regional levels for the coverage of several mutually linked national systems. The analysis of several national systems can be performed in the same manner using the emission trading model. Territorial segments within the national energy system such as counties, islands or cities can also be subjected to model analysis.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KAHEN, G., Integrating Energy Planning and Techno-Economic Development: A Solid Basis for the Assessment and Transfer of Energy Technology to Developing Countries, The First Joint International Symposium Energy Models for Policy and Planning, London Business School, London, 1995
- [2] NYSTROM, I., Exploring the Treatment of Energy Demand in Energy Systems Engineering Modeling, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Technology, Department of Energy Conversion, Goteborg, Sweden, 2001
- [3] JALAL, A.I., Energy Policy Analysis and Strategies – Concepts and procedures, College on Evaluation of Energy Technologies and Policies for Implementation of Agenda 21, IAEA International Centre for Theoretical Physics Abdus Salam, Italy, Trieste, 2003
- [4] BOŽIĆ, H., Unapređenje modeliranja dugoročnog planiranja razvoja energetske sustava, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2005.
- [5] CONZELMANN, G., Overview of the Energy and Power Evaluation Programme (ENPEP), Regional Training Course on the ENPEP as an IAEA Tool for GHG Abatement Cost Studies, Ukraine, Kiev, 2001
- [6] VAN BEECK, N., Classification of Energy Models, Tilburg University and Eindhoven University of Technology, Netherland, 1999
- [7] REUTER, A., KUHNER, R., WOHLGEMUTH, N., Energy Models - Methods and Trends, 5th Forum HED, Zagreb, 1996
- [8] CHIANG, A.C., Osnovne metode matematičke ekonomije, MATE, Zagreb, 1994.
- [9] CAPROS, P., Integrated Economy/Energy/Environment Models, International Symposium on Electricity, Health and the Environment, IAEA, Vienna, 1995
- [10] GOLDSTEIN, G. et al., Energy Planning and the Development of Carbon Mitigation Strategies - Using the MARKAL Family of Models, International Resource Group, Washington, D.C., 1999

Uredništvo primilo rukopis:
2006-09-25

Manuscript received on:
2006-09-25

Prihvaćeno:
2006-10-06

Accepted on:
2006-10-06

IZLOŽENOST LJUDI ELEKTROMAGNETSKIM POLJIMA HUMAN EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS

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

U današnjem modernom svijetu elektromagnetska onečišćenja postala su intenzivna, pa izazivaju strah kod ljudi, koji put opravdan, a koji put pretjeran. Bez obzira što su se u svijetu posljednjih 30-tak godina obavljala brojna ispitivanja u najuglednijim svjetskim laboratorijima, nije se došlo do nepobitnih dokaza, da su ta onečišćenja štetna za ljudski organizam. U članku se utvrđuju izvori elektromagnetskih zračenja, njihova jakost, te frekventno područje u kojem se manifestiraju. Osim toga na temelju međunarodnih preporuka i propisa predlažu se određene mjere zaštite koje bi trebali provesti svi sudionici u procesu stvaranja elektromagnetskog onečišćenja. Navedeni su principi za sprječavanje štetnih utjecaja i zaštitne razine dopuštenih vrijednosti električnih i magnetskih polja koje su donijele Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP), Vijeće Europske unije i naše Ministarstvo zdravstva. Prikazan je kratki pregled stavova zakonodavstva pojedinih zemalja Europe. Članak je posebno aktualan u današnje vrijeme kada pojedinci iz raznih udruga sa svojim znanstveno neutemeljenim tvrdnjama nastoje zaustaviti tehnološki napredak.

In today's modern world, electromagnetic pollution has become intense and raises fears which are sometimes justified and sometimes exaggerated. Although numerous investigations have been conducted in the world in the most eminent laboratories, there has been no incontestable proof that such pollution is harmful to human beings. In the article, sources of electromagnetic radiation, their intensity and the frequency ranges in which they are manifested are discussed. Moreover, on the basis of international recommendations and regulations, specific safety measures are proposed that should be implemented by all the participants in the process of creating electromagnetic pollution. Principles are presented for preventing the harmful effects, together with the safety exposure limits for electric and magnetic fields that were adopted by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), the Council of the European Union, and the Croatian Ministry of Health.

A brief review is presented of the legislative positions of individual countries of Europe. The article is a particularly timely response to individuals from various associations who are attempting to block technological progress with scientifically unfounded assertions.

Ključne riječi: električno polje, elektromagnetsko polje, magnetsko polje, načelo opreznosti, neionizirajuće zračenje, potvrđeni i pretpostavljeni učinci, razborito izbjegavanje, referentne razine izloženosti zračenju

Key words: confirmed and assumed effects, electric field, electromagnetic field, magnetic field, non-ionizing radiation, precautionary principle, prudent avoidance, radiation exposure reference levels



1 UVOD

Čuo sam i čitao različite napise, neke čak i neodgovorno uznemirujuće. Zanimala me je istina. Došao sam do nekih saznanja, stavio ih na papir i uvidio da bi sve to moglo zanimati stručnu javnost i evo ovog napisa.

Opće je poznato da oko vodiča pod naponom postoji električno polje, a oko vodiča kojim protječe električna struja nastaje magnetsko polje. Pri tome je jakost električnog polja proporcionalna naponu, a jakost magnetskog polja proporcionalna jakosti struje koja teče vodičem. Slijedi zaključak: svuda gdje postoji struja i napon postoje električna, magnetska ili elektromagnetska polja. Izvori zračenja su vrlo različiti od električnih postrojenja niskog i visokog napona, tramvaja, mobilne telefonije – mobitela i odašiljača, mikrovalnih pećnica do radara.

Radi boljeg razumijevanja navode se značenja pojedinih termina korištenih u članku:

- elektromagnetska polja su statička i periodički promjenjiva električna i magnetska polja te elektromagnetski valovi frekvencije do 300 GHz,
- temeljne veličine su veličine koje se izravno povezuju uz, do sada, potvrđene zdravstvene učinke elektromagnetskih polja i na koje se postavljaju temeljna ograničenja. Zaštita od potvrđenih štetnih zdravstvenih učinaka zahtijeva da temeljna ograničenja nisu prekoračena. Ovisno o frekvenciji, fizikalne veličine na koje se postavljaju temeljna ograničenja su: gustoća struje, specifična apsorbirana snaga, specifična apsorbirana energija te gustoća snage,
- referentne veličine su mjerljive veličine čijim nadzorom se posredno osigurava zadovoljenje temeljnih ograničenja. Fizikalne veličine koje se mogu koristiti kao referentne veličine su: jakost električnog polja, jakost magnetskog polja, gustoća magnetskog toka, dodirna struja i gustoća snage (ekvivalentnoga ravnog vala). Usklađenošću s graničnim razinama referentnih veličina, danim u smjernicama, preporukama i pravilnicima, osigurava se usklađenost s temeljnim ograničenjima,
- gustoća struje (J) je vektorska veličina čiji je integral po nekoj površini jednak struji koja teče kroz tu površinu, a izražava se u amperima po četvornom metru (A/m^2). Rabi se kao temeljna veličina u frekvencijskom području do 10 MHz,
- specifična apsorbirana energija (SA) je apsorbirana energija elektromagnetskog vala po jedinici mase biološkog tkiva i izražava se

1 INTRODUCTION

I have heard about and read various articles, some of which were irresponsibly alarming. I was interested in the truth. I have arrived at some information which may be of interest to the professional public and therefore have written this article.

It is generally known that the voltage on a conductor creates an electric field and that current flowing through a conductor creates a magnetic field. Moreover, the strength of the electric field is proportional to the voltage, and the strength of the magnetic field is proportional to the strength of the current flowing through the conductor. Therefore, it can be concluded that wherever there are current and voltage, there are electric, magnetic, or electromagnetic fields. The sources of radiation are highly varied, ranging from low and high voltage electric substations, electric streetcars, mobile telephones - cell phones and transmitters, microwave ovens to radar.

To facilitate understanding, the following definitions of terms used in the article are provided:

- electromagnetic fields are static and time-varying electric and magnetic fields and electromagnetic waves of frequencies up to 300 GHz,
- basic restrictions are values that are directly connected with the health impact of electromagnetic fields that have been confirmed to date and upon which basic restrictions have been placed. Protection from confirmed harmful effects upon health requires that basic limits are not exceeded. Depending upon the frequency, the physical values on which basic restrictions are placed are as follows: current density, specific energy absorption rate, specific energy absorption and power density,
- reference levels are measurable values, the control of which ensures compliance with the basic restrictions. The physical values that can be used as reference levels are as follows: the electric field strength, the magnetic field strength, the magnetic flux density, contact current and power density (of equivalent plane wave). Compliance with the limits established by the reference levels provided in guidelines, recommendations and regulations will ensure compliance with the basic restrictions,
- current density (J) is a vector of which the integral over a given surface is equal to the current flowing through the surface, and is expressed in ampere per square meter (A/m^2). It is used as a basic restriction in frequencies of up to 10 MHz,

- u džulima po kilogramu (J/kg). Rabi se kao temeljna veličina u frekvencijskom području od 300 MHz do 10 GHz i to u slučaju impulsnih elektromagnetskih polja,
- specifična apsorbirana snaga (*SAR*) je mjera brzine apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva, a izražava se u vatima po kilogramu (W/kg). Rabi se kao temeljna veličina u frekvencijskom području od 100 kHz do 10 GHz,
 - dodirna struja (*I*) je struja koja teče tijekom dodira ljudskog tijela s vodljivim objektom u elektromagnetskom polju, a izražava se u miliamperima (mA). Može se rabiti kao referentna veličina za posredne učinke polja do frekvencije od 110 MHz,
 - gustoća toka snage (*S*) je omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala, a izražava se u vatima po četvornom metru (W/m²). Rabi se kao temeljna veličina za frekvencijsko područje od 10 GHz do 300 GHz, a kao referentna veličina od 10 MHz do 300 GHz,
 - jakost električnog polja (*E*) je vektorska veličina koja pokazuje razinu električnog polja. Određena je silom na mirujućem električnom naboju, a izražava se u voltima po metru (V/m),
 - gustoća magnetskog toka ili magnetska indukcija (*B*) je vektorska veličina koja pokazuje razinu magnetskog polja. Određena je silom na električnom naboju koji se kreće, a izražava se u teslama (T),
 - jakost magnetskog polja (*H*) pokazuje razinu magnetskog polja i izražava se u amperima po metru (A/m), a s gustoćom magnetskog toka u zraku povezana je magnetskom konstantom μ_0 .
- specific energy absorption (*SA*) is the absorbed energy of an electromagnetic wave per unit of mass of biological tissue and is expressed in joules per kilogram (J/kg). It is used as a basic restriction in the frequency range from 300 MHz to 10 GHz, and this in the case of pulsed electromagnetic fields,
 - specific energy absorption rate (*SAR*) is the intensity rate at which energy is absorbed per unit weight of biological tissue, and is expressed in Watts per kilogram (W/kg). It is used as a basic restriction in frequencies from 100 kHz to 10 GHz,
 - contact current (*I*) is current that flows during contact between the human body and a conducting object in an electromagnetic field, and is expressed in milliampere (mA). It can be used as a reference level for the indirect effects of fields up to frequencies of 110 MHz,
 - power density (*S*) is power per unit area perpendicular to the direction of the propagation of the electromagnetic wave, expressed in watts per square meter (W/m²). It is used as a basic restriction for frequencies from 10 GHz to 300 GHz, and as a reference level from 10 MHz to 300 GHz,
 - electric field strength (*E*) is a vector quantity that corresponds to the force exerted on a charged steady particle. It is expressed in volts per meter (V/m),
 - magnetic flux density or magnetic induction (*B*) is a vector quantity that shows the level of a magnetic field, resulting in a force that acts on a moving charge, and is expressed in tesla (T),
 - magnetic field strength (*H*) shows the level of a magnetic field expressed in ampere per meter (A/m), connected with magnetic flux density in space by magnetic constant μ_0 .

U ekstremnim slučajevima ljudi mogu biti izloženi jakostima električnih polja i do 30 kV/m te gustoći magnetskog toka do nekoliko mT. Takve jakosti elektromagnetskih polja mogu inducirati struje gustoće od 10 mA/m² do nekoliko stotina mA/m² u ljudskom tijelu i time stvarati stanovite smetnje i ugrožavanje zdravlja. U niskonaponskim postrojenjima stvaraju se električna polja slabih i beznačajnih vrijednosti i ne predstavljaju nikakvu opasnost za ljudsko zdravlje. Suvremeni svijet je danas nezamisliv bez primjene električne energije i ona je svuda prisutna: u stanu, uredu, tvornici, kinu i na drugim mjestima. Iz toga slijedi da se ljudi nalaze i kreću, te općenito rečeno, žive u čas jačim, čas slabijim električnim ili magnetskim poljima. Usporedo sa spoznajom o navedenim činjenicama postavlja se logičko pitanje: ima li boravak i rad ljudi u takvim električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima štetne posljedice za njihovo zdravlje.

In extreme cases, persons may be exposed to electric field strengths of even up to 30 kV/m and magnetic flux density of up to several mT. Such magnetic field strength can induce current density of from 10 mA/m² to several hundred mA/m² in the human body, therefore causing certain problems and endangering health. In low voltage substations, electric fields of weak and negligible values are created which do not pose any danger whatsoever to human health. The world today would be unimaginable without applied electrical energy, which is omnipresent in the home, office, factory, cinema and in other places. Therefore, it follows that people find themselves, move about and, generally speaking, live in electric and magnetic fields that are sometimes stronger and sometimes weaker. Thus, it is logical to ask whether people's living and working in such electric, magnetic and electromagnetic fields have adverse consequences upon their health.

Znanstvenici: liječnici, biolozi, elektrotehničari i ostali diljem svijeta provode intenzivna istraživanja tih pojava preko trideset godina. Rezultati studija nisu do sada pouzdano potvrdili izravnu vezu između izlaganja niskofrekventnom elektromagnetskom zračenju manjeg intenziteta i broja oboljelih promatrane populacije. Opći je zaključak da izvjestan utjecaj električnih, magnetskih i elektromagnetskih polja na zdravlje postoji, ali je on za sada skriven u statističkim kolebanjima malog broja prirodnih slučajeva oboljenja.

Električni štednjak primjerice stvara magnetsko polje gustoće do 10 μT , sušilo za kosu do 30 μT , a ispod visokonaponskih nadzemnih vodova rijetko će gustoća magnetskog toka dosegnuti vrijednost od 20 μT . Što se tiče izloženosti ljudi, može se reći da je kućanica izložena djelovanju tih polja kao i elektromonter pri radovima ispod nadzemnih vodova ili u električnim postrojenjima niskog napona [1].

Najveći problem i neizvjesnost u svim ovim istraživanjima je u tome što znanost nije mogla do sada dati vjerodostojne podatke o ugrožavanju zdravlja glede trajanja izloženosti u takvim poljima. Opći zaključak je da treba, prema mogućnostima, izbjegavati nepotrebna izlaganja tim poljima te oprezno primjenjivati mjere zaštite.

2 POJAM I SPEKTAR ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

Izraz **zračenje** općenito označava širenje energije prostorom. Prema tomu pojam elektromagnetsko zračenje znači širenje elektromagnetske energije prostorom. Elektromagnetska energija širi se prostorom u obliku elektromagnetskog vala, koji predstavlja prostorno širenje međusobno povezanih i vremenski promjenljivih električnih i magnetskih polja. Kod niskih frekvencija, primjerice 50 Hz, ova polja se mogu odvojeno mjeriti i razmatrati. Jedna od temeljnih značajki vremenski promjenljivih električnih i magnetskih polja jest učestalost vremenske promjene pod nazivom **frekvencija** f . Frekvenciju elektro-magnetskog vala i njegovu **valnu duljinu** λ povezuje izraz:

$$c = \lambda \times f,$$

(1)

Scientists, physicians, biologists, electrical engineers and others throughout the world have been studying these phenomena intensively for over thirty years. The results of these studies up to now have not reliably confirmed a connection between exposure to low-frequency electromagnetic radiation of low intensity and the number of ill persons in an investigated population. The general conclusion is that there is a certain effect of electric, magnetic and electromagnetic fields on health but for now it is concealed in the statistical fluctuations within the small natural incidences of disease.

An electric kitchen range, for example, creates a magnetic field density of up to 10 μT , a hairdryer of up to 30 μT , and below high-voltage overhead power lines the magnetic flux density rarely reaches the level of 20 μT . Regarding human exposure, it can be said that a homemaker is exposed to the activity of these fields at the same level as that of an electrical worker during work below overhead power lines or in low-voltage electrical substations [1].

The greatest uncertainty in all these investigations is that up to now science has not been able to provide credible data on the human health hazard regarding the duration of exposure in such fields. The general conclusion is that it is necessary, to the extent possible, to avoid unnecessary exposure to these fields and apply safety measures carefully.

2 THE CONCEPT AND SPECTRUM OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

The expression **radiation** generally means the emission and propagation of energy through space. Accordingly, the concept of electromagnetic radiation signifies the emission and propagation of electromagnetic energy through space. Electromagnetic energy is propagated through space in the form of electromagnetic waves, which represent the spatial propagation of mutually linked and time-varying electric and magnetic fields. At low frequencies, for example 50 Hz, these fields can be measured and studied separately. One of the fundamental characteristics of time-varying electric and magnetic fields is the **frequency** f . The frequency of an electromagnetic wave and its **wavelength** λ are expressed by the equation:

pri čemu je $c \approx 3 \times 10^8$ m/s (brzina svjetlosti).

Elektromagnetska zračenja su fotoni čija je energija izravno razmjerna frekvenciji. Energiju se fotona može predočiti izrazom:

$$E_f = h \times f, \quad (2)$$

gdje je $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J/Hz.

Fotoni elektromagnetskih zračenja s frekvencijama od 50 Hz ili 60 Hz (u SAD) koje se primjenjuju u elektroenergetici imaju velike valne dužine i malu energiju, svega oko 3×10^{-13} eV (elektronvolta). Ta energija nije u mogućnosti kidati elektronske veze u organskim molekulama i na taj način izazvati nepovoljne biološke učinke. Elektromagnetsko se zračenje koje nije u stanju prouzročiti ionizaciju organskih tvari naziva **neionizirajuće zračenje** [1]. Neionizirajuće zračenje obuhvaća dio spektra s frekvencijama nižim od 3×10^{15} Hz, u kojemu fotoni nemaju dovoljno energije za ionizaciju tvari. Ta neionizirajuća zračenja dijele se na dva temeljna oblika koji se nazivaju **svjetlosno zračenje** i **elektromagnetska polja**.

Svjetlosno zračenje obuhvaća optičko (vidljivo) i infracrveno zračenje s frekvencijama od 3×10^{11} Hz pa sve do 3×10^{15} Hz. Izvori svjetlosnog zračenja su razne vrste svjetiljki, pokazivački uređaji, naprave za autogeno zavarivanje te razni laserski uređaji. Najjači izvor ove vrste zračenja u prirodi je Sunce. Elektromagnetska polja zajednički je naziv za dio neionizirajućeg zračenja koje obuhvaća električna i magnetska polja te elektromagnetske valove frekvencija do 3×10^{11} Hz (300 GHz). To područje obuhvaća široki pojas spektra od statičkih električnih i magnetskih polja, zatim polja mrežnih frekvencija, polja za radio veze, pa sve do mikrovalova.

Zemljino magnetsko polje, električna polja koja prate munje i električne oluje u atmosferi su prirodne pojave, dok je sva ostala elektromagnetska polja najvećim dijelom umjetno stvorio čovjek. Za ova polja često se koristi izraz **elektromagnetsko onečišćenje**. Veći dio elektromagnetskog onečišćenja uzrokovan je električnim i magnetskim poljima mrežne frekvencije od 50 Hz (u SAD 60 Hz). U tablici 1 prikazana su temeljna svojstva elektromagnetskih polja neionizirajućeg zračenja [2].

where $c \approx 3 \times 10^8$ m/s (speed of light).

Electromagnetic radiation consists of photons whose energy is directly proportional to frequency. Photon energy can be expressed as:

where $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J/Hz.

Photons of electromagnetic radiation with frequencies of 50 Hz (60 Hz in the US) that are used in electric power systems have a long wavelength and low energy, only approximately 3×10^{-13} eV (electronvolts). This energy cannot break down the electron bonds in organic molecules and cause detrimental biological effects in such a manner. Electromagnetic radiation that cannot cause the ionization of organic substances is known as **non-ionizing radiation** [1]. Non-ionizing radiation includes the part of the spectrum with frequencies lower than 3×10^{15} Hz, in which the photons lack sufficient energy for the ionization of matter. Non-ionizing radiation is divided into two basic forms, which are known as **light radiation** and **electromagnetic fields**.

Light radiation includes optical (visible) and infrared radiation with frequencies from 3×10^{11} Hz all the way up to 3×10^{15} Hz. The sources of light radiation are various types of lamps, pointing devices, autogenic welding equipment and various laser devices. The most common source of this type of radiation in nature is the sun. Electromagnetic field is a collective name for the part of non-ionizing radiation that includes electric and magnetic fields and electromagnetic waves of frequencies of up to 3×10^{11} Hz (300 GHz). This area includes the broadband spectrum of static electric and magnetic fields, fields at the network frequency, fields for radio connections all the way up to microwaves.

The earth's magnetic field, the electric fields that accompany lightning and electrical storms in the atmosphere are natural phenomena, while all other electromagnetic fields are largely artificially created by man. For these fields, the expression **electromagnetic pollution** is frequently used. Most electromagnetic pollution is caused by electric and magnetic fields at the network frequency of 50 Hz (60 Hz in the US). In Table 1, the basic properties of electromagnetic fields (non-ionizing radiation) are presented [2].

Tablica 1 – Temeljna svojstva elektromagnetskih polja (neionizirajuće zračenje)
 Table 1 – The basic properties of electromagnetic fields (non-ionizing radiation)

Frekvencija / Frequency	Valna dužina / Wavelength	Opis polja / Field description	Oznaka / Abbreviation	Izvori / Sources
0 Hz		Statična polja / Static fields		Zemljino magnetsko polje / Earth's magnetic field, istosmjerno napajanje / DC voltage supply
50 Hz 300 Hz	6 000 km 1 000 km	Krajnje niske frekvencije / Extremely low frequencies	ELF	Elektroprivredna i industrijska postrojenja / Electric power supply, industrial plants
3 kHz	100 km	Tonske (govorne) frekvencije / Voice frequencies	VF	Indukcijski grijači / Induction heaters
30 kHz	10 km	Vrlo niske frekvencije / Very low frequencies	VLF	Televizori / Televisions, monitori / computer monitors, računala / computers
300 kHz	1 km	Niske frekvencije / Low frequencies	LF	Radiostanice srednji val / Radio stations, AM longwave
3 MHz	100 m	Srednje frekvencije / Medium frequencies	MF	Indukcijska grijanja / Induction heating
30 MHz	10 m	Visoke frekvencije / High frequencies	HF	VF zavarivanje / HF welding equipment
300 MHz	1 m	Vrlo visoke frekvencije / Very high frequencies	VHF	Radiostanice UKV / Radio stations, FM broadcast
3 GHz	10 cm	Ultra visoke frekvencije / Ultra-high frequencies	UHF	Mobiteli, televizijski odašiljači, mikrovalne pećnice / Cell phones, television transmitters, microwave ovens
30 GHz	1 cm	Super visoke frekvencije / Super-high frequencies	SHF	Radari, satelitske veze, mikrovalne komunikacije / Radar, satellite connections, microwave communications,
300 GHz	1 mm	Ekstra visoke frekvencije / Extremely high frequencies	EHF	Usmjerene veze / Radio links

Ionizirajuće zračenje karakteristično je po vrlo štetnim učincima koji su razmjerni s jakostima polja i trajanju izlaganja. Elektromagnetska zračenja jako visokih frekvencija od 10^{15} do 10^{25} Hz (ultraljubičasto zračenje, gama zrake i X-zrake) imaju veoma malu valnu dužinu i sukladno tome fotone velike energije (do više MeV). Fotoni tih zračenja izazivaju ionizaciju molekula, i time veće ili manje oštećenje tkiva. Jaka oštećenja mogu imati za posljedicu odumiranje tkiva te smrt živog bića. Značajna oštećenja u rasplodnom tkivu dovode do mutacija i vrlo štetnih posljedica u potomstvu. Ionizirajuće zračenje, zbog svoje razornosti, dobro je proučeno i podliježe harmoniziranoj međunarodnoj zakonodavnoj kontroli. Ta vrsta zračenja nije predmet ovog članka.

Ionizing radiation is characterized by very harmful effects that are proportional to the strength of the fields and the duration of exposure. Electromagnetic radiations of very high frequencies of from 10^{15} to 10^{25} Hz (ultraviolet radiation, gamma rays and X-rays) have very short wavelengths and therefore high energy photons (up to several MeV). The photons of such radiation cause the ionization of molecules, and thereby more or less damage to the tissue. Severe damage can result in tissue destruction and lead to death. Significant damage to the reproductive can cause mutations and very harmful effects upon progeny. Ionizing radiation due to its destructive nature has been well studied and subjected to international legislative control. This type of radiation is not the subject of this article.

3 IZVORI ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

3.1 Prirodni izvori

Električna i magnetska polja stvara Zemlja svojim magnetizmom, Sunčeve aktivnosti, te atmosfera za vrijeme stvaranja munji i električnih oluja [2]. Zemlja proizvodi statično magnetsko polje, orijentirano u pravcu jug - sjever. Gustoća toka Zemljinog magnetskog polja varira od 30 μT do 70 μT ovisno o geografskoj širini te sastavu Zemljine kore, primjerice magnetski vodljive rudače ili lokalne planine. Prosječna jakost gustoće Zemljinog magnetskog polja iznosi 45 μT . Interesantno je primijetiti kako čovjek samim kretanjem u Zemljinom magnetskom polju inducira unutar tijela električno polje. Primjerice brzim trčanjem, brzinom oko 8 m/s, stvara se unutarnje električno polje od 400 $\mu\text{V/m}$. Takvu jakost električnog polja može inducirati niskofrekventno magnetsko polje gustoće magnetskog toka od 20 μT .

Razdvajanjem nevodljivih tvari, protjecanjem tekućina kroz cijevi, hodanjem po sagovima ili podovima od izolacijskih tvari, skidanjem najlonske odjeće i slično, stvaraju se električni naboji i time statična električna polja. Takva statična električna polja u ekstremnim slučajevima mogu stvoriti napone 100 000 V, a često su uzrok eksplozija ako se njihovo izbijanje odvija u atmosferi zapaljivih plinova ili prašine. Zemlja također stvara statično električno polje koje ovisi o stanju atmosfere. Za vrijeme mirnog i vedrog vremena polje ima jakost oko 200-300 V/m, ali za vrijeme električne oluje može narasti i preko 10 000 V/m.

Također, postoje prirodna vremenski promjenljiva električna polja. Ona su usko povezana s tokom električne struje kroz Zemljinu atmosferu uzrokovanu Sunčevim aktivnostima. Imaju vrlo široko frekvencijsko područje od 0,1 Hz pa do nekoliko MHz. Ta električna polja ovise o više čimbenika, kao što su geografski položaj, razdoblje dana i godišnje doba i veoma su slaba od 0,1 do 500 mV/m.

Svemu tome možemo još dodati kako prirodni biološki procesi stvaraju električna i magnetska polja unutar ljudskog ili životinjskog tijela. Ta polja prvenstveno su rezultat srčane aktivnosti, kao i aktivnosti mišića, a mnogo manje ovise o aktivnosti mozga ili živaca. Sve žive ćelije stvaraju električna polja. Općenito jakost električnog polja srca iznosi do 50 mV/m, a mozga i ostalih vitalnih organa do 5 mV/m. Električni signali tih polja mogu se snimati kao elektrokardiogrami (EKG) ili elektroencefalogrami (EEG) i služe za otkrivanje zdravstvenih smetnji ili oštećenja u mozgu.

3 SOURCES OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

3.1 Natural sources

Electric and magnetic fields are created by the earth with its magnetism, solar activities, and the atmosphere during the creation of lightning and electrical storms [2]. The earth produces a static magnetic field, oriented in the south-north direction. The flux density of the earth's magnetic field varies from 30 μT to 70 μT , depending upon the geographical latitude and the composition of the earth's crust, e.g. magnetic conductive ores or local mountains. The average magnetic flux density of the earth's magnetic field is 45 μT . It is interesting to note that a person's movements within the earth's magnetic field induce an electric field within the body. For example, running at a speed of approximately 8 m/s creates an internal electric field of 400 $\mu\text{V/m}$. Such an electric field can be induced by a low frequency magnetic field of 20 μT .

Separation of nonconducting substances, the flow of liquid through a pipe, walking on shag carpets or floors of insulating materials, the removal of nylon clothing etc. create electrical charges and thereby static electric fields. Such static electric fields in extreme cases can create voltage of 100 000 V, and are frequently the cause of explosions if they discharge into an atmosphere of flammable gases or dust. The earth also creates a static electric field that depends on the state of the atmosphere. When the weather is calm and clear, the field has a strength of approximately 200–300 V/m, but during an electric storm it can rise to over 10 000 V/m.

Furthermore, there are also natural time-varying electric fields. They are closely connected with the flux of electrical current through the earth's atmosphere, and caused by solar activities. These fields have a very broad frequency range of from 0,1 Hz to several MHz. Such electric fields depend upon several factors, such as the geographical position, the time of day and the season of the year, and are very weak, from 0,1 to 500 mV/m.

To all of this, we can also add how natural biological processes create electric and magnetic fields within human or animal bodies. These fields are primarily the result of cardiac activity, as well as muscles, and to a much lesser extent depend upon the activities of the brain or nerves. All living cells create electric fields. Generally, the strength of the electric field of the heart is up to 50 mV/m, and that of the brain and other vital organs up to 5 mV/m. The electric signals of these fields can be recorded by electrocardiograms (ECG) or electroencefalograms (EEG) and serve for detecting health disorders or brain damage.

3.2 Elektroprivredna postrojenja kao izvor elektromagnetskih polja

Električna energija proizvedena u elektranama prenosi se vodovima visokog napona od 110 kV do 750 kV prema potrošačkim područjima. Transformatorima se reducira napon na 400/230 V za mjesnu distribuciju. Široka populacija izložena je magnetskim poljima mrežne frekvencije, kod nas 50 Hz, preko tri pojedinačna izvora:

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

Prva dva izvora stvaraju **temeljno magnetsko zračenje**, za koje se koristi naziv **gustoća magnetskog toka okoline**. Prosječna vrijednost temeljne indukcije doseže 200 nT u stambenim i poslovnim zgradama. Ispod nadzemnih vodova visokog napona izmjerene su gustoće magnetskog toka od 5,2 μ T do 20,1 μ T, ali na udaljenostima od 50 m do 100 m ta vrijednost naglo opada prema temeljnoj vrijednosti gustoće magnetskog toka.

Kod električnog polja je situacija posve drugačija. Izmjere vrijednosti jakosti električnih polja E ispod nadzemnih vodova visokog napona, na visini od 1 m iznad tla, iznose od 600 V/m do 10 000 V/m. Prisustvo vodljivih objekata (npr. zidovi, ograde, drveće) u blizini zračnog voda deformira električno polje i mijenja njegovu jakost na svega 20 V/m i na taj način zaslanja prostor unutar zgrada od električnog polja nadzemnog voda.

Razine magnetskog polja kućanskih naprava znatno premašuju vrijednosti temeljne magnetske indukcije okoliša. Tako primjerice sušilo za kosu stvara gustoću magnetskog toka do 30 μ T, a električni štednjak do 10 μ T. Izloženost magnetskim poljima kućanskih aparata obično je, ali ne uvijek, neredovito i kratkog trajanja [3]. Utjecaj elektromagnetskih polja na čovjeka, uzrokovan elektroprivrednim postrojenjima, ima poseban značaj i bit će kasnije detaljnije razrađen.

3.3 Električni vlakovi

Električni vlakovi imaju jednu ili više električnih lokomotiva koje su odvojene od putničkih vagona (u smislu utjecaja elektromagnetskih polja). Posada lokomotive je izložena elektromagnetskim poljima električnih motora i ostale električne opreme. Putnici su uglavnom izloženi elektromagnetskim poljima što ga stvara opskrbeni nadzemni visokonaponski vod izmjenične struje iznad željezničke pruge. Gustoća magnetskog toka u vagonima može iznositi i do 50 μ T, a jakost električnog polja do 300 V/m. Pučanstvo

3.2 Electric power plants as sources of electromagnetic fields

Electrical energy produced in power plants is distributed to consumer areas via high voltage power lines from 110 kV to 750 kV. The voltage is reduced by transformers to 400/230 V for local distribution. The general population is exposed to magnetic fields at the network frequency, 50 Hz in Croatia, via three individual sources:

- high voltage transmission power lines,
- the local system for the distribution and low voltage electricity at home and at work, and
- electrical household appliances.

The first two sources create **basic**, so-called **background** magnetic radiation, known as the **magnetic flux density of the environment**. The average value of background induction reaches 200 nT in residential and commercial buildings. Below high-voltage overhead power lines, magnetic flux densities have been measured from 5,2 μ T to 20,1 μ T, but at distances from 50 m to 100 m this value rapidly decreases to the background value of the magnetic flux density.

With an electric field, the situation is entirely different. Measured values of electric field strength E below high-voltage overhead power lines, at a height of 1 m above the ground, are from 600 V/m to 10 000 V/m. The presence of conductive objects (for example, walls, fences, trees) in the vicinity of overhead power lines deforms the electric field and changes its strength to only 20 V/m and in this way screens the area inside a building from the electric field of the overhead power lines.

The levels of the magnetic fields of household appliances exceed the values of the background magnetic induction of the environment. Thus, for example, a hairdryer creates a magnetic flux density of up to 30 μ T, and an electric kitchen range of up to 10 μ T. Exposure to the magnetic fields of household appliances is generally, but not always, of short duration [3]. The impact of electromagnetic fields on a person due to electric power plants is of particular significance and will be discussed later in detail.

3.3 Electric trains

Electric trains have one or more electric locomotives that are separate from the passenger cars (in the sense of the impact of the electromagnetic fields). A locomotive crew is exposed to electromagnetic fields from the electric motors and other electrical equipment. Passengers are generally exposed to electromagnetic fields that are created by the high voltage alternating current from the overhead power

koje živi neposredno uz željezničke pruge može biti izloženo elektromagnetskim utjecajima nadzemnog opskrbnog voda, slično kao i kod prijenosnih nadzemnih visokonaponskih vodova, ali razina izloženosti je znatno niža te ovisi o sustavu napajanja električnom energijom željezničke pruge i varira od države do države.

Lokalni vlakovi, podzemna željeznica i tramvaji opskrbljuju se električnom energijom izmjenične ili istosmjernje struje preko nadzemnih vodova ili posebnih tračnica za istosmjernu struju. Motori i trakcijska oprema često su smješteni ispod poda putničkih vagona. Putnici su izloženi statičnim i vremenski promjenljivim magnetskim poljima. Gustoća magnetskog toka na razini poda tih prijevoznih sredstava može biti vrlo visoka od 2 mT do 3 mT. Gornji dijelovi tijela mogu biti izloženi gustoći magnetskog toka do 30 μ T.

3.4 Sustavi osiguranja

Sustavi protiv krađe u trgovačkim centrima koriste elektromagnetsko polje stvoreno prikladnom zavojnicom koje detektira postojanje ili nepostojanje odgovarajuće naljepnice (etikete). Frekvencija elektromagnetskog polja varira od nekoliko stotina kHz do nekoliko MHz i općenito ne prelazi dopuštene granice. Na sličnom principu rade sustavi za otvaranje vrata, odnosno za omogućavanje pristupa u neki prostor posredstvom identifikacijske kartice.

Za praćenje posudbe knjiga u knjižnicama također se koristi sličan sustav naljepnica s magnetskim kodom, koji djeluje pri frekvencijama od nekoliko kHz. Detektori metala u zračnim lukama djeluju pri jačim gustoćama magnetskog toka do 100 μ T, pri frekvencijama ispod 1 MHz. Prisustvo metala narušava magnetsko polje i na prikladan način ova se pojava signalizira. Unutar naprave, u koju je zapriječen pristup, redovito će jakost magnetske indukcije biti veća od dopuštenih granica.

3.5 Ekрани televizora i računala

Mnogi televizijski ekrani slični su ekranima računala i djeluju na sličnim principima. Oni stvaraju statična električna polja te izmjenična električna i magnetska polja pri različitim frekvencijama. Ipak, najnoviji ekrani s tekućim kristalima, ne stvaraju elektromagnetska polja značajnijih jakosti.

Ekрани starijih računala, koja koriste elektroničke cijevi, uzrokuju pojavu statičnog električnog polja jakosti i preko 100 kV/m na udaljenosti 5 cm od ekrana, koja opada na vrijednost oko 10 kV/m pri udaljenosti od 30 cm do 40 cm od ekrana.

supply line above the railway tracks. The magnetic flux density in cars is up to 50 μ T, and the electric field strength is up to 300 V/m. The population living in the immediate vicinity of railway tracks may be exposed to the electromagnetic effects of the overhead supply line, as with high-voltage overhead transmission lines, but the level of exposure is significantly lower and depends upon the power supply system of the railway tracks and varies from country to country.

Local trains, subways and trolley cars are supplied with alternating or direct current via overhead lines or special direct current tracks. Electric motors and track equipment are frequently located below the floors of passenger cars. Passengers are exposed to static and time-varying magnetic fields. The magnetic flux density at the floor level of these means of transportation can be very high, from 2 mT to 3 mT. The upper parts of the body can be exposed to magnetic flux densities of up to 30 μ T.

3.4 Security systems

Systems to combat theft in shopping centers use an electromagnetic field generated with a suitable coil that detects the presence or absence of the corresponding tag. The frequency of the electromagnetic field varies from several hundred kHz to several MHz and generally does not exceed the permitted limits. Systems for opening doors, i.e. for permitting entry to premises with an identification card, apply the same principle.

A similar system is employed to monitor the borrowing of books from libraries, using labels with magnetic codes that operate at frequencies of several kHz. Metal detectors at airports operate at strong magnetic inductions of up to 100 μ T and frequencies below 1 MHz. The presence of metal disrupts the magnetic field and this phenomenon is signaled in a suitable manner. Within the devices, to which access is blocked, the magnetic induction strength regularly exceeds the permitted limits.

3.5 Television screens and computer monitors

Many television screens are similar to computer monitors and operate on similar principles. They create static electric fields and alternating electric and magnetic fields of various frequencies. Nonetheless, the newest liquid crystal screens and monitors do not create electromagnetic fields of significant strength.

The monitors of older computers, that use electronic tubes, generate static electric fields of strengths that exceed 100 kV/m at a distance of 5 cm from the monitor screen, which drops to a value of

Ekrani modernih računala su vodljivi i smanjuju statička električna polja na razinu temeljnih vrijednosti u stambenim zgradama i u uredima. Prigodom korištenja raznih sustava monitoringa (daljinskog upravljanja i nadzora), operator, udaljen 30 cm do 40 cm od ekrana, izložen je izmjeničnom magnetskom polju, čija gustoća magnetskog toka ne prelazi vrijednost 700 nT. Na udaljenosti od nekoliko centimetara od ekrana gustoća magnetskog toka iznosi svega nekoliko μT . Jakost izmjeničnog električnog polja na položaju operatera ima vrijednosti od 1 V/m do 10 V/m.

3.6 Radijske i televizijske antene

Radio valovi se dijele u dvije osnovne grupe s obzirom na koji način prenose informacije. To su signali s amplitudnom modulacijom (AM) i druga vrsta s frekvencijskom modulacijom (FM). Signali s amplitudnom modulacijom (dugi, srednji i kratki val) koriste se za prijenos informacija na velike i srednje daljine, a signali s frekvencijskom modulacijom (ultra kratki val) samo za uže mjesno područje, ali s mnogo boljom kvalitetom zvuka.

Antene AM valova (dugi, srednji i kratki val) smještene su na visokim stupovima (primjerice kod nas Deanovac) ili se sastoje od metalnih žica razapetih između visokih stupova, koji mogu biti nekoliko desetaka metara visoki. Pristup u područje blizu antena mora biti zapriječen zbog relativno visokog zračenja samih antena i dovodnih kablova. Vrlo je bitno osigurati razinu elektromagnetskog zračenja ispod dopuštenih granica za široku populaciju eventualno nastanjenu u blizini omeđenog područja.

Antene frekventno moduliranih radio valova (FM) kao i televizijskih odašiljača te repetitora mnogo su manje nego antene AM valova i smještene su na stupove metalne konstrukcije, visoke nekoliko desetaka do stotinjak metara. Stupovi služe samo kao nosači antena. Frekvencije radiovalova su u području od 1 MHz do 300 MHz, a za televiziju se koriste frekvencije i do 1 GHz. Za ta područja, kao mjera za jačinu izloženosti ne koristi se gustoća magnetskog toka, već je to gustoća toka snage elektromagnetskog vala, za koju se koristi jedinica W/m^2 . Prosječna gustoća toka snage, kojoj je izložena široka populacija u području od 10 do 400 MHz iznosi oko $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$, a dopuštena vrijednost za to područje iznosi $2 \text{ W}/\text{m}^2$.

Kada su antene smještene na visoke stupove, pristup širokoj populaciji u podnožje stupa može biti omogućen, ukoliko je izloženost manja od dopuštenih granica. Male antene lokalnih televizija i radiostanica često se smještaju na vrhu visokih

approximatively 10 kV/m at a distance of 30–40 cm from the monitor screen. Modern computers have conductive screens which reduce the static electric fields to the level of the background value in residential buildings and offices. When using various monitoring systems (remote control and supervision), the operator at a distance of 30 to 50 cm from the screen is exposed to an alternating magnetic field, for which the strength of magnetic induction does not exceed the value of 700 nT. At a distance of several centimeters from the screen, the magnetic flux density only amounts to several μT . The strength of the alternating electric field at the position of the operator has values of from 1 V/m to 10 V/m.

3.6 Radio and television antennas

Radio waves are divided into two basic groups, based upon the manner of transmitting information. These are signals with amplitude modulation (AM) and other types with frequency modulation (FM). Signals with amplitude modulation (long, medium and short waves) are used for the transmission of information at long and medium distances, and signals with frequency modulation (ultra shortwave) are only for narrow local areas, but with a much better sound quality.

Antennas for AM waves (long, medium and short wave) are placed on high columns (for example, in Croatia at Deanovac) or consist of metal wires stretched between high columns that can be several tens of meters high. Access to the area near the antenna must be prohibited due to the relatively high radiation of the antennas themselves and the supply cables. It is most essential to insure that the level of the electromagnetic radiation is below the permitted limits for the general population eventually living in the vicinity of the boundary area.

Antennas for frequency modulated (FM) radio waves as well as for television transmitters and repeaters are much smaller than antennas for AM waves and are placed on columns of metal construction, several tens of meters up to a hundred meters in height. The columns serve as supports for the antenna. The frequencies of radio waves range from 1 MHz to 300 MHz, and for television frequencies are up to 1 GHz. For this range, magnetic flux density (μT) is not used as a measure for the intensity of exposure, but rather the flux power density of the electromagnetic wave, for which the unit of W/m^2 is used. The average flux power density to which the general population is exposed in sphere from 10 to 400 MHz amounts to approximately $0,1 \text{ W}/\text{m}^2$, and the permitted value for this sphere amounts to $2 \text{ W}/\text{m}^2$.

građevina (nebodera), pa je u takvim slučajevima nužan nadzor nad pristupom krovu.

3.7 Mobilna telefonija

Mobilni telefoni su mikrovalni uređaji malih snaga koji primaju i odašilju signale od/do bazičnih stanica, relativno jakih snaga. Izvorni, prethodni, sustav mobilne telefonije koristio je analogne signale za komunikaciju između ručnog uređaja (pokretnog telefona) i bazične stanice. Danas se analogni sustav naglo zamjenjuje digitalnim sustavom. Većina mobilnih telefona radi pri frekvencijama između 800 MHz do 2 GHz. Primjena viših frekvencija koristit će se u skoroj budućnosti. U blizini antena mobilne telefonije, koje su smještene na visokim stupovima ili na vrhu visokih zgrada moguća su izlaganja elektromagnetskim poljima većih snaga od dopuštenih granica. U području uobičajenog i normalnog pristupa oko antenskih stupova, neće biti prekoračenja dopuštenih granica, ali su nužna ograničenja pristupa širokoj populaciji na krovove zgrada gdje su postavljene antene.

Danas se korištenje mobitela uveliko proširilo te nema praktički obitelji ili poslovnih ljudi bez mobitela. Jedan dio široke populacije, doduše rijetko, može biti izložen stanovitom zračenju elektromagnetskih polja odašiljača mobilne telefonije, ali koja su drugačija od zračenja radio i televizijskih stanica. Takvi signali su osjetno slabiji u usporedbi sa zračenjima antena radio i televizijskih stanica i gustoća snage u prosjeku iznosi $0,1 \text{ W/m}^2$. Ipak su korisnici mobitela izloženi jakostima zračenjima višeg reda. Napredne moderne tehnologije, primjerice GSM tehnologija, proizvode naprave čija je jakost elektromagnetskih polja unutar preporučenih granica, ali su ta zračenja ipak višeg reda od onog na koji se nailazi u prirodnom okruženju.

Prigodom korištenja, mobitel je prislonjen uz glavu, ili je vrlo blizu glave. Neupotrebljiva je usporedba jakosti ovog zračenja s dopuštenim graničnim vrijednostima jakosti zračenja elektromagnetskih polja za cijelo tijelo. Za stvarnu procjenu izloženosti potrebno je utvrditi apsorbiranu snagu u glavi. Razvijeni su sofisticirani računarski programi za što realnije utvrđivanje apsorbirane snage u glavi. Izlazna snaga modernih digitalnih mobitela osjetno je manja od 1 W, a ograničena je kapacitetom baterije.

Spoznaja da prigodom korištenja mobitela dolazi do apsorpcije snage u glavi korisnika, a to znači i do apsorpcije energije kroz neko vrijeme, otvara pitanje može li ta apsorbirana energija uzrokovati sićušna oštećenja zdravlja kumulativnog

When antennas are located on tall columns, access by the general population to the base of the columns may be permitted if the exposure is less than the permitted levels. Small antennas of local television and radio stations are frequently located on the tops of tall buildings (skyscrapers), and in such cases the supervision of roof access is required.

3.7 Mobile telephones

Mobile telephones are low-strength microwave devices that receive and transmit signals from/to the base stations of relatively high power. The original mobile telephone system used analogue signals for communications between a mobile telephone and the base station. Today, the analogue system has been rapidly replaced by a digital system. The majority of mobile telephones operate at frequencies between 800 MHz and 2 GHz. The application of higher frequencies will be used in the near future. In the vicinity of mobile telephone antennas, which are located on tall columns or on the tops of tall buildings, it is possible to be exposed to electromagnetic fields of higher strengths than the permitted limits. In the area of customary and normal access around antenna columns, the permitted limits will not be exceeded but it is necessary to limit access by the general population to the roofs of buildings where antennas are installed.

Today, the use of mobile telephones has greatly spread so that there are practically no families or business persons without them. One segment of the general population, although rarely, may be exposed to certain electromagnetic fields of the transmitters of the mobile telephone networks, which are different than the radiation from radio and television stations. Such signals are perceptibly weaker in comparison to the radiation from radio antennas and television stations, and the average power density is $0,1 \text{ W/m}^2$. However, users of mobile telephones are exposed to radiation of a higher order. Advanced modern technologies, for example GSM technology, produce devices whose magnetic field strength is within the recommended limits, but this radiation is nonetheless of a higher order than that found in the natural environment.

When a mobile telephone is used, it is pressed against the head or very close to the head. It is futile to compare the strength of this radiation with the permitted limits of the electromagnetic field strength for the entire body. For the actual exposure assessment, it is necessary to determine the power absorbed by the head. Sophisticated computer programs have been developed for the most accurate possible determination of the power absorbed by the head. The output power of modern digital mobile telephones is significantly less than 1 W, limited by the battery capacity.

obilježja. Naglo širenje primjene mobitela izaziva zabrinutost o mogućim dugotrajnim zdravstvenim efektima u širokoj populaciji. Europska Komisija (EC) osnovala je posebnu radnu grupu koja je imala zadatak odrediti smjer novih istraživanja i prikazati postojeće rezultate. Radna grupa je ukazala na dugoročnost rješavanja ovog problema. Na ovu užu temu, o mogućem štetnom djelovanju na zdravlje ljudi uređaja mobilne telefonije urađen je također velik broj studija s dosta kontraverznih rezultata. Ipak, većina tih studija ukazuje kako nisu utvrđena znakovita narušavanja zdravlja. Radna grupa preporuča nastavak istraživanja.

Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) objavila je izvješće o toj temi, koje ukazuje da nema dokaza da zračenja uređaja mobilne telefonije izazivaju rak, ali je zbog opreznosti u svojoj preporuci limitirala gustoću snage na vrijednost od $f/200 \text{ W/m}^2$ za frekvencijsko područje od 400 MHz do 2 GHz i to za široku populaciju. Također je dana preporuka za nastavak istraživanja. Usvojena je izrada studije pod nazivom International EMF project, koju izrađuju zajednički Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization – WHO), Europska komisija, ICNIRP te ostale međunarodne institucije sa zadatkom da odgovori na pitanje o mogućem štetnom djelovanju elektromagnetskog zračenja uređaja mobilne telefonije – mobitela i bazičnih stanica.

3.8 Usmjerene UKV veze

Tanjuraste antene UKV usmjerenih veza proizvode uski snop elektromagnetskih valova, koji služi za komunikacije u vidljivom području, što znači da između odašiljača i prijarnika ne smije biti nikakvih prepreka (brda, zgrade i sl.). Radne frekvencije su između 2 GHz do 40 GHz. Tanjuraste antene smještaju se na stupove ili na krovove visokih zgrada. Postoji mogućnost izlaganja glavnom snopu na udaljenosti do sto metara od antene. Snaga emitiranja je relativno niska, ne više od 8 W, a vrlo često ispod 1 W. Ti elektromagnetski valovi ne pridonose značajno temeljnom elektromagnetskom onečišćenju i izloženost široke populacije je neznatna i daleko ispod dopuštenih granica.

3.9 Mikrovalne pećnice

Kućanske mikrovalne pećnice rade pri frekvenciji 2,45 GHz. Zračenje elektromagnetskih valova te frekvencije ne razara tkivo, već ga snažno i brzo ugrijava. Rasipni elektromagnetski valovi (oni koji prodiru izvan pećnice) vrlo naglo opadaju s udaljavanjem od pećnice. Mnoge zemlje imaju standarde kojima se ograničava snaga

The knowledge that power is absorbed by the head when mobile telephones are used, which means the energy absorption over time, poses the question of whether this absorbed energy can cause minute damage to health of a cumulative character. The widespread use of mobile telephones has caused concern regarding the potential long-term effects upon the health of the general population. The European Commission (EC) has established a special working group with the task of determining the direction of new investigations and the presentation of the existing results. The working group has expressed the long-term nature of the solution to this problem. A large number of studies with fairly controversial results have been prepared on the topic of the potential harmful effects of mobile telephone devices upon human health. Nevertheless, the majority of these studies have shown that significant detrimental effects upon health have not been confirmed. The working group recommends the continuation of investigations.

The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) has published report on this topic, which state that there is no direct evidence that the radiation from mobile telephone devices causes cancer, but for the sake of caution they recommend that power density should be limited to the value of $f/200 \text{ W/m}^2$ for the frequency range from 400 MHz to 2 GHz, and this for the general population. The recommendation was also given for the continuation of the investigations. The World Health Organization (WHO) established the International EMF Project, which is being prepared jointly with the European Commission, ICNIRP and other international institutions, with the task of answering the question on the potential harmful effects of electromagnetic radiation from mobile telephone devices - cell phones and base stations.

3.8 Ultra short wave (USW) radio links

Dish antennas for USW radio links generate a narrow beam of electromagnetic waves which serve for communication in the visible range. This means that between the transmitter and the receiver there can be no barriers (mountains, buildings etc.). The operating frequencies are from 2 GHz to 40 GHz. Dish antennas are mounted on columns or the roofs of tall buildings. There is a possibility for exposure to the main beam at distances of up to a hundred meters from the antenna. The emitted power is relatively low, not more than 8 W, and very often below 1 W. These electromagnetic waves do not contribute significantly to the basic electromagnetic pollution and the exposure of the general population is insignificant and far below the permitted limits.

rasipnih elektromagnetskih valova. Mikrovalne pećnice izrađene u skladu s tim standardima neće predstavljati opasnost za zdravlje široke populacije. Ipak, mikrovalna pećnica s oštećenim vratima može biti izvor opasnog zračenja. Taj rizik bit će otklonjen ugradnjom krajnjeg prekidača, koji isključuje dobavu električne energije pri otvorenim vratima pećnice. Kvar na takvom prekidaču predstavlja rizik korisnika, ako se koristi takva oštećena mikrovalna pećnica.

3.10 Radar

Radar emitira mikrovalove s frekvencijama od nekoliko stotina MHz do desetak GHz. Radarski signali su pulsirajući i vršni val ima mnogo veću snagu od osnovnog vala. Za određivanje graničnih dopuštenih vrijednosti zračenja uzimaju se toplinski učinci uzrokovani osnovnim valom, rjeđe vršnim vrijednostima. Mnogi radari rotiraju ili se pomiču gore-dolje i na taj način reduciraju gustoću snage kojoj mogu biti izloženi ljudi. Posebnu pozornost zahtijevaju vojni nerotirajući radari sa snopom velikih snaga koji zahtijevaju zaprječivanje pristupa u područje opasnog zračenja.

4 BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

4.1 Podjela po frekvencijskim područjima

U tablici 2 prikazani su svi izvori neionizirajućeg zračenja te vrste elektromagnetskih polja koja se susreću u našem okruženju i kojima možemo biti izloženi. Ta elektromagnetska polja mogu se svrstati u tri grupe prema načinu djelovanja i učincima.

Svjetlosno zračenje (ultraljubičasto, vidljivo i infracrveno) čiji fotoni nemaju dovoljnu energiju da proizvedu ionizaciju tvari, ali imaju dovoljnu energiju da izazovu elektronsku pobudu u molekulama tkiva te izazovu fotokemijske učinke i opekline. Zbog male valne duljine ovo zračenje ne prodire duboko u tkivo, već su učinci površinski (Sunčeve opekotine, oštećenja vida).

3.9 Microwave ovens

Household microwave ovens operate at a frequency of 2,45 GHz. The radiation of the electromagnetic waves and frequencies does not destroy tissue but instead heat it powerfully and quickly. Leaked electromagnetic waves (those that penetrate outside the oven) decrease very sharply at a distance from the oven. Many countries have standards according to which electromagnetic wave leakage is limited. Microwave ovens manufactured pursuant to these standards do not represent a hazard to the health of the general population. Nevertheless, microwave ovens with damaged doors can be a source of hazardous radiation. This risk will be eliminated by the installation of a safety interlock switch that turns off the electrical supply when the oven door is opened. When this interlock switch is faulty, there is a risk to the user if such a damaged microwave oven is used.

3.10 Radar

Radar emits microwaves with frequencies of from several hundred MHz to approximately ten GHz. Radar signals are pulsating and the peak wave has much greater power than the basic wave. For the determination of the limits of the permitted radiation values, heat effects caused by the basic wave are taken, and less often from the peak wave values. Many radars rotate or move up and down, and in this manner reduce the power density to which persons can be exposed. Military nonrotating radars with high power beams to which access must be prohibited in areas of hazardous radiation, warrant particular attention.

4 THE BIOLOGICAL EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

4.1 Classification according to frequency ranges

In Table 2, all the sources of non-ionizing radiation and the types of electromagnetic fields encountered in our milieu to which we are potentially exposed are presented. These electromagnetic fields can be classified into three groups, according to their activities and effects.

Light radiation (ultraviolet, visible and infrared) consists of photons which lack sufficient energy to produce the ionization of matter but do have sufficient energy to provoke electronic excitation in tissue molecules as well as photochemical effects and burns. Due to their short wavelengths, this radiation does not penetrate deeply into the tissue so the effects are superficial (sunburn, vision damage).

Tablica 2 – Tipične razine polja pojedinih izvora elektromagnetskog polja
 Table 2 – Typical field levels of individual sources of electromagnetic fields

Izvori / Sources	Vrsta polja / Field type	Maksimalna izloženost / Maximum exposure
Prirodna polja / Natural fields	Statično magnetsko polje / Static magnetic field	70 μ T
	Statično električno polje / Static electric field	200 V/m
Elektroprivredna postrojenja / Electric power supply plants	Magnetsko polje / Magnetic field	200 nT u kući / inside house
	Magnetsko polje / Magnetic field	20 μ T ispod voda / below power line
	Električno polje / Electric field	100 V/m u kući / inside house
	Električno polje / Electric field	10 kV/m ispod voda / below power line
Električni vlak i tramvaj / Electric trains and streetcars	Magnetsko polje / Magnetic field	50 μ T
	Električno polje / Electric field	300 V/m
Televizori i računala / Televisions and computers	Izmjenično magnetsko polje / Alternating magnetic field	700 nT
Nadzorni centri, operateri / Surveillance centers, operators	Izmjenično električno polje / Alternating electric field	10 V/m
	Statično električno polje / Static electric field	15 kV/m
TV i radio odašiljači / TV and radio transmitters	Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves	0,1 W/m ²
Stanice mobilne telefonije / Mobile telephone stations	Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves	0,1 W/m ²
Mikrovalne pećnice / Microwave ovens	Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves	0,5 W/m ²
Radari / Radars	Mikro elektromagnetski valovi / Micro-electromagnetic waves	0,2 W/m ²

Visokofrekventna elektromagnetska polja karakteristična su po svom pretežno toplinskom djelovanju, tj. zagrijavanju tkiva. Mikrovalna i radio frekvencijska elektromagnetska polja izazivaju titranje molekula i induciraju u tijelu vrtložne struje te na taj način zagrijavaju tkivo (mikrovalna pećnica). Ako čovjek, koji se nalazi u jakom visokofrekvencijskom polju, dođe u dodir s vodljivim predmetom poteći će **dodirna struja** koja izaziva bol, stres i opekotine.

Niskofrekventna elektromagnetska polja djeluju drugačije i po načinu i po intenzitetu. Također postoje učinci dodirnih struja i toplinski učinci, ali znatno slabijeg djelovanja. Prevladavaju biološki učinci elektro-dinamičkog ili magnetno-dinamičkog tipa (utjecaj na električna zbivanja unutar ćelija i molekula tkiva).

High frequency electromagnetic fields are characterized by their primarily thermal activity, i.e. the heating of tissue. Microwaves and radiofrequency electromagnetic fields excite molecules and induce eddy currents in the body and in this manner heat tissue (microwave oven). If a person in a strong high frequency field comes into contact with a conducting object, a **contact current** will flow which causes pain, stress and burns.

Low frequency electromagnetic fields act differently in terms of manner and intensity. There are also the effects of contact currents and heat, but of significantly weaker magnitude. The biological effects of an electro-dynamic or magneto-dynamic type prevail (effect on the electrical activity within cells and tissue molecules).

4.2 Biološki učinci elektromagnetskih polja krajnje niskih frekvencija (ELF)

Ova polja stvaraju elektroprivredna i industrijska postrojenja, te imaju posebni i veliki značaj za široku populaciju zbog svoje prisutnosti u ljudskom okruženju. Snaga zračenja elektromagnetskog vala mrežne frekvencije je zanemariva. Zorna je usporedba prijenosnog voda visokog napona i Mjeseca. Maksimalna gustoća snage fotonskog zračenja elektromagnetskog vala električnog voda manja je od $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, dok puni Mjesec u vedroj noći zrači Zemlju gustoćom snage od $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, dakle 2 000 puta jačom gustoćom. Kod elektromagnetskih polja vrlo niske frekvencije postoji golem razlika između valne duljine (6 000 km) i udaljenosti od izvora zračenja (do 100 m), te se ova polja, **električno polje** i **magnetsko polje** mogu mjeriti i razmatrati odvojeno [4] i [5].

Magnetsko polje nastaje protjecanjem električne struje kroz vodiče. Jakost magnetskog polja označava se slovom H , a jedinica te veličine je A/m . Jakost magnetskog polja je razmjerna s jakošću struje, a naglo opada s udaljenošću od vodiča kojim protječe struja. Učinci magnetskog polja ovise o gustoći magnetskog toka, oznaka B , čija je jedinica T (tesla). To je vrlo velika jedinica za razmatranje učinaka magnetskih polja na ljudski organizam, pa se koriste mnogo manje jedinice kao što su μT (mikro tesla, 10^{-6} T) ili čak nT (nano tesla, 10^{-9} T). U zračnom prostoru bez prisutnosti magnetski provodljivih tvari, postoji izravno razmjerna veza izražena jednadžbom:

$$B(\mu\text{T}) = 0,8 H (\text{A}/\text{m}). \quad (3)$$

Električno polje se pojavljuje uvijek oko vodiča pod naponom, odnosno svagdje gdje postoji električni naboj. Električno polje označava se slovom E , a njegova jakost izražava se jedinicom volt po metru, tj. u V/m . Isto kao i kod magnetskih polja postoje statička i vremenski promjenljiva električna polja, ovisno o tome kakav je njihov uzročni napon. Postoji velika razlika u prostiranju magnetskih i električnih polja. Magnetsko polje prodire kroz većinu tvari u našem okolišu i samo prepreke od magnetski provodljivih tvari (primjerice željezo) mogu spriječiti ili umanjiti njegovo prodiranje. Prodiranje, odnosno širenje električnog polja veoma lako se sprječava pomoću vodljivih prepreka. Pojava je poznata kao Faradayev kavez.

4.2 Biological effects of extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields

Such fields are created by electric power plants and industrial plants, and have specific and great significance for the general population due to their presence in the human environment. The energy strength of the radiation of an electromagnetic wave at the network frequency is negligible. A good example is the comparison of a high voltage power line and the moon. The maximum power density of the photon radiation of an electromagnetic wave from an electric power line is less than $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, while a full moon in a clear night emits radiation to the earth of a power density of $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, i.e. of 2 000 times greater density. In electromagnetic fields of very low frequency, there is an enormous difference between wavelength (6 000 km) and the distance from the source of the electromagnetic field (up to 100 m), and these fields, the **electric field** and **magnetic field**, can be measured and studied separately [4] and [5].

A magnetic field is generated when electric current flows through a conductor. The magnetic field strength is indicated by the letter H , and the unit is A/m . Magnetic field strength is proportional to the strength of the current and rapidly decreases with distance from the conductor through which the current is flowing. The effects of a magnetic field depend on the magnetic flux density, indicated as B , for which the unit is 1T (tesla). This is a very large unit for studying the impact of a magnetic field on the human body, and much smaller units are used such as the μT (microtesla, 10^{-6} T) or even the nT (nanotesla, 10^{-9} T). In the air and in absence of magnetically conductive substances, there is direct proportionality expressed by the following equation:

An electric field always occurs around a charged conductor. An electric field is indicated by the letter E , and its strength is expressed in volts per meter, i.e. V/m . As with magnetic fields, there are static and time-varying electric fields, depending on the source voltage. There is a great difference in the propagation of magnetic and electric fields. A magnetic field penetrates through the majority of the matter in our environment and only barriers of magnetic conducting substances (such as iron) can prevent or reduce their penetration. Penetration, i.e. the propagation of an electric field, can be very easily prevented by using conducting barriers. This phenomenon is known as a Faraday cage.

Električna polja krajnje niske frekvencije (25 Hz, 50 Hz i 60 Hz) se vrlo dobro eliminiraju vodljivim preprekama i u manjoj mjeri prodiru u tijelo. Njihov učinak na ljudsko tijelo u velikoj se mjeri prigušuje na vodljivoj površini tijela, a samo manjim dijelom prodire u unutrašnjost tijela, gdje neznatno utječe na stvaranje lokalnog električnog polja. Vremenski promjenljivo vanjsko magnetsko polje prodire u tijelo, gdje zbog pojave indukcije dovodi do induciranja struja te stvaranja lokalnog električnog polja.

Lokalno električno polje, stvoreno indukcijom, djeluje silom na nabijene čestice i dipole u organskom tkivu. Te sile uzrokuju gibanje električki nabijenih čestica (inducirane struje), mijenjaju orijentaciju dipola i induciraju napon na membranama. Istraživanja ukazuju da je većina ovih učinaka, koji se nazivaju potvrđeni učinci mrežne frekvencije posljedica stvorenog lokalnog električnog polja unutar tijela [2] i [6].

Potvrđeni učinci su oni učinci koji se temelje na znanstvenim objašnjenjima i za koje postoje dokazana uzročno-posljedična veza s izloženošću elektromagnetskim poljima. Potvrđeni učinci očituju se podraživanjem tkiva i oni se manifestiraju kao:

- neugodna ili bolna stimulacija osjetilnih ili motoričkih neurona,
- podražaji mišićnog tkiva, koje se može očitovati naglim trzanjem tijela i biti uzročnikom nezgoda prigodom obavljanja rizičnih radova,
- podraživanje neurona ili utjecaj unutar moždanog tkiva,
- stimulacija srčanih kontrakcija, koja mogu prouzročiti treperenje srca (ventrikularna fibrilacija srca),
- zagrijavanje samo površine tkiva,
- zagrijavanja tkiva.

Prva četiri navedena učinka su kratkoročna, jer se očituju trenutačnim reakcijama na izloženost električnom i magnetskom polju, koje se pojavljuju u prvim sekundama (obično i djelićima sekunde) nakon početka izloženosti. Preostala dva učinka su trajnijeg karaktera, a posljedica su djelovanja elektromagnetskih vrlo visokih do super visokih frekventnih polja. Osim potvrđenih učinaka postoji druga skupina učinaka, pretpostavljenih učinaka, koje nije moguće potvrditi na isti način kao potvrđene učinke, a na čije postojanje ukazuju urađene epidemiološke studije.

Pretpostavljeni učinci su dugoročni, kronični učinci vezani uz dugotrajno djelovanje magnetskih polja na strukturu i procese u ćelijama živih bića. Magnetsko polje djeluje na električno nabijene

Extremely low frequency electric fields (25, 50 and 60 Hz) are eliminated very well by conducting barriers and penetrate the body to a lesser extent. Their effect upon the human body is largely attenuated at the conducting surface of the body, and only a small portion penetrates inside the body, where the local electric field created is insignificant. A time-varying external magnetic field penetrates the body, generating induced currents that create a local electric field.

A local electric field, created by induction, exerts force on charged particles and dipoles in the tissue of the organism. This force causes the movement of charged particles (induced currents), changes the orientation of the dipoles and induces voltage on the membranes. Research has shown that the magnitude of these effects, the confirmed effects at the network frequency, are the consequence of the local electric field created within the body [2] and [6].

The confirmed effects are those effects that are based upon scientific explanations and for which there is evidence of a cause and effect relationship with exposure to electromagnetic fields. Confirmed effects are evident in tissue irritation and are manifested as follows:

- unpleasant or painful stimulation of the sensory or motor neurons,
- stimulation of muscle tissue, that can be manifested by sudden twitching of the body and cause accidents during the performance of hazardous work,
- stimulation of the neurons or an effect within the brain tissue,
- stimulation of heart contractions, that can cause cardiac ventricular fibrillation,
- heating of superficial tissue only, and
- heating of tissue.

The first four cited effects are of short duration, because they are manifested as instantaneous reactions to exposure to electric and magnetic fields, which occur in the first seconds (usually the first fractions of seconds) after the onset of exposure. The remaining two effects are of a lasting character, and the consequences of the activities of electromagnetic fields of very high to super high frequency. Besides the confirmed effects, there is another group of effects, assumed effects, which cannot be confirmed in the same manner as confirmed effects, the existence of which is indicated by epidemiological studies that have been performed.

Assumed effects are long-term, chronic effects related to the long-term activity of magnetic fields

čestice u gibanju silom koja im mijenja putanju, dok stvoreno lokalno električno polje mijenja polariziranost stanične membrane. Postavlja se logično pitanje kakav je rezultat takvih zbivanja kroz duže vremensko razdoblje? Izaziva li dugoročno izlaganje magnetskim poljima pojavu kancerogenih oboljenja, te trajnih poremećaja reproduktivnog i živčanog sustava?

Prvi značajni pomak u istraživanjima ovih procesa izazvali su Nancy Wertheimer i Ed Leeper (1979.) sa svojim epidemiološkim studijama kojima su utvrdili pozitivnu korelaciju između pojave leukemije djece i izloženosti magnetskim poljima u 500 kuća smještenih u blizini visokonaponskih vodova. Tom studijom su ukazali na 2 do 3 puta veći porast pojave leukemije kod ove djece u usporedbi s kontrolnom skupinom. U drugoj studiji su utvrdili pozitivnu korelaciju između nekoliko oblika raka kod odraslih osoba, a koje su živjele u blizini postrojenja s jakim strujama. Ove dvije studije izazvale su bujanje raznih epidemioloških studija, ali s vrlo kontradiktornim rezultatima. Nažalost, unatoč svemu tome, znanost još nema jednoznačan odgovor na ovo pitanje.

5 MJERE ZAŠTITE

5.1 Opće mjere, smjernice i zakonska regulativa

Utjecaj električnog polja niske frekvencije relativno se jednostavno uklanja na načelu Faradayovog kaveza, odnosno postavljanjem metalnih zaslona, metalnih mreža ili ekrana iz metalnih folija. Iza takvih naprava nema značajnijeg električnog polja. U niskonaponskim instalacijama električno polje ima neznatne iznose i od njega ne postoje nikakve opasnosti. Jakost magnetskog polja niske frekvencije može se u nekom prostoru smanjiti samo zaslonima od magnetski vodljivih materijala. Utjecaji električnog i magnetskog polja mogu se značajno umanjiti udaljavanjem od izvora (vodiča) tih polja.

5.2 Načelo razboritog izbjegavanja

Rizik trajnog narušavanja zdravlja zbog izlaganja zračenju niske razine elektromagnetskog polja ne može biti kvantificiran i nema do sada jasnih znanstvenih dokaza o postojanju rizika. Kako bi se ipak umanjile eventualne štetne posljedice usvojena je na međunarodnoj razini strategija s načelom **razboritog izbjegavanja** [1]. Ono se može definirati: **U pomanjkanju dokazanog rizika, razborito izbjegavanje predstavlja poduzimanje jednostavnih lako prihvatljivih mjera, malenih troškova, za smanjenje izloženosti.** Primjerice, u razborito izbjegavanje možemo uvrstiti pomicanje

on structures and processes in the cells of living beings. A magnetic field acts upon electrically charged particles in motion with a force that alters their path, while the created local electric field changes the polarization of the cell membranes. It is logical to ask about the results of such events over a long period of time. Does long-term exposure to magnetic fields cause malignant diseases and permanent disorders of the reproductive and nervous systems?

The first significant breakthrough in the investigation of these processes was published by Nancy Wertheimer and Ed Leeper (1979), concerning epidemiological studies according to which they confirmed a positive correlation between leukemia in children and exposure to magnetic fields in 500 houses located in the vicinity of high voltage power lines. In this study, they demonstrated that there was a two-fold to three-fold greater incidence of leukemia among these children in comparison to children in the control group. In another study, they confirmed a positive correlation regarding the incidence of several forms of cancer among adults who had lived in the vicinity of high current substations. These two studies prompted numerous other epidemiological studies, which produced highly contradictory results. Unfortunately, science still does not have an unambiguous answer to this question.

5 SAFETY MEASURES

5.1 General measures, guidelines and legal regulations

The effect of a low frequency electric field is relatively simple to eliminate, based upon the principle of the Faraday cage, i.e. by the erection of metal or metal-foil screens. There is no significant electric field behind such a device. In low voltage installations, the electric field has an insignificant value and there is no danger from it whatsoever. Low frequency magnetic field strength can only be reduced in some places with screens of materials that are magnetic conductors. The effects of electric and magnetic fields can be significantly reduced by moving away from the sources (conductors) of these fields.

5.2 The principle of prudent avoidance

The risk of permanently damaged health due to exposure to radiation from a low level electromagnetic field cannot be quantified and up to now there has been no clear scientific evidence that a risk exists. In order to reduce eventual harmful consequences, at the international level

električnog sata ili radio-aparata dalje od kreveta i izbjegavanje ljuljanja djeteta u zipki u niskom magnetskom polju unutar sobe. Preplitanjem i odgovarajućim razmještajem faznih vodiča kod dvo- ili više sistemskih nadzemnih vodova osjetno se mogu, jeftino, smanjiti jakosti elektromagnetskog polja. Odmicanje antenskih stupova od škola ili bolnica također spada u razborito izbjegavanje.

5.3 Temeljna ograničenja

U namjeri da se preventivno zaštiti svekoliko pučanstvo od eventualno štetnog i dugotrajnog izlaganja električnim i magnetskim poljima Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) u svojim preporukama predlaže **temeljna ograničenja** učinaka električnih i magnetskih polja [6]. Različite znanstvene osnove korištene su pri određivanju temeljnih ograničenja za različita frekventna područja:

- za područje od 1 Hz do 100 kHz određene su gustoća struje (mA/m^2) kao mjerodavna veličina kojom se sprječavaju smetnje u funkcioniranju živčanog sustava,
- za područje od 100 kHz do 10 MHz određene su gustoća struje (mA/m^2) i SAR (specifična apsorbirana snaga, W/kg) kao mjerodavne veličine kojom se sprječavaju smetnje u funkcioniranju živčanog sustava. SAR je i ograničenje predviđeno za sprječavanje toplinskog stresa cijelog tijela i pretjeranog zagrijavanja lokalnog tkiva,
- za područje između 10 MHz i 10 GHz temeljno ograničenje izraženo je sa SAR,
- između frekvencija od 10 GHz do 300 GHz kao mjerodavna veličina određena je gustoća toka snage S (W/m^2). Ovim ograničenjem se sprječava pretjerano zagrijavanje na površini ili blizu površine tkiva,
- za impulsna magnetska polja u području od 300 MHz do 10 GHz kao mjerodavna veličina uzima se SA (J/kg) (specifična apsorbirana energija po jedinici mase tkiva).

U frekvenzijskom području između nekoliko Hz i 1 kHz je utvrđena vrijednost gustoće struje od 100 mA/m^2 kao prag osjeta za akutne promjene u centralnom živčanom sustavu, to jest na temelju već navedenih potvrđenih učinaka. Potvrđeni učinci polja vrlo niskih frekvencija su kratkoročni, jer rezultiraju akutnim reakcijama tijela na električna i magnetska polja koja se manifestiraju u sekundama ili djelićima sekunde. Sa stanovišta sigurnosti za frekvenzijsko područje od 4 Hz do 1 kHz odlučeno je da granična vrijednost gustoće struje iznosi 10 mA/m^2 za profesionalno osoblje uz faktor sigurnosti 10. Za široku populaciju određen je još dodatni faktor 5, pa granična vrijednost za

a strategy has been adopted on the principle of **prudent avoidance** [1]. It can be defined as follows: **In the absence of proven risk, prudent avoidance is understood to mean simple, easily acceptable measures of little cost for reducing exposure.** For example, within prudent avoidance we can include moving an electric clock or a radio further away from the bed, and avoiding rocking a baby in a cradle within a low magnetic field inside a room. By twisting and the appropriate arrangement of phase conductors in two or more overhead power line systems, the electromagnetic field strength can be reduced perceptibly and cheaply. Moving antenna columns away from schools or hospitals is also included within prudent avoidance.

5.3 Basic restrictions

With the intention of preventively protecting the general population from eventual harmful and long-term exposure to electric and magnetic fields, the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) recommends **basic restrictions** on the effects of electric and magnetic fields [6]. Various scientific bases have been used in the determination of the basic restrictions for various frequency ranges:

- for the range from 1 Hz to 100 kHz, the current density (mA/m^2) has been determined as the relevant value for preventing disorders in the function of the nervous system,
- for the range from 100 kHz to 10 MHz, the current density (mA/m^2) and SAR (specific energy absorption rate, W/kg) have been determined as the relevant values for preventing disorders in the functioning of the nervous system. SAR restriction is also anticipated for preventing heat stress of the entire body and excessive heating of the local tissue,
- for the range from 10 MHz to 10 GHz, the basic restriction is expressed as SAR,
- between frequencies of from 10 GHz to 300 GHz, power density S (W/m^2) has been determined as a relevant value. This restriction prevents excessive heating on or near the tissue surface,
- for impulse magnetic fields in the range of from 300 MHz to 10 GHz, specific energy absorption per unit of tissue mass SA (J/kg), has been determined as a relevant value.

In the frequency range between several Hz and 1 kHz, the current density value of 100 mA/m^2 has been determined as the sensory threshold for acute changes in the central nervous system, based upon the previously mentioned confirmed effects. The confirmed effects of very low frequency fields are of brief duration because they result in acute reactions by the body to electric and magnetic fields, which

široku populaciju iznosi 2 mA/m^2 . Prema tome ukupni faktor sigurnosti za široku populaciju iznosi 50. Za frekventna područja iznad 1 kHz faktor ograničenja je sve stroži porastom frekvencije i povećanjem praga osjetljivosti.

Za utvrđivanje bioloških i zdravstvenih efekata elektromagnetskog polja u frekvencijskom području od 10 MHz do nekoliko GHz uzima se porast temperature tijela za $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Ta razina se postiže pri prosječnim uvjetima okoline, kada specifična apsorbirana snaga SAR za cijelo tijelo pojedinca iznosi 4 W/kg kroz 30 minuta. Ovdje je također iz sigurnosnih razloga primijenjen faktor sigurnosti 10 za profesionalno osoblje, te utvrđena granična vrijednost iznosi $0,4 \text{ W/kg}$. Za opću populaciju uz dodatni faktor sigurnosti 5, dobivamo prosječnu SAR razinu za cijelo tijelo od $0,08 \text{ W/kg}$. Za grijanje površine tijela u područje ekstra visokih frekvencija (EHF) od 10 GHz do 300 GHz mjerodavna je, kako je već rečeno, gustoća snage. Granična vrijednost za profesionalno osoblje iznosi 50 W/m^2 , a za široku populaciju 10 W/m^2 . Niže vrijednosti temeljnih ograničenja za izloženost opće populacije uzimaju također u obzir razlike u starosnoj dobi i zdravstvenom statusu prema radnicima.

U niskofrekventnom području ima mnogo podataka o učincima tranzijentnih struja (prolazne kratkotrajne struje) na zdravlje. ICNIRP preporučuje uzimanje vršne vrijednosti tranzijentne struje za utvrđivanje inducirane gustoće struje, a ne prosječne jakosti struje kroz period trajanja pojave. U tablici 3 prikazana su **temeljna ograničenja** za vremenski promjenljiva električna i magnetska polja frekvencija do 300 GHz za profesionalno osoblje i široku populaciju.

are manifested in seconds or fractions of seconds. From the safety standpoint, for the frequency range from 4 Hz to 1 kHz it has been decided that the limit value for current density is 10 mA/m^2 for occupational exposure with a security factor of 10. For the general population, an additional factor of 5 has been determined, so the limit value for the general population amounts to 2 mA/m^2 . Accordingly, the total safety factor for the general population is 50. For the frequency range over 1 kHz, the limiting factor is becoming increasingly stringent for higher frequencies and sensitivity thresholds.

For the determination of the biological and health effects of electromagnetic fields in a frequency range of from 10 MHz to several GHz, a $1 \text{ }^\circ\text{C}$ rise in body temperature is used. This level is achieved under average environmental conditions when the specific energy absorption rate, SAR, for the whole body of an individual is 4 W/kg for 30 minutes. For safety reasons, a safety factor of 10 is applied for occupational exposure and the determined value limit is $0,4 \text{ W/kg}$. For the general population, with an additional safety factor of 5, we obtain the average SAR level for the whole body of $0,08 \text{ W/kg}$. For the heating of the body surface in the extremely high frequency (EHF) range of 10 GHz to 300 GHz, power density is relevant, as previously mentioned. The value limit for occupational exposure is 50 W/m^2 , and for the general population is 10 W/m^2 . Lower basic restriction values for the exposure of the general population also take into consideration the differences in the age and health status of the general population in comparison to workers.

In the low frequency range, there is much information on the effects of transient currents on health. The ICNIRP recommends taking the peak values of transient currents for determining the induced current density, and not the average current strength during the period of the duration of the phenomenon. In Table 3, **basic restrictions** are presented for time-varying electric and magnetic field frequencies up to 300 GHz for occupational exposure and the general population.

Tablica 3 – Temeljna ograničenja za vremenski promjenljiva električna i magnetska polja frekvencije do 300 GHz
 Table 3 – Basic restrictions for time-varying electric and magnetic fields of frequencies up to 300 GHz

Promatrana skupina / Group studied	Područje frekvencije / Frequency range	Gustoća struje glava i trup / Head and trunk current density (mA/m ²)	Cijelo tijelo prosjek SAR / Whole body average SAR (W/kg)	Glava i trup SAR / Head and trunk SAR (W/kg)	Udovi SAR / Limb SAR (W/kg)	Gustoća toka snage S / Power density S (W/m ²)
Profesionalno osoblje / Occupational exposure	do / to 1 Hz	40	–	–	–	–
	1–4 Hz	40/f	–	–	–	–
	4 Hz–1 kHz	10	–	–	–	–
	1–100 kHz	f/100	–	–	–	–
	100 kHz–10 MHz	f/100	0,4	10	20	–
	10 MHz–10 GHz	–	0,4	10	20	–
	10–300 GHz	–	–	–	–	50
Široka populacija / General population	do / to 1 Hz	8	–	–	–	–
	1–4 Hz	8/f	–	–	–	–
	4 Hz–1 kHz	2	–	–	–	–
	1–100 kHz	f/500	–	–	–	–
	100 kHz–10 MHz	f/500	0,08	2	4	–
	10 MHz–10 GHz	–	0,08	2	4	–
	10–300 GHz	–	–	–	–	10

5.4 Referentne razine za ograničavanje izloženosti elektromagnetskim poljima

Gustoća struje i specifična apsorbirana snaga vrlo su neprikladne veličine, kao i njihove jedinice, u običnoj svakodnevnoj primjeni, jer se dosta teško utvrđuju. To je bio jedan od bitnih razloga da se prikladnim računarskim programima, modeliranjem i raznim proračunima utvrde jakosti električnih polja, magnetskih polja i magnetskih indukcija koje će proizvesti istu gustoću struje ili SAR iz tablice temeljnog ograničenja za svako frekventno područje. Jakost električnih i magnetskih polja te magnetsku indukciju u nekom prostoru danas se prikladnim instrumentima relativno jednostavno izmjeri. Na temelju toga ICNIRP je preporučio referentne razine za ograničavanje izloženosti elektromagnetskim poljima za profesionalno osoblje i za široku populaciju [6]. One omogućavaju efikasan nadzor nad izloženosti ljudi elektromagnetskim poljima.

Tablica 4 prikazuje referentne razine (dopuštene vrijednosti) pojedinih vrsta zračenja od 0 Hz do 300 GHz za široku populaciju koja može biti izložena i do 24 sata dnevno. Tablica 5 prikazuje referentne razine izloženosti elektromagnetskim poljima (dopuštene vrijednosti) za profesionalno osoblje uz prosječno radno vrijeme od 8 sati dnevno.

5.4 Reference levels for restricting exposure to electromagnetic fields

Current density and the specific energy absorption rate are highly unsuitable values, as are their units, in ordinary daily application because they are fairly difficult to determine. This was one of the significant reasons for determining the strength of electric fields, magnetic fields and magnetic inductions that would produce the same current density or SAR from the table of basic restrictions for each suitable frequency range, using computer programs, modeling and various calculations. Today, the strength of electric fields, magnetic fields and magnetic induction in a given place is simply measured with the suitable instruments. Based upon this, the ICNIRP has recommended reference levels for restricting exposure to electromagnetic fields for occupational exposure and the general population [6]. These permit effective supervision of the exposure of persons to electromagnetic fields.

Table 4 presents the reference levels (permitted values) for individual types of radiation from 0 Hz to 300 GHz that the general population can be exposed to for up to 24 hours daily. Table 5 presents the reference levels (permitted values) of exposure to electromagnetic fields for occupational exposure with an average working time of up to 8 hours daily.

Kod profesionalnog osoblja otvara se još jedno vrlo interesantno pitanje o mogućoj regeneraciji eventualno oštećenog staničnog tkiva tijekom preostalih 16 sati bez izloženosti. Ni na ovo pitanje do sada ne postoji jednoznačan odgovor.

Regarding occupational exposure, another highly interesting question arises regarding the possible regeneration of eventually damaged cells of the body tissue during the remaining 16 hours of the day when there is no exposure. Until now, there is no unambiguous answer to this question, either.

Tablica 4 – Referentne razine izloženosti elektromagnetskim poljima za široku populaciju
Table 4 – Reference levels of exposure to electromagnetic fields for the general population

Frekvencija / Frequency	<i>E</i> polje / field (V/m)	<i>H</i> polje / field (A/m)	<i>B</i> polje / field (μ T)	Gustoća toka snage <i>S</i> / Power density <i>S</i> (W/m ²)
do / to 1 Hz	–	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	–
1–8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	–
8–25 Hz	10 000	$4 000 / f$	$5 000 / f$	–
0,025–0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	–
0,8–3 kHz	$250 / f$	5	6,25	–
3–150 kHz	87	5	6,25	–
0,15–1 MHz	87	$0,737 f$	$0,92 / f$	–
1–10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,737 f$	$0,92 / f$	–
10–400 MHz	28	0,073	0,092	2
400–2 000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 / f^{1/2}$	$f / 200$
2–300 GHz	61	0,16	0,20	10

Ako u nekom slučaju bude izmjerena vrijednost neke veličine veća od navedene u tablici 4 ili 5 to ne mora značiti prekoračenje temeljnog ograničenja. Tada je nužno točnim proračunom izračunati gustoću struje ili SAR. Prigodom razrade referentnih razina (tablice 4 i 5) poštovano je načelo razboritog izbjegavanja.

In the case that a value is measured that is greater than those presented in Table 4 or 5, this does not necessarily mean that the basic restriction has been exceeded. It is then necessary to calculate precisely the current density or SAR. When the reference levels were developed (Tables 4 and 5), the principle of prudent avoidance was respected.

Tablica 5 – Referentne razine izloženosti elektromagnetskim poljima za profesionalno osoblje
Table 5 – Reference levels of exposure to electromagnetic fields for the occupational exposure

Frekvencija / Frequency	<i>E</i> polje / field (V/m)	<i>H</i> polje / field (A/m)	<i>B</i> polje / field (μ T)	Gustoća toka snage <i>S</i> / Power density <i>S</i> (W/m ²)
do / to 1 Hz	–	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	–
1–8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	–
8–25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 / 10^4 / f$	–
0,025–0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	–
0,82–65 kHz	610	24,4	30,7	–
0,065–1 MHz	610	$1,6 / f$	$2,0 / f$	–
1–10 MHz	$610 / f$	$1,6 f$	$2,0 / f$	–
10–400 MHz	61	0,16	0,2	10
400–2 000 MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f / 40$
2–300 GHz	137	0,36	0,45	50

Na temelju ICNIRP preporuka, Vijeće Europske unije donijelo je svoje smjernice **1999/ 519/EC** za široku populaciju [7], koje su u potpunosti jednake vrijednostima iz tablice 4 i direktivu **2004/40/EC** za profesionalno osoblje [8]. Osobito treba naglasiti da su ove smjernice obvezne za članice Europske unije. Propisane granične vrijednosti ne smiju biti prekoračene, ali mogu biti niže, što je stavljeno u nadležnost pojedinih država, članica Europske unije [7].

5.5 Dodirne struje

Vodljivi predmeti koji se nalaze u izmjeničnim elektromagnetskim poljima električki se nabijaju, tj. poprime određeni potencijal prema zemlji. U slučaju dodira čovjeka, koji se nalazi na nekom drugom potencijalu, s takvim predmetom dolazi do protjecanja dodirne struje kroz tijelo. Učinak struje može se manifestirati kao bol, stres i opekline. Potrebno je razlikovati **dodirne struje** od struja izbijanja elektrostatskog naboja. Struja izbijanja je jednokratna impulsna struja, kratkog trajanja, može poprimiti jakosti od nekoliko ampera i može prouzročiti jaku bol. Dodirne struje su izmjenične struje, koje mogu teći dok god je vodljivi predmet u elektromagnetskom polju. U sva tri dokumenta: u preporukama ICNIRP-a, u smjernicama Vijeća Europske unije i u našem pravilniku nalazimo iste referentne razine izloženosti za izmjenične dodirne struje za frekventno područje do 110 MHz, koje su prikazane u tablici 6.

On the basis of ICNIRP recommendations, the Council of the European Union has adopted Guidelines **1999/ 519/EC** for the general population [7] which are completely identical to the values from Table 4 and Directive **2004/40/EC** for the occupational exposure [8]. It is particularly necessary to emphasize that these guidelines are mandatory for the members of the European Union. It is prohibited to exceed the stipulated limits but they may be lower, which has been placed under the supervision of the individual member states of the European Union [7].

5.5 Contact current

Conducting objects located within alternating electromagnetic fields are charged, i.e. they have electric potential to the ground. In the case of a person at one potential touching an object at another potential, there is **contact current** flow through the body. The effect of the current can be manifested as pain, stress and burns. It is necessary to differentiate between contact current and electrostatic discharge current. Electrostatic discharge current is a rapid single pulse current of up to several amps and can cause great pain. Contact currents are alternating currents that can flow as long as the conducting object is in the electromagnetic field. In all three documents: in the recommendations of the ICNIRP, in the guidelines of the Council of the European Union, and in our regulations, we find the same reference levels for exposure to alternating contact currents at a frequency range of up to 110 MHz, as shown in Table 6.

Tablica 6 – Referentne razine za izmjenične dodirne struje
Table 6 – Reference levels for alternating contact current

Promatrana skupina / Group studied	Frekventno područje / Frequency range	Maksimalna dodirna struja / Maximum contact current (mA)
Profesionalno osoblje / Occupational exposure	do / to 2,5 kHz	1,0
	2,5 – 100 kHz	0,4 f^*
	100 kHz – 110 MHz	40
Široka populacija / General population	do / to 2,5 kHz	0,5
	2,5 – 100 kHz	0,2 f^*
	100 kHz – 110 MHz	20

* Frekvencija f izražava se u kHz [4] / Frequency f expressed in kHz [4]

Zbog veće osjetljivosti za odrasle žene treba umanjiti na 1/2, a za djecu na 1/3 gornjih vrijednosti. Za frekventno područje od 10 MHz do 110 MHz granične vrijednosti dodirnih struja u pojedinim udovima tijela izvedene su na temelju bazičnih ograničenja u SAR za udove i prikazane su tablici 7.

Due to greater sensitivity, for adult women it is necessary to reduce the above values to 1/2 and for children to 1/3. For frequency ranges from 10 MHz to 110 MHz, the contact current limits for individual limbs of the body are derived in SAR on the basis of the basic restrictions for limbs and presented in Table 7.

Tablica 7 – Referentne razine za izmjenične dodirne struje u udovima za frekvencije od 10 do 110 MHz
 Table 7 – Reference levels for alternating contact currents in limbs for frequencies of from 10 to 110 MHz

Promatrana skupina / Group studied	Maksimalna dodirna struja / Maximum contact current (mA)
Profesionalno osoblje / Occupational exposure	100
Široka populacija / General population	45

Prema ovim su preporukama u mnogim europskim zemljama donesene smjernice koje se primjenjuju za bolnice, škole, igrališta, parkove i stambene zgrade, te za zaposlenike koji su na radu izloženi zračenjima elektromagnetskih polja.

According to these recommendations, guidelines have been adopted in many European countries that are applied for hospitals, schools, playgrounds, parks and residential buildings, and for workers who are exposed to the radiation of electromagnetic fields at work.

5.6 Načelo opreznosti

Ozbilnost mogućih zdravstvenih oštećenja ponukala je nacionalne i internacionalne institucije i udruženja, a zatim državna tijela na uvađanje još strožih mjera zaštite na načelu opreznosti u zakonodavstvo pojedinih zemalja [1] i [9]. WHO u svojim dokumentima definira ovo načelo na slijedeći način:

Načelo opreznosti se definira kao 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.

Načelo opreznosti dobro je poznato našem narodu, a lijepo je izraženo narodnom poslovicom “**bolje spriječiti nego liječiti**”. U primjenu načela opreznosti može se svrstati izgradnja visokonaponske transformatorske stanice, u gradskoj sredini, u oklopljenoj izvedbi s plinom SF₆ radi smanjenja elektromagnetskog zračenja u okolinu. Također kao primjer primjene načela opreznosti može se navesti utvrđivanje nižih razina izloženosti zračenju elektromagnetskih polja od onih navedenih u tablicama 4 i 5.

U Hrvatskoj je donesen Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja [10] kojim se određuju načela i mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja te nadzor nad provedbom ovih mjera zaštite. U skladu s tim zakonom donesen je obvezujući **Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja** [11] u kojem se određuju dopuštene granične vrijednosti za jakost električnih, magnetskih i elektromagnetskih polja za profesionalno osoblje i za široku populaciju. Referentne razine koje propisuje ovaj Pravilnik niže su od zahtjeva Europske unije i to od 2 do 5 puta.

5.6 The precautionary principle

The severity of the potential health disorders has prompted national and international institutions and associations, as well as government bodies, to introduce even stricter protective measures into the legislation of certain countries, based upon the precautionary principle [1] and [9]. The WHO defines this principle in its documents as follows:

The precautionary principle is defined as taking prudent action 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.

The precautionary principle is well known to the Croatian nation, and it is well expressed in the saying: “**prevention is better than treatment.**” In the application of the precautionary principle, it is possible to include the construction of high voltage enclosed transformer substations with SF₆ gas insulation in the urban milieu, in order to reduce the electromagnetic radiation in the environment. Furthermore, as an example of an application of the precautionary principle, it is possible to cite the establishment of lower levels of exposure to radiation from electromagnetic fields than those stated in Tables 4 and 5.

In Croatia, the Non-Ionizing Radiation Protection Act has been adopted [10], which stipulates the principles and measures for protection from non-ionizing radiation and the supervision of the implementation of these protective measures. Pursuant to this act, the binding **Regulations on Protection from Electromagnetic Fields** has been adopted [11], in which the permitted levels have been stipulated for the strength of electric, magnetic and electromagnetic fields for occupational exposure and the general population. The reference levels that are stipulated by these Regulations are lower than the requirements of the European Union, and this from 2 to 5 times.

Kako bi se na neki način razbila bojazan i uklonio eventualni strah kod zaposlenika elektrostruke od štetnih posljedica za njihovo zdravlje, dan je u tablici 8 prikaz dopuštenih vrijednosti u prije spomenutim smjernicama, preporukama i Pravilniku. Usporedba vrijednosti iz tablice 2 i tablice 8 daje smirujući rezultat.

In order to relieve eventual fears among persons employed in professions involving electricity regarding harmful consequences to their health, in Table 8 the permitted values stipulated by the three aforementioned guidelines, recommendations and regulations are provided. Comparison of the values from Table 2 and Table 8 yields a reassuring result.

Tablica 8 – Usporedba dopuštenih graničnih vrijednosti jakosti električnih i magnetskih polja frekvencije 50 Hz
Table 8 – Comparison of the permitted limitations for the strength of electric and magnetic fields at the frequency of 50 Hz

Promatrana skupina / Group studied	1999 / 519 / EC [7] 2004/40/EC [8]		ICNIRP 1998		Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja / Regulations on Protection from Electromagnetic Fields	
	E polje / field (kV/m)	B polje / field (μT)	E polje / field (kV/m)	B polje / field (μT)	E polje / field (kV/m)	B polje / field (μT)
Profesionalno osoblje / Occupational exposure			10,0	500	5,0	100
Široka populacija / General population	5,0	100	5,0	100	2,0	40

Mjerenja električnih polja su vrlo složen proces koji zahtijeva posebna osjetljiva mjerila i veliko iskustvo. Takva ispitivanja nisu predmet ovog članka. Uspoređujući regulativu pojedinih država uočava se velika šarolikost i različiti pristupi, koji se mogu svrstati u tri grupe [2]:

- **blaži pristup**, koji se zasniva na smjernicama ICNIRP i dokazanim učincima, primjerice Austrija, SR Njemačka, Engleska, sve bez načela opreznosti,
- **umjereni pristup**, koji se zasniva na načelu opreznosti napr. Slovenija i Hrvatska,
- **radikalni pristup**, kojeg karakterizira intenzivna primjena načela opreznosti, kao primjerice Švicarska s graničnom vrijednošću gustoće magnetskog toka od 1 μT. Sličan pristup ima Italija.

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

Measurement of electric fields is a highly complex process that requires particularly sensitive instruments and great expertise. Such testing is not the subject of this article. Comparison of the regulations of individual countries shows a great variety among the approaches, which can be classified into three groups [2]:

- **a mild approach**, which is founded upon the guidelines of the ICNIRP and confirmed effects, for example, Austria, the Federal Republic of Germany, England, all lacking the precautionary principle,
- **a moderate approach**, which is founded upon the precautionary principle, for example Slovenia and Croatia,
- **a radical approach**, which is characterized by intense application of the precautionary principle, for example Switzerland, with value limits on magnetic induction of 1 μT. Italy has a similar approach.

Such a variety in approaches is an evident consequence of inadequate knowledge regarding the actual events within the cells of living tissue, leading to certain fears.

5.7 Tehničke mjere zaštite na elektroenergetskim postrojenjima

Određenim tehničkim zahvatima prigodom projektiranja, izbora opreme i izgradnje prijenosnih i distribucijskih vodova i postrojenja mogu se znatno smanjiti razine elektromagnetskih zračenja. U nastavku su navedene samo neke od njih:

Prijenosna mreža:

- izbor trasa nadzemnih vodova što je moguće dalje od urbanih sredina, bolnica, parkova i prostora gdje boravi mnogo ljudi,
- kod dvo- i više -sistemskih nadzemnih vodova odgovarajućim prepletima i rasporedom vodiča mogu se znatno smanjiti zračenja električnih i magnetskih polja,
- izgradnja oklopljenih visokonaponskih transformatorskih stanica u SF₆ izvedbi, pogotovo unutar gradskih sredina,
- smanjivanjem međusobnog razmaka između pojedinih jednofaznih visokonaponskih kabela na najmanju moguću pogonski pouzdanu mjeru,

Distribucijska mreža:

- izgradnja zatvorenih, kompaktnih sredjonaponskih transformatorskih stanica s izoliranim sabirnicama (smanjeni razmak između sabirnica),
- korištenje kompaktne izvedbe kabela,
- korištenje zračnih nadzemnih niskonaponskih vodova sa samonosivim izoliranim vodičima, umjesto nadzemnih vodova s golim vodičima,
- zaprječivanje pristupa s ogradama ili na sličan način u blizini transformatorskih stanica starijeg tipa, gdje nije moguće na jednostavan i jeftin način reducirati nivo zračenja.

6 ZAKLJUČAK

Uopće nije ni lako ni jednostavno predložiti koristan i opće prihvatljiv zaključak na kraju razrade te teme, pokušaja što boljeg informiranja stručne i šire javnosti o toj aktualnoj problematici. Spas je nađen u preporukama navedenim u obavijesno-promidžbenoj brošuri Electromagnetic fields u izdanju WHO [1], koje glase:

Informiranje:

- potrebno je obavijestiti široku populaciju, da unatoč golemih istraživačkih nastojanja, nema dokaza da unutar predloženih dopuštenih graničnih vrijednosti postoji rizik za zdravlje,

5.7 Technical safety measures at electric power plants

Through certain technical undertakings during the design, choice of equipment and construction of transmission and distribution power lines and substations, it is possible to reduce the level of electromagnetic radiation significantly. A few of these measures are presented below:

Transmission network:

- overhead power line routes should be as far as possible from urban milieus, hospitals, parks and places where there are many people,
- in two or more overhead power line systems, by twisting and appropriately arranging the conductors, it is possible to reduce the radiation of the electric and magnetic fields,
- enclosed high voltage transformer substations with SF₆ gas insulation should be constructed, particularly within an urban milieu,
- it is necessary to reduce the spaces between single phase high voltage power cables to the shortest possible distance that still assures reliable operation,

Distribution network:

- closed, compact, medium voltage transformer substations should be constructed with insulated busbars, with a short distance between the busbars,
- a compact cable layout should be used,
- self-supporting cables for low voltage overhead power lines with insulated conductors should be used instead of bare conductors,
- access should be prohibited with fences or in a similar manner in the vicinity of old-fashioned transformer substations, where it is not possible to reduce the radiation level in a simple and inexpensive manner.

6 CONCLUSION

It is not easy to propose a useful and generally acceptable conclusion to this attempt to inform the professional and general public about a problem that is of current interest. Salvation is found in the recommendations provided in the brochure of the WHO entitled Electromagnetic Fields [1], as follows:

Notification:

- it is necessary to inform the general population that despite exhaustives research, there is no

- nužno je podučavati osoblje tehničkih i zdravstvenih institucija, kako bi postali savjetodavci glede učinaka elektromagnetskih polja,
- mnoštvo informacija o elektromagnetskim poljima odlično je komunikacijsko sredstvo, pogotovo kada uključuje brošure i letke izdanih od WHO, ICNIRP i nacionalnih institucija,
- dodatno svemu tome, treba objavljivati i izvješća ostalih zemalja s namjerom ukazivanja na sveopću suglasnost savjetodavnih institucija diljem svijeta,
- lokalne institucije i vlasnici uređaja koji uzrokuju elektromagnetsko onečišćenje moraju organizirati mjerenja jakosti i raspodjelu elektromagnetskih polja, usporediti sa smjernicama, odnosno propisima, te objaviti rezultate,

Poduka:

- u sredinama, gdje postoji velika zabrinutost i strah kod stanovništva, mora se primijeniti intenzivna informacijska kampanja provedena od strane mjesnih nadležnih institucija, što je mnogo bolje nego širenje negativnih informacija i savjeta,
- elektroprivredne i telekomunikacijske tvrtke poticati na aktivno uključanje u te akcije,
- takve široke informativne akcije moraju biti potpuno otvorene od samog početka, sa svrhom izbjegavanja opće zabrinutosti od sukoba interesa (ova može narasti kada su osnovni izvori kampanje skriveni),

Smanjenje rizika:

- suglasnost sa smjernicama i propisima mora biti osnova za provođenje akcije zaštite široke populacije,
- veći dio zračenja kojem je izložena široka populacija ispod je dopuštenih granica i nije nužna intervencija. Pojedinačni problemi mogu nastati kod krovnih antena jakih snaga za telekomunikacijske sustave, ako je omogućen pristup pučanstvu na krov. U takvom slučaju je nužno postaviti tablice zabrane pristupa ili, što je još bolje, zapriječiti pristup na odgovarajući način. Isto vrijedi i za antenske stupove, ako je na pristupačnom podnožju razina zračenja iznad propisanih granica,
- prilagodba razboritom izbjegavanju elektromagnetskog onečišćenja treba biti političko i društveno pitanje koje spada u nadležnost i aktivnost lokalnih i nacionalnih uprava,
- razborito izbjegavanje, kao strategija, ne zasniva se na aktualnim znanstvenim otkrićima u odnosu na moguću opasnost od

evidence of a health risk within the proposed permitted reference levels,

- it is necessary to instruct the personnel at technical and healthcare institutions, in order for them to be able to provide advice regarding the effects of electromagnetic fields,
- there is a wealth of available information on electric magnetic fields for informing the public, especially when brochures and flyers issued by the WHO, ICNIRP and national institutions are included,
- additionally, it would be necessary to publish reports from other countries, with the intention of emphasizing the general agreement among the advisory institutions throughout the world,
- local institutions and owners of devices that cause electromagnetic pollution must organize the measurement of the strength and distribution of the electromagnetic fields, compare them with the guidelines or regulations, and publish the results,

Instruction:

- where there is great concern and fear among the population, it is necessary to organize intense educational campaigns conducted by the local authorized institutions,
- electric power and telecommunications firms should be encouraged to become actively involved in such campaigns,
- these educational campaigns must be completely open from the very beginning, in order to avoid raising general concerns regarding conflicts of interests (which can develop when the origins of a campaign are concealed),

Reduction of risk:

- concordance between the guidelines and regulations must be the basis for the implementation of a safety campaign among the general population,
- the majority of the radiation to which the general population is exposed is below the permitted limits and intervention is not required. Individual problems could arise with roof antennas for high power telecommunications systems, if the general population has access to the roof. In such a case, it is necessary to erect signs that prohibit access or, even better, prevent access in a suitable manner. The same applies for antenna columns when the radiation level is above the stipulated limits at the base, if accessible,
- regulation with prudent avoidance of electromagnetic pollution should be a political and social question that falls under the authority of the local and national administrations,

- opskrbe i distribucije električne energije ili postojećeg telekomunikacijskog sustava,
- razborito izbjegavanje, kao strategija, ne može biti znanstveno potvrđeno, ali ima prostora za jednostavne i jeftine mjere zaštite za reduciranje izloženosti zračenju, radi smanjenja zabrinutosti pučanstva.

Načelo opreznosti nije ni politiziranje znanosti, niti prihvaćanje nultog rizika, ali pruža temelj za akciju kada znanost nije u stanju dati jasan odgovor.

- prudent avoidance as a strategy is not based upon actual scientific findings concerning the potential hazards of the supply and distribution of electricity or the existing telecommunications system,
- prudent avoidance as a strategy cannot be scientifically confirmed but there is a place for simple inexpensive safety measures for reducing exposure in order to ease public fears.

The precautionary principle is neither the politicization of science nor the acceptance of zero risk, but provides a foundation for action when science is not able to provide a clear answer.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] CHADWICK, P., SIENKIEWIECZ, Z., Electromagnetic fields, World Health Organization, Regional Office for Europe, 1998
- [2] PAVIĆ, A., BRAČIĆ, I., Mjerenje elektromagnetskih polja elektroprivrednih objekata i usporedba s međunarodnim preporukama i hrvatskim zakonom, ENCONET, Zagreb, 2001.
- [3] HRN EN 50366 Kućanski i slični električni aparati – Elektromagnetska polja – Postupci ocjenjivanja i mjerenja (EN 50366:2003)
- [4] Environmental Health Criteria 35, Extremelv Low Frequency (ELF) Fields, WHO, 1984
- [5] Environmental Health Criteria 69, Magnetic Fields, WHO, 1987
- [6] Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), ICNIRP, 1998
- [7] 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
- [8] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and the Council of 29 April 2004
- [9] EMF exposure Guidelines and policies, The present situation 3, International EMF project
- [10] Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja, Narodne novine br. 105/1999
- [11] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja, Narodne novine br. 204/2003

Uredništvo primilo rukopis:
2006-08-30

Manuscript received on:
2006-08-30

Prihvaćeno:
2006-09-25

Accepted on:
2006-09-25

TEHNIKA IZVOĐENJA TERMINSKIH UGOVORA UZ PRIMJENU HEDGING METODE THE TECHNIQUES OF EXERCISING FUTURES AND FORWARDS BY THE HEDGING METHOD

Mr. sc. Vedran Uran, A. Kovačića 20, 51000 Rijeka, Hrvatska
Vedran Uran, MSc, A. Kovačića 20, 51000 Rijeka, Croatia

Ponuda i potražnja električne energije zbog njenih ograničenja mora biti uvijek uravnotežena.

Cijene električne energije neprestano variraju te ih nije moguće sa sigurnošću odrediti.

Promptna ili spot cijena električne energije odraz je trajne uravnoteženosti proizvodnje i opskrbe električnom energijom. Zbog nekontroliranog izlaganja riziku od stalnih promjena spot cijene električne energije, sudionici tržišta mogu si stvoriti gubitke. Zbog toga su na tržištu uvedeni terminski ugovori. Njima se može ograničiti tržišni rizik uz primjenu hedging metode.

Dva su tipa terminskih ugovora: future ugovori s kojima se trguje na burzi i forward ugovori s kojima se trguje izvan burze. U radu se daje njihov opis, razlike i primjena. Nakon toga slijedi opisivanje hedging metode te njena primjena na future ugovorima. Pri kraju rada dana je primjena future ugovora na najvećoj srednjoeuropskoj burzi EEX (European Electricity Exchange).

Supply and demand are always supposed to be balanced due to certain limitations relating to electricity. Electricity prices fluctuate constantly and cannot be determined with complete certainty. The spot market price of electricity is a reflection of the continuous equilibrium among the production and supply of electricity. Due to uncontrolled exposure to the risk of the continual fluctuations of the spot market prices, market participants can incur financial losses. For this purpose, future and forwards have been introduced on the market. Owing to them, market risk can be hedged by employing the hedging method. Two types of such contracts exist: futures traded on electricity exchanges and forwards traded on over-the-counter markets. In this article, the descriptions, differences and application of these contracts are presented. A description of the hedging method and its application to futures is provided. At the end of the article, an application of a futures contract on the largest Middle European electricity exchange, EEX, is presented

Ključne riječi: električna energija, forward ugovor, future ugovor, hedging.

Key words: electricity, forwards, futures, hedging



1 UVOD

Tržište električne energije nešto je drugačijeg karaktera od tržišta robom i vrijednosnicama. Razlog je što električnu energiju nije moguće skladištiti, a i njen prijenos je ograničen. Promptna ili spot cijena električne energije odraz je trajne uravnoteženosti proizvodnje i opskrbe električnom energijom.

Zbog nekontroliranog izlaganja riziku od stalnih promjena spot cijene električne energije, sudionici tržišta mogu si stvoriti gubitke. No, primjenom financijskih derivata (skraćeno: derivata) moguće je ograditi se od tržišnih rizika. Glavna uloga derivata, kao što su terminski ugovori tipa future i forward, ugovori o zamjeni ili swap, opcije te egzotične opcije koje uključuju tzv. spark spread, je smanjiti tržišne rizike uz primjenu hedging metode. Tom metodom koriste se sudionici tržišta električne energije poput proizvođača, dobavljača, opskrbljivača, te ostalih sudionika sposobnih za upravljanje rizicima.

Ovaj je članak organiziran u četiri poglavlja: nakon uvodnog izlaganja slijedi drugo poglavlje u kojem je dana definicija terminskih ugovora. Navedena je razlika između future i forward ugovora, njihove prednosti i nedostaci, te njihova primjena na burzama električne energije u svijetu. U trećem se poglavlju pažnja posvećuje hedging metodi, njenoj formulaciji te je shodno tome izložen jedan primjer. Četvrto poglavlje opisuje primjenu future ugovora na burzi EEX (European Electricity Exchange). Pri kraju rada slijedi zaključak i popis literature.

2 TERMINSKI UGOVORI

2.1 Definicija

Dvije su vrste terminskih ugovora: future i forward. Obje su vrste ugovora na sličan način formulirane, a predstavljaju obvezu kupnje ili prodaje određene količine električne energije po unaprijed dogovorenoj cijeni, odnosno terminskoj cijeni koja vrijedi do datuma dospjeća ili datuma isteka ugovora.

Vrijednost terminskog ugovora koji jamči isporuku električne energije po terminskoj cijeni F u trenutku isteka ugovora jednaka je sljedećem izrazu [1], [2]:

$$V = (S_T - F), \tag{1}$$

1 INTRODUCTION

The electricity market somewhat differs from the commodities market and stock exchange. The reason is that the electricity is non-storable and its transmission is limited. The spot market price of electricity is a reflection of the continuous equilibrium among the production and supply of electricity.

Due to uncontrolled exposure to the risk of the continual fluctuations of the spot market prices, market participants can incur financial losses. However, through the application of financial derivatives, it is possible to hedge exposure to market risks. The essential rule of derivatives, such as futures, forwards, swaps, options and exotic options, including spark spreads, is to reduce the market risks by hedging. This method is used by market participants, including producers, suppliers, load-serving entities and others able to manage risks.

This article is organized into four chapters: the introductory chapter is followed by the second chapter, which provides definitions of futures and forwards, their differences, advantages, disadvantages and applications on the electricity exchanges of the world. The third chapter is focused on the hedging method, its formulation and an example. The fourth chapter describes the application of futures on the European Electricity Exchange (EEX).

2 FORWARDS AND FUTURES

2.1 Definitions

Two types of contracts have been introduced: futures and forwards. Both of them have similar formulations, represented as the obligation to buy or sell a specific amount of electricity at the settlement price, i.e. the forward price that is valid up to the due date or maturity date.

The value of such a contract, which guarantees power delivery at the forward price F at the time of the contract maturity, is equal to the following expression [1] and [2]:

gdje je S_T spot cijena električne energije koja odgovara srednjoj vrijednosti svih spot cijena u razdoblju ugovora koji istječe u trenutku T .

Električna energija isporučuje se u razdobljima vršne i temeljne potražnje. Uobičajeno je da se vršna ili on-peak električna energija isporučuje u razdobljima kad je potreba za električnom energijom najveća. Temeljna ili off-peak električna energija isporučuje se kad je potreba za njom najmanja.

Prilikom sklapanja **future ugovora** utvrđuje se ukupna količina električne energije koja treba biti isporučena, njezina cijena, mjesto isporuke, trajanje isporuke, količina električne energije tijekom razdoblja isporuke te posljednji dan za trgovanje koji pada na datum konačnog ispunjavanja obveza prema future ugovoru.

Forward ugovor sklapa se ukoliko su poznati detalji isporuke električne energije poput ukupne količine, količine po satu, tip električne energije, cijena ili formule za izračun cijene, mjesto isporuke te razdoblje trgovanja koje uključuje i tjedni i dnevni raspored. Primjer kako izgleda jedan forward ugovor o isporuci električne energije po fiksno utvrđenoj cijeni prikazan je u tablici 1.

where S_T represents the spot market price of electricity, which corresponds to the average values of all the spot market prices over the contract period up to the maturity time T .

The electricity is delivered during periods of on-peak and off-peak demand. On-peak electricity is usually delivered during periods when the electricity demand is the highest. Off-peak electricity is delivered when the electricity demand is the lowest.

In a **futures**, the total quantity of the electricity to be delivered, electricity price, delivery point, delivery schedule, quantity of the electricity during the delivery periods and the last day of trading, i.e. the date of the futures contract execution, must be specified.

A **forwards** is made if the delivery details such as the total quantity, quantity per hour, type of electricity, prices or pricing models, delivery point and trading periods, which include weekly and daily schedules, are known. An example of a fixed-price forward contract for power delivery is shown in Table 1.

Tablica 1 – Primjer forward ugovora s fiksno utvrđenom cijenom električne energije [3]
Table 1 – Example of a fixed-price forward contract for power delivery [3]

Kupac / Buyer	ABC	Prodavatelj / Seller	XYZ
Količina / Quantity (MW)	50	Količina / Quantity (MW/h)	16 800
Cijena / Price (EUR/MWh)	40,50	Tip energije / Type of Energy	Firm (LD) / Firm (LD)
Datum početka trgovanja / Start Date	1. travnja 2005. / April 1, 2005	Datum završetka trgovanja / End Date	30. travnja 2005. / April 30, 2005
Tjedni raspored trgovanja / Day of the Week	Ponedjeljak – Petak, vršni sati / Mon – Fri, Peak Hours	Dnevni raspored trgovanja / Hours	7–22 sata / HE 0700–2200 CPT
Mjesto isporuke / Delivery Point	Prodavateljev izbor / Seller's Choice		

Terminski ugovori dospijevaju najmanje u roku od sat vremena do najviše jedne godine. Neki su terminski ugovori financijske prirode pa se u tom slučaju plaćanja podmiruju prema određenom indeksu tržišne cijene koji se utvrđuje na dan dospijeća tog ugovora. Drugi terminski ugovori obvezuju prodavatelja na fizičku isporuku električne energije. Uobičajeno je da su ugovori o fizičkoj isporuci električne energije oni koji dospijevaju u roku jednog sata ili jednog dana. Oni ugovori koji dospijevaju u roku tjedan ili mjesec dana mogu biti i fizički i financijski, te se njima trguje putem brokera, ili ih pak sudionici tržišta izravno izvode na tržištima izvan burze (tzv. OTC – Over the Counter).

Forwards and futures can mature over a minimum period of one hour to a maximum period of one year. Some of these contracts are of a financial nature, which are settled through financial payments based on a certain market price index at maturity. Others are physical contracts that are settled through the physical delivery of electricity. Contracts on physical delivery usually mature over a period of one hour or one day. Contracts which mature over a period of one week or one month can be physical or financial, settled and traded through brokers, or the market participants can trade them on the over-the-counter markets (OTC).

2.2 Usporedba future i forward ugovora

Future ugovori su za razliku od forward ugovora visoko standardizirani po specifikacijama, tj. striktno se mora navesti mjesto trgovanja, zahtjevi za ispunjavanje ugovornih obveza su veliki kao i procedure za obavljanje transakcija. Ugovorena količina električne energije za isporuku obično je znatno manja kod future nego kod forward ugovora.

Future ugovorima isključivo se trguje na burzama, dok se forward ugovori sklapaju na tržištima izvan burze, i to u obliku bilateralnih transakcija. Većina future ugovora sklapa se s obvezom financijskog podmirivanja, umjesto s obvezom fizičke isporuke, što smanjuje transakcijske troškove. Povrh toga, kreditni rizici i troškovi za praćenje procesa trgovanja future ugovorima znatno su niži nego kod forward ugovora, iz razloga što burze provode striktnu zahtjeve za pokrivanje margina kako bi se osigurala stalna likvidnost tržišta. Transakcije koje se obavljaju na tržištima izvan burze osjetljive su na nelikvidnost odnosno na trenutke kad sudionik tržišta ne podmiruje plaćanja u skladu s ugovornim obvezama. Dobici ili gubici stvoreni izvođenjem future ugovora obračunavaju se svakodnevno, što je suprotno od forward ugovora jer se oni kumuliraju i isplaćuju na dan isteka ugovora, čime se povećava rizik od nelikvidnosti.

Uspoređujući ove dvije vrste terminskih ugovora, prednosti future ugovora prema forward ugovoru su sljedeće:

- veća transparentnost cijena,
- zajamčena likvidnost trgovanja,
- manji transakcijski troškovi te troškovi za praćenje procesa trgovanja,

dok su nedostaci:

- zahtjev za strogim specificiranjem podataka o načinu trgovanja i izvođenju transakcije,
- ograničene količine električne energije po jednoj transakciji,
- od sudionika tržišta zahtjeva se pokrivanje margina pomoću novca, vrijednosnica ili garancija.

2.3 Primjena terminskih ugovora

Future ugovori se na tržištu električne energije po prvi put pojavljuju još 1993. godine, i to na Nord Pool burzi (tj. Nordic Power Exchange), prvoj takvoj u Europi koja pokriva tržišta Skandinavskih zemalja. Na američkom se tržištu prva transakcija future ugovora dogodila 1996. godine, i to na njujorškoj burzi NYMEX. Nakon toga započinje trgovanje future ugovorima na čikaškoj burzi

2.2 Comparison of futures and forwards

Unlike forwards, futures are highly standardized due to certain contract specifications, which have to be strictly stipulated, i.e. the trading points, requirements for fulfilling the huge contracted obligations and the transaction procedure. The contracted amount of the electricity assigned for a delivery is significantly lower in the case of a futures than in a forwards.

Futures are traded exclusively on the electricity exchanges, while forwards can be traded on over-the-counter markets. Most futures are contracted with an obligation of financial fulfillment, rather than with an obligation of physical fulfillment, which reduces certain transaction costs. Moreover, loan risks and the costs of monitoring the futures trading process are significantly lower than in the case of forwards because the electricity exchanges implement strict requirements for covering the margins, which are aimed at ensuring steady market liquidity. Transactions on the over-the-counter markets are sensitive to market illiquidity, i.e. the times when a market participant does not meet payment obligations. Profits or losses generated during futures trading are calculated every day, unlike forwards when the profits and losses are cumulated and paid out on the day of the contract maturation, thereby increasing the illiquidity risk.

Comparing these two types of contracts, the advantages of futures over forwards are as follows:

- greater price transparency,
- guaranteed liquidity of trading,
- lower costs for transactions and the monitoring futures trading process,

while the disadvantages are as follows:

- requirement for of the strict specification of data relating to trading and transaction procurement,
- limited quantity of electricity per transaction,
- market participants are required to cover margins with their own money, securities or guarantees.

2.3 Applications of forwards and futures

Futures contracts appeared on electricity markets for the first time in 1993 on Nord Pool (the Nordic Power Exchange), the first exchange in Europe to cover the markets of the Scandinavian countries. On the North American markets, the first transaction involving a future contract occurred in 1996, i.e. on the New York Mercantile Exchange (NYMEX). Subsequently, futures trading began on the Chicago Board of Trade (CBOT) and the

CBOT i burzi koja pokriva američku državu Minnesota MGE. U Europi future ugovore uvode još londonska burza IPE (International Petroleum Exchange) i nekadašnja frankfurtska burza EEX (European Electricity Exchange), sada locirana u Leipzigu i najveća u srednjoj Europi.

Zbog svoje visoke standardiziranosti i strogih zahtjeva future ugovori gube na svojoj atraktivnosti, pa se sudionici tržišta sve više okreću korištenju forward ugovora koji su fleksibilniji, i s kojima se može trgovati i izvan burze. Tako već u ožujku 2002. godine njujorška, čikaška i londonska burza prekidaju trgovanje s future ugovorima. Premda u Europi postoji niz burzi na kojima se trguje električnom energijom, jedino su srednjoeuropska burza EEX i Skandinavska burza Nord Pool zadržale praksu trgovanja future ugovorima [4] i [5]. Na slici 1 prikazan je zemljopisni položaj svih burzi električne energije u Europi.

Minnesota Grain Exchange (MGE). In Europe, futures have been also introduced on the London-based International Petroleum Exchange (IPE), and the formerly Frankfurt-based exchange European Electricity Exchange (EEX), now based in Leipzig and currently the largest in the Central Europe.

Futures are losing their attractiveness, due to their high level of standardization and strict requirements. Therefore, market participants increasingly turning to forwards, which are more flexible and can be traded on the over-the-counter markets. In March 2002, electricity exchanges such as the NYMEX, CBOT and IPE terminated futures trading. Although several electricity exchanges exist in Europe, only the Central European EEX and the Scandinavian Nord Pool have continued the practice of futures trading, [4] and [5]. In Figure 1, the geographical locations of all the electricity exchanges in Europe are shown.



Slika 1
Zemljopisni položaj burzi električne energije u Europi [6]
Figure 1
Geographical location of the electricity exchanges in Europe [6]

3 PRIMJENA HEDGING METODE NA FUTURE UGOVORIMA

3.1 Značenje hedginga

Hedgiranje se usko povezuje s postupkom osiguranja. Primjenjivati hedging znači zaštititi se ili osigurati od negativnih pojava. Te pojave se ne moraju dogoditi, ali i ako se dogode dobar će ih hedging ublažiti što je više moguće. Prema tome, hedgiranje se primjenjuje gotovo svugdje i gotovo svakodnevno. Na primjer, pri kupnji police osiguranja za kuću njen vlasnik se zaštićuje od požara, provala i ostalih nepogoda. Čin kupnje police osiguranja podrazumijeva primjenu hedginga.

Investitori i upravitelji portfeljima najčešće koriste hedging kako bi bili što manje izloženi raznoraznim rizicima. Na tržištima derivata hedgiranje postaje znatno složenije od jednogodišnjeg plaćanja police osiguravajućem društvu. Hedgiranje nasuprot investicijskom riziku podrazumijeva strateško korištenje derivata na tržištu kako bi se odbacio rizik od bilo kakvih nepovoljnih kretanja cijena. Drugim riječima, investitori zaštićuju jednu investiciju time što stvaraju drugu investiciju. Hedgiranje podrazumijeva istodobno dvije investicije u kojima jedna investicija pokriva ili zaštićuje drugu.

Mnogi investitori zamišljaju svijet u kojem su potencijali za dobit bezgranični, ali isto tako i bez rizika. Međutim, to se ne može postići hedgiranjem. Smanjenje rizika uvijek podrazumijeva i smanjenje potencijalne dobiti. Pojednostavljeno, hedgiranjem se ne stvaraju viškovi dobiti već se smanjuje potencijalni gubitak. Ako neka investicija koja je hedgirana stvara novac, onda će prihod od te investicije biti manji nego od investicije koja nije hedgirana, i obratno, ako investicija koja je hedgirana rezultira gubitkom, tada će taj gubitak, zahvaljujući hedgiranju, biti smanjen ili izbjegnuto.

Kod primjene hedging metode osnovno je da se izračuna razlika između tržišne i termenske cijene električne energije. Pretpostavka je da se zarada ostvaruje kada vrijednosti tih cijena konvergiraju.

Kao jednostavan primjer može se uzeti ugovor sklopljen između prodavatelja i kupca na burzi, s unaprijed određenom cijenom električne energije od 50 EUR/MWh. Ugovorena količina električne energije iznosi 100 MWh. Zadana transakcija će se obaviti preko burze. Ako u trenutku ispunjenja ugovornih obveza cijena na burzi bude 60 EUR/MWh, tada će prodavatelj od burze dobiti tih 60 EUR/MWh, ali će razliku od 10 EUR/MWh vratiti kupcu. I obratno, kupac plaća razliku prodavatelju ako se dogodi da je u trenutku isporuke cijena električne energije

3 APPLICATION OF THE HEDGING METHOD TO FUTURES

3.1 The meaning of hedging

Hedging is closely connected to insurance. Applying hedging means to protect or insure someone from negative events. Such events should not occur but if they do, good hedging will minimize their impact as much as possible. When a homeowner purchases a home insurance policy, he is protecting himself from losses incurred due to fire, burglary and other disasters. The act of purchasing a home insurance policy implies hedging.

Investors and portfolio managers mostly use hedging to minimize exposure to various risks. On the derivatives markets, hedging is becoming significantly more complex than an annual insurance policy. Hedging means the strategic use of derivatives on the market in order to eliminate the risks from unfavorable price movements. In other words, investors protect one investment by creating another investment. Hedging implies two simultaneous investments, whereby one investment covers or protects the other.

Most investors envision a world in which the profit potentials are both unlimited and risk free. This cannot be accomplished by hedging. Reducing the risks always means reducing the profit potentials. In simplified terms, hedging does not generate profit surpluses but reduces the potential losses. If a hedged investment generates money, the revenues from the investment may be lower than from an investment which was not hedged and, vice versa, if a hedged investment generates losses, thanks to hedging these losses are reduced or avoided.

In the application of the hedging method, it is necessary to calculate the difference between the market electricity price and the forward electricity price. It is assumed that there are earnings when the values of these prices converge.

A simple example is a contract between a buyer and a seller on an exchange market, with a predetermined electricity price of 50 EUR/MWh. The contracted quantity of electricity is 100 MWh. This transaction will occur on the exchange market. If the electricity price on the market is 60 EUR/MWh at the time of contract maturity, the seller will receive 60 EUR/MWh from the exchange market but the difference of 10 EUR/MWh will be returned to the buyer. Conversely, if the market price is lower than the agreed price, the buyer pays the difference to the seller. This cancels out the

na burzi manja od one dogovorene. To rezultira anuliranjem dobiti jer obje ugovorne strane, tj. kupac i prodavatelj, plaćaju električnu energiju po dogovorenoj cijeni. Ugovorna strana koja plaća razliku u cijeni električne energije nije iskoristila mogućnost za većom dobit koju bi ostvarila prema tržišnoj cijeni s burze, pošto je prethodno ogradila svoju poziciju od tržišnog rizika.

profit because both contracting parties, the buyer and the seller, are paying for the electricity at the agreed price. The contracting party who pays the difference in the price of electricity has forfeited the opportunity for taking advantage of the greater profits that could have been earned according to the market price on the exchange, having previously hedged his position from market risk.

3.2 Izračun vrijednosti future ugovora

Smisao future ugovora je taj da se odredi njegova vrijednost u svakom trenutku t do trenutka T kad on ističe, a u odnosu na kupoprodaju električne energije po cijeni X fiksno utvrđenoj po jedinici električne energije. Pretpostavlja se da vrijednost future ugovora sve više raste, odnosno sve više pada što se više približava trenutak njegovog isteka. Iz tog proizlazi da je vrijednost future ugovora za onu stranu koja plaća električnu energiju po fiksno utvrđenoj cijeni X jednaka [7]:

3.2 Value calculations of futures

The purpose of a futures contract is to define its value at any time t up to time T when the contract matures, but in relation to the electricity exchange at a fixed price X per unit of electricity. It is assumed that the value of a futures contract increases or decreases as the time of its maturation approaches. It follows that the value of a futures contract for a party that pays for electricity at a fixed price X is equal to the following [7]:

$$V(t, F_{t,T}) = e^{-r(T-t)}(F_{t,T} - X), \quad (2)$$

gdje je:

r – bezrizična kamata, a
 $F_{t,T}$ – cijena električne energije u trenutku t utvrđena prema future ugovoru.

where:

r – risk-free interest rate
 $F_{t,T}$ – electricity price determined according to the futures contract at time t .

Za stranu koja isporučuje električnu energiju vrijednost future ugovora izračunava se na sljedeći način:

The value of a futures contract for a party that delivers a unit of electricity is calculated as follows:

$$V(t, F_{t,T}) = e^{-r(T-t)}(X - F_{t,T}), \quad (3)$$

Izrazi (2) i (3) dobiveni su na osnovi pretpostavljenog izjednačavanja vrijednosti terminske i spot cijene u trenutku isteka future ugovora:

Equations (2) and (3) are based upon the assumption of the convergence of the futures and spot prices at the maturity date of the futures:

$$F_{T,T} = S_T, \quad (4)$$

Za dokazivanje ove pretpostavke koristi se metoda postepenog hedgiranja (tzv. delta hedging) u određenim trenucima $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n = T$. Uspješni delta hedging proizlazi iz sljedeće jednadžbe [3]:

For proving this assumption, the delta hedging procedure was applied at specific times $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n = T$. Successful delta hedging is equivalent to the following equation [3]:

$$V(T, F_{T,T}) + e^{r(T-t_0)} \delta_0 \Delta F_0 + e^{r(T-t_1)} \delta_1 \Delta F_1 + \dots + e^{r(T-t_{n-1})} \delta_{n-1} \Delta F_{n-1} + \dots + \delta_{n-1} \Delta F_{n-1} = e^{r(T-t_0)} V(t_0, F_{t_0,T}), \quad (5)$$

gdje su:

where:

$$\delta_i = \frac{\partial V}{\partial F}(t_i, F_{t_i,T}) \text{ i/and } \Delta F_i = F_{t_{i+1},T} - F_{t_i,T},$$

pa sa izrazima (2) do (4) dobije:

and with equations (2) to (4) yields:

$$(S_T - X) + e^{r(T-t_0)} \delta_0 \Delta F_0 + \dots + \delta_{n-1} \Delta F_{n-1} = (F_{t_0,T} - X), \quad (6)$$

što se odnosi na kupca (primatelja) električne energije, i

referring to a buyer (receiver), and

$$(X - S_T) + e^{r(T-t_0)} \delta_0 \Delta F_0 + \dots + \delta_{n-1} \Delta F_{n-1} = (X - F_{t_0,T}), \quad (7)$$

što se odnosi na prodavatelja (isporučitelja) električne energije.

referring to a seller (supplier).

Značenje izraza i parametara iz (6) odnosno (7) je sljedeće:

The meaning of the relations and parameters from (6) and (7) is as follows:

X – fiksno utvrđena cijena električne energije,
 S_T – spot cijena električne energije,
 $e^{r(T-t_0)} \delta_0 \Delta F_0 + \dots + \delta_{n-1} \Delta F_{n-1}$ – margin account,
 $F_{t_0,T}$ – cijena električne energije u trenutku t_0 prema future ugovoru.

X – fixed price of the electricity
 S_T – price of the electricity on the spot market,
 $e^{r(T-t_0)} \delta_0 \Delta F_0 + \dots + \delta_{n-1} \Delta F_{n-1}$ – margin account,
 $F_{t_0,T}$ – electricity price of the futures contract at time t_0 .

Margin account su sredstva (obično novac) posuđena od strane brokera radi mogućnosti povećane zarade na vrijednosnicama. U slučaju da zarada na vrijednosnicama nije očekivana, broker šalje sudioniku tržišta tzv. margin call da položi još novca na račun. Ukoliko vrijednosnice počnu gubiti na vrijednosti, tada je broker prisiljen da ih proda iz portfelja koji pripada sudioniku tržišta, pa čak i bez prethodne obavijesti.

Margin account are certain funds (usually money) borrowed from a broker for the possible increase of earnings from securities. In the event that earnings on the securities are not expected, the broker sends a margin call to the market participant in order to deposit more money in the account. If the securities start losing value, the broker is forced to sell them from the participant's portfolio, even without prior notification.

Izrazi (2) i (3) pokazuju da je pravično utvrđena cijena električne energije u svakom trenutku valjanosti future ugovora jednaka:

Equations (2) and (3) imply that a fair fixed price for a futures at any time prior to maturity is equal to:

$$X = F_{t,T}. \quad (8)$$

To znači da bi strane koje pregovaraju oko vrijednosti ugovora u svakom trenutku t trebale prihvatiti cijenu X i sklopiti ugovor bez ikakvog avansnog plaćanja. Naime, transparentnost cijena jedna je od najvažnijih karakteristika koja čini tržište future ugovora likvidnim.

Sposobnost kvalitetne primjene hedging metode predstavlja glavni razlog zašto se obje ugovorne strane mogu i žele dogovoriti oko utvrđivanja cijene električne energije po future ugovoru. No, uz primjenu hedging metode moguće je još sljedeće [3]:

- upravljati tržišnim rizikom, što znači utvrditi početnu vrijednost sklopljenog posla bez obzira na stalna tržišna kretanja cijena,
- dogovor oko pravično utvrđene vrijednosti sklopljenog posla. Na primjer, koja bi to bila pravična cijena po future ugovoru ako se nismo zaštitili od mogućeg gubitka? Vjerojatno bi utvrđena cijena električne energije u trenutku t bila u funkciji očekivane spot cijene:

$$X = E_t(S_T).$$

(9)

Očekivana vrijednost spot cijene iz (9) vjerojatno bi bila ona dobivena iz statističkih podataka ili ona proizašla iz brojnih prognostičkih modela. Međutim, svaka će strana drugačije procijeniti očekivanu vrijednost spot cijene električne energije. Stoga se hedgiranjem izbjegava potreba za traženjem očekivane vrijednosti spot cijene u budućnosti.

U financijama razlika između očekivanih spot cijena i utvrđenih terminkih cijena naziva se premijom rizika. Kad je razlika između tih cijena jednaka nuli i premija rizika je također jednaka nuli. Takvo se okruženje često naziva svijet neutralnog rizika, a način stvaranja takvog rizika evaluacija neutralnog rizika [8]. Primjena hedging metode kod future ugovora prikazat će se kroz sljedeći primjer.

Primjer

Neki opskrbljivač električnom energijom u fazi je pronalaženja načina kako da opskrbi svoje potrošače tijekom ljetnog razdoblja, s ciljem da ostvari što veće prihode. Polazi od pretpostavljene spot cijene električne energije koja bi u tom razdoblju mogla biti visoka i varijabilna. Iz tog se razloga opskrbljivač želi zaštititi od mogućih gubitaka. Stoga donosi odluku da utvrdi cijenu za to razdoblje u godini, i to što je prije moguće,

This means that the parties negotiating the contract must accept the price X at any time and enter the contract without any up-front cash payment. In fact, price transparency is one of the most important characteristics of a liquid futures contract market.

The ability to apply the hedging method with a favorable outcome represent the main reason why both parties can and will agree on the pricing of a futures contract. The following are also possible with the hedging method [3]:

- management of market risk, which means to lock the initial value of a deal despite adverse market movements, and
- agreement on the fair pricing of the deal. For example, what would be the fair price of the futures if we did not hedge? It would probably be the expected value at time t of the future spot price:

This expected value of the spot price from (9) is most likely derived from statistical data or the product of one of the numerous forecasting models. In any case, it is subjective in that each party will have different estimates of the expected value. Therefore, searching for the expected futures spot price can be avoided by hedging.

In finances, the difference between the expected futures spot price and the corresponding futures price is called the risk premium. This risk is equal to zero when the difference between these two prices is also zero. This is commonly called a risk-neutral world, and evaluation in this world is called risk-neutral evaluation [8]. An application of the hedging method to futures is presented in the following example.

Example

A load-serving entity is searching for ways to provide power to its clients during the summer months, with the aim of maximizing revenues. The load-serving entity is concerned that the summer power prices may be high and volatile. Therefore, it wants to shield itself from potential losses. It decides to lock in the summer price as early as possible, i.e. on January 1. With this strategy, the load-serving entity negotiates with an supplier to ensure the supply of power at a fixed price for the month of July. On

npr. 1. siječnja. Takvom strategijom opskrbljivač pregovara s dobavljačem električne energije oko utvrđivanja cijene električne energije koju će dobavljač isporučiti opskrbljivaču u srpnju promatrane godine. Na dan 1. siječnja (datum označen sa t_0) utvrđena cijena električne energije jednaka je $X = 50$ EUR/MWh. To znači da su se obje strane (opskrbljivač i dobavljač) dogovorile oko toga da će u srpnju promatrane godine dobavljač isporučiti ugovorenu količinu on-peak električne energije u iznosu od 73 600 MWh koju će opskrbljivač platiti po fiksno utvrđenoj cijeni od $X = 50$ EUR/MWh.

Takvim se sklopljenim poslom opskrbljivač zaštiti od promjena spot cijena tijekom ljetnog razdoblja. No, s druge je strane to opteretilo dobavljača pa je on odmah počeo primjenjivati hedging metodu koja će rezultirati različitim strategijama dinamičkog hedgiranja. Tablice 2 i 3 prikazuju strategiju dinamičkog hedgiranja kroz vrijeme dok je future ugovor valjan, i to u oba scenarija, kad terminske cijene električne energije rastu i kad padaju (vrijednosti ugovora i hedginga dane su sa stajališta dobavljača).

January 1 (denoted as t_0), the July futures price is $X = 50$ EUR/MWh. Therefore, both parties agree that in July the supplier will deliver a contracted amount of on-peak power, 73 600 MWh, and the load-serving entity will pay the fixed price of $X = 50$ EUR/MWh.

With this deal, the load-serving entity protects itself from volatile spot prices during the summer. On the other hand, this places a burden on the supplier so it immediately implements a dynamic hedging strategy. Tables 2 and 3 illustrate the behavior of the hedges through the life of the deal under two scenarios, rising and falling prices (contract and hedge values are given from the supplier's point of view).

Tablica 2 – Strategija dinamičkog hedgiranja kod rasta terminskih cijena [3]
Table 2 – Behavior of hedges under rising futures prices [3]

1. Scenarij: Trend rasta terminskih cijena / Scenario 1: Increasing futures prices								
Korak hedgiranja / Hedge number	Datum / Date	Terminska cijena / Futures price (EUR/MWh)	Vrijednost ugovora / Contract value (EUR)	Razlika u vrijednosti ugovora / Change in contract value (EUR)	Delta hedging / Delta hedging (MWh)	Broj ugovora / Futures hedge (contracts)	Margin account / Margin account (EUR)	Razlika u margin accountu / Change in margin account (EUR)
1	1. siječnja / January 1	50,00	0,00		71 501,15	97	0,00	
2	1. veljače / February 1	55,00	-359 332,20	-359 332,20	71 866,44	98	358 783,67	358 783,67
3	1. ožujka / March 1	60,00	-721 979,86	-362 647,65	72 197,99	98	722 742,62	363 958,95
4	1. travnja / April 1	70,00	-1 451 336,76	-729 356,90	72 566,84	99	1 451 399,99	728 657,36
5	1. svibnja / May 1	80,00	-2 187 767,57	-736 430,81	72 925,59	99	2 190 817,42	739 417,43
6	1. lipnja / June 1	90,00	-2 931 926,20	-744 158,63	73 298,15	100	2 934 372,63	743 555,21
Istek ugovora / Maturity	26. lipnja / June 26	100,00	-3 680 000,00	-748 073,80			3 685 487,39	751 114,76

Način računanja vrijednosti iz tablice 2 je sljedeći:

Vrijednost ugovora u 2. koraku hedgiranja:

The mode of calculating the values from Table 2 is as follows:

The contract value in the second step of hedging:

$$V(t_2, F_{t_2,T}) = e^{-r(t-t_2)}(X - F_{t_2,T}) = e^{-0,06 \left(\frac{176-31}{365} \right)} \cdot (50 - 55) \cdot 73\,600 = -359\,332,20 \text{ EUR.}$$

gdje je 6 % bezrizična kamata. Broj dana između 1. siječnja i 26. lipnja je 176 umanjeno za 31 dan, što je jednako broju dana između 1. i 2. koraka hediranja.

where 6% is the risk-free rate. The number of days between January 1 and June 26 is 176 minus 31 days, equal to number of days between the first and second step of hedging.

Delta hedging:

Delta hedging:

$$\delta_2 = e^{-r(T-t_2)} \cdot 73\,600 = e^{-0,06\left(\frac{176-31}{365}\right)} \cdot 73\,600 = 71\,866,44 \text{ MWh.}$$

Broj ugovora:

Futures hedge (contracts):

$$n = e^{-r(T-t_2)} = e^{-0,06\left(\frac{176-31}{365}\right)} = 0,976 - 100 = 98.$$

Margin account:

Margin account:

$$e^{0,06\left(\frac{31}{365}\right)} \cdot 0,97 \cdot (55 - 50) \cdot 73\,600 = 358\,783,67 \text{ EUR.}$$

Na isti se način računaju vrijednosti iz tablice 3.

The values from Table 3 are calculated in the same way as those above.

Na štetu dobavljača idu terminske cijene kojima vrijednosti rastu pa će se na kraju lipnja promatrane godine on suočiti s gubitkom u iznosu od 3 680 000 eura (u slučaju da bi spot cijena u trenutku isteka future ugovora iznosila 100 EUR/MWh), jer se obvezao opskrbljivaču isporučiti električnu energiju po fiksno utvrđenoj cijeni od 50 EUR/MWh. Međutim, novac kojeg je dobavljač položio na svom margin accountu poništiti će taj gubitak.

Rising futures prices are detrimental to the supplier. At the end of June, it will be facing a loss of 3 680 000 euros (in the event that the spot price at the time of the maturity of the futures contract is 100 EUR/MWh), because it is obligated to sell power to the load-serving entity at the fixed settlement price of 50 EUR/MWh. However, the cash accumulated in the margin account of the supplier will offset this loss.

Tablica 3 – Strategija dinamičnog hediranja kod pada terminskih cijena [3]
Table 3 – Behavior of hedges under falling futures prices [3]

2. Scenarij: Trend padanja terminskih cijena / Scenario 2: Decreasing futures prices								
Korak hediranja / Hedge number	Datum / Date	Terminska cijena / Futures price (EUR/MWh)	Vrijednost ugovora / Contract value (EUR)	Razlika u vrijednosti ugovora / Change in contract value (EUR)	Delta hedging / Delta hedging (MWh)	Broj ugovora / Futures hedge (contracts)	Margin account / Margin account (EUR)	Razlika u margin accountu / Change in margin account (EUR)
1	1. siječnja / January 1	50,00	0,00		71 501,15	97	0,00	
2	1. veljače / February 1	47,00	215 599,32	215 599,32	71 866,44	98	-215 270,20	-215 270,20
3	1. ožujka / March 1	43,00	505 385,90	289 786,58	72 197,99	98	-506 106,33	-290 836,12
4	1. travnja / April 1	40,00	725 668,38	220 282,48	72 566,84	99	-726 181,45	-220 075,13
5	1. svibnja / May 1	35,00	1 093 883,78	368 215,41	72 925,59	99	-1 095 892,55	-369 711,10
6	1. lipnja / June 1	33,00	1 246 068,63	152 184,85	73 298,15	100	-1 247 963,86	-152 071,31
Istek ugovora / Maturity	26. lipnja / June 26	27,00	1 692 800,00	446 731,37			-1 696 521,56	-448 557,70

U slučaju kad terminske cijene padaju (tablica 3), dobavljač će zaraditi na isporuci električne energije te vratiti dug kojeg je stvorio na margin accountu. Odnosno, dobavljač će u trenutku isteka future ugovora kupiti električnu energiju po spot cijeni od 27 EUR/MWh i isporučiti je opskrbljivaču po fiksno utvrđenoj cijeni od 50 EUR/MWh.

4 PRIMJENA FUTURE UGOVORA NA BURZI EEX

4.1 Otvaranje future pozicije i obavljanje transakcije

Na tržištu derivata transakcije se obavljaju na način da se narudžbe podudaraju. Na burzi EEX sudionici tržišta odnosno članovi te burze obavljaju kupnju, odnosno prodaju električne energije tako da odrede cijenu u EUR/MWh (ili EUR/t CO₂ ako se radi o trgovanju ugljikovim dioksidom što je isto predmet trgovanja na burzi EEX) kao i broj future ugovora kojim žele trgovati.

Ovisno o narudžbi i fazi trgovanja, narudžbe se bilježe u knjizi narudžbi. Istodobno se provjerava je li s konkretnim narudžbama moguće obavljanje transakcije. Pri tom se vodi računa o redoslijedu izvođenja transakcije. Tako se prvo izvode one transakcije kod kojih je narudžba za kupnju električne energije određena najvišom limitiranom cijenom, a narudžba za prodaju s najnižom limitiranom cijenom. Nakon obavljene transakcije narudžbe se brišu iz knjige narudžbi.

4.2 Margine

U slučaju da član burze u razdoblju valjanosti future ugovora bankrotira, tada clearing member ili kliring brine oko toga da se pokriju svi gubici i ispune sve obveze prilikom napuštanja future pozicije (clearing member ili kliring – član burze koji posjeduje dozvolu za kliring, odnosno za utvrđivanje i nadoknađivanje obveza i potraživanja nastalih za vrijeme trgovanja future ugovorima od strane članova burze koji nemaju tu dozvolu). Samo banke mogu imati tu dozvolu, te su zajedno s burzom EEX oformile tzv. clearing house ili klirinšku kuću u kojoj se obavljaju prijeboji potraživanja i obveza [4].

Burza EEX zahtijeva od kliringa da od člana burze kojeg zastupa zatraži da položi određeni novac, garancije ili vrijednosnice koji će mu služiti da pokrije moguće gubitke u trenutku kad napusti future poziciju. Taj određeni novac koji se vodi na posebnom računu predstavlja inicijalne margine. Ove se margine postavljaju na osnovi parametara, te se računaju u EUR/MWh.

In the event of falling futures prices (Table 3), the supplier will gain on the power delivery and return the amount due from its margin account. Respectively, at the moment of the futures contract maturity, the supplier will buy the electricity at the spot market price of 27 EUR/MWh and deliver it to the load-serving entity at the fixed settlement price of 50 EUR/MWh.

4 APPLICATIONS OF FUTURES ON THE EEX

4.1 The opening of a futures position and the execution of transactions

On the derivatives market, transactions are executed by the matching of performable orders. In the EEX system, the market participants, i.e. its members, enter, buy and sell orders, which specify the prices in EUR/MWh (or EUR/t CO₂ for European Carbon Futures) as well as the number of futures contracts.

Depending on the trading phase and type of order, orders are entered into the order book. At the same time, it is verified whether it is possible to execute the transactions according to the specific orders. The sequence of the execution follows the price-time criterion. This means that buy orders with the highest limit prices and sell orders with the lowest limits respectively are executed first. The orders will be deleted from the order book after the execution of the transactions.

4.2 Margins

In case a market participant becomes bankrupt, the clearing member of the trade participant has to cover all the losses and settle all the liabilities when closing out of the participant's futures position (a clearing member is a member of the exchange with a clearing license, who is able to determine and remunerate duties and debts generated during futures trading by market participants who do not hold a clearing license). Only banks can possess such a license and together with the EEX they established the so-called clearing house for settling debts and obligations [4].

The EEX requires the clearing member to demand a monetary deposit, guarantee or securities from the market participant in order to cover eventual losses on the closing out of a participant's futures position. The specific amount of money kept in a separate account represents the initial margins. Based on certain parameters, these margins are specified in EUR/MWh.

Na primjer, neka je parametar inicijalnih margina za ugovor tipa Phelix Base Month Future jednak 2 EUR/MWh, to znači da će u slučaju ugovorene količine električne energije od 720 MWh ukupni prijeboj inicijalnih margina iznositi:

$$2 \text{ EUR/MWh} \times 720 \text{ MWh} = 1\,440 \text{ EUR.}$$

Future ugovor je tipičan za burzu EEX: skraćenica Phelix odnosi se na Physical Electricity Index, Base se odnosi na temeljno opterećenje elektroenergetskog sustava (EES), Peak ako je vršno opterećenje EES-a, a Month Future je terminski ugovor čije rok valjanosti za trgovanje ne traje više od jednog mjeseca. Ovakav ugovor ne uključuje fizičku isporuku električne energije [4].

Izvođenje future ugovora rezultira utvrđivanjem dnevne dobiti i gubitka. Promjene u vrijednosti future ugovora utvrđuju se svakodnevno nakon čega slijedi formiranje nove terminske cijene koja je odraz trenutane spot cijene. Za podmirivanje future pozicija zbog promjene dnevnih terminskih cijena koriste se varijacijske margine.

Varijacijske margine računaju se na sljedeći način: broj ugovora x ugovorena količina električne energije x (utvrđena cijena na današnji dan trgovanja na burzi – utvrđena cijena na jučerašnji dan trgovanja na burzi). Pozitivni iznos ove formule znači dobit od preuzete future pozicije, dok negativni iznos predstavlja gubitak zbog napuštanja te iste pozicije [4] i [9].

Varijacijska margina za novu future poziciju, s kojom se ulazi na dotični dan trgovanja na burzi, računa se na sljedeći način: broj ugovora x ugovorena količina električne energije x (utvrđena cijena na današnji dan trgovanja na burzi – terminska cijena). I u ovom slučaju pozitivni iznos znači dobit od preuzete pozicije, odnosno negativni iznos je gubitak zbog napuštanja te iste pozicije.

4.3 Primjer obavljanja transakcija prema future ugovoru

Proizvođač planira prodati 30 MW svoje proizvodnje električne energije tijekom rujna 2005. godine, što znači 30 dana, 24 sata, primjenom satnih ugovora. Procjenjuje se srednja cijena električne energije u iznosu od 29 EUR/MWh. Budući da se cijena na spot tržištu ne može predvidjeti sa sigurnošću, proizvođač sam utvrđuje cijenu po transakciji koju štiti od gubitaka na način da proda 30 ugovora tipa Phelix Base Month Future za rujna 2005. godine po cijeni od 29 EUR/MWh. Planirani prihod od prodaje električne energije iznosi:

For example, the initial margin parameter for a Phelix Base Month Future amounts to 2 EUR/MWh, which means that in the case of a contract volume of 720 MWh, the total set aside will amount to:

$$2 \text{ EUR/MWh} \times 720 \text{ MWh} = 1\,440 \text{ EUR.}$$

A future contract is typical for the EEX: Phelix stands for the Physical Electricity Index, Base refers to the base load of the power grid, Peak in the case of a peak load on the power grid and Month Future refers to a futures whose trading validation is no longer than a month. Such a contract does not include physical delivery [4].

Futures are characterized by a daily profit and loss settlement. Changes in the values of futures are settled on a daily basis. After the close of every exchange trading day, a new futures price is evaluated and reflects the current market value. Variation margins are now used to settle the futures positions arising from the flows of futures prices on a daily basis.

The variation margins are calculated on the basis of the product of the number of contracts x contract volume x (settlement price of the current exchange day – settlement price of the previous exchange trading day). A positive product of this calculation denotes a profit for a buy position, whereas a negative value represents a loss for a sell position [4] and [9].

The variation margin for a new futures position, which was opened on the respective exchange trading day, is calculated on the basis of the product in the following manner: number of contracts x contract volume x (settlement price of the current exchange day – price of the futures transaction). In this case, too, a positive value denotes a profit for a buy position, whereas it denotes a loss for a sell position.

4.3 An example of a futures transaction

An electricity producer is planning to sell 30 MW of his electricity production in the month of September of the year 2005, meaning 24 hours and 30 days, via hourly contracts. The estimated average price amounts to 29 EUR/MWh. Since the spot market price cannot be predicted with certainty, the producer carries out a price hedging transaction by selling 30 contracts over the Phelix Base Month Future for September 2005 at a price of 29 EUR/MWh. The planned revenue from the electricity delivery is as follows:

30 MW x 24 sata/dan x 30 dana x 29 EUR/MWh
= 626 400 EUR.

Proizvođač je započeo s prodajom električne energije 31. kolovoza 2005. godine, što vrijedi za prvi dan trgovanja (tj. 1. rujna), a završio 29. rujna 2005. godine i vrijedi za posljednji dan trgovanja (odnosno 30. rujna). To znači da proizvođač svakih 24 sata daje ponudu po kojoj prodaje 30 MW svoje energije svakog sata po određenoj spot cijeni. Drugim riječima, postiže točni mjesečni prosjek dnevnih tržišnih indeksa Phelix Base kao cijenu koja se prati kroz cijeli mjesec. Međutim, u tablici 4 taj prosjek pada ispod planirane vrijednosti od 29 EUR/MWh. Prema prosjeku, tržišni sudionik uspijeva realizirati prihode po cijeni od 26,70 EUR/MWh na spot tržištu i zbog toga mu planirani prihod pada za 49 680 eura.

Varijacijska margina je ona koja pokriva nedostatak od 49 680 eura što će dovesti do uravnoteženja računa dobiti i gubitka. To pokazuje da je planirani prihod od ukupno 626 400 eura već utvrđen transakcijom po future ugovoru. Ukupni prihod se u tom smislu sastoji od prihoda ostvarenog na spot tržištu:

$21\,600\text{ MWh} \times 26,70\text{ EUR/MWh} = 576\,720\text{ EUR},$

te prihoda ostvarenog na tržištu derivatima:

$21\,600\text{ MWh} \times (29,00\text{ EUR/MWh} - 26,70\text{ EUR/MWh})$
 $= 49\,680\text{ EUR}.$

S obzirom na poziciju koju je preuzeo ugovorom tipa Phelix Base Month Future, proizvođač mora u inicijalnu marginu položiti:

$30\text{ MW} \times 24\text{ sata/dan} \times 30\text{ dana} \times 2,00\text{ EUR/MWh}$
 $= 43\,200\text{ EUR},$

i to zajedno sa svojim kliringom koji ga prati od 1. kolovoza 2005. godine, kad proizvođač preuzima future poziciju, do 29. rujna 2005. godine kad future ugovor ističe. Prema tablici 4 ta se inicijalna margina zasniva na parametru jednakom 2,00 EUR/MWh.

Naravno, postoje i suprotne situacije od ove prikazane u tablici 4, a to je kad prosječna spot cijena raste, pa u tom slučaju proizvođač električne energije može ostvariti veću zaradu na spot tržištu. No, u isto se vrijeme proizvođač na tržištu derivatima može izložiti gubicima koji mogu smanjiti njegove ukupne prihode, i to za točno planiranu vrijednost od 626 400 eura.

$30\text{ MW} \times 24\text{ h/day} \times 30\text{ days} \times 29\text{ EUR/MWh}$
 $= 626\,400\text{ EUR}.$

The electricity producer began selling his electricity on August 31, 2005, which was valid for the first day of trading (i.e. September 1) and ended on September 29, 2005, which was valid for the last day of trading (i.e. September 30). This means that he placed price-independent bids for each of the 24 hours on each of the days, which had the effect that he sold the 30 MW during each hour at the respectively valid spot market price. In other words, he achieved the exact monthly average of the daily spot market indices of the Phelix Base as the price when viewed over the whole month. However, this average fell below the planned value of 29 EUR/MWh in the example in Table 4. On average, the market participant realized revenue in the amount of 26,70 EUR/MWh on the spot market and hence remained 49 680 euros below the planned revenue.

The variation margin covers the loss of 49 680 euros, which will result in a balanced profit and loss account. This illustrates that the planned revenue of the amount of 626 400 euros was already settled upon the conclusion of the futures transaction. The said revenue consists of the revenue from the spot market:

$21\,600\text{ MWh} \times 26,70\text{ EUR/MWh} = 576\,720\text{ EUR},$

and from the revenue on the derivatives market in the amount of:

$21\,600\text{ MWh} \times (29,00\text{ EUR/MWh} - 26,70\text{ EUR/MWh})$
 $= 49\,680\text{ EUR}.$

With regard to the position on the Phelix Base Month Future, the electricity producer has to deposit an initial margin in the amount of:

$30\text{ MW} \times 24\text{ h/day} \times 30\text{ days} \times 2,00\text{ EUR/MWh}$
 $= 43\,200\text{ EUR},$

and with his clearing member from August 1, 2005, when the electricity producer opens his future position, until September 29, 2005, when the futures contract matures. In the example in Table 4, the initial margin is based on the parameter equal to 2,00 EUR/MWh.

Of course, situations opposite to the one illustrated in Table 4 also exist, in which the average spot market price increases so that the electricity producer could achieve higher revenue on the spot market. At the same time, the electricity producer could incur losses on the derivatives market, which would reduce his total revenue to exactly the planned value of 626 400 euros.

Tablica 4 – Tijek trgovanja s 30 ugovora tipa Phelix Base Month Futures za rujan 2005. [4]
 Table 4 – Trading process with 30 contracts of Phelix Base Month Futures for September 2005 [4]

Datum trgovanja / Exchange trading day		Dnevno utvrđena terminalska cijena / Daily settlement price of the futures (EUR/MWh)	Phelix Base / Phelix Base (EUR/MWh)	Prosječni Phelix Base / Average Phelix Base (EUR/MWh)	Varijacijska margina / Variation margin (-) Margin call (+) Kredit / Credit note (EUR)
Terminsko trgovanje / Futures trading	Ponedjeljak, 1. kolovoz / Monday, August 1	29,00			0

	Ponedjeljak, 29. kolovoz / Monday, August 29	27,00			43 200
	Utorak, 30. kolovoz / Tuesday, August 30	28,00			-21 600
Terminsko i spot trgovanje / Futures and spot trading	Srijeda, 31. kolovoz / Wednesday, August 31	28,00	33,00	33,00	0
	Četvrtak, 1. rujan / Thursday, September 1	29,00	33,00	33,00	-21 600
	Per, 2. rujan / Friday, September 2	27,90	(subota) / (Saturday) 32,00 (nedjelja) / (Sunday) 32,50 (ponedjeljak) / (Monday) 32,00	32,50	23 760

	Ponedjeljak, 26. rujan / Monday, September 26	27,80	23,00	27,07	2 160
	Utorak, 27. rujan / Tuesday, September 27	28,30	26,00	27,04	-10 800
	Srijeda, 28. rujan / Wednesday, September 28	28,00	22,00	26,86	6 480
	Četvrtak, 29. rujan / Thursday, September 29	Konačna potvrđena cijena / Final settlement price 26,70	22,00	26,70	28,080
			Ukupno:	49 680	

5 ZAKLJUČAK

Terminski ugovori future i forward koriste se na tržištu električne energije kako bi se sudionici tržišta zaštitili od gubitaka zbog stalnih promjena spot cijena. No, tome prethodi uspješno svladavanje tehnike njihovog korištenja, kao i pravilna primjena hedging metode. Tržišni sudionici imaju izbor da li sklapati posao kupoprodaje električne energije na burzi ili izvan burze.

Na burzama je zbog strogih pravila zajamčena likvidnost trgovanja. Na njima tržišni sudionici mogu izvoditi future ugovore i to pod uvjetom da otvore račun na kojem će polagati novac, garancije ili vrijednosnice za pokrivanje margina. To se događa u slučaju kad terminske cijene električne energije rastu u odnosu na fiksno utvrđenu cijenu. U suprotnom, sudionik tržišta na tom računu sakuplja kredite koje će iskoristiti u trenucima ponovnog rasta terminskih cijena. Takav mehanizam trgovanja čini burzu likvidnom.

Forward ugovori izvode se izvan burze i u danoj situaciji izloženi su pojavi nelikvidnosti. Za njihovo izvođenje nije potrebno otvarati račun za pokrivanje margina, ali ona strana koja prodaje električnu energiju može se suočiti s nelikvidnošću strane koja od nje kupuje električnu energiju. Ipak, ovakvi se ugovori češće sklapaju od future ugovora, jer su jednostavniji i slobodniji za izvođenje. To govori podatak da su future ugovori izvodljivi jedino još na skandinavskoj Nord Pool burzi i srednjoeuropskoj burzi EEX.

5 CONCLUSIONS

Forwards and futures are utilized on the electricity market to protect market participants from potential financial losses due to variable spot market prices. It is necessary to master the techniques for their use, as well as the correct application of the hedging method. Market participants can choose whether to buy and sell electricity on the exchange or the over-the-counter market.

Rigid rules guarantee trading liquidity on the exchanges, where market participants can execute futures contracts provided they open an account to deposit their own money, guarantees or securities for the purpose of covering certain margins. This occurs when futures electricity prices rise in comparison to the fixed settlement price. Conversely, a market participant collects credit notes on the account, which will be spent during times of new increases in the futures price. Such a trading mechanism results in a liquid exchange.

Forwards are executed on the over-the-counter market and in some situations they are exposed to illiquidity. For their execution, it is not necessary to open an account for the purpose of covering margins but the party selling the electricity can encounter the illiquidity of the party buying the electricity. Nevertheless, this type of contract is used more often than futures because it is simpler and can be executed more freely. Futures contracts are currently only being executed on the Scandinavian electricity exchange, Nord Pool, and the Central European electricity exchange, EEX.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] DENG, S.J., OREN, S.S., Electricity Derivates and Risk Management, Accepted for publishing in Energy, January 28, 2005
- [2] SKANTZE, P., ILIC, M., The Joint Dynamics of Electricity Spot and Forward Markets: Implications on Formulating Dynamic Hedging Strategy, Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, November 2000
- [3] EYDELAND, A., WOLYNIEC, K., Energy and Power: Risk Management, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003
- [4] <http://www.eex.de>
- [5] LUCIA J.J., SCHWARTZ, E., Electricity prices and power derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange, Review of Derivatives Research, 5(2002)1
- [6] <http://www.borzen.si>
- [7] HULL, J., Options, Futures and Other Derivates, 6th ed., Prentice Hall, 2005
- [8] CULP, C., MERTON, M., Corporate Hedging in Theory and Practice, Lessons from Metallgesellschaft, Risk Books, 1999
- [9] WILKENS, S., WIMSCHULTE, J., The pricing of Electricity Futures: Evidence from the European Energy Exchange, The Journal of Futures Market, 2006 (<http://papers.ssrn.com>)

Uredništvo primilo rukopis:
2006-07-13

Manuscript received on:
2006-07-13

Prihvaćeno:
2006-09-11

Accepted on:
2006-09-11

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 I

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

AUTORSKO PRAVO

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

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



▶ 15 ▶ APO



**ENERGIJA
KOMUNIKACIJE**

**ENERGY
COMMUNICATIONS**

www.elka.hr

- energetski kabe- telekomunikacijski kabe- optički kabe- metalna i nemetalna užad i priveznice
• brodski kabe- željeznički kabe- rudarski kabe- PVC vodovi
• gumom izolirani vodovi
• Al, Cu i Al-Če žica i užad
- power cables up to 36 kV
• telecommunications cables
• fibre optic cables
• wiring cables
• shipboard cables- railway cables
• mining cables• ACSR ...

Elka kabe- d.o.o. • Koledovčina 1, 10 000 Zagreb, Croatia
tel: +385 1 24 82 600 • fax: +385 1 24 04 898
www.elka.hr • elka-marketing@elka.hr

 **ELKA**
CROATIA

