

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 - doc. 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 - Branka Makovec, leksikograf, Zagreb
Prijevod - Hrvatsko društvo znanstvenih i tehničkih prevoditelja - Prevoditeljski centar, Zagreb

UREDNIŠTVO I UPRAVA

HEP d.d. - Energija
Uređivački odbor
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Telefoni: +385 (1) 6321963 i 6322641
Telefaks: +385 (1) 6322143 i 6170438
e-mail: nikola.bruketa@hep.hr; slavica.barta@hep.hr;
www.hep.hr

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

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

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

Naklada: 1 500 primjeraka
Godište 55 (2006)
Zagreb 2006
Broj 2, str. 123-256

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 - Assistant 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 - Branka Makovec, Lexicographer, 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. 2, p.p. 123-256

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

SADRŽAJ

Tomšić, Ž. - Debrecin, N. - Vrankić, K.
EKSTERNI TROŠKOVI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I POLITIKA ZAŠTITE OKOLIŠA
(prethodno priopćenje)

Brckan, K. - Dorić, Ž. - Blomberg, R.
SUSTAV UPRAVLJANJA POSLOVIMA ODRŽAVANJA U PROIZVODNIM POGONIMA HEP-a
(stručni članak)

Uran, V.
MATEMATIČKO MODELIRANJE KRETANJA CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA SPOT TRŽIŠTU
(pregledni članak)

Muljević, V.
ŽIVOT I DJELO NIKOLE TESLE
(pregledni članak)

Cvetković, Z.
PROBLEMATIKA DJELOVANJA U KRIZNIM SITUACIJAMA PRIJENOSNE MREŽE
(stručni članak)

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

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

CONTENTS

Tomšić, Ž. - Debrecin, N. - Vrankić, K.
THE EXTERNAL COSTS OF THE PRODUCTION OF ELECTRICAL ENERGY AND THE ENVIRONMENTAL PROTECTION POLICY
(preliminary information)

Brckan, K. - Dorić, Ž. - Blomberg, R.
MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM OF HEP POWER PLANTS
(professional article)

Uran, V.
MATHEMATICAL MODEL OF THE ELECTRICITY PRICES ON THE SPOT MARKET
(review article)

Muljević, V.
THE LIFE AND WORK OF NIKOLA TESLA
(review article)

Cvetković, Z.
TRANSMISSION LINE CRISIS MANAGEMENT
(professional article)

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

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

128-163

164-201

202-217

218-235

236-251



UREĐIVAČKA POLITIKA

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

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

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

Stranice časopisa podjednako su otvorene iskusnim i mladim autorima, te autorima iz Hrvatske i inozemstva. Takva zastupljenost autora osigurava znanje i mudrost, inventivnost i hrabrost, te pluralizam ideja koje će čitatelji časopisa, vjerujemo, cijiniti 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 East Europe, consequently in Croatia too, is burdened with numerous engineering, economic, legal and organizational problems. The intention of the Journal is to become a scientific and professional forum where these problems will be critically and constructively elaborated and where solutions will be offered.

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

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

UVOD

INTRODUCTION

Dragi čitatelji,

prvi broj izmjenjenog časopisa Energija svečano je promoviran 8. ožujka 2006. godine u prostoru Muzeja Mimara u Zagrebu uz nazočnost uglednih predstavnika državne uprave, sveučilišne zajednice, energetske tvrtke i tvrtke koje rade za potrebe elektroprivrede. Okupljenima su se obratili predstavnici Hrvatske elektroprivrede, tri državna tajnika (iz Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva i Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa), te autori članaka iz promoviranog broja časopisa Energija.

Državni tajnici u svojem obraćanju podržali su opredjeljenje HEP-a za izdavanje modernog znanstveno-stručnog časopisa u kojem će se elaborirati i promovirati novi poslovni i tehničko-tehnološki trendovi u elektroprivrednoj djelatnosti i općenito u energetici. Posebno su istaknuli važnost opredjeljenja izdavača za širenje kruga autora i čitatelja prema regionalnom okruženju Republike Hrvatske.

Prvi broj časopisa Energija prema novoj uređivačkoj politici distribuiran je osim dosadašnjim čitateljima u Hrvatskoj i na preko četiri stotine adresa čitatelja u elektroprivrednim tvrtkama, znanstveno-obrazovnim i stručnim institucijama, te upravnim tijelima i asocijacijama na području elektroprivrede i energetike u Europi, a djelomično i u drugim zemljama. Broj čitatelja koji su dobili prvi broj izmjenjenog časopisa Energija s pozivom na pretplatu posebno je velik u središnjoj i jugoistočnoj Europi. Časopis je također objavljen i na web stranici Hrvatske elektroprivrede (www.hep.hr).

Stigli su i prvi komentari o časopisu koji su povoljni, a posebno vesele pohvale popraćene s najavom pisanja članaka iz područja naznačenih kao preferentna prema novoj uređivačkoj politici.

Pred Vama je novi broj časopisa Energija. U broju 2/2006 objavljujemo tri članka koji se bave temama od šireg značenja i dva članka koji obrađuju specijalističke teme. To su:

Dear readers,

The promotion of the first issue of redesigned journal Energija took place at the Mimara Museum in Zagreb on 8 March 2006, attended by high representatives of the Government, university community, energy companies and their contractors. Addresses were given by the representatives of the Croatian Power Utility, three State Secretaries (Ministry for Environmental Protection, Physical Planning and Construction; Ministry for Economic Affairs, Labour and Entrepreneurship; and the Ministry of Science, Education and Sport), and by the authors of articles published in the promoted issue of Energija.

In their addresses State Secretaries supported the commitment of HEP to publish a modern scientific and technical journal presenting and promoting new commercial and technical/technological trends in electric power industry and energy in general. They particularly underlined the importance of the commitment of the publisher to expanding the circle of authors and readers to the regional surroundings of the Republic of Croatia.

The first issue of Energija following a new editorial policy has been distributed, in addition to its standard readers in Croatia, to more than four hundred addresses at electric power companies, scientific and educational establishments and technical institutions, and administrative bodies and associations involved in electric power industry and energy across Europe, and some to other countries as well. The number of readers who received the new issue of redesigned Energija with the invitation to subscription is particularly high in Central and Southeast Europe. The journal has also been published on the website of the Croatian Power Utility (www.hep.hr).

We have also received the first comments on the magazine, which are favourable, and we are particularly happy for receiving praises accompanied by the announcement of writing future articles in the areas on which the new editing policy is focusing.

- eksterni troškovi proizvodnje električne energije i politika zaštite okoliša,
- sustav upravljanja poslovanjem održavanja u proizvodnim pogonima HEP-a,
- matematičko modeliranje kretanja cijena električne energije na spot tržištu,
- život i djelo Nikole Tesle i
- problematika djelovanja u kriznim situacijama prijenosne mreže.

Članke je napisalo devet autora, odnosno ko-autora. Autori su ugledni sveučilišni profesori, istaknuti stručnjaci iz elektroprivrede i energetske konzultantskih tvrtki, te mladi autor koji priprema doktorsku disertaciju. Dio autora je na istaknutim javnim i rukovodnim dužnostima u području energetike.

Članci su odabrani u skladu s najavljenom uredničkom politikom i prema aktualnosti tema. Člankom o životu i djelu Nikole Tesle želi se čitatelje podsjetiti na 150. obljetnicu rođenja velikana koji je svojim izumima bitno doprinjeo stvaranju moderne civilizacije. Vjerujem da će članci o eksternim troškovima proizvodnje električne energije i upravljanju poslovanjem održavanja proizvodnih postrojenja izazvati interes kod šireg kruga čitatelja. Međutim, preporučam i specijalističke članke o cijenama električne energije na spot tržištu i postupanju u kriznim situacijama prijenosne mreže. Značenje ovih tema i njihova povezanost sa širim kontekstom funkcioniranja elektroprivrede u aktualnim uvjetima prepoznat će se tijekom čitanja.

Glavni urednik
Nikola Bruketa dipl.ing.

You are now holding a new issue of Energija. In issue 2/2006 we are publishing three articles dealing with topics of wider importance, and two articles dealing with specialist topics:

- The External Costs of the Production of Electrical Energy and the Environmental Protection Policy,
- Maintenance Management System of HEP Power Plants,
- Mathematical Model of the Electricity Prices on the Spot Market,
- The Life and Work of Nikola Tesla,
- Transmission Line Crisis Management.

The articles are written by nine authors i.e. co-authors. The authors are highly esteemed university professors, outstanding experts from the electric power industry and energy consultants, plus one young author preparing his doctoral thesis. Some of the authors hold high public offices and leadership positions in the energy sector.

Articles were selected in accordance with the announced editorial policy and their topicality. The article about the life and work of Nikola Tesla is reminding the readers of the 150th anniversary of the birth of this giant who with his inventions contributed essentially to the creation of modern civilization. I believe that articles on external costs of electric power generation and on maintenance management at generation facilities will attract interest of a wider circle of readers. I also recommend specialist articles about the price of electricity on spot markets and on emergency acting in case of crisis in transmission networks. The relevance of these topics and their relation to a broader context of the operation of the electric power industry under current circumstances will shine through on reading the articles.

Editor-in-Chief
Nikola Bruketa dipl.ing.

EKSTERNI TROŠKOVI PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I POLITIKA ZAŠTITE OKOLIŠA

THE EXTERNAL COSTS OF THE PRODUCTION OF ELECTRICAL ENERGY AND THE ENVIRONMENTAL PROTECTION POLICY

Doc. dr. sc. Željko Tomšić, prof. dr. sc. Nenad Debrecin, Sveučilište u Zagrebu,
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Mr. sc. Kažimir Vrankić, HEP d.d., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Assistant Prof. Željko Tomšić, PhD, Prof. Nenad Debrecin, PhD, University of Zagreb,
Faculty of Electrical Engineering and Computing, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia
Kažimir Vrankić, MSc, HEP d.d., Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

U radu su prikazane ekonomske osnove eksternih troškova i način njihove procjene. Opisana su dva osnovna načina za određivanje eksternih troškova: metoda slijeda utjecaja (ili metoda troškova štete) i metoda troškova kontrole. Pritom se definirao opseg analize, prioritetni utjecaji, pritisci na okoliš, prihvatna okolina, rasprostiranje polutanata u okolišu (procjena izloženosti), funkcijska veza izloženosti i učinaka, novčano vrednovanje i ocjena nesigurnosti.

Zaključeno je da troškovi smanjenja emisija progresivno rastu sa stupnjem redukcije, iz čega slijedi da politika zaštite okoliša koja se temelji isključivo na propisivanju standarda nije idealno rješenje jer izaziva nepotrebno visoke troškove. Pokazalo se da bi relaksacija regulativnih prema tržišno orijentiranim mjerama mogla donijeti financijsku uštedu uz istu ekološku dobit.

In this article, the economic foundations for external costs and the manner of evaluating them are presented. Two basic methods for determining external costs are described: the impact pathway method (or the costs of damages method) and the costs of control method. The range of analysis, priority impacts, pressures on the environment, receiving environment, pollution distribution in the environment (assessment of exposure), the functional link between exposure and impact, monetary valuation and risk assessment are defined. It is concluded that the costs of reducing emission progressively increase with the level of reduction. Therefore, an environmental protection policy based exclusively on stipulated standards is not an ideal solution because it generates unnecessarily high expenditures. It has been demonstrated that easing the regulations toward market-oriented measures could yield financial savings of equal ecological benefit.

Ključne riječi: eksterni troškovi, emisije, metoda slijeda utjecaja, održivi razvoj, proizvodnja električne energije, termoelektrane, zaštita okoliša

Key words: emissions, environmental protection, external costs, impact pathway method, production of electrical energy, sustainable development, thermoelectric power plants



1 UVOD

Energija je važan čimbenik bilo u kojem području društvene ili ekonomske aktivnosti. Za većinu zemalja u razvoju, ali i za razvijene zemlje, raspoloživost energije i kvaliteta energetske usluga vitalni su za zadovoljavanje osnovnih ljudskih potreba i povećanje životnog standarda. Međutim, proizvodnja, konverzija i uporaba energije vodi k efektima degradacije okoliša. Ekonomski razvoj i strateške odluke bilo u kojoj zemlji u obzir moraju uzeti problematiku zaštite okoliša povezanu s energetikom. Zaštita okoliša mora biti održiva lokalno, regionalno i globalno da bi se postigao održivi razvoj.

U posljednje vrijeme jedan od glavnih smjerova istraživanja u okviru komparativne analize različitih tehnologija za proizvodnju električne energije je proučavanje utjecaja na okoliš i ljudsko zdravlje i tomu pridruženih eksternih troškova energijskih lanaca za proizvodnju električne energije. Stoga se kao jedna od komponenata pri odlučivanju o budućim energentima pojavljuju i eksterni troškovi proizvodnje električne energije. Princip uključenja eksternih u ukupne troškove pri planiranju resursa proizlazi iz činjenice da proizvodnja električne energije uzrokuje štete za okoliš i društvo koje nisu uključene u troškove proizvodnje.

Eksterni troškovi u elektroenergetici predstavljaju nekompensirane štete koje se javljaju kao neželjene posljedice proizvodnje električne energije. Eksterni troškovi mogu se umanjiti izravnim mjerama zaštite okoliša, kao što su ekološki standardi i uređaji za smanjenje emisija, a kompenzirati pomoću ekonomskih instrumenata zaštite okoliša: uvođenjem emisijskih pristojbi i poreza te trgovanjem emisijskim dozvolama. Danas je u svijetu tendencija da se eksterni troškovi ne samo kompenziraju već i uključe u planiranje resursa. Eksterni trošak može se procijeniti na temelju troškova kontrole (tj. smanjenja emisija) ili troškova štete za okoliš, a uključiti u politiku zaštite okoliša primjenom težinskih faktora ili nekom vrstom "kažnjavanja", bilo same tehnologije, bilo emisija.

1 INTRODUCTION

Energy is an important factor in any area of social or economic activity. For the majority of developing countries, but also for more developed countries, the availability of energy and the quality of energy services are vital for meeting fundamental human needs and raising the standard of living. However, the production, conversion and use of energy lead to degradation of the environment. Economic development and strategic decisions in any country must take the problem of environmental protection in connection with energy production into account. Environmental protection must be sustainable locally, regionally and globally in order to achieve sustainable development.

In recent times, one of the main directions of investigation within the framework of the comparative analysis of various technologies for the production of electrical energy has been the study of the impact of the energy chain for the production of electrical energy upon the environment and human health, together with the associated external costs. Therefore, the components in deciding upon future power sources include the external costs of the production of electrical energy. The principle of the inclusion of externalities in the overall costs when planning resources is due to the fact that the production of electrical energy leads to damages to the environment and society that are not included in the production costs.

External costs in electrical power production represent the uncompensated damages that occur as the undesirable consequences of the production of electrical energy. External costs can be lowered through direct environmental protection measures, such as ecological standards and with equipment for reducing emissions, and can be compensated for using economic instruments for environmental protection through the introduction of emission fees and taxes, and through the trading of emission allowances. Today in the world, there is a tendency not only to compensate for the external costs but also to include them in resource planning. External costs can be assessed on the basis of cost controls (i.e. reduced emission) or the costs of damage to the environment, and also included in the environmental protection policy through the application of weighted factors or some form of "penalty," either on the technology itself or emissions.

2 EKSTERNI TROŠKOVI

Namjena je eksternih troškova, sasvim općenito, da potaknu promjene prema ekološki svjesnijem ponašanju. Eksterni troškovi mogu služiti za usporedbu različitih tehnologija za proizvodnju električne energije i različitih strategija razvoja elektroenergetskog sustava s obzirom na njihov utjecaj na okoliš. Pri planiranju sustava mogu se analizirati različiti scenariji razvoja s obzirom na njihov utjecaj na okoliš, i to tako da se osnovnim troškovima pojedinog scenarija pridodaju troškovi štete u okolišu. Eksterni se troškovi također mogu izravno uvrstiti u funkciju ukupnih troškova proizvodnje pri dispečiranju postojećih i optimiranju gradnje novih elektrana u sustavu.

2.1 Prioritetni utjecaji energijskih lanaca na ljude i okoliš

Detaljni prikaz utjecaja na okoliš svih tipova elektrana i ostalih elektroenergetskih postrojenja može se naći u [1].

Najvažnija opterećenja okoliša u lancu fosilnih goriva nastaju na lokaciji elektrane. To su:

- emisije onečišćujućih tvari u zrak: sumporni dioksid (SO_2), dušikovi oksidi (NO_x), krute čestice i teški metali,
- plinovi staklenika: ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4), klorofluorougljikovodici (CFC),
- kruti i tekući otpadi.

Prioritetni utjecaji na okoliš/zdravlje u energijskim lancima fosilnih goriva su: utjecaji onečišćenja atmosfere na ljudsko zdravlje, materijale, usjeve, šume i ekosustave; posljedice globalnog zagrijavanja; nesreće koje pogađaju pogonsko osoblje ili javnost. Detaljne studije pokazuju da su sekundarni utjecaji u lancu fosilnih goriva, kao što su emisije prilikom proizvodnje materijala, dva do tri reda veličine manji nego emisije iz elektrane (gledano po kWh) i da se mogu izostaviti iz razmatranja [2].

U nuklearnom energijskom lancu postoji mala vjerojatnost ozbiljnih nesreća, uz ostale štete od iskapanja i procesiranja goriva, a posebno odlaganja otpada. Prioritetni utjecaji su radiološki i neradiološki utjecaji na javno zdravlje kao posljedica normalnog pogona ili pak utjecaji na okoliš kao posljedica akcidenta. Najozbiljnijim utjecajem na okoliš smatra se ispuštanje štetnih tvari izazvano ozbiljnim kvarom reaktora, što bi moglo uzrokovati gubitak obradivih površina i poljoprivrednih usjeva.

2 EXTERNAL COSTS

The purpose of external costs, generally speaking, is to prompt changes toward more ecologically conscious behavior. External costs can serve in comparing various technologies for the production of electrical energy and various strategies for the development of the electrical power system regarding their environmental impact. In the planning of a system, various development scenarios can be analyzed regarding their environmental impacts, in such a manner that the costs of the damage to the environment are added to the basic costs of an individual scenario. External costs can also be directly included in the function of the total costs of production in the dispatching of existing power plants and optimizing the construction of new power plants within a system.

2.1 Priority impacts of energy chains on people and the environment

A more detailed presentation of the environmental impacts of all types of electrical power plants and other electrical power facilities can be found in [1].

The most significant burdens to the environment in the fossil fuel chain occur at the sites of power plants. These are as follows:

- emissions of pollutants into the air: sulfur dioxide (SO_2), nitric oxides (NO_x), solid particles and heavy metals,
- greenhouse gasses: carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), chlorofluorocarbons (CFC),
- solid and liquid wastes.

Priority impacts on the environment/health in the energy chains of fossil fuels are: impacts of atmospheric pollution on human health, materials, crops, forests and ecosystems; the consequences of global warming and accidents that affect plant employees or the public. Detailed studies have shown that the secondary impacts in the fossil fuel chain, such as emissions during the production of materials, are two to three orders of magnitude lower than emissions from power plants (in terms of kWh) and they can be excluded from consideration [2].

In the nuclear energy chain, there is a small probability of serious accidents, together with other damage from the excavation and processing of fuel, and especially the disposal of waste. Priority impacts are the radiological and non-radiological impacts on public health as the consequence of normal operations or environmental impact due to accident. The most serious environmental impact is considered to be the emission of harmful substances due to reactor breakdown, which could cause a loss of arable surfaces and agricultural crops.

Promatrajući cjelokupni energijski lanac, obnovljivi izvori energije također štetno utječu na okoliš. Prioritetni utjecaji u lancima obnovljivih izvora ovise o energentu (hidroenergija, vjetar, sunce, biomasa itd.) i drugim specifičnostima lanca. Tako se, primjerice, za energijski lanac vjetra navode nesreće koje pogađaju stanovništvo i pogonsko osoblje, narušavanje estetskog izgleda, buka te utjecaji zagađenja atmosfere zbog proizvodnje materijala i dijelova za vjetroturbinu.

U lancu solarne energije na okoliš štetno utječe proizvodnja materijala, a problem su i velike površine potencijalno obradivog zemljišta koje bi trebalo pokriti kolektorima ako se želi dobiti iole veća snaga solarne elektrane. Problem zauzeća zemljišta javlja se i kod vjetroelektrana (farme vjetrenjača).

Prioritetni utjecaji u lancu hidroenergije su poplavlivanje korisnog zemljišta za potrebe akumulacijskih bazena, erozija, narušavanje režima podzemnih voda i ugrožavanje usjeva, opasnost za staništa, opasnost za opskrbu vodom te estetsko neuklapanje u prirodnu sredinu u kojoj su izgrađene.

Osim negativnih, proizvodnja električne energije uzrokuje i pozitivne eksterne učinke, a to su poboljšanje kvalitete života, mogućnosti zaposlenja, porast produktivnosti i konkurentnosti na tržištu te doprinos državnoj sigurnosti.

2.2 Ekonomske osnove eksternih troškova

Eksterni učinak je sporedni proizvod neke djelatnosti koji nije uključen u tržišnu cijenu osnovnog proizvoda [3]. Pozitivni eksterni učinak nastaje kad ulaganje u neku aktivnost uzrokuje nekompensiranu dobit u nekoj drugoj aktivnosti. Nasuprot tomu, negativni eksterni učinak javlja se kad ulaganje u jednu aktivnost uzrokuje nekompensirane negativne učinke na drugu aktivnost. Industrijske djelatnosti na razne načine, uglavnom negativno, djeluju na ljudsko zdravlje i prirodni okoliš, izazivajući određene troškove u društvu. Budući da oni ne ulaze u klasičnu ekonomsku bilancu poduzeća, tj. u proračun izravnih (tzv. privatnih) troškova, nazivaju se eksterni troškovi. Zbog postojanja eksternalija privatni troškovi manji su od društvenih (slika 1).

Considering the entire energy chain, renewable energy sources also have a detrimental effect upon the environment. The priority impacts in the chain of renewable sources depend upon the power source (hydroenergy, wind, sun, biomass etc.) and other specific aspects of the chain. Thus, for example, in the wind energy chain there are accidents that affect the population and plant employees, are detrimental to visual amenity, create noise and pollute the atmosphere due to the production of materials and wind turbine parts.

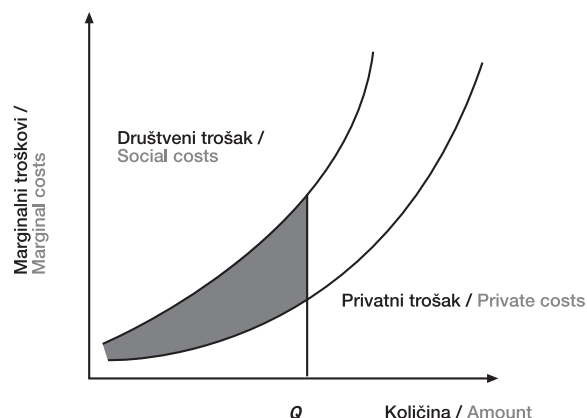
In the solar energy chain, there is harmful environmental impact from the production of materials, and problems also include the large surfaces of potentially arable land that must be covered with collectors if greater power from a solar energy plant is required. The problem of occupying land also occurs with wind-generated electricity (windmill farms).

Priority impacts in the chain of hydroenergy are the flooding of usable land to create a reservoir, erosion, destruction of the underground water regime, threats to crops, danger to the population, danger to the water supply, and detriment to the amenity in the natural milieus in which they are built.

In addition to negative impacts, the production of electrical energy also results in positive external effects, such as improving the quality of life, employment opportunities, increased productivity and competitiveness on the market, while also contributing to national security.

2.2 The economic foundations of external costs

The external impact is the byproduct of some activities that is not included in the market price of the basic product [3]. A positive external impact occurs when investment in some activity results in uncompensated profit in some other activity. Conversely, a negative external impact occurs when investment in an activity results in an uncompensated negative impact on another activity. Industrial operations in various ways generally negatively affect human health and the natural environment, resulting in various costs in the society. Since these are not included in a company's classical financial statement, i.e. in the budget for direct (so-called private) costs, they are called external costs. Due to the existence of externalities, private costs are lower than social costs (Figure 1).



Slika 1
Odnos privatnih i društvenih troškova
Figure 1
The ratio of private and social costs

Na slici 1 su prikazane krivulje marginalnih privatnih i društvenih troškova. Marginalni ili granični trošak predstavlja trošak sljedeće jedinice proizvoda. Za bilo koju razinu proizvodnje Q , ukupni trošak proizvodnje jednak je površini ispod krivulje marginalnih troškova. Osjenčana površina između krivulja privatnog i društvenog troška predstavlja eksterni trošak na razini proizvodnje Q . Da bi se u ocjeni projekta uzeli u obzir i eksterni troškovi, trebalo bi umjesto s privatnim računati s društvenim troškovima. Međutim, u praksi to nije jednostavno jer stvarni društveni troškovi nisu poznati. Naime, nemoguće je ustanoviti i kvantificirati sve eksterne učinke, iako se nastoji doći do što bolje procjene.

U elektroenergetskom sustavu može se dogoditi da tržišne cijene električne energije ne odražavaju u potpunosti stvarne troškove i da su niže nego kad bi se u proizvodnju uključili eksterni troškovi. Niže cijene uzrokuju povećanu potrošnju električne energije, tj. nepravilnu raspodjelu resursa, a to vodi do smanjene ekonomske efikasnosti u društvu i negativnih utjecaja na društvo. Prema ekonomskoj teoriji društvenog blagostanja, onečišćenje okoliša uzrokovano proizvodnjom električne energije trebalo bi svesti na ekonomski efikasnu razinu i time ukloniti deformacije tržišta zbog eksternih učinaka. Ekonomski efikasna razina onečišćenja bila bi ona pri kojoj je proizvodna cijena električne energije jednaka marginalnom društvenom trošku proizvodnje električne energije, a taj uključuje i eksterne troškove proizvodnje električne energije.

Granična šteta je novčana vrijednost štete za okoliš ili ljudsko zdravlje koju uzrokuje dodatna jedinica onečišćenja. Krivulja granične štete prikazuje njezinu ovisnost o razini emisija; ona je horizontalna, ako svaka sljedeća tona polutanta izaziva jednaku štetu kao ona prethodna, tj. ako šteta ne ovisi o razini emisija. To je slučaj kad je ukupna šteta linearno proporcionalna emisijama.

In the figure 1 are shown the curves of the marginal private and social costs. The marginal cost represents the cost of the subsequent unit of production. For any level of production Q , the total production cost is equal to the area below the curve of the marginal costs. The shaded area between the curve of the private and social costs represents the external cost on the level of production Q . In order for external costs to be taken into account in the price, it would be necessary to include the social costs instead of the private costs in the calculation. However, in practice this is not simple because the actual social costs are unknown. It is not possible to establish and quantify all the external effects, although attempts are made to arrive at the best possible estimate.

In an electrical power system, it can happen that the market prices of electrical energy do not reflect the actual costs in their entirety, and are lower than they would be if the external costs were included in the production price of electrical energy. Lower prices result in an increased consumption of electrical energy, i.e. a lopsided distribution of resources, leading to lower economic effectiveness in the society with negative repercussions upon the society. According to the economic theory of social wellbeing, environmental pollution caused by the production of electrical energy should be reduced to an economically effective level, which would thereby eliminate the market deformation due to external impacts. An economically effective level of pollution would occur if the production costs of electrical energy were equal to the marginal social expenditures for the production of electrical energy, including the external costs of the production of electrical energy.

Marginal damage is the monetary value of damage to the environment or human health that causes additional units of pollution. The curve of marginal damage shows its dependence on the emission level: it is horizontal if each subsequent ton of

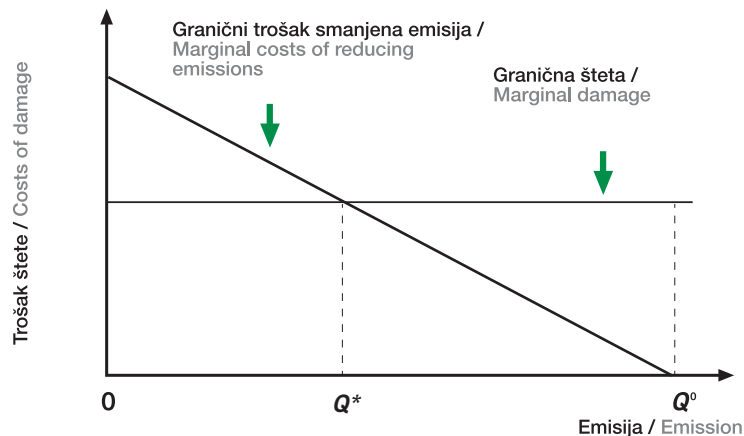
No, postoje učinci koji nisu linearni i kad su posljedice onečišćenja pri malim razinama emisija manje od onih pri većim razinama.

U analizi eksternih učinaka na okoliš najčešće se pretpostavlja da je granična šteta konstantna, bez obzira na razinu emisija. Naime, studije su pokazale da koncentracije polutanata u okolišu većinom linearno ovise o veličini emisija, a da su štete u receptorima u pravilu linearno ovisne o koncentracijama polutanata. To znači da su konačne štete za okoliš/zdravlje za većinu polutanata proporcionalne emisijama, tj. da su njihove granične štete konstantne. U tom su slučaju prosječne štete jednake graničnima i također konstantne (slika 2).

pollutant causes the same amount of damage as the previous one, i.e. if the damage does not depend upon the level of the emission. This is the case when the total damage is linearly proportional to the emissions. There are effects that are not linear, when the consequences of pollution with small levels of emissions are lower than those with higher levels.

In analyzing external environmental impact, it is most often assumed that marginal damage is constant, regardless of the level of emissions. Studies have shown that the concentrations of pollutants in the environment are generally linearly dependent on the amount of the emissions and the damages in the receptors are generally linear, depending upon the concentration of the pollutants. This means that the final damages to the environment/health for the majority of pollutants are proportional to the emissions, i.e. their marginal damages are constant. In this case, the average damages are equally marginal and also constant (Figure 2).

Slika 2
Šteta u okolišu i trošak njezinog smanjenja
Figure 2
Environmental damage and the cost of its reduction



Granični troškovi smanjenja emisija prikazuju troškove potrebne da se ukloni sljedeća jedinica onečišćenja. Opet, taj iznos ovisi o početnoj razini emisija. Na visokim razinama granični su troškovi redukcije manji jer su dostupne jeftinije mjere, ali kako se ukupna razina emisija smanjuje, potrebna su sve veća ulaganja za daljnje smanjenje emisija. Ekonomski optimalna razina emisija dobiva se izjednačenjem marginalne štete i marginalnih troškova za redukciju tih emisija. Pretpostavimo da Q^0 predstavlja nekontroliranu emisiju nekog polutanta (bez primjene redukcijskih mjera), dok je u ishodišnoj točki ta emisija jednaka nuli. Ako je razina emisija veća od Q^* , isplati se ulagati u njihovo smanjenje jer se tako ostvaruje dobit koja je veća od troškova potrebnih za njezino ostvarenje.

Naprotiv, ako je razina emisija ispod Q^* , mjere za smanjenje emisija se ne isplate jer će postignuta dobit biti manja od troškova. Prema

The marginal costs for reducing emissions show the costs required in order to eliminate the subsequent unit of pollution. Again, this amount depends on the initial level of emissions. At higher levels, the marginal costs of reduction are lower because less expensive measures are available, but since the total level of emissions decreases, increasingly large investments are required for the further reduction of emissions. The economically optimal level of emissions is obtained through equalizing the marginal damages and the marginal costs for the reduction of these emissions. Let us assume that Q^0 represents the uncontrolled emission of a pollutant (without the application of reduction measures), while at the origin point of emission the emission is equal to zero. If the level of emissions is greater than Q^* , it is economically justifiable to invest in reducing it because profit is thereby achieved that is greater than the expenditures necessary for achieving it.

tome, Q^* je ekonomski idealna razina emisija i ako se proizvođač nalazi upravo na toj razini, ne bi smio plaćati naknadu za preostalu emisiju Q^* . Ekonomski gledano, šteta zbog preostale emisije tada se ne bi trebala smatrati eksternim (nekompensiranim) troškom, već bi se moglo reći da je eksterni trošak uključen u troškove proizvodnje, a time i u tržišnu cijenu električne energije. No, treba naglasiti da određena šteta za okoliš uvijek postoji (emisije nikad nisu nula), čak i onda kad su svi eksterni učinci internalizirani.

2.3 Načini procjene eksternih troškova

Štete za okoliš i zdravlje zbog proizvodnje električne energije izazivaju eksternu troškove jer nisu kompenzirane cijenom električne energije. Preduvjet za uvođenje učinkovitog sustava zaštite okoliša je odrediti visinu eksternih troškova. Postoje dva osnovna načina za određivanje eksternih troškova: metodom troškova štete i metodom troškova kontrole.

2.3.1 Metoda troškova štete

Prema ovoj metodi, eksterni troškovi procjenjuju se na temelju stvarnih šteta u okolišu, što i jest najlogičnije rješenje. Znanstveno utemeljenim pristupom određuje se tzv. funkcija štete i odgovarajuća novčana vrijednost štete. Polazi se od uzroka štete (emisije polutanata) na nekoj lokaciji, prati njegova distribucija u okolišu, procjenjuje šteta izazvana u receptorima, kao i njezin eksterni trošak. Otuda naziv metoda funkcije štete ili metoda slijeda utjecaja. Treba naglasiti da ovakav postupak nije bio oduvijek moguć, njegov je intenzivni razvoj započeo tek sredinom 1990-tih godina zahvaljujući napretku znanosti i računalne tehnike.

Metoda funkcije štete ima svojih nedostataka – rezultati umnogome ovise o lokaciji, vrlo je složena, zahtijeva veliku količinu ulaznih podataka i detaljno poznavanje mehanizama u okolišu, pa se ne može primijeniti u procesima koje ne znamo (dovoljno dobro) modelirati. Najbolji primjer za to je proračun šteta globalnog zagrijavanja gdje se zbog velike nesigurnosti još uvijek uglavnom koristi jednostavniji pristup, tzv. metoda troškova kontrole. Pogotovo kontroverzan u metodi funkcije štete je zadnji korak, preračunavanje fizičkih i bioloških učinaka u novčane vrijednosti.

2.3.2 Metoda troškova kontrole

Eksterni troškovi po ovoj se metodi računaju na temelju ulaganja u mjere zaštite okoliša, potrebne za zadovoljenje postojećih ili budućih propisa. Općenito, princip je da se nada dopuštena

Conversely, if the level of emissions is below Q^* , the measures for reducing emissions are not economically justifiable because the profit that will be achieved is less than the amount of the expenditures. Accordingly, Q^* is the economically ideal level of emissions, and if a producer finds himself precisely at this level, he should not pay compensation for the remaining emission of Q^* . From the economic point of view, the damage due to the remaining emissions should then not be considered external (uncompensated) costs, but it could be said that the external costs are included in the production costs, and thereby in the market price of electrical energy. However, it should be emphasized that there is always a certain amount of damage to the environment (emissions are never at zero), even when all the external effects are internalized.

2.3 Methods of assessing external costs

Damages to the environment and health due to the production of electrical energy result in external costs because they are not compensated for by the price of electrical energy. A prerequisite for the introduction of an effective system of environmental protection is to determine the level of the external costs. There are two basic ways to determine external costs: the method of damage costs and the method of cost control.

2.3.1 The method of damage costs

According to this method, external costs are assessed on the basis of the actual damage to the environment, which is also the most logical solution. Through a scientifically based approach, the so-called damage function and the corresponding monetary value of the damages are determined. Starting from the cause of the damage (the emission of pollutants) at a particular location, its dispersion in the environment is monitored and damage in the receptors is assessed, as well as its external cost. This is the basis of the damage function method or the impact pathway method. It should be emphasized that such a procedure was not always possible but more intensive development began in the mid 1990s, owing to advances in scientific and computer techniques.

The damage function method has its shortcomings - the results greatly depend upon the location, it is highly complex, it requires a large quantity of input data and detailed acquaintance with the mechanisms in the environment, and it cannot be applied in processes that we do not know how to model (sufficiently well). The best example is the assessment of the damage from global warming, where a simpler approach is still used due to great uncertainty, the so-called method of control costs. The final step in the damage function method is especially controversial, the calculation of the physical and biological impacts in monetary terms.

ili ciljana razina onečišćenja i troškovi koji su potrebni da se taj cilj postigne. Eksterni trošak polutanta računa se kao omjer ulaganja u uređaj za pročišćavanje i smanjenja emisija koje se time postiže. Tako se npr. eksterni trošak sumpornog dioksida računa kao omjer troška za odsumporavanje i količine reduciranog sumpornog dioksida, a izražava se u novčanim jedinicama po toni polutanta. Pretpostavka ovog pristupa je da se stvarna šteta za okoliš ionako ne može točno izračunati. Zato se pribjegava pojednostavnjenom principu. Uz pretpostavku da se društvo nalazi na optimumu ekonomske efikasnosti, propisane granične vrijednosti emisije odražavale bi spremnost društva da investiranjem u kontrolne tehnologije izbjegne štetu. Međutim, kako u stvarnosti propisane razine emisija nisu ekonomski optimalne, već su rezultat političke odluke, troškove štete nije uputno poistovjećivati s troškovima kontrole. Ovaj princip koristi se u slučajevima gdje je proračun šteta složen ili mehanizam nastanka štete nije dovoljno istražen ili su velike nesigurnosti u procjeni štete, tj. kad metoda slijeda utjecaja nije primjenjiva. To je slučaj kod globalnog zagrijavanja gdje se razmjeri šteta i pripadni eksterni troškovi kreću u širokom rasponu jer su procjene posljedica vrlo nesigurne.

3 METODA SLIJEDA UTJECAJA ZA PROCJENU EKSTERNIH TROŠKOVA

Metoda je preuzeta iz studije ExternE, jedne od najvažnijih studija o eksternim troškovima lanaca za proizvodnju električne energije. Studija je nastala kao rezultat istoimenog projekta pod pokroviteljstvom Europske komisije. U toj je studiji primijenjena metoda slijeda utjecaja, što znači da se eksterni troškovi računaju na temelju stvarne štete u okolišu [4].

3.1 Definiranje opsega analize

Na početku analize treba definirati prostornu i vremensku granicu analize te raspon pritisaka na okoliš i učinaka koji će se obrađivati. Analiziraju se sljedeće kategorije pritisaka na okoliš: onečišćivači zraka (štetni plinovi i čestice koje se ispuštaju u atmosferu), kruti i tekući otpadi, nesreće, opasne tvari, buka, otpadna toplina i ostali pritisci. Pritisak na okoliš predstavlja svaku tvar koja izaziva ili bi mogla izazvati bilo kakav utjecaj na okoliš ili ljudsko zdravlje.

Najveću važnost u energijskom lancu za proizvodnju električne energije ima sama elektrana. Međutim, granice sustava treba odrediti tako da se

2.3.2 The method of control costs

According to this method, external costs are calculated on the basis of investment in the environmental protection measures that are necessitated by compliance with the existing or future regulations. Generally speaking, the principle is that the permitted or target levels of pollution and costs that are necessary in order to achieve this goal are assigned. The external cost of a pollutant is calculated as the ratio between investment in equipment for eliminating pollution and reducing emissions in order to achieve this. Thus, for example, the external cost of sulfur dioxide is calculated as the ratio of the cost for sulfur reduction and the quantity of the reduced sulfur dioxide, and is expressed in monetary units per ton of pollutant. The assumption regarding this approach is that the actual environmental damage cannot be calculated precisely. For this reason, a simplified approach is used. Assuming that the society is operating at optimum economic efficiency, the stipulated marginal values of emissions would reflect the readiness of the society to invest in control technology to avoid damage. However, since in reality the stipulated emission levels are not economically optimal but the result of political decisions, the damage costs should not be equated with the control costs. This principle is used in cases when the estimate of damages is complex, the mechanism for the origin of damage is not sufficiently specified or there is great uncertainty in the assessment of the damage, i.e. when the impact pathway method is not applicable. This is the case with global warming, where the dimensions of the damage and corresponding external costs range widely because the estimates of the consequences are highly uncertain.

3 THE IMPACT PATHWAY METHOD FOR THE ESTIMATE OF EXTERNAL COSTS

This method is taken from the study ExternE, one of the most significant studies on the external costs of the chain for the production of electrical energy. The study came about as the result of the project of the same name, under the sponsorship of the European Commission. In this study, the impact pathway method was used, which means that the external costs are calculated on the basis of the actual damages to the environment [4].

3.1 Definition of the range of analysis

At the beginning of analysis, it is necessary to define the spatial and temporal limits of the analysis, the range of environmental pressures and the effects that will be studied. The following categories of environmental pressures are analyzed: air pollutants

uračunaju potencijalni učinci svih procesa vezanih uz proizvodnju električne energije. U općem slučaju, energijski lanac obuhvaća proizvodnju građevnog materijala, prijevoz građevnog materijala, izgradnju elektrane, istraživanje nalazišta i vađenje goriva, obradu goriva, prijevoz goriva, tretman dimnih plinova, proizvodnju otpadnog materijala, obradu otpada, dekomisiju elektrane i saniranje lokacije na kraju životnog vijeka elektrane. Prostorni opseg analize ima velik utjecaj, pogotovo na posljedice onečišćenja zraka. Razmatranje treba proširiti na nekoliko stotina kilometara od izvora jer mnogi polutanti imaju dalekosežne učinke (SO₂, NO_x, sekundarne čestice, ozon) koji su se u nekim slučajevima pokazali veći od lokalnih jer zahvaćaju veći broj receptora. Ipak, na određenoj udaljenosti od izvora treba prekinuti analizu i pokušati ocijeniti omjer uračunatih i neuračunatih emisija.

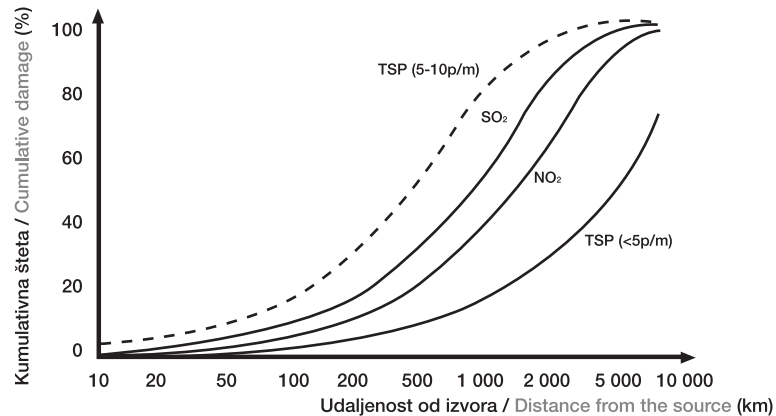
Da bi se dobio uvid u potreban opseg analize, u studiji ExternE proveden je jednostavan proračun disperzije SO₂, i letećih čestica (TSP < 5 μm i TSP 5-10 μm). Pretpostavljen je krajnje jednostavan model disperzije: homogeno trenutačno miješanje polutanata s okolišnim zrakom na visini sloja miješanja, ravnomjerna distribucija smjera vjetra tijekom godine, brzina vjetra jednaka prosječnoj godišnjoj brzini, zanemarene su kemijske reakcije polutanata u atmosferi, a kao način uklanjanja polutanata iz atmosfere računato je samo sa suhim taloženjem (mokro taloženje nije uzeto u obzir). Nadalje, pretpostavljene su linearne funkcije izloženost-činak koje povezuju učinke na ljudsko zdravlje i navedene polutante te jednolika gustoća naseljenosti oko izvora. Uza sve te pretpostavke dobiva se da kumulativna šteta za zdravlje za sve polutante ima oblik funkcije (1 - e^{-x}) gdje je *x* udaljenost od izvora (slika 3). Zaključak je da treba promatrati udaljenosti od tisuću i više kilometara da bi se uračunao najveći dio štete.

(harmful gasses and particles that are released into the atmosphere), solid and liquid wastes, accidents, hazardous substances, noise, waste heat and other pressures. An environmental pressure is each substance that provokes or could provoke any impact whatsoever upon the environment or human health.

The power plant is of the greatest importance in the energy chain for the production of electrical energy. However, the limits of the system should be determined in such a manner that the potential effects of all the processes in connection with the production of electrical energy are calculated. Generally, the energy chain includes the production of building material, the transport of building material, the construction of the power plant, site investigation, excavation of fuel, fuel processing, fuel transport, the treatment of flue gasses, the production of waste material, waste processing, taking the power plant out of commission and restoring the site at the end of the life of a large power plant. The spatial range of analysis has a great influence, especially on the consequences of air pollution. Observation should be extended for several hundred kilometers from the source because many pollutants have long-range effects (SO₂, NO_x, secondary particles, ozone), which in some cases have been shown to be greater than local effects because a larger number of receptors are affected by them. Nonetheless, at a certain distance from the source, analysis should stop and an attempt should be made to assess the ratio of the calculated and uncalculated emissions.

In order to obtain insight into the required range of analysis, in the study ExternE a simple estimate was performed of the dispersion of SO₂, NO_x and flying particles (TSP < 5 μm and TSP 5-10 μm). An extremely simple dispersion model is presented: homogeneous instantaneous mixing of pollutants with the environmental air at the level of the mixing layer. uniform distribution of the wind direction during the year, wind velocity equal to that of the average annual velocity, the chemical reactions of the pollutants in the atmosphere are ignored, and only dry sedimentation is calculated as a manner of removing the pollutants from the atmosphere (wet sedimentation is not taken into account). Furthermore, linear functions of exposure-effect are assumed that correlate the impact upon human health and the said pollutants, postulating uniform population density around the source. With all these assumptions, the cumulative detriment to health is obtained for all the pollutants, with the form of the function (1 - e^{-x}), where *x* is the distance from the source (Figure 3). The conclusion is that it is necessary to study distances of a thousand and more kilometers in order to calculate the greatest part of the damage.

Slika 3
Očekivana kumulativna šteta ovisno o udaljenosti od izvora emisija
Figure 3
Anticipated cumulative damages at various distances from the emission source



Učinke bi trebalo računati kroz cijelo razdoblje manifestiranja. Tu se pojavljuje problem nesigurnosti dugoročnih učinaka, npr. globalnog zagrijavanja i odlaganja visokoradioaktivnog otpada. Da bi se u obzir uzeo raspon mogućih ishoda, kreiraju se razvojni scenariji u kojima su spomenute nepoznanice ulazni parametri. Vremenski opseg analize povezuje se i s pitanjem diskontiranja novčanih vrijednosti šteta. Općenito se smatra da bi ekološka diskontna stopa, tj. ona po kojoj bi se diskontirale novčane vrijednosti šteta za okoliš/zdravlje, trebala uzeti u obzir održivost razvoja društva i cijelog planeta.

3.2 Određivanje prioritetnih utjecaja

Analiza treba obuhvatiti one učinke koji prema današnjim spoznajama izazivaju najveće eksterne učinke. Često su lokalni učinci manje važni od regionalnih i globalnih jer pogađaju manji broj ljudi, i kad se normiraju na proizvedeni TWh, ispadaju zanemarivi. Međutim, u nekim su slučajevima lokalni eksterni troškovi ipak veći od regionalnih i globalnih, a to je uglavnom kad je riječ o nesrećama koje pogađaju radnike i stanovništvo te bolestima na radu. Budući da se ljudski život i zdravlje visoko cijene, pripadajući eksterni troškovi su visoki.

Izbor prioritetnih utjecaja ovisi i o tome želimo li odrediti štete ili samo eksterne učinke. Naime, postoje pritisci s velikim štetama za okoliš, ali vrlo malim eksternim troškovima jer je većina šteta kompenzirana. Na primjer, povećani rizici u nekim zanimanjima većinom se kompenziraju kroz plaće, dok se blizina industrijskog objekta, tj. vizualni utjecaj i buka, obično kompenziraju nižom cijenom stambenog prostora.

The effects should be calculated through the entire period of the manifestation. The problem of the uncertainty of the long-term impacts arises in, for example, global warming and the disposal of highly radioactive wastes. In order to take the range of potential results into account, developmental scenarios are created in which the cited unknowns are entry parameters. The temporal range of analysis is connected with the question of the discounting of the monetary values of the damages. It is generally considered that the ecological discount rate, i.e. according to which the monetary value of the damage to the environment/health would be discounted, should take into account the sustainability of the development of the society and the entire planet.

3.2 Determination of priority impacts

Analysis should cover those impacts that cause the greatest external impacts, according to current knowledge. The local impacts are often less important than the regional and global impacts because they affect a smaller number of people, and when they become negligible. However, in some cases the local external costs are nonetheless greater than the regional and global, generally when there are accidents that affect employees and the population, as well as occupational disorders. Since human life and health are of high value, the concomitant external costs are high.

The choice of priority impacts depends on whether we want to determine damages or only external impacts. There are pressures with great damages to the environment but very low external costs, because the majority of the damages are compensated for. As an example, increased risks in some occupations are for the most part compensated through salaries, while the vicinity to industrial objects, i.e. the loss of visual amenity and noise, are generally compensated for through lower housing prices.

3.3 Određivanje pritiska na okoliš

Prvi korak analize relativno je jednostavan - treba izračunati emisije u zrak, vodu i tlo te ostale posljedice uzrokovane odabranom tehnologijom, npr. nesreće koje pogađaju radnike i stanovništvo. Emisije u zrak (CO₂, SO₂, NO_x, čestice, hlapljive tvari i sl.) mogu se odrediti s velikom točnošću na temelju poznatog sastava goriva i tehnologije izgaranja. Razmatraju se suvremene, ali već dokazane tehnologije za proizvodnju električne energije i uređaji za smanjenje emisija potrebni da se zadovolje emisijski standardi pojedine zemlje. Veći je problem utvrditi emisije elemenata u tragovima, npr. olova i žive, jer su zbog njihovih malih iznosa i mjerenja otežana. U energijskom lancu goriva najjednostavnije je ustanoviti emisije na lokaciji elektrane koje u lancima fosilnih goriva čine dominantni dio ukupnih emisija lanca.

3.4 Opis prihvatne okoline

Ako se procjenjuje utjecaj onečišćenja zraka na ljudsko zdravlje, treba poznavati meteorološke uvjete koji utječu na disperziju, transport i kemijske reakcije polutanata, dobnu strukturu i zdravstveno stanje stanovništva, stanje ekoloških resursa (kritična opterećenja ekosustava) te vrijednosne sustave pojedinaca. Za procjenu budućih šteta potrebne su neke pretpostavke o razvoju prihvatne okoline, npr. o broju stanovništva i mogućnostima liječenja u budućnosti.

3.5 Rasprostiranje polutanata u okolišu – procjena izloženosti

Promatraju se utjecaji na ljudsko zdravlje, materijale, usjeve, biljne i životinjske ekosustave, zatim posljedice globalnog zagrijavanja i ostali utjecaji. Za proračun svih učinaka vezanih uz emisije polutanata zajedničko je to što je potreban odgovarajući model atmosferske disperzije i poznavanje funkcija izloženost - učinak. Za modeliranje disperzije unutar 50-100 km od izvora koristi se Gaussov model disperzije koji zanemaruje kemijske transformacije polutanata u atmosferi, ali dobro opisuje vertikalnu i horizontalnu disperziju polutanata unutar sloja miješanja. Za modeliranje dalekosežne disperzije koriste se modeli trajektorija koji u obzir uzimaju kemijske reakcije u atmosferi te računaju ambijentalne koncentracije i taloženje primarnih i sekundarno stvorenih polutanata.

3.3 Determination of pressure on the environment

The first step in analysis is relatively simple. It is necessary to calculate the emissions into the air, water and soil, and other consequences caused by the selected technology, for example accidents that affect workers and the population. Emissions into the air (CO₂, SO₂, NO_x, particles, volatile substances etc.) can be determined with great precision on the basis of the known fuel composition and combustion technology. Modern but already confirmed technologies for the production of electrical energy and equipment for reducing emissions required to meet the emission standards of individual countries are being studied. It is a greater problem to determine the emission of trace elements, for example lead and mercury, because measurement is more difficult due to their small quantities. In the energy fuel chain, it is simplest to determine the emissions at the location of the power plant, of which the fossil fuel chain occupies the dominant portion of the total emission chain.

3.4 Description of the receiving environment

When the impact of air pollution on human health is assessed, it is necessary to be acquainted with the meteorological conditions that affect the dispersion, transport and chemical reactions of pollutants, seasonal structure, the state of health of the population, the status of the ecological resources (critical burden upon the ecosystem), and the value systems of individuals. In order to estimate future damages, some assumptions are necessary regarding the development of the receiving environment, for example the number of inhabitants and the possibilities for future medical treatment.

3.5 Distribution of pollutants in the environment – exposure estimate

Impact is studied on human health, materials, crops, flora and fauna ecosystems, the consequences of global warming and other influences. For an estimate of all the effects in connection with the emission of pollutants, a suitable model of atmospheric dispersion and knowledge of the function of exposure-effect are required. For the modeling of dispersion within 50-100 km from the source, the Gaussian dispersion model is used, which ignores the chemical transformation of pollutants in the atmosphere but provides a good description of the vertical and horizontal dispersion of pollutants within the mixing layer. For the modeling of far reaching dispersion, trajectory models are used that take into account the chemical reactions in the atmosphere and calculate the ambient concentrations and deposits of the primary and secondary pollutants created.

3.6 Funkcijska veza izloženosti i učinka

Za vrednovanje učinaka na okoliš i zdravlje koriste se funkcije izloženost-učinak. Određivanje funkcijske veze između izloženosti i učinka presudan je korak u metodi slijeda utjecaja.

Funkcija $Y=f_u(X)$ dovodi u vezu promjenu Y u receptoru, tj. učinak na receptor, s porastom koncentracije polutanta za vrijednost X , tj. s izloženosti. Te se funkcije nazivaju i doza-učinak jer doza predstavlja količinu tvari unesenu u organizam, npr. udisanjem, i ne mora biti jednaka izloženosti.

Da bi se odredila ovisnost učinka o dozi, odnosno izloženosti, treba u detalje razumjeti mehanizme širenja utjecaja jer je konačna manifestacija u receptoru rezultat više isprepletenih utjecaja. Primjenjivost rezultata u većem broju različitih uvjeta jedan je od pokazatelja postoji li između izloženosti i zabilježene posljedice zaista funkcijska veza i smiju li se rezultati poopćiti. Naime, rezultati mogu varirati zbog različite strukture stanovništva, različite smjese polutanata i drugih uvjeta, što je i primijećeno u epidemiološkim studijama. Stručnjaci smatraju da je bolje, ako ne raspoložemo vlastitom funkcijom izloženost-učinak, primijeniti "tuđu" funkciju (dobivenu u drukčijim uvjetima) nego promatrani učinak posve zanemariti jer ionako u oba slučaja postoji određena doza nesigurnosti.

Postoje različiti oblici funkcija izloženost-učinak, one mogu biti linearne i nelinearne, bez praga ili s pragom djelovanja (slika 4). Prag označava da postoji kritično opterećenje ekosustava za promatrani učinak. Funkcije koje opisuju učinke onečišćenja zraka na poljoprivredne usjeve iznimno su složene jer uključuju i pozitivne i negativne efekte (sulfati i nitrati djeluju i kao umjetno gnojivo i kao kiseli polutanti). Idealno se funkcije izloženost-učinak dobivaju iz epidemioloških analiza, u kojima se utvrđuju učinci polutanata na stvarne receptore: ljude, usjeve itd. Postavlja se pitanje je li opravdano učinke ekstrapolirati na doze niže od laboratorijskih, pogotovo ako se sumnja na postojanje praga. No, ipak se funkcije izloženost-učinak najčešće lineariziraju, a učinci zabilježeni na višim dozama ekstrapoliraju na niske doze, sve do nule, uz pretpostavku da ne postoji prag pojave učinka jer je iskustvo pokazalo da su te aproksimacije opravdane.

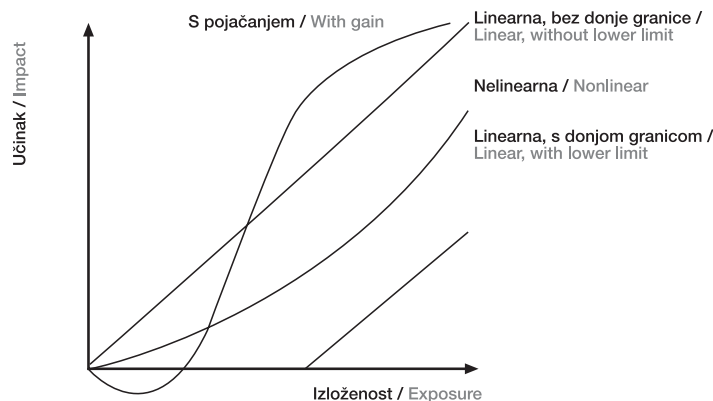
3.6 The functional connection between exposure and impact

Exposure-impact functions are used for the assessment of impact upon the environment and health. The determination of the functional connections between exposure and impact is a crucial step in the impact pathway method.

Function $Y=f_u(X)$ relates to a change of Y in the receptor, i.e. the impact on the receptor, with an increase in the concentration of pollutants by a value of X , i.e. with exposure. These functions are also called dose-impact because the dose represents the quantity of substances entering the organism, for example through inhalation, and does not have to be uniform to exposure.

In order to determine the dependency of the impact on the dose, that is to say exposure, it is necessary to understand the mechanisms for the dispersion of impact in detail, because the ultimate manifestation in the receptor is the result of many entwined impacts. The applicability of the results for a large number of varied impacts is one of the indicators of whether there is actually a functional connection between the exposure and the recorded consequences and whether the results may be published. Results can vary due to various population structures, various mixtures of pollutants and other conditions, as noted in epidemiological studies. Experts feel that it is better, if we do not have our own exposure-impact function, to apply a "foreign" function (obtained under other conditions) than to ignore a studied impact entirely, because in both cases there is a certain dose of uncertainty.

There are various forms of the exposure-impact function. They can be linear or nonlinear, with or without a threshold of activity (Figure 4). A threshold means that there is a critical burden on the ecosystem for the observed impact. The functions that describe the impacts of air pollution on agricultural crops are exceptionally complex because they include both positive and negative effects (sulfates and nitrates act both as artificial fertilizers and acid pollutants). Ideally, exposure-impact functions are obtained from epidemiological analyses, in which the impacts are determined on actual receptors: humans, crops etc. The question is posed whether it is justified to extrapolate impacts on doses lower than laboratory doses, especially if the existence of a threshold is suspected. Nonetheless, exposure-impact functions are most often linearized, and the impacts are recorded for high doses extrapolated to lower doses, all the way to zero, with the assumption that there is no threshold for the occurrence of impact because experience has shown that such approximations are justified.



Slika 4
Vrste funkcija
izloženost-učinak
Figure 4
Types of the exposure-
impact function

3.7 Novčano vrednovanje

Cilj je novčanog vrednovanja dobara ustanoviti koliko je pojedinac spreman platiti da izbjegne određenu štetu za zdravlje i/ili okoliš. Pitanja o kojima treba voditi računa pri vrednovanju šteta i o kojima se još uvijek vode rasprave jesu opravdanost prenošenja rezultata iz jednog u drugi kontekst, tj. primjena rezultata na gospodarske, političke i zemljopisne uvjete različite od izvornih, zatim postojanje razlike između svojevrijetnog i nametnutog rizika, izbor diskontne stope, nesigurnost procjene itd.

3.7 Monetary valuation

The goal of the monetary valuation of goods is to establish how much an individual is prepared to pay in order to avoid specific damage to health and/or the environment. The questions that should be taken into account when evaluating damage, which are still being debated, are the justifiability of transferring results from one context to another, i.e. the application of results for economic, political and geographical conditions that are different from the original ones, the existence of differences between voluntarily undertaken and imposed risks, the choice of a discount rate, the uncertainty of estimation etc.

3.8 Ocjena nesigurnosti

Faktori koji utječu na procjenu eksternih troškova metodom slijeda utjecaja su vrste i svojstva receptora, prostorne granice analize, svojstva elektrane, vrste analiziranih putova utjecaja, modeli atmosferske disperzije, funkcije izloženost-učinak, novčane vrijednosti šteta i način diskontiranja bazne godine. Nesigurnost procjene eksternih troškova prilično je velika jer se oni dobivaju množenjem niza parametara čije su vrijednosti također nesigurne. Najbrojniji izvori nesigurnosti, koji se ubrajaju u kategoriju statističke nesigurnosti, vezani su uz nesigurnost tehničkih i znanstvenih podataka. Oni uključuju nesigurnost ulaznih podataka, nedovoljno poznavanje emisija u dijelovima energijskog lanca prije i poslije elektrane, aproksimacije u modelima disperzije polutanata, nepoznanice u određivanju funkcija izloženost-učinak i način novčanog vrednovanja štete. Većina tih parametara može se procijeniti s točnošću unutar jednog reda veličine. Statistička nesigurnost može se izračunati primjenom statističkih metoda koje daju interval pouzdanosti oko srednje vrijednosti. Na temelju detaljne usporedbe najvažnijih studija eksternih troškova do sada, koje su promatrale učinke onečišćenja zraka na ljudsko zdravlje [5], zaključeno je da u postupku određivanja funkcije štete najveće nesigurnosti uzrokuje modeliranje atmosferske

3.8 Assessment of uncertainty

The factors that affect the assessment of external costs using the impact pathway method are the types and properties of the receptors, the spatial limits of analysis, the properties of the power plant, the types of analyzed impact pathways, models of atmospheric dispersion, exposure-impact functions, the monetary value of damages and the manner of discounting the base year. The uncertainty of the assessment of external costs is fairly great because they are obtained through the multiplication of a series of parameters whose values are also uncertain. The most numerous sources of uncertainty, which are included in the category of statistical uncertainty, are connected with the uncertainty of the technical and scientific data. They include the uncertainty of the entry data, insufficient knowledge of the emissions in parts of the energy chain before and after the power plant, approximations in the pollutant dispersion models, unknowns in the determination of the exposure-impact function and the manner of the monetary evaluation of damages. The majority of these parameters can be assessed with precision within one order of magnitude. Statistical uncertainty can be calculated using statistical methods that yield an interval of reliability of approximately average values. On the basis of more detailed comparisons of the most important studies of external costs up to the

disperzije. Mogući razlozi za neslaganje rezultata su meteorološki parametri, razlika u pozadinskim koncentracijama amonijaka i načinu modeliranja kemijskih reakcija u atmosferi. Svi ostali koraci metode slijeda utjecaja kompatibilni su među studijama.

Ostali izvori nesigurnosti su:

- nesigurnost modela,
- nesigurnost uzrokovana etičkim i društveno-političkim pitanjima,
- nesigurnost u definiranju scenarija budućeg razvoja.

To je nestatistička nesigurnost koja se ne može odrediti statističkim metodama već analizom osjetljivosti koja daje ovisnost rješenja o izboru ulaznih parametara. Unatoč nesigurnosti, metoda slijeda utjecaja preporuča se za proračun eksternih troškova jer omogućuje transparentnost i interdisciplinarnost analize te usporedbu različitih kategorija utjecaja u istom, novčanom mjerilu koje, osim toga, u velikoj mjeri odražava preferencije javnosti.

4 UKLJUČENJE EKSTERNIH TROŠKOVA U POLITIKU ZAŠTITE OKOLIŠA

Mjere zaštite okoliša mogu biti regulativne, kojima se propisuju različiti standardi, ili pak ekonomske, koje se u ostvarenju ekološkog cilja oslanjaju na tržišne mehanizme. U regulativne mjere ubrajaju se standardi kvalitete okoliša, standardi kvalitete proizvoda, emisijski standardi, tehničko-tehnološki standardi, sigurnosni propisi itd. U ekonomske mjere ubrajaju se politika cijena, subvencije, ekološki porezi, emisijske pristojbe i kazne, i fleksibilni mehanizmi kao što su propisivanje emisijskih kvota i trgovanje emisijskim dozvolama. U eri procvata tržišne ekonomije sve popularnije postaju tržišne mjere. Njihova je osnovna prednost što isti ekološki cilj postižu uz manje ukupne troškove.

4.1 Regulativne mjere

Konvencionalne mjere zaštite okoliša sastoje se od sljedećeg: donošenje propisa (standarda) - nadzor provedbe - nametanje sankcija za nepoštivanje. U proizvodnji električne energije najčešće se propisuju maksimalno dopuštene emisije štetnih tvari iz stacionarnih izvora. Za elektrane na fosilna goriva propisane su granične vrijednosti emisije za krute čestice, sumporni dioksid, dušične okside, hlapljive organske tvari

present, which study the impacts of air pollution on human health [5], it has been concluded that in the procedure for the determination of the function of damages, the greatest uncertainties are caused by the modeling of atmospheric dispersion. Possible reasons for the disparity of the results are the meteorological parameters, variations in the background concentrations of ammonia and the manner of modeling chemical reactions in the atmosphere. All the other steps of the impact pathway method are compatible among the studies.

Other sources of uncertainty are as follows:

- uncertainty of the model,
- uncertainty caused by ethical and sociopolitical questions,
- uncertainty in the definition of scenarios of future development.

This is nonstatistical uncertainty that cannot be determined through statistical methods but through analysis of sensitivities, that yields in the selection of entry parameters. Despite uncertainties, the impact pathway method is recommended for the calculation of external costs because it facilitates transparency and interdisciplinary analysis, and the comparison of various categories of impact in the same monetary measure, which moreover to a great extent is reflected in public preferences.

4 INCLUSION OF EXTERNAL COSTS IN THE ENVIRONMENTAL PROTECTION POLICY

Environmental protection measures can be regulatory, according to which various standards are stipulated, or economic, which rely on market mechanisms in order to achieve an ecological goal. Regulatory measures include environmental quality standards, product quality standards, emission standards, technical-technological standards, safety regulations etc. Economic measures include price policy, subsidies, ecological taxes, emission fees and penalties, and flexible mechanisms such as the stipulation of emission quotas and the issue of emission permits. In an era of the blossoming of the market economy, market measures are becoming increasingly popular. Their basic advantage is that the same ecological goal is achieved with lower total expenditures.

4.1 Regulatory measures

Conventional measures for environmental protection consist of the following: the adoption of regulations (standards), the supervision of implementation and imposing penalties for noncompliance. In the

itd. Propisane vrijednosti mogu se zadovoljiti odabirom "čistijeg" goriva, povećanjem efikasnosti izgaranja, modifikacijama uvjeta izgaranja i, što je najdjelotvornije, pročišćavanjem dimnih plinova nakon izgaranja. Ovo posljednje zahtijeva posebne uređaje - filtre i katalizatore - koji imaju veliku sposobnost uklanjanja štetnih tvari iz dimnih plinova, ali bitno povećavaju troškove proizvodnje električne energije. Iako mjere regulative strogo kontroliraju razine emisija, njihov je nedostatak što nisu ekonomski efikasne i ne minimiziraju troškove zaštite okoliša. Naime, proizvođač nije motiviran smanjiti svoje emisije više nego što je minimalno potrebno jer mu to ne bi donijelo nikakvu ekonomsku prednost. U sustavu koji se bazira na mjerama regulative nema ekonomskog poticaja za tehnološka unapređenja i inovacije. Zato na važnosti dobivaju tržišne mjere zaštite okoliša, iako su mjere regulative i dalje zadržale svoje mjesto.

4.2 Ekonomske mjere

Zaštita okoliša sve se više oslanja na ekonomske mjere, što je u skladu s prevagom tržišnog gospodarstva u svijetu. Dobro osmišljene tržišne mjere mogu osigurati da se željeni ekološki cilj postigne uz najmanji mogući trošak, zajedničkim djelovanjem više aktera. Osnovni tipovi ekonomskih mjera su emisijske pristojbe i porezi te trgovanje emisijskim dozvolama. Emisijske pristojbe terete proizvođača proporcionalno onečišćenju koje uzrokuje, a definiraju se po jedinici ispuštenog polutanta. U pravilu, svaki će izvor reducirati svoje emisije na razinu pri kojoj su marginalni troškovi redukcijских mjera jednaki pristojbi na emisije. Takav pristup potiče proizvođače da minimiziraju troškove redukcijских mjera, pa se ekološke pristojbe smatraju ekonomski efikasnijom mjerom zaštite okoliša od propisivanja standarda. Na idealnom tržištu pristojba bi trebala biti jednaka graničnoj dobiti smanjenja emisija, odnosno visini izbjegnute granične štete. Iz tog proizlazi da je u odabiru visine pristojbe poželjno poznavati stvarnu štetu u okolišu, a ona se može procijeniti metodom slijeda utjecaja.

Budući da u praksi tržište nije idealno, ne zna se kakav će biti odgovor proizvođača električne energije na uvođenje pristojbi i koliko će se smanjenje emisija time zaista postići. Zato se kao bolji mehanizam navodi trgovanje emisijskim dozvolama [6]. Preduvjet za uspostavu tržišta dozvolama je definiranje ukupne kvote emisija i raspodjela emisijskih dozvola među sudionicima na tržištu. Proizvođači koji emitiraju manje od svoje kvote mogu višak dozvola prodati onima kojima nedostaje. Na idealnom tržištu uspostavlja se cijena emisijske dozvole jednaka graničnom

production of electrical energy, most often the maximum permitted emissions of harmful substances from a stationary source are stipulated. For power plants using fossil fuel, the limit values are stipulated for emissions of solid particles, sulfur dioxide, nitric oxide, volatile organic substances etc. The stipulated values can be met by choosing "cleaner" fuel, increasing combustion efficiency, modifications of the combustion conditions and, which is most effective, cleaning the flue gasses after combustion. This last measure requires special equipment - filters and catalyzers - that have a great ability to remove harmful substances from flue gasses but significantly increase the costs of the production of electrical energy. Although the regulatory measures strictly control the emission levels, they are not economically efficient and do not minimize the costs of environmental protection. A producer is not motivated to reduce emissions by more than the minimum requirement because it would not bring him any economic advantage whatsoever. In a system that is based upon regulatory measures, there is no economic incentive for technological advancement and innovations. Therefore, market measures for environmental protection acquire greater importance, although the regulatory measures continue to retain their place.

4.2 Economic measures

Environmental protection increasingly relies upon economic measures, which is in accordance with the prevailing market economy in the world. Well thought out commercial measures can assure that the desired ecological goal is achieved with the minimum possible expense, through the joint efforts of several participants. The basic types of economic measures are emission fees, taxes and the trading of emission allowances. Emission fees are charged to a producer in proportion to the pollution caused, and are defined according to units of released pollutant. As a rule, each source will reduce its emissions to the level at which the marginal costs of the reduction measures are equal to the emission fees. Such an approach provides an incentive for producers to minimize the costs of reduction measures, so that ecological fees are considered more economically efficient measures for environmental protection than the stipulation of standards. On an ideal market, the fee should be equal to the marginal profits of reduced emissions, i.e. the amount of marginal damages avoided. From this it ensues that in the determination of the amount of fees, it is desirable to be acquainted with the actual damage to the environment, which can be assessed by the impact pathway method.

Since in practice the market is not ideal, it is not known what will be the response of the producers of electrical energy to the introduction of fees and how much of a reduction in emissions will actually be

trošku smanjenja emisija. Proizvođači koji mogu smanjiti emisije uz manji trošak po toni polutanta preuzet će na sebe proporcionalno veći udio u ukupnoj obvezi smanjenja emisija, ali će od toga i profitirati, npr. prodajom svojih emisijskih dozvola. Ukupni troškovi postizanja zadane emisijske kvote bit će minimalni, a granični troškovi smanjenja emisija u idealnom slučaju bit će jednaki za sve proizvođače. Osim što minimiziraju ukupne troškove, tržišne mjere potiču inovacije, tj. razvoj jeftinijih i boljih tehničkih rješenja za smanjenje onečišćenja.

Fleksibilni mehanizmi za smanjenje emisija postali su posebno zanimljivi nakon potpisivanja Protokola u Kyotu o smanjenju emisija ugljičnog dioksida u razvijenim i tranzicijskim zemljama. Oni omogućuju da se smanjenje emisija ostvari zajedničkom akcijom dviju ili više zemalja, čime se zadani cilj ostvaruje uz najmanji mogući trošak. U fleksibilne mehanizme ubraja se trgovanje emisijskim dozvolama i projekti u kojima razvijena zemlja ulaže kapital u smanjenje emisija izvan vlastitih granica, u zemlji u tranziciji ili u razvoju, jer je to jeftinije nego smanjenje vlastitih emisija. Najčešće su to ulaganja u niskougljične tehnologije za proizvodnju električne energije, npr. povećanje efikasnosti potrošnje i obnovljivi izvori energije.

4.2.1 Emisijske pristojbe i porezi

Pristojbe i porezi na emisiju mogu potaknuti efikasniju uporabu resursa, primjenu čistijih goriva i tehnologija te stimulirati održivi razvoj. Ekološki porezi ne bi smjeli povećati ukupno porezno opterećenje stanovništva, već bi na račun njih trebalo smanjiti neke druge poreze, po mogućnosti porez na dohodak i štetne subvencije (npr. na potrošnju fosilnih goriva). Porezi i pristojbe na emisiju CO₂ ili njihovi ekvivalenti (npr. porez na sadržaj ugljika u gorivu) posebno su osjetljivo pitanje jer mogu uzrokovati opći porast cijena i, ako se primjenjuju izolirano, smanjiti konkurentnost na međunarodnom tržištu. Zato bi se porezi takvog tipa trebali uvesti istodobno i u istom iznosu u svim zemljama.

Danas najveći globalni ekološki problem predstavlja globalno zagrijavanje, tj. emisije ugljičnog dioksida. Budući da su tehnička rješenja za uklanjanje ugljičnog dioksida iz dimnih plinova još uvijek ograničena i ekonomski neprihvatljiva, najizgledniji način za smanjenje emisija su posredne mjere koje se mogu stimulirati ekonomskim instrumentima. Istina, emisijske pristojbe i porezi ne mogu bitnije smanjiti potrošnju fosilnih goriva u primjenama gdje nema zamjenskog energenta ili je taj nepovoljniji. Takav

achieved thereby. Therefore, the trading of emission allowances is a better mechanism [6]. A prerequisite for the establishment of a allowances market is the definition of the total quota of emissions and the distribution of emission allowances among the participants on the market. Producers who emit less than their quota may sell their excess allowances to those who lack them. On an ideal market, the price of the emission of allowances is established as equal to the marginal cost of reduced emissions. Producers who can reduce emissions with lower expenditures per ton of pollutant will take upon themselves a proportionally larger share in the overall obligation to reduce emissions, but they will also profit from this, for example through the sale of their emission allowances. The total expenditures for achieving the assigned emission quotas will be minimal and the marginal costs of reduced emissions in the ideal case will be uniform for all the producers. Besides minimizing overall expenditures, market measures promote innovations, i.e. the development of less expensive and better technical solutions for reducing pollution.

Flexible mechanisms for the reduction of emissions have become particularly interesting after the signing of the Kyoto Protocol on the reduction of the emission of carbon dioxide in developed and transition countries. They make it possible to achieve a reduction in emissions through the joint activity of two or more countries, according to which the given goal is achieved with the minimum possible expenditure. Flexible mechanisms include trade in emission allowances and projects in which developed countries invest capital in the reduction of emissions outside their own borders in countries in transition or development, because this is less expensive than reducing their own emissions. Most frequently, these are investments in low carbon technologies for the production of electrical energy, for example by increasing the efficiency of consumption and the renewable of energy sources.

4.2.1 Emission fees and taxes

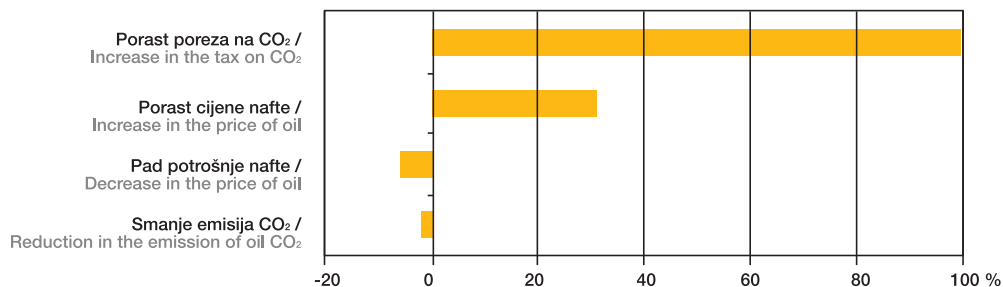
Fees and taxes on emissions can promote a more effective use of resources, the use of cleaner fuels and technologies, and stimulate sustainable development. Ecological taxes should not be permitted to increase the total tax burden on the population but on their account some other taxes should be lowered, if possible income tax and detrimental subsidies (e.g., for the consumption of fossil fuels). Taxes and fees on the emission of CO₂ or its equivalents (e.g., tax on the carbon content in fuel) are particularly sensitive questions because they can lead to a general rise in prices and, if applied in an isolated manner, reduce competitiveness on the international market. Therefore, such taxes should be introduced at the same time and in the same amount in all countries.

primjer je potrošnja tekućih goriva za potrebe prijevoza i petrokemijske industrije koja je gotovo neelastična na promjenu cijene goriva. Primjer takvog ekološki neefikasnog poreza daje slika 5. Simulirano je udvostručenje poreza na emisiju ugljičnog dioksida u Švedskoj [7]. To bi rezultiralo porastom cijena nafte od oko 30 %, zbog čega bi potrošnja nafte pala za samo 6 %, a emisije CO₂ zanemarivih 1 %.

Međutim, pristojba na emisiju CO₂ mogla bi utjecati na izbor energenata za nove elektrane, dakle u situaciji gdje fosilna goriva imaju alternativu. Zbog pristojbe bi se povećali proizvodni troškovi jedinica s velikim emisijama CO₂ po proizvedenom kWh, čime bi se smanjila njihova ekonomska prednost. To bi utjecalo na optimalni sastav proizvodnih kapaciteta u sustavu.

The greatest global ecological problem today is global warming, i.e. the emission of carbon dioxide. Since the technical solutions for the reduction of carbon dioxide from flue gasses are still limited and economically unacceptable, the most promising methods for reducing emissions are indirect methods that can provide incentives with economic instruments. It is true that emission fees and taxes cannot significantly reduce the consumption of fossil fuels in applications where there are no alternative energy sources or unsuitable energy sources. Such an example is the consumption of liquid fuels for the needs of transportation and the petrochemical industry, which is nearly inelastic regarding changes in the price of fuel. An example of such an ecologically ineffective tax is presented in Figure 5. The double taxation on carbon dioxide emissions in Sweden is simulated [7]. This would result in an increase in the price of oil by approximately 30 %, due to which oil consumption would decline only 6 % and CO₂ emissions would decline by a negligible 1 %.

However, a fee on the emission of CO₂ could affect the choice of energy sources for new power plants, in a situation where there is an alternative to fossil fuel. A fee would increase the production costs of units with high CO₂ emissions per kWh, thereby reducing their economic advantage. This would affect the optimal system of production capacities in the system.

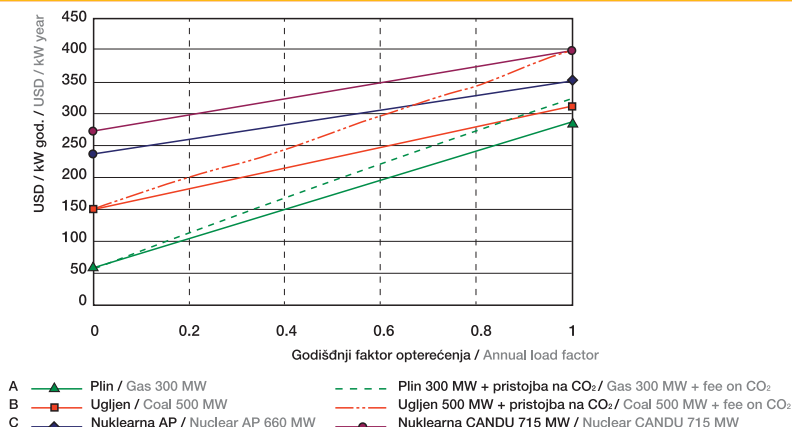


Slika 5
Simulacija: utjecaj poreza na smanjenje emisija CO₂
Figure 5
Simulation: the impact of taxes on the reduction of CO₂

Slika 6 prikazuje kako bi pristojba na emisiju CO₂ utjecala na godišnje troškove elektrana kandidata za buduću gradnju u Hrvatskoj: plinskih jedinica snage 300 MW i jedinica loženih ugljenom snage 500 MW (karakteristike elektrana kandidata uzete su prema [8]). Računato je s pristojbom od 10 USD/t jer se ta ili slična vrijednost u literaturi navodi kao trošak štete za okoliš zbog prekomjerne emisije CO₂. Godišnji troškovi elektrana kandidata uključuju anuitet investicije, troškove goriva i održavanja. Primjećuje se da pristojba na emisiju CO₂ ne bi bitnije povećala troškove plinskih jedinica, ali bi troškovi jedinica na ugljen porasli za 15 % - 20 %, čime bi se smanjila njihova prednost pred skupljim nuklearnim elektranama.

Figure 6 shows how fees on CO₂ emission would affect the annual costs of a candidate power plant for future construction in Croatia: 300 MW gas units and 500 MW coal units (characteristics of the candidate power plant are according to [8]). A fee is calculated of 10 USD per ton, because this or a similar value is cited in the literature as the damage cost of excessive CO₂ emission to the environment. The annual costs of a candidate power plant include annuity investments, fuel costs and maintenance. It is noted that the fee on the emission of CO₂ would not significantly increase the costs of gas units, but the costs of coal units would increase 15 % -20 %, thereby reducing their advantage over more expensive nuclear power plants.

Slika 6
Utjecaj pristojbe na emisiju CO₂ na proizvodne troškove elektrana
Figure 6
The impact of fees on CO₂ emission on the production costs of power plants



Pretpostavimo da je raspoloživost plina za proizvodnju električne energije ograničena te da se ostatak potražnje može pokriti kombinacijom hidroenergije, ugljena i nuklearne energije (to je jedan od razvojnih scenarija do 2030. godine u [8]). Bez pristojbe bi optimalni sastav energenata u 2030. godini uključivao 40 % ugljena i 25 % nuklearne energije, dok bi s pristojbom od 10 USD/t CO₂ optimalni sastav uključivao samo 10 % ugljena i čak 50 % nuklearne energije. Zbog promijenjenog sastava energenata, relativne emisije CO₂ se u opciji s pristojbom smanje na 40 % prvobitnih vrijednosti (tablica 1).

Let us assume that the availability of gas for the production of electrical energy is limited, and that the remainder of the demand can be covered by a combination of hydroenergy, coal and nuclear energy (this is one of the developmental scenarios up to the year 2030 in [8]). Without fees, the optimal energy source system in the year 2030 would include 40 % coal and 25 % nuclear energy, while with a fee of 10 USD per ton of CO₂ the optimal system would include only 10 % coal and 50 % nuclear energy. Due to the change in the system of energy sources, the relative emissions of CO₂ in the option with a fee are reduced by 40 % of their original values (Table 1).

Tablica 1 - Proizvodnja po energentima i pripadajuće emisije CO₂ u 2030. godini
Table 1 - Production according to energy sources and the corresponding CO₂ emissions in the year 2030

	Optimalni udjeli u proizvodnji el. energije 2030. godine / Optimal percentage in the production of electrical energy in the year 2030				Relativne emisije / Relative emissions
	Ugljen / Coal (%)	Plin / Gas* (%)	Nuklearna / Nuclear (%)	Hidro / Hydro (%)	CO ₂
Bez pristojbe / Without a fee	40	10	25	25	1**
Pristojba / Fee 10 USD/t	10	15	50	25	0,4

* raspoloživost prirodnog plina je ograničena na 700 MW u plinskim elektranama /

* the availability of natural gas is limited to 700 MW in gas power plants

** apsolutni iznos = 15 Mt/god. / absolute amount = 15 Mt/year

Smanjenje emisija CO₂ može se postići i ako se emisijska pristojba primijeni na postojeća postrojenja u sustavu. Tada bi se promijenio poredak proizvodnih jedinica u ekonomskom dispečingu, tj. u redosljedju pokrivanja dnevnog dijagrama opterećenja. Jedinice s velikim emisijama CO₂, koje su dotad zahvaljujući najmanjim proizvodnim troškovima pokrivalo bazno opterećenje, preselile bi se u središnji ili čak vršni dio dijagrama opterećenja i manje proizvođile. Zbog toga bi se smanjile i emisije CO₂ u elektroenergetskom sustavu.

Reduction in CO₂ emissions can also be achieved if emission fees are applied to existing plants within a system. This changes the order of the production units in terms of economical dispatching, i.e. in order to cover the daily load diagram. Units with high CO₂ emissions, which heretofore had covered the base load due to the lowest production costs, would be shifted to the central position or even the top part of the load diagram and produce less. Consequently, CO₂ emissions in the electrical energy system would be reduced.

4.2.2 Fleksibilni mehanizmi

Ugljični dioksid je tzv. globalni polutant, tj. njegov učinak na okoliš ne ovisi toliko o prostornoj raspodjeli emisija koliko o ukupnoj svjetskoj emisiji. Zato je dovoljno ograničiti ukupnu emisiju CO₂ u određenom razdoblju i proporcionalno njoj izdati ukupan broj raspoloživih emisijskih dozvola. Svaka zemlja s obvezom ograničenja emisija dobit će onoliko emisijskih dozvola koliko smije kumulativno emitirati do neke godine, a svaki proizvođač mora imati dozvolu za svaku emitiranu jedinicu. Jedna emisijska dozvola odgovarat će određenoj masi CO₂, npr. jednoj toni. Tržišna cijena emisijske dozvole trebala bi biti jednaka graničnom trošku smanjenja emisija u zemljama sudionicama.

Pojedina zemlja može propisanu granicu zadovoljiti djelomično smanjenjem vlastitih emisija, a djelomično kupnjom emisijskih dozvola i ulaganjem u smanjenje emisija negdje drugdje u svijetu gdje je to jeftinije. Na tržištu savršene konkurencije proizvođač bi smanjio svoje emisije do razine gdje granični trošak smanjenja emisija postaje veći od emisijske pristojbe ili od ravnotežne cijene emisijske dozvole. Ako proizvođač ocijeni da je tržišna vrijednost emisijske dozvole veća od ulaganja u niskougljične tehnologije, dobivenu dozvolu neće iskoristiti nego će je sačuvati za poslije ili prodati najboljem ponuđaču.

4.3 Proračun troškova smanjenja emisija

U kreiranju mjera zaštite okoliša, pogotovo pri određivanju visine emisijskih pristojbi i ukupnih razina emisija, jedan od ključnih podataka je optimalna razina emisija. Teorija eksternih troškova kaže da se ekonomski optimalna razina emisija dobiva izjednačenjem graničnih troškova smanjenja emisija s graničnim troškovima štete u okolišu. Troškovi štete mogu se izračunati metodom slijeda utjecaja, što je i učinjeno u početnom dijelu ovog rada. To znači da još moramo odrediti troškove smanjenja emisija. Oni će ovisiti o tipu mjera zaštite okoliša - jesu li one regulativne ili tržišne, tj. jesu li propisani emisijski standardi ili postoji neka vrsta fleksibilnih mehanizama.

4.3.1 Sustav s regulativnim mjerama

U sustavu s regulativnim mjerama granična vrijednost emisije određuje se ovisno o gorivu i toplinskoj snazi ložišta. Sva ložišta koja pripadaju istoj kategoriji morat će zadovoljiti isti standard bez obzira na njihove ostale karakteristike. U tom su slučaju troškovi smanjenja emisija zapravo troškovi uređaja za pročišćavanje dimnih plinova.

4.2.2 Flexible mechanisms

Carbon dioxide is a so-called global pollutant, i.e. its impact on the environment does not depend so much upon the spatial distribution of emission as it does upon the overall global emission. Therefore, it is sufficient to limit the total CO₂ emission within a particular period and proportionally issue a total number of available emission allowances. Each country with the obligation of limiting emissions will obtain as many emission allowances as necessary to cover its permitted cumulative emissions for a given year, and every producer must have a allowance for each emitted unit. One emission allowance corresponds to a specific quantity of CO₂, for example one ton. The market cost of emission allowances should be equal to the marginal cost of reduced emissions in the participating countries.

An individual country may comply with the stipulated limit partially by reducing its own emissions and partially by purchasing emission allowances and investing in the reduction of emissions somewhere else in the world, where it is less expensive. On a market with perfect competition, a producer would reduce its own emissions to the level where the marginal cost of reducing emissions becomes greater than the emission fees or in balance with the price of emission allowances. If a producer assesses that the market value of an emission allowance is greater than investment in low carbon technology, he will not use the allowance but will keep it for later or sell it to the highest bidder.

4.3 Estimated costs of reducing emissions

In the creation of environmental protection measures, particularly in determining the amount of the emission fees and the total emission levels, the optimal emission level is among the crucial factors. The theory of external costs states that the economically optimal level of emissions is obtained when the marginal costs of reducing emissions are equal to the damage costs to the environment. Damage costs can be calculated by the impact pathway method, as performed in the introductory section of this article. This means that we must still determine the costs of reducing emissions. They will depend upon the types of environmental protection measures - whether they are regulative or market, i.e. whether there are stipulated emission standards or whether there are some types of more flexible mechanisms.

4.3.1 A system with regulative measures

In a system with regulative measures, the marginal value of emissions is determined according to the fuel and thermal power of the combustion source. All combustion sources that belong to the same category must meet the same standard, regardless

U nastavku su izračunati troškovi smanjenja emisija za elektranu na ugljen snage 350 MW, stupnja djelovanja 37 %. Pretpostavljeno je da elektranu loži ugljen sadržaja sumpora 1 % te da je opremljena elektrostatskim filtrom (ESP) za otprašivanje dimnih plinova koji uklanja 99,95 % čestica iz dimnih plinova. Početne emisije onečišćujućih tvari, u slučaju da nije primijenjeno odsumporavanje i odušičivanje dimnih plinova, i odgovarajući standard za nova postrojenja daje tablica 2. Elektranu radi na nazivnoj snazi 6 570 sati na godinu.

of their other characteristics. In this case, the costs of reducing emissions are actually the costs of the equipment for processing flue gasses.

The costs are calculated for reducing emissions for a coal-fired 350 MW power plant, with an efficiency of 37 %. It was assumed that the coal used in the power plant contains 1 % sulfur by weight, and that it is equipped with an electrostatic filter (ESP) that removes 99,95 % of the particles from the flue gasses. The initial emissions of the pollutants in the event that the reduction of sulfur and nitrate from the flue gasses is not performed and the corresponding standard for a new plant are presented in Table 2. The power plant operates 6 570 hours per year at the nominal power rating.

Tablica 2 - Početne vrijednosti emisije i standard / Table 2 - Initial emission values and the standard

	Emisija / Emission (mg/m ³)	Granična vrijednost emisije / Marginal value of emissions (mg/m ³)
SO ₂	2 225	400
NO _x	1 200	650 (200)*
Čestice (nakon ESP) / Particles (after ESP)	<50	50

* očekivano postroženje standarda jer je u sklopu konvencije LRTAP potpisan Protokol o daljnjem smanjenju emisija / A stricter standard is anticipated because Protocol 1 on further reduction in NO_x emission has been signed within the Long-Range Transboundary Air Pollution Convention.

Analizira se nekoliko tehnoloških rješenja za smanjenje emisija NO_x i SO₂ koja se međusobno razlikuju po stupnju redukcije i cijeni, a koja bi se po svojim karakteristikama mogla primijeniti u ovoj elektrani (tablica 3). Za odušičivanje su na raspolaganju tzv. primarne mjere (u engleskoj literaturi LowNO_x mjere) kojima se na smanjenje emisije utječe još u ložištu, modifikacijom izgaranja. To je najjeftinije rješenje, ali i s najmanjom djelotvornošću uklanjanja, 25 %. Tehnike pomoću kojih se emisija NO_x smanjuje nakon izgaranja, iz dimnih plinova, su selektivna nekatalitička redukcija (SNCR), s efikasnošću 50 %, te još napredniji, ali i skuplji postupak selektivne katalitičke redukcije (SCR), čija je efikasnost 85 %.

Several technological solutions have been analyzed for reducing emissions of NO_x and SO₂, which differ from each other in terms of degree of reduction and cost, and which according to their characteristics could be used in this power plant (Table 3). For nitrogen reduction, primary LowNO_x measures are available which reduce the emissions, through modified combustion. This is the most inexpensive solution but it is also the least effective for reduction, 25 %. Techniques which help to reduce NO_x emissions from flue gasses after combustion are selective noncatalytic reduction (SNCR), with an efficiency of 50 %, and the more advanced but more expensive procedure of selective catalytic reduction (SCR), with 85 % efficiency.

Za odsumporavanje se može primijeniti suho ubrizgavanje lužine u kanal dimnih plinova (DSI, dry sorbent injection), suhi proces odsumporavanja (SDA, spray dryer absorption) i mokro odsumporavanje (WS, wet scrubber). Njima se može postići smanjenje emisije SO₂ do 50 %, 85 % i 92,5 %, redom. Tablica daje investicijske troškove i troškove pogona i održavanja za svaku od spomenutih tehnika.

For sulfur reduction, it is possible to use dry sorbent injection (DSI) in channel flue gasses, spray dryer adsorption (SDA), and a wet scrubber (WS). With them, it is possible to achieve reductions in SO₂ emissions of up to 50 %, 85 % and 92,5 %, respectively. Table 3 presents the investment costs, plant costs and maintenance costs for each of these cited techniques.

Tablica 3 - Mjere za smanjenje emisija SO₂ i NO_x u elektrani na ugljen
Table 3 - Measures for reducing SO₂ and NO_x emissions in coal-fired power plants

	Stupanj uklanjanja / Degree of reduction	Trošak kapitala / Capital cost	Stalni troškovi pogona i održavanja / Permanent plant and maintenance expenses	Promjenjivi troškovi pogona i održavanja / Variable plant and maintenance costs
	(%)	(USD/kW)	(USD/kW)	(USD/mWh)
Smanjenje emisija SO ₂ / Reduction of SO ₂ emissions				
mokro odsumporavanje (WS) / wet scrubber (WS)	92,5	165	11,4	1
–suho odsumporavanje (SDA) / spray dryer absorption (SDA)	85	130	8,5	1,7
–ubrizgavanje lužine (DSI) / dry sorbent injection (DSI)	50	100	6,0	2,6
Smanjenje emisija NO _x / Reduction of NO _x emissions				
–katalitička redukcija (SCR) / catalytic reduction (SCR)	85	70	0,5	2
–nekatalitička redukcija (SNCR) / noncatalytic reduction (SNCR)	50	10	0,2	0,7
–modifikacija ložišta (LowNO _x) / furnace modification (LowNO _x)	25	15	0	0

izvori: Environmental Manual v1.1, Oeko Institut, Darmstadt, 1998; Pollution Prevention and Abatement Handbook, World Bank, 1998; Argonne National Laboratory, USA & US EPA, 1998. /
Sources: Environmental Manual vo1.1, Oeko Institut, Darmstadt, 1998; Pollution Prevention and Abatement Handbook, World Bank, 1998; Argonne National Laboratory, USA & US EPA, 1998

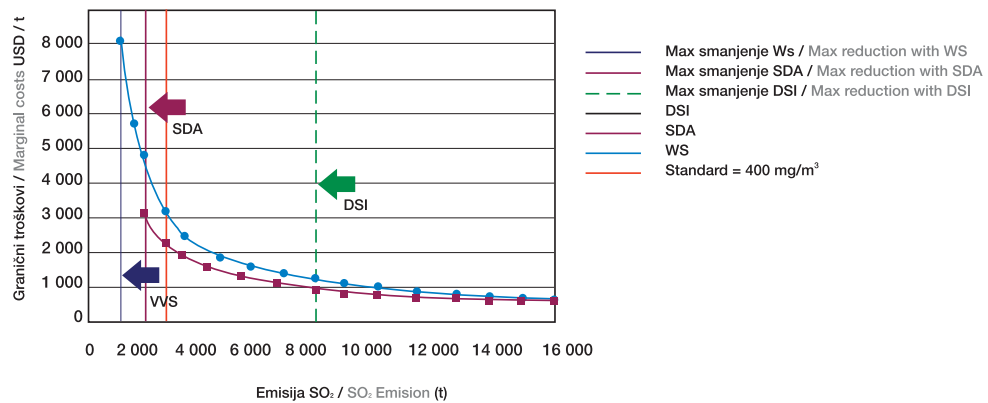
Izračunajmo sad trošak smanjenja emisija SO₂ pomoću spomenutih uređaja za odsumporavanje.

Godišnji trošak odsumporavanja uključuje investiciju i troškove pogona i održavanja. Ako se zna da investicija za DSI postupak iznosi 100 USD/kW, stalni troškovi pogona i održavanja 6 USD/kW na godinu, a promjenjivi 2,6 USD/MWh, dobiva se da aktualizirani godišnji trošak ove mjere, ako elektrana radi 6 570 h na godinu na nazivnoj snazi, u iznosi 11,2 milijuna USD. Pretpostavka je da se investicija otplaćuje kroz 30 godina uz diskontnu stopu od 8 %. Ako ukupni trošak odsumporavanja izrazimo po toni SO₂, dobit ćemo krivulju graničnih troškova kao što prikazuje slika 7. Granični trošak se povećava sa smanjenjem razine emisija. Tablica 4 sadrži stalnu i promjenjivu komponentu graničnih troškova, na temelju kojih su konstruirane krivulje graničnih troškova odsumporavanja.

Let us now calculate the cost of reducing SO₂ emissions using the cited equipment for sulfur reduction.

The annual cost of sulfur reduction includes investment in the costs of the plant and maintenance. If it is known that investment for the DSI procedure amounts to 100 USD/kW, the permanent costs of the plant and maintenance are 6 USD/kW annually, and with variable costs of 2,6 USD/MWh. Thus, the actual annual cost of this measure is obtained. If the power plant operates for 6 570 hours annually at rated power, it amounts to 11,2 million dollars. It is assumed that the investment is paid off over 30 years with a discount rate of 8 %. If we express the overall cost of sulfur reduction per ton of SO₂, we shall obtain the curve of marginal costs that is shown in Figure 7. Marginal costs increase with a reduction in the level of emissions. Table 4 contains the permanent and variable components of marginal costs, on the basis of which the curves of marginal costs of sulfur reduction are constructed.

Slika 7
Granični troškovi i djelotvornost uobičajenih tehnika odsumporavanja
Figure 7
The marginal costs and effectiveness of the customary techniques of sulfur reduction



Ako želimo emisije smanjiti ispod 50 % početnih, treba primijeniti SDA uređaj, čiji su granični troškovi veći od troškova DSI. Kako se vidi iz slike, u ovom bi slučaju SDA uređaj bio dovoljan jer je minimalna razina emisija koja se može postići suhim odsumporavanjem nešto ispod dopuštene vrijednosti (GVE) koju propisuje standard. Ta vrijednost za promatranu elektranu iznosi 400 mg/m³, što odgovara emisiji od 3 000 tona na godinu. Napokon, ako je potreban još veći stupanj odsumporavanja, treba instalirati mokri filter, WS. On može reducirati SO₂ na oko 1 300 t/god.

If we want to reduce emissions below 50 % of their initial value, it is necessary to use SDA equipment and the marginal costs are greater than the costs of DSI. As seen from the figure, in this case the SDA equipment would be sufficient because the minimum level of emissions that can be accomplished with dry sorbent injection is somewhat below the permitted values (GVE) stipulated by the standard. This value for the power plant under consideration amounts to 400 mg/m³, which corresponds to emissions of 3 000 tons annually. Finally, if an even greater degree of sulfur reduction is required, it is necessary to install a wet scrubber, WS. It can reduce SO₂ to approximately 1 300 tons per year.

Tablica 4 -Troškovi smanjenja emisija SO₂ i NO_x
Table 4 - Costs for the reduction of emissions of SO₂ and NO_x

	Stalni troškovi / Permanent costs*	Promjenjivi troškovi / Variable costs	Ukupni godišnji trošak / Total annual costs	Prosječni trošak / Average cost **	Granični trošak / Marginal cost **
	(10 ⁶ USD/god/year)	(USD/t)	(10 ⁶ USD/god/year)	(USD/t)	(USD/t)
DSI	5,2	365	11,2		
SDA	7,0	240	10,9	800	2200
WS	9,1	140	11,4	775	3.160
LowNO _x	0,47	0	0,5		
SNCR	0,38	100	2,0	445	185
SCR	2,38	280	7,0	915	1.850

* trošak kapitala + stalni troškovi pogona i održavanja (pretp.: povrat investicije 30 godina, diskontna stopa 8 %) /
capital expenditure + permanent plant and maintenance expenditures (assumption: return of investment in 30 years, discount rate 8 %);
** iznos potreban za zadovoljenje standarda, tj. za smanjenje emisija ispod propisanih vrijednosti /
amount necessary to meet the standards, i.e. to reduce emissions below the stipulated values

Na emisijama iznad 8 000 t/god. rezultatni granični trošak slijedi DSI krivulju, a zatim na manjim vrijednostima skače na SDA, odnosno WS krivulju. U sustavu s propisanim standardima, za razliku od tržišnog, granični trošak smanjenja emisija je jednoznačan jer je propisana maksimalno dopuštena razina emisija, pa je izbor uređaja za smanjenje emisija ograničen. U ovom slučaju odabiremo SDA postupak tako da granični trošak odsumporavanja iznosi oko 2 200 USD/t SO₂ (slika 7, sjecište krivulje SDA i pravca GVE). Prosječni trošak odsumporavanja bio bi 800 USD/t, izraženo po količini reduciranog SO₂. Tu vrijednost dobijemo dijeljenjem godišnjeg troška za SDA u iznosu od 10,9 milijuna USD s količinom reduciranog SO₂ koja iznosi 13 600 tona.

Slična analiza provedena je za tehnike odušičivanja. Početna emisija NO_x iznosi oko 9 000 tona na godinu ili 1 200 mg/m³ (ali ta vrijednost umnogome ovisi o konstrukciji ložišta i temperaturi izgaranja, pa može biti i manja). Primarnim mjerama početna se emisija može smanjiti za 25 %, tj. na 7 000 t/god. Trenutačno je u Hrvatskoj na snazi standard za NO_x koji za ovaj tip elektrane propisuje 650 mg/m³ (GVE1), ali očekuje se postroženje standarda s obzirom na to da je Hrvatska potkraj 1999. godine potpisala Protokol o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona uz Konvenciju o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka. Prema Protokolu, emisija za ovaj tip elektrana ograničit će se na 200 mg/m³ (GVE2). Ako je GVE 650 mg/m³, primarne mjere nisu dovoljne, već je potreban SNCR uređaj. Uza još stroži standard, bio bi potreban SCR uređaj. Krivulje graničnih troškova prikazuje slika 8.

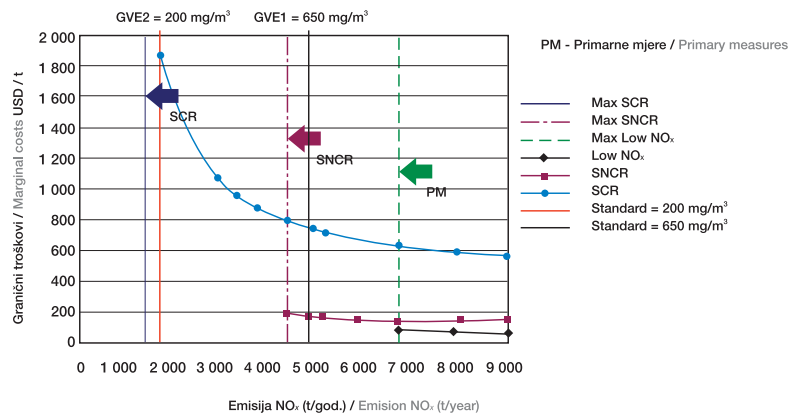
Ako je emisija manja od 7 000 t/god., granični trošak kretat će se po krivulji LowNO_x, zatim krivuljom SNCR do 4 500 t/god. i konačno krivuljom SCR do 1 500 t/god. Da bi se zadovoljio danas vrijedeći standard od 650 mg/m³, granični trošak smanjenja NO_x iznosi oko 185 USD/t (sjecište krivulje marginalnog troška za SNCR i standarda 650 mg/m³). Ako se uzme da je standard 200 mg/m³, granični bi trošak iznosio 1 850 USD/t. Prosječni trošak odušičivanja iznosi 445 USD/t za SNCR uređaj (jer on smanji emisije za 50 % uz godišnji trošak od 2 milijuna USD), odnosno 915 USD/t za SCR uređaj, izraženo po toni reduciranog NO_x. Prosječni troškovi SNCR i SCR uređaja razlikuju se za faktor 2, a granični za faktor 10. To znači da je od presudne važnosti na kojoj se razini obavlja redukcija emisija.

For emissions of over 8 000 tons per year, the results of the marginal costs follow the DSI curve, and then at lower values jump to the SDA, respectively the WS curve. In a system with stipulated standards, unlike market-oriented measures, the marginal cost for reducing emissions is unambiguous because the maximum permitted level of emissions is stipulated, so that the choice of equipment for reducing emissions is limited. In this case, we chose the SDA procedure, so that the marginal cost of sulfur reduction amounts to approximately 2 200 USD per ton of SO₂ (Figure 7, the intersection of the SDA curve and the GVE line). The average cost of sulfur reduction would be 800 USD/t, expressed according to the quantity of reduced SO₂. We obtain this value by dividing the annual expenditure for SDA in the amount of 10,9 million USD by the quantity of reduced SO₂ that amounts to 13 600 tons.

A similar analysis is performed with the technique of nitrogen reduction. The initial emission of NO_x amounts to approximately 9 000 tons annually or 1 200 mg/m³ (but this value is highly dependent on the construction of the furnace and the temperature of combustion, which can also be lower). Through the application of measures, the initial emission can be reduced by 25 %, i.e. to 7 000 tons per year. Currently in Croatia a NO_x standard is in force which stipulates 650 mg/m³ (GVE1) for this type of power plant, but stricter standards are anticipated since Croatia has signed the Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone to the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution in late 1999. According to the Protocol, the emission for this type of power plant will be limited to 200 mg/m³ (GVE2). If the GVE is 650 mg/m³, primary measures are not sufficient and SNCR equipment is necessary. With the even stricter standard, SCR equipment will also be necessary. The curve of marginal costs is shown in Figure 8.

If emissions are lower than 7 000 tons per year, the marginal cost will follow the LowNO_x curve, then the SNCR curve up to 4 500 tons per year and finally the SCR curve up to 1 500 tons per year. In order to meet the current prevailing standard of 650 mg/m³, the marginal cost of reducing NO_x amounts to approximately 185 USD per ton (the intersection of curve of the marginal cost for SNCR and the standard 650 mg/m³). If the standard is taken of 200 mg/m³, the marginal cost would amount to 1 850 USD per ton. The average cost of nitrogen reduction would amount to 445 USD per ton for SNCR equipment (because it reduces emissions by 50 % at an annual cost of 2 million USD), i.e. 915 USD per ton for SCR equipment, expressed per ton of reduced NO_x. The average costs of SNCR and SCR equipment differ by a factor of 2, and marginally by a factor of 10. This means that the level at which the reduction of emissions is conducted it is of crucial importance.

Slika 8
 Granični troškovi i djelotvornost uobičajenih tehnika odušičivanja
Figure 8
 Marginal costs and the effectiveness of the customary techniques for nitrogen reduction



Nakon što su određeni granični troškovi smanjenja emisija i zadovoljenja standarda, cilj je odrediti optimalnu razinu emisija u skladu s ekonomskom teorijom eksternih troškova. Podsjetimo se, ekonomski optimalna razina emisija dobiva se izjednačavanjem graničnih troškova štete u okolišu s graničnim troškovima smanjenja emisija. Granični troškovi štete u okolišu bit će u ovom slučaju troškovi štete za zdravlje. Granična šteta ne ovisi o razini emisija - to je jedna od osnovnih postavki metode slijeda utjecaja. Promatrat će se, kao i dosad, tri razine eksternih troškova - lokalna, regionalna za Hrvatsku i regionalna za Europu. Za ovaj proračun potrebni su troškovi štete izraženi po toni polutanata.

Već je na prvi pogled jasno da je regionalna šteta za Europu višestruko veća od graničnih troškova odsumporavanja, odnosno odušičivanja i da, ako želimo izjednačiti štetu za zdravlje i trošak uređaja za smanjenje emisija, optimalna razina emisija teži nuli. Drugim riječima, i najmanja emisija rezultira velikim štetama za zdravlje jer je izložen velik broj ljudi. Opet se potvrđuje da su strogi emisijski standardi za SO₂ i NO_x opravdani upravo zbog njihovih dalekosežnih učinaka kojima je izložen veliki broj ljudi.

Ostaje promatrati lokalne učinke i regionalne učinke za Hrvatsku. Od lokalnih polutanata zanima nas jedino SO₂ jer pretpostavljamo da su krute čestice već reducirane na najmanju moguću mjeru uporabom visokoučinkovitog elektrostatskog filtra. Šteta za zdravlje za lokaciju Zagreb iznosi 110 eura/t SO₂, tj. 137,5 USD/t. Ta je vrijednost manja od troška najjeftinijeg uređaja za odsumporavanje, što znači da optimalna razina emisija teži u beskonačnost. To znači da je šteta dovoljno niska da ne utječe na izbor metode odsumporavanja.

Na kraju promatramo u kakvom su odnosu regionalna šteta za Hrvatsku i granični troškovi

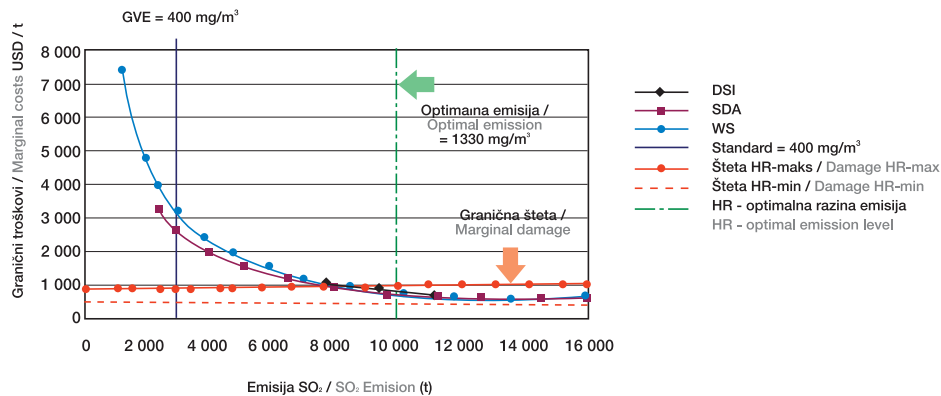
After the marginal costs for the reduction of emissions are determined and the standards met, the goal is to determine the optimal level of emissions pursuant to the economic theory of external costs. Let us recall that the economically optimal level of emissions is obtained when the marginal costs of environmental damage are equal to the marginal costs of reducing emissions. Marginal costs of environmental damage will in this case be damage to health. Marginal damages are not dependent on the level of emission - this is one of the fundamental assumptions of the impact pathway method. As up to now, three levels of external costs will be monitored - local, regional for Croatia and regional for Europe. For this estimate, it is necessary to express damage costs per tons of pollutant.

At first glance, it is already clear that the regional damage for Europe is many times greater than the marginal costs of sulfur reduction or nitrogen reduction and that, if we wish to equate the damage to health and the cost of equipment for reducing emissions, the optimal level of emissions would aim for zero. In other words, even the least emission results in great damages to health because a large number of people are exposed. It is again determined that strict emission standards for SO₂ and NO_x are justified due to their far ranging impacts, to which a large number of people are exposed.

The local impacts and regional impacts for Croatia remain to be studied. Of the local pollutants, we are only interested in SO₂ because we assume that solid particles have already been reduced to the lowest possible level through the use of highly effective electrostatic filters. Damage to health for the location of Zagreb amounts to 110 euro per ton of SO₂, i.e. 137,5 USD per ton. This value is less than the cost of the least expensive equipment for sulfur reduction, which means that the optimal level of emissions tends toward infinity. This means that the damage is sufficiently low that it does not affect the selection of the method of sulfur reduction.

smanjenja emisija. Šteta za zdravlje kreće se od 488 do 950 USD/t SO₂, raspon se odnosi na različite lokacije elektrane unutar Hrvatske (gornja vrijednost odnosi se na slučaj kad je elektrana smještena u Zagrebu). Te su vrijednosti ucrtane kao horizontalni pravci, slika 9, horizontalni zato što je granična šteta konstantna.

Finally, we consider the ratio between the regional damage for Croatia and the marginal costs for reducing emissions. Damage to health ranges from 488 to 950 USD per ton of SO₂. The range refers to various locations of power plants within Croatia (the upper value refers to the case of the power plant located in Zagreb). These values are entered as horizontal lines, Figure 9, and are horizontal because the marginal damage is constant.



Slika 9
 Određivanje optimalne razine emisija SO₂
 Figure 9
 Determination of the optimal level of SO₂ emissions

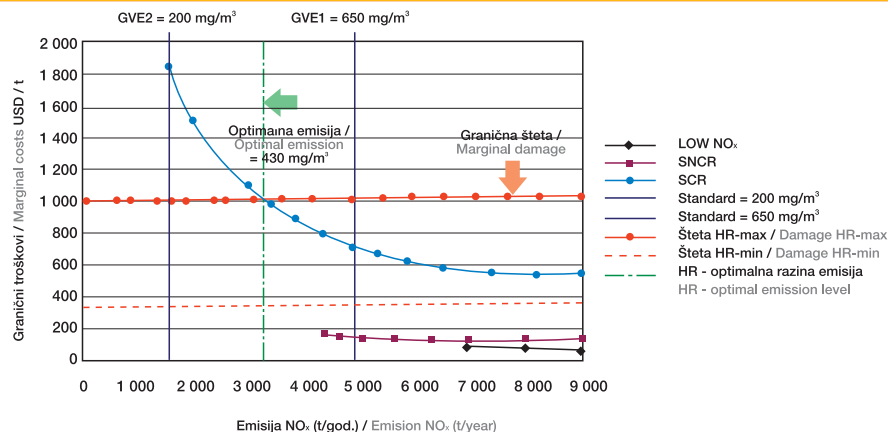
Donja vrijednost štete (šteta HR - min.) ne siječe se ni s jednom krivuljom troškova smanjenja emisija, što znači da nije mjerodavna za kreiranje emisijskog standarda. Gornja vrijednost štete, 950 USD/t SO₂, siječe se sa sve tri krivulje, i to na emisiji od oko 9 000 t/god. s DSI krivuljom, na 10 000 t/god. s SDA krivuljom i na 11 000 t/god. s WS krivuljom. Optimalna razina emisija bila bi oko 10 000 tona SO₂ na godinu, što bi odgovaralo sadržaju od oko 1 330 mg/m³ SO₂ u dimnim plinovima.

The lower value of damage (damage HR - min.) does not intersect with any of the emission reduction cost curves, which means that it is not relevant for the creation of an emission standard. The upper value of damages of 950 USD per ton of SO₂ intersects with all three curves, and this at emissions of approximately 9 000 tons per year with the DSI curve, 10 000 tons per year with the SDA curve and 11 000 tons per year with the WS curve. The optimal emission level would be approximately 10 000 tons of SO₂ annually, which would correspond to a content of approximately 1 330 mg/m³ SO₂ in flue gases.

Slična analiza - utvrđivanje optimalne razine emisije - napravljena je i za NO_x (slika 10). Regionalna granična šteta za Hrvatsku zbog učinaka dušičnih oksida na zdravlje kreće se od 320 do 1 000 USD po toni. Obje su vrijednosti ucrtane kao horizontalni pravci na dijagramu s graničnim troškovima odušičivanja. Viša vrijednost eksternog troška, označena kao šteta HR-maks. (1 000 USD/t) siječe se s SCR krivuljom pri emisiji od 3 250 t NO_x /god., što odgovara koncentraciji od oko 430 mg/m³ u dimnim plinovima. Ta vrijednost, koja se nalazi točno u sredini između vrijedećeg standarda (650 mg/m³) i budućeg strožeg standarda (GVE2 = 200 mg/m³), predstavlja optimalnu razinu emisija s aspekta utjecaja na zdravlje stanovništva u Hrvatskoj.

A similar analysis - the determination of the optimal emission level, was also performed for NO_x (Figure 10). The regional marginal damage for Croatia due to the effect of nitric oxide upon health ranges from 320 to 1 000 USD per ton of NO_x. Both values are entered as horizontal lines on the diagram with the marginal costs of nitrogen reduction. The higher value of external costs, marked as damage HR-max. (1 000 USD per ton) intersects with the SCR curve at an emission of 3 250 tons of NO_x per year, which corresponds to a concentration of approximately 430 mg/m³ of NO_x in flue gases. This value, which is located precisely midpoint between the prevailing standard (650 mg/m³) and the future stricter standard (GVE2 = 200 mg/m³), represents the optimal emission level from the aspect of the health impact upon the population in Croatia.

Slika 10
 Određivanje
 optimalne razine
 emisija NO_x
 Figure 10
 Determination of
 the optimal NO_x
 emission level

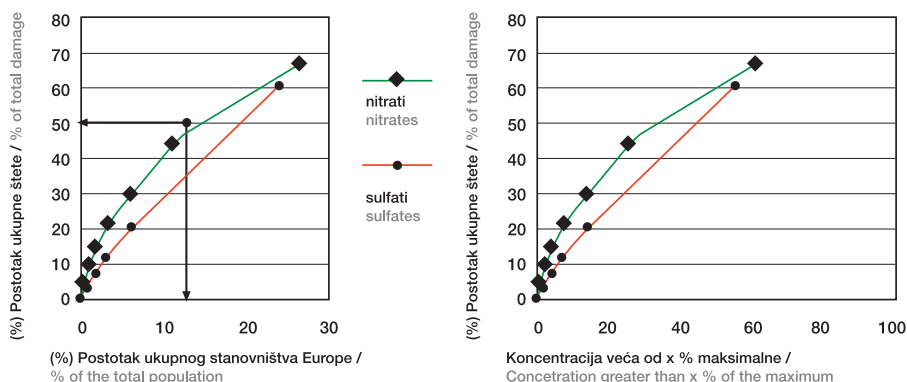


Treba naglasiti da se eksterni trošak, na temelju kojeg je donesen ovaj zaključak, odnosi samo na receptore u Hrvatskoj, iako se zdravstvene posljedice manifestiraju na većim područjima, izvan hrvatskih granica. Zato ovakav način određivanja optimalne razine emisije nije najprikladniji. Promatranje bi trebalo proširiti na razuman opseg izvan državnih granica, na primjer do udaljenosti na kojoj eksterni trošak (šteta za zdravlje), koji je proporcionalan sumi koncentracija (s) × broj stanovnika na nekom području podijeljenom na kvadrante indeksa "I", dostigne zadani postotak ukupne štete, npr. 50 % ukupne štete u Europi. Naime, u slučaju dugotrajnih relativno niskih ambijentalnih koncentracija polutanata, koje se javljaju pri razmatranju regionalnih učinaka na zdravlje, nije toliko presudna maksimalna koncentracija već ukupna šteta koja ovisi o veličini izloženog stanovništva. Zato se za opseg promatranja ne postavlja uobičajeni uvjet da koncentracija padne na 10 % ili 20 % maksimalne vrijednosti, već da bude uračunat određeni postotak ukupne štete.

Slika 11 prikazuje ovisnost eksternog troška (troška štete) izazvanog nitratima, odnosno sulfatima o veličini obuhvaćenog stanovništva u Europi te o visini koncentracija dotičnih polutanata. Vidi se da oko 13 % stanovništva u Europi snosi 50 % ukupne štete zbog nitrata (lijevi dijagram) te da je izloženo koncentracijama nitrata većim od 20 % maksimalne koncentracije (desni dijagram). Za sulfate je slično – oko 18 % europskog stanovništva podnosi pola ukupne štete zbog sulfata, pri čemu su izloženi koncentracijama iznad 15 % maksimalne.

It should be emphasized that the external cost on the basis of which this conclusion was drawn refers only to receptors in Croatia, although the consequences to health are manifested over larger areas, outside the Croatian borders. Therefore, this manner of determining the optimal emission level is not the most suitable. The investigation should be extended to cover a reasonable range outside the national borders, for example up to the distance at which the external cost (damage to health), which is proportional to the sum of concentration(s) × the number of inhabitants in a region, divided by the quadrant index "I", reaches the given percentage of total damages, for example 50 % of the total damages in Europe. In the case of long-term relatively low ambient concentrations of pollutants, that occur in the investigation of regional impacts on health, the maximum concentration is not as crucial as the total damages, which depend on the size of the exposed population. Therefore, for the range of observation, the customary prerequisite is not established for the concentration to fall to 10 % or 20 % of the maximum value, but a certain percentage of the total damages is calculated.

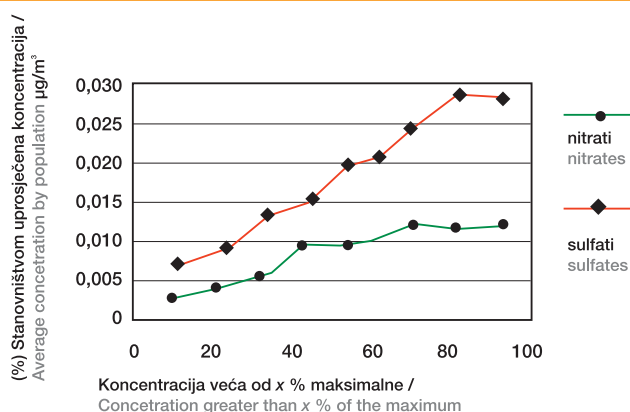
Figure 11 shows the dependence of the external cost (damage cost) caused by nitrates or sulfates on the size of the affected population in Europe, and on the level of the concentrations of these pollutants. It is seen that approximately 13 % of the population in Europe bears 50 % of the total damages caused by nitrates (left diagram), and is exposed to concentrations of nitrates that are greater than 20% of the maximum concentration (right diagram). For sulfates it is similar - approximately 18 % of the European population bears half the total damages due to sulfates, and is exposed to concentrations over 15 % of the maximum.



Slika 11
Ovisnost eksternog troška sulfata i nitrata o opsegu analize
Figure 11
Dependence of the external costs of sulfates and nitrates in the range of analysis

Može se zadati i uvjet da prosječni eksterni trošak po stanovniku ne prekorači određeni iznos. Eksterni trošak po stanovniku ovisi o položaju receptora s obzirom na izvor te o veličini obuhvaćenog stanovništva. Stanovništvom uprosječena koncentracija polutanta, koja je mjerodavna za određivanje eksternog troška, dobiva se zbrajanjem umnožaka koncentracije i broja stanovnika po kvadrantima i dijeljenjem dobivenog iznosa s ukupnim brojem stanovnika u obuhvaćenim kvadrantima. Ta vrijednost, koja se izražava u $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ukazuje na veličinu fizičkih učinaka na zdravlje, ali i na veličinu eksternog troška po stanovniku jer ako se pomnoži s faktorom izloženost-učinak i novčanom vrijednosti štete, daje iznos eksternog troška. Stanovništvom uprosječena koncentracija mijenja se s udaljenošću od izvora, kako prikazuje slika 12.

It is possible to stipulate the condition that the average external cost per inhabitant should not exceed a certain amount. The external cost per inhabitant depends on the position of the receptors in relation to the source, and on the size of the affected population. Average concentration of pollutant by population, suitable for the determination of external cost, is obtained by adding the multiplied concentration and the number of inhabitants per quadrant and dividing this figure by the total number of inhabitants in the quadrants affected. This value, that is expressed in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, denotes the magnitude of the physical impact upon health but also the amount of the external cost per inhabitant, because it yields the amount of external cost if it is multiplied by the exposure-impact factor and the monetary value of the damage. Average concentration by population changes with the distance from the source, as shown in Figure 12.



Slika 12
Pokazatelj eksternog troška po stanovniku, ovisno o opsegu analize
Figure 12
Index of external cost per inhabitant, depending on the range of analysis

U blizini izvora, što u regionalnoj podjeli znači u istom ili susjednom kvadrantu kao elektrana, taj će iznos biti veći, a na većim udaljenostima će padati. To jednostavno znači da je stanovništvo na većim udaljenostima manje pogođeno učincima polutanata. U ovom slučaju, relativna šteta po stanovniku uzrokovana nitratima smanji se proširenjem granica analize s 0,028 na 0,006,

In the vicinity of the source, which in the regional division means in the same or neighboring quadrant as the power plant, this amount will be greater and will decline at greater distances. This simply means that the population at greater distances is less affected by the impact of the pollutants. In this case, the relative damages per inhabitant caused by nitrates decline with an extended boundary

dakle gotovo pet puta. Šteta zbog djelovanja sulfata na zdravlje smanji se šest puta, s 0,012 na 0,002. Prema tome, u kvadrantima u kojima koncentracija nitrata i sulfata iznosi manje od 10 % svoje maksimalne vrijednosti, šteta po stanovniku bit će 5-6 puta niža nego u najizloženijim kvadrantima.

4.3.2 Sustav s tržišnim mjerama

Za kreiranje tržišnih mjera zaštite okoliša mjero-davni su troškovi smanjenja emisija na razini cijelog gospodarstva, a ne samo za pojedini sektor ili elektranu, jer se smanjenje emisija postiže zajedničkim djelovanjem svih aktera na tržištu. U takvom sustavu mjere zaštite okoliša imaju zadatak potaknuti restrukturiranje gospodarstva i promjenu ponašanja proizvođača, djelovati na uzrok onečišćenja, a ne samo na posljedicu. Zato pri određivanju troškova smanjenja emisija treba promatrati ne samo potrebna ulaganja u uređaje za smanjenje nego i obilježja tvrtke (veličinu, udio državnog vlasništva u tvrtki), ekološku svijest tvrtke, npr. broj zaposlenika na poslovima zaštite okoliša i politiku zaštite okoliša, poštivanje propisanih standarda, visinu emisijskih pristojbi koje tvrtka plaća (ako takav sustav postoji) te sadašnje i buduće mjere smanjenja emisija u tvrtki. Drugim riječima, nastoji se nagovijestiti ponašanje proizvođača spram mjera zaštite okoliša i na osnovi toga procijeniti troškove.

Hartman je 1994. g. izračunao prosječne troškove smanjenja emisija SO₂ i NO_x za cijelo gospodarstvo SAD-a, i to analizom velikog broja industrijskih postrojenja, prateći razine emisija i statistiku ulaganja u uređaje za smanjenje emisija [9]. Slična analiza za Litvu u istom radu pokazuje da su u tranzicijskim zemljama granični troškovi smanjenja emisija manji nego u razvijenim zemljama. To može biti pokazatelj za kreiranje učinkovitih mjera zaštite okoliša u zemljama u tranziciji u kojima nema razgranate mreže za mjerenje emisija, a podaci o troškovima smanjenja emisija u pravilu ne postoje [10]. Podaci dobiveni u studijama za zapadne zemlje mogu se uzeti kao gornja granica troškova za tranzicijske zemlje.

Sljedeći primjer pokazat će kako se određuje krivulja graničnih troškova smanjenja emisija i kreira emisijska pristojba. Analizom industrijskih postrojenja određeni su prosječni troškovi smanjenja emisija po sektorima za tipične polutante (SO₂, NO_x, čestice, olovo, toksične tvari), kao i količina reduciranih emisija po sektorima. Sektori se poredaju po prosječnim troškovima smanjenja emisija, od najmanjih prema najvećima (tablica 5). Znajući prosječni trošak po sektoru i količinu emisija koja bi se mogla smanjiti po toj cijeni,

analysis from 0,028 to 0,006, which is nearly five times. The damages due to the impact of sulfates on health are reduced by six times, from 0,012 to 0,002. Accordingly, in quadrants where the concentrations of nitrates and sulfates are less than 10 % of their maximum values, the damage per inhabitant will be 5-6 times lower than in the most exposed quadrants.

4.3.2 System with market measures

For the creation of market measures of environmental protection, the costs of reduced emissions on the level of the entire economy are relevant, not only for an individual sector or power plant. Emission reduction is achieved through the joint activities of all the participants on the market. In such a system, the environmental protection measures have the task of prompting the restructuring of the economy and changing the behavior of producers, acting on the sources of pollution and not only on its consequences. Therefore, in the determination of the cost of reducing emissions, it is necessary to consider not only the required investment in equipment for reduction but also the characteristics of the company (size, share of public ownership in the company), the company's ecological awareness, for example the number of employees engaged in environmental protection and environmental protection policy, compliance with the stipulated standards, the amount of emission fees that the company pays (if such a system exists), and the present and future measures for reducing emissions in the company. In other words, it is attempted to predict producers' compliance with environmental protection measures and assess costs on this basis.

In 1994, Hartman calculated the average costs for reducing SO₂ and NO_x emissions for the entire economy of the USA, through analysis of a large number of industrial plants, monitoring the emission levels and the statistics for investment in reduction equipment [9]. A similar analysis performed for Lithuania in the same study showed that in transition countries the marginal costs of emission reduction are less than in developed countries. This could be an indicator for the creation of more effective measures of environmental protection in transition countries where there are no fixed networks for measuring emissions and data on the costs of reducing emissions as a rule do not exist [10]. Data obtained in studies for western countries can be taken as the upper limits for costs for transition countries.

The next example will show how the curve of the marginal costs of reduced emissions is determined and emission fees are created. Through analysis of industrial equipment, average costs are determined

možemo konstruirati krivulju graničnih troškova za sve sektore ili za prioritetnu grupu sektora. Poanta je da se promatra više sektora zajedno i nađe optimalna politika smanjenja emisija.

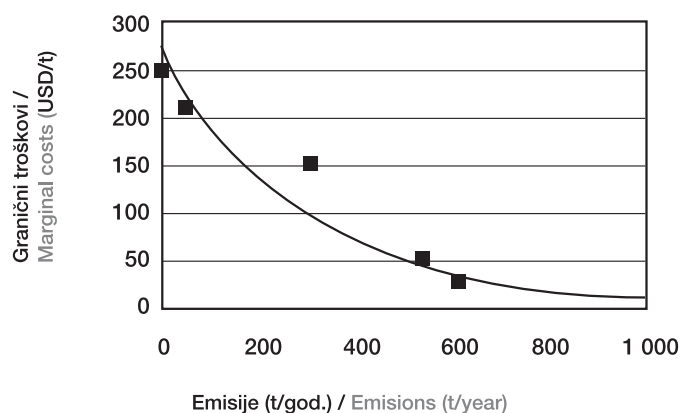
for emission reduction according to the sector for typical pollutants (SO₂, NO_x, particles, lead, toxic substances), as well as the quantity of reduced emissions according to sector. The sectors are listed according to the average costs for emission reduction, from the lowest to the highest (Table 5). If we know the average cost per sector and the quantity of emissions that could be reduced at that price, we can construct a curve of marginal costs for all the sectors or for a priority group of sectors. The point is that several sectors are considered together and an optimal policy for emission reduction is found.

Tablica 5 - Prosječni troškovi smanjenja emisija čestica za pet industrijskih grana u SAD-u
Table 5 - Average costs for emission reduction of particles for five branches of industry in the USA

Sektor / Sector	Masa reduciranog polutanta / Weight of reduced pollutant (t)	Kumulativna emisija / Cumulative emission (%)	Prosječni troškovi smanjenja emisija / Average costs for reducing emissions (1996) (USD /t)
Industrija nemetala / Nonmetal industry	400	40	23
Celuloza i papir / Cellulose and paper	100	50	50
Poljoprivredne kemikalije / Agricultural chemicals	250	75	148
Željezo, čelik / Iron, steel	200	95	211
Ostale kemikalije / Other chemicals	50	100	246

Iz tablice se vidi da se najviše isplati smanjiti emisije u industriji nemetala gdje se 400 tona polutanta može smanjiti uz prosječni trošak od 23 USD/t, zatim slijedi industrija celuloze i papira gdje se daljnjih 100 tona može smanjiti po cijeni od 50 USD/t. Možemo reći da granični trošak smanjenja emisija za promatranu grupu sektora kod 50 % redukcije iznosi 50 USD/t. Za daljnje smanjenje emisija granični se trošak povećava, kako prikazuje slika 13.

From the table, it is evident that it is the most economical to reduce emissions in the nonmetal industry, where 400 tons of pollutants can be reduced at an average cost of 23 USD per ton, followed by the cellulose and paper industry, where another 100 tons can be reduced at a cost of 50 USD per ton. We can say that the marginal cost of 50 % emission reduction for the group of sectors considered is 50 USD per ton. For further reduction of emissions, the marginal cost increases, as shown in Figure 13.



Slika 13
Granični troškovi smanjenja emisija za grupu sektora
Figure 13
Marginal costs of reduced emissions for the group of sectors

Na primjer, ako umjesto 40 % želimo eliminirati 95 % emisija, granični troškovi porast će čak devet puta. Ova saznanja mogu nam pomoći da postavimo razumna ograničenja na ukupne emisije, takva koja će ujedno biti i ekonomski prihvatljiva.

Istu logiku možemo obrnuti te podatak o graničnim troškovima iskoristiti u kreiranju emisijskih pristojbi. Podaci u tablici kazuju nam da bi se uz emisijsku pristojbu od oko 30 USD/t postiglo smanjenje emisija od oko 40 % jer će takva pristojba utjecati na industriju nemetala - tvrtkama će se više isplatiti smanjiti emisije nego plaćati pristojbu. Udvostručenjem pristojbe (oko 60 USD/t) emisije će se smanjiti za sljedećih 10 %. Ako želimo postići 95 %-tno smanjenje emisija, visina pristojbe morat će narasti na najmanje 200 USD/t.

Još jedan zaključak nameće se iz ovog primjera. Naslućujemo da bi prosječni trošak smanjenja emisija u sustavu s tržišnim mjerama, uz sudjelovanje većeg broja industrijskih sektora, bio višestruko manji nego trošak uređaja za smanjenje emisija za pojedinačnu elektranu (koji je izračunat u prethodnom primjeru za elektranu na ugljen). To znači da su stvarni troškovi smanjenja emisija niži, gledano za cjelokupnu industriju, ali pod uvjetom da se iskoriste prednosti tržišta, tj. omogućće fleksibilne mjere kao npr. trgovanje emisijskim dozvolama. Međutim, tu treba biti oprezan. Pri uspostavi tržišta emisijskim dozvolama treba imati na umu da je većina polutanata lokalnog ili regionalnog karaktera te da njihov učinak na okoliš i zdravlje ovisi o lokaciji izvora. Zato se tržište dozvolama za polutante koji nisu globalni mora ograničiti na određenu regiju, da ne bi došlo do suprotnog učinka-prekomjernog opterećenja nekih područja i još većeg utjecaja na okoliš.

Činjenica je da troškovi smanjenja emisija progresivno rastu sa stupnjem redukcije, iz čega slijedi da politika zaštite okoliša koja se temelji isključivo na propisivanju standarda nije idealno rješenje jer izaziva nepotrebno visoke troškove. Relaksacija regulativnih prema tržišno orijentiranim mjerama mogla bi donijeti financijsku uštedu uz istu ekološku dobit. Ako se već propisuju standardi, preporuka je [11] da se najprije odrede željeni standardi kvalitete zraka, tj. maksimalno dopuštene ambijentalne koncentracije polutanata, a tek onda emisijski standardi. Propisivanje standarda koji zahtijevaju vrlo skupe mjere smanjenja emisija opravdano je jedino ako se time postižu ekološke i društvene dobiti veće od troškova tih mjera. Te se dobiti mogu promatrati kao ušteda na troškovima štete u okolišu.

For example, if instead of 40 % we want to eliminate 95 % of the emissions, the marginal costs will increase by nine times. This knowledge can help us to establish reasonable limitations on total emissions that will also be economically acceptable.

Using the same logic, the data on marginal costs can be used in the creation of emission fees. The data in the table tell us that with an emission fee of approximately 30 USD per ton, an emission reduction of approximately 40 % would be achieved, because such a fee would affect the nonmetal industry - the companies will find it more economical to reduce emissions than to pay the fee. By doubling the fee (to approximately 60 USD per ton), emissions will be reduced by a further 10 %. If we want to achieve a 95 % reduction in emissions, the amount of the fee must increase to a minimum of 200 USD per ton.

One other conclusion arises from this example. We conjecture that the average cost of emission reduction in a system with market measures, with the participation of a large number of industrial sectors, would be several times less than the cost of equipment for reducing emissions for an individual power plant (which is calculated in the previous example for a coal-fired power plant). This means that the actual costs of emission reduction are lower when industry is viewed as a whole, provided that the market advantages are utilized, i.e. flexible measures are made possible such as, for example, the trading of emission allowances. However, it is necessary to be cautious here. Before the establishment of an emission allowance market, it is necessary to bear in mind that the majority of pollutants are of a local or regional character and that their impact on the environment and health depends upon the source locations. Therefore, markets for pollution allowances that are not global must be limited to a specific region, in order not to achieve the opposite effect - an excessive burden upon some areas and even greater environmental impact.

It is a fact that the costs of reducing emissions increase progressively with the level of reduction, from which it follows that an environmental protection policy based exclusively upon stipulated standards is not an ideal solution because it requires unnecessarily high expenditures. Relaxation of regulations toward market oriented measures could yield financial savings with the same ecological profit. When standards are being stipulated, it is recommended [11] that the desired standards for air quality should be determined first, i.e. the maximum permitted ambient concentration of pollutants, and then emission standards. Stipulated standards that require very expensive measures for reducing emissions are only justified if they achieve ecological and social profits greater than the costs of these measures. These profits can be considered as savings on the damage costs in the environment.

U prethodnom poglavlju izračunata je optimalna razina emisija SO_2 i NO_x , izjednačavanjem granične štete za zdravlje i graničnog troška uređaja za odsumporavanje, odnosno odušičivanje (slika 9 i slika 10). Te vrijednosti mogu poslužiti kao smjernica u odabiru emisijskih pristojbi u sustavu s tržišnim mjerama zaštite okoliša. Uz pristojbu od oko 1 000 USD po toni SO_2 proizvođač bi bio motiviran emisije SO_2 smanjiti na oko 60 % početnog iznosa. Tek bi pristojba od 3 000 USD/t osigurala primjenu mokrog odsumporavanja, tj. smanjenje emisija na 400 mg/m^3 , što je u skladu s današnjim standardom. Slično se dobiva za NO_x : pristojba od 200 USD po toni NO_x navela bi proizvođača da smanji emisiju na oko 55 % nekontrolirane vrijednosti (primjenom SNCR uređaja). Iole veće smanjenje emisija zahtijevalo bi pristojbu od bar 800 USD/t jer bi se tada isplatio SCR uređaj. Uz 1 000 USD po toni emisije bi se svele na ekonomski optimalnu razinu (oko 430 mg/m^3), a za postizanje vrlo niskih razina emisija, kakve zahtijeva standard od 200 mg/m^3 , bilo bi nužno uvesti pristojbu od oko 1 900 USD/t NO_x .

Ove vrijednosti predstavljaju približne troškove smanjenja emisija za tipičnu elektranu na ugljen. U sustavu s tržišnim mjerama zaštite okoliša ta bi elektrana mogla djelovati u kombinaciji s još nekim industrijskim postrojenjima u smanjenju ukupnih emisija na nekom području. Ukupni troškovi takvog zahvata vjerojatno bi bili manji nego zbroj troškova pojedinačnih izvora.

4.4 Primjer: Analiza isplativosti uvođenja strožeg standarda za emisiju NO_x

Želimo izračunati koliko se smanje troškovi štete za zdravlje ako se uvede stroži standard za emisiju NO_x iz elektrana na ugljen i s današnjih 650 snizi na 200 mg/m^3 . Naime, takav će propis vrlo vjerojatno biti uskoro donesen jer je Hrvatska potpisala tzv. Drugi protokol o smanjenju emisija NO_x u sklopu LRTAP konvencije. Prema tom propisu, emisija NO_x iz ložišta toplinske snage veće od 300 MWt bit će ograničena na 200 mg/m^3 , za razliku od 650 mg/m^3 koliko je sad na snazi.

Promatramo referentnu elektranu na ugljen, 350 MW, za koju je u prethodnim poglavljima proveden proračun eksternih troškova. Cilj je odrediti kolike bi bile društvene koristi propisivanja strožeg standarda za NO_x i usporediti ih s troškovima te mjere. Društvene koristi izračunat ćemo kao uštedu u trošku štete za zdravlje, a troškovi će biti jednaki dodatnom ulaganju potrebnom za efikasniji uređaj za odušičivanje. Promatrat ćemo tri razine s obzirom na prostorni opseg analize:

In the previous chapter, the optimal emission levels of SO_2 and NO_x were calculated through equalizing the marginal damages to health and the marginal costs of equipment for reducing sulfur or nitrogen (Figure 9 i Figure 10). These values can serve as guidelines in the determination of emission fees in a system with market measures of environmental protection. With a fee of approximately 1 000 USD per ton of SO_2 , a producer would be motivated to reduce SO_2 emissions by approximately 60 % of the initial amount. A fee of 3 000 USD per ton would secure the application of a wet scrubber, i.e. reduce emissions to 400 mg/m^3 , which is in accordance with the current standard. Similar results are obtained for NO_x . A fee of 200 USD per ton of NO_x would induce producers to reduce emissions to approximately 55 % of the uncontrolled values (with the application of SNCR equipment). A slightly greater reduction in emissions would require a fee of at least 800 USD per ton, because in such a case SCR equipment would be profitable. With 1 000 USD per ton, emissions would be reduced to the economically optimal level (approximately 430 mg/m^3). In order to achieve a very low emission level, as required by a standard of 200 mg/m^3 , it would be necessary to introduce a fee of approximately 1 900 USD per ton of NO_x .

These values represent the approximate costs of reducing emissions for a typical coal-burning power plant. In a system with market measures of environmental protection, this power plant could operate in combination with several other industrial plants in reducing the total emissions in a region. The total costs of such an undertaking would probably be less than the sum of the costs of individual sources.

4.4 Example: Analysis of the economic justification for the introduction of a stricter standard for NO_x emission

We want to calculate how much damage costs to health will be reduced if a stricter standard for the emission of NO_x is introduced for a power plant fueled by coal, from the current 650 mg/m^3 to 200 mg/m^3 . Such a regulation will most likely be adopted soon because Croatia has signed the Second Protocol on reducing NO_x emission as part of the Long-Range Transboundary Air Pollution Convention. According to this regulation, the emission of NO_x from a combustion source with thermal power greater than 300 MWt will be limited to 200 mg/m^3 , rather than the 650 mg/m^3 currently in force.

Let us consider the reference coal-burning power plant, 350 MW, for which an estimate of the external costs was performed in the previous chapters. The goal is to determine the social benefits that would be achieved by the stipulated stricter standard for NO_x and compare them with the costs of this measure. We

lokalnu za Zagreb, regionalnu za Hrvatsku i regionalnu za cijelu Europu.

Dobit

Uz emisiju $\text{NO}_x = 200 \text{ mg/m}^3$ eksterni će trošak biti proporcionalno manji nego pri emisiji 650 mg/m^3 . Ako prosječna šteta uz emisiju $\text{NO}_x = 650 \text{ mg/m}^3$ iznosi 0,534 eura/stan za Hrvatsku, tad će prosječna šteta uz emisiju 200 mg/m^3 iznositi 0,164 eura/stan, tj. razlika je 0,37 eura/stan. To pomnoženo s populacijom od 4,8 milijuna ljudi daje 1,77 milijuna eura, tj. 2,2 milijuna USD (tablica 6).

shall calculate the social benefits as savings of the damage costs to health, and the costs will be equal to the additional investment necessary for the more effective equipment for nitrogen reduction. We shall consider three levels in terms of the spatial range of analysis: local for Zagreb, regional for Croatia and regional for all of Europe.

Benefit

With an emission of $\text{NO}_x = 200 \text{ mg/m}^3$, the external cost will be proportionally lower than at an emission of 650 mg/m^3 . If the average damage with the emission of $\text{NO}_x = 650 \text{ mg/m}^3$ equals 0,534 euro/capita for Croatia, then the average damage with the emission of 200 mg/m^3 will equal 0,164 euro/capita, i.e. a difference of 0,37 euro/capita. This multiplied by a population of 4,8 million persons yields 1,77 million euro, i.e. 2,2 million USD (Table 6).

Tablica 6 - Usporedba eksternog troška za blaži i stroži propis za emisiju
Table 6 - Comparison of the external costs for more lenient and stricter regulations for NO_x emissions

Opseg analize / Range of analysis	Prosječna šteta (eura/stan) / Average damage (euro/capita)		Eksterni trošak (milijuna eura/god.) / External cost (Million euro/year)		Razlika u eksternom trošku (milijuna eura/god.) / Difference in external cost (Million euro/year)
	$\text{NO}_x = 650$	$\text{NO}_x = 200$	$\text{NO}_x = 650$	$\text{NO}_x = 200$	
Lokalna - Zagreb / Local - Zagreb	0	0	0	0	0
Regionalna - Hrvatska / Regional - Croatia	0,534	0,164	2,55	0,78	1,77
Regionalna - Europa / Regional - Europa	0,091	0,028	49,0	15,1	33,9

Analogno se može izračunati za slučaj kad analiza obuhvaća cijelu Europu. Tada razlika u eksternom trošku zbog smanjenog utjecaja na zdravlje stanovništva iznosi 33,9 milijuna eura ili 42,4 milijuna USD na godinu. Naime, promatra se populacija od 538 milijuna stanovnika, a razlika u prosječnoj šteti po stanovniku iznosi 0,063 eura/stan.

Trošak

Koliki je dodatni trošak uređaja za odušičivanje koji će emisiju NO_x smanjiti sa 650 na 200 mg/m^3 ? Ako je početna, nekontrolirana emisija NO_x manja od 850 do 900 mg/m^3 , primarne mjere (LowNO_x) su dovoljne da emisiju NO_x drže ispod 650 mg/m^3 . Ako se standard postroži na 200 mg/m^3 , potreban je uređaj za selektivnu katalitičku redukciju, SCR (tablica 3). Ukupni godišnji trošak SCR uređaja iznosi 7 milijuna USD, dok trošak primarnih mjera iznosi 0,5 milijuna USD. Razlika, koja predstavlja dodatni trošak zbog ugradnje SCR uređaja, iznosi 6,5 milijuna USD/god. Taj iznos treba usporediti s dobiti zbog smanjenog utjecaja na zdravlje.

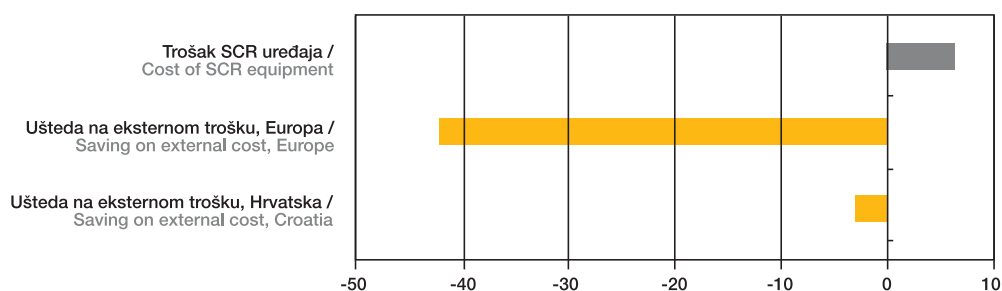
Analogously, it is possible to calculate for a case when analysis includes all of Europe. Then the difference in the external cost due to the reduced impact on the health of the population amounts to 33,9 million euro or 42,4 million dollars annually. This involves a population of 538 million inhabitants, and the difference in the average per capita damage is 0,063 euro/capita.

Cost

How much is the additional cost for treatment equipment that will reduce the emission of NO_x from 650 to 200 mg/m^3 ? If the initial, uncontrolled emission of NO_x is less than 850 - 900 mg/m^3 , primary measures (LowNO_x) are sufficient to hold the NO_x emission below 650 mg/m^3 . If the standard is tightened to 200 mg/m^3 , equipment for selective catalytic reduction, SCR, will be necessary (Table 3). The total annual cost of SCR equipment amounts to 7 million USD, while the cost of primary measures amounts to 0,5 million USD. The difference represented by the additional cost due to the installation of SCR equipment amounts to 6,5 million USD/year. This amount should be compared with the profits from reducing the impact upon health.

Na lokalnoj razini dobit zbog smanjenog utjecaja na zdravlje jednaka je nuli jer, kako se pretpostavlja, NO_x na lokalnoj razini ne utječe na zdravlje. Prema tome, SCR uređaj ne bi se isplatio. Ako se promatra cijela Hrvatska, tj. 4,8 milijuna ljudi, ušteda na eksternom trošku bila bi 1,77 milijuna eura na godinu, tj. 2,2 milijuna USD ako se pretpostavi tečaj 1:1,25 (1999. godine). Dakle, SCR uređaj još uvijek ne bi bio isplativ. Konačno, ako opseg promatranja proširimo na cijelu Europu, s oko 540 milijuna stanovnika, dobit bi iznosila 33,9 milijuna eura ili 42,4 milijuna USD, što višestruko nadmašuje troškove SCR uređaja (slika 14). Prema tome, ispada da bi se SCR uređaj isplatio tek ako se promatra cijela Europa. Vjerojatno su dalekosežne dobiti jedan od glavnih razloga za poštovanje standarda i donošenje protokola o daljnjem smanjenju emisija NO_x u okviru LRTAP konvencije.

At the local level, the benefit due to the reduced impact on health would equal zero, because it is assumed that on the local level NO_x does not have an impact upon health. Accordingly, the SCR equipment would not be economically justified. If all of Croatia is considered, i.e. 4,8 million people, the savings on external costs would be 1,77 million euro annually, i.e. 2,2 million dollars, assuming a rate of exchange of 1:1,25 (1999). Thus, SCR equipment would still not be economically justified. Finally, if we extend the range of observation to include all of Europe, approximately 540 million inhabitants, the benefit would amount to 33,9 million euro or 42,4 million USD, which many times exceeds the cost of the SCR equipment (Figure 14). Accordingly, it follows that SCR equipment would only be economically justified when all of Europe is considered. It is likely that the long-range benefits are among the main reasons for tightening the standard and adopting the protocol on the further reduction of NO_x emissions within the framework of the Long-Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) Convention.



Slika 14
Analiza troškova i dobiti SCR uređaja
Figure 14
Analysis of the costs and benefits of SCR equipment

Za potpunu analizu troškova i dobiti ugradnje SCR uređaja trebalo bi još analizirati koliko se zbog njegovog rada smanjuje stupanj djelovanja elektrane, tj. povećavaju emisije te koliki je eksterni trošak samog procesa katalitičke redukcije. Naime, jedan od reagenata u procesu redukcije je amonijak, štetni plin koji tijekom reakcije djelomično pobjegne u okoliš. Osim toga, produkt procesa redukcije je N_2 iz kojeg na visokim temperaturama nastaje staklenički plin N_2O . No, to su ionako eksterni učinci koji idu na stranu troškova uređaja, pa je omjer troškova i dobiti još nepovoljniji.

For a complete analysis of the costs and benefits of the installation of SCR equipment, it would also be necessary to analyze the extent that its operation would reduce the degree of operations of the power plant, i.e. increase emissions, and how much the external cost of the process of catalytic reduction would be. One of the reagents in the process of reduction is ammonia, a harmful gas that partially escapes into the environment during the reduction process. Moreover, a product of the reduction process is N_2 , from which the greenhouse gas N_2O occurs at high temperatures. However, these are external impacts that are included in the equipment costs, so that the cost-benefit ratio becomes even less favorable.

5 ZAKLJUČAK

U članku je elaborirano nekoliko mogućih primjena eksternih troškova. Spoznaje dobivene prikazanom analizom mogu nam pomoći da postavimo razumna ograničenja na ukupne emisije, takva koja će ujedno biti i ekološki i ekonomski prihvatljiva.

Činjenica je da troškovi smanjenja emisija progresivno rastu sa stupnjem redukcije, iz čega slijedi da politika zaštite okoliša, koja se temelji isključivo na propisivanju standarda, nije idealno rješenje jer izaziva nepotrebno visoke troškove. Relaksacija regulativnih prema tržišno orijentiranim mjerama mogla bi donijeti financijsku uštedu uz istu ekološku dobit. Ako se već propisuju standardi, preporuka je da se najprije odrede željeni standardi kvalitete zraka, tj. maksimalno dopuštene ambijentalne koncentracije polutanata, a tek onda emisijski standardi. Propisivanje standarda koji zahtijevaju vrlo skupe mjere smanjenja emisija opravdano je jedino ako se time postižu ekološke i društvene dobiti veće od troškova tih mjera.

Eksterni troškovi mogu poslužiti za izbor optimalnog skupa mjera zaštite okoliša, takvih da se uz ograničena sredstva koja su dodijeljena za zaštitu okoliša postigne najveće smanjenje rizika na ljude i okoliš. Svaki projekt je karakteriziran veličinom pritiska na okoliš, a učinkovitost neke mjere zaštite okoliša može se definirati kao smanjenje učinka na okoliš po jedinici uloženih financijskih sredstava. Tek kad se učinci izraze u jedinstvenom mjerilu, kao što je eksterni trošak, moguća je usporedba učinkovitosti različitih strategija zaštite okoliša. I konačno, ali ne i najmanje važno, eksterni troškovi mogu biti jedan od pokazatelja održivog razvoja jer omogućuju da se raznorodni učinci prikažu u istom mjerilu.

5 CONCLUSION

In this article, several potential applications of external costs are elaborated. The insight obtained through the analysis presented can help us to set reasonable limits on total emissions, which will be both ecologically and economically acceptable.

It is a fact that the costs of reducing emissions increase progressively with the degree of reduction, for which it follows that an environmental protection policy based exclusively on the stipulation of standards is not an ideal solution because it results in unnecessarily high costs. Relaxation of regulations in favor of market oriented measures could yield financial savings with the same ecological benefit. If standards are already being stipulated, it is recommended to determine the desired air quality standards first, i.e. the maximum permitted ambient concentration of pollutants, and then set the emission standards. The stipulation of standards that require very expensive measures for reducing emissions is only justified if they achieve ecological and social benefits that are greater than the costs of these measures.

External costs can be used in choosing an optimal group of environmental protection measures, so that the greatest reduction in risk to humans and the environment is achieved with the limited funding allocated for environmental protection. Each project is characterized by the amount of pressure on the environment, and the effectiveness of a measure of environmental protection can be defined as the reduction of environmental impact per unit of invested funding. Only when the impacts are expressed in the same unit of measurement, such as external costs, is it possible to compare the effectiveness of various environmental protection strategies. Finally, but no less importantly, the external costs can be one of the indicators of sustainable development because they make it possible to present various impacts using the same unit of measurement.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] The Swiss Study Infrac/Prognos 1994.
- [2] LEE, KRUPNICK, BURTRAW, et al., Estimating Externalities of Electric Fuel Cycles: Analytical Methods and Issues, McGraw-Hill/Utility Data Institute, Washington DC, 1995.
- [3] Electricity Generation and Environmental Externalities (Case Studies), EIA - Energy Information Administration, Washington DC, 1995.
- [4] European Commission, DGXII: ExternE Project, Methodology Report, 2nd Edition, Brussels, 1998.
- [5] KRUPNICK, BURTRAW: The Social Costs of Electricity: Do the Numbers Add Up?, Resources for the Future, Washington DC, 1996.
- [6] STAVINS, WHITEHEAD, The Next Generation of Market-Based Environmental Policies, Resources for the Future, Washington DC, 1996.
- [7] BRÄNNLUND, Green Tax Reforms: Some Experiences from Sweden, Green Budget Reform in Europe, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1999.
- [8] FERETIĆ, D., TOMŠIĆ, Ž., KOVAČEVIĆ, T., The role of nuclear power in sustainable development of the Croatian power system, 2nd Intl. Conf. on Nuclear option in countries with small and medium electricity grids, Dubrovnik, June 1998.
- [9] HARTMAN, WHEELER, SINGH, The Cost of Air Pollution Abatement, Applied Economics, 29, pp. 759-774, 1997.
- [10] SCOTT, CONVERY, Cohesion Countries: Experience in Countries on the European Periphery, Green Budget Reform in Europe, Spinger Verlag, 1999.
- [11] Okoliš, broj 96, Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, Zagreb, siječanj 2000.

Uredništvo primilo rukopis:
2006-04-14

Manuscript received on:
2006-04-14

Prihvaćeno:
2006-04-20

Accepted on:
2006-04-20

SUSTAV UPRAVLJANJA POSLOVIMA ODRŽAVANJA U PROIZVODNIM POGONIMA HEP-a MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM OF HEP POWER PLANTS

Krešimir Brckan, dipl. ing., EKONERG -

Institut za energetiku i zaštitu okoliša, Koranska 5, 10000 Zagreb, Hrvatska

Željko Dorić, dipl. ing. HEP Proizvodnja d.o.o.,

Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Ralf Blomberg, dipl. oec., RWE Power AG, Essen, Germany, član Uprave TE

Plomin d.o.o., Luka b.b., 52234 Plomin, Hrvatska

Krešimir Brckan, dipl. ing., EKONERG - Institute for Energy and Environmental

Protection, Koranska 5, 10000 Zagreb, Croatia

Željko Dorić, dipl. ing. HEP Proizvodnja d.o.o.,

Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

Ralf Blomberg, dipl. oec., RWE Power AG, Essen, Germany, Board Member of TE

Plomin d.o.o., Plomin Luka b.b., 52234 Plomin, Croatia

Održavanje imovine je u elektroprivrednim tvrtkama ključna komponenta upravljanja. Vodeći se time HEP je u svojim tvrtkama kćerima koje obavljaju djelatnost proizvodnje električne te proizvodnje i distribucije toplinske energije pokrenuo projekt uvođenja Sustava upravljanja poslovima održavanja (SUPO). Cilj projekta SUPO bio je uspostaviti jedinstveni sustav upravljanja održavanjem tehničkih sustava u tim pogonima i podržati ga primjenom specijaliziranog informacijskog sustava. U radu je opisana uloga takvih sustava u vođenju poslovanja elektroprivrednih tvrtki. Također su prikazani osnovni moduli i funkcionalnost koju sadrži program SUPO glede upravljanja aktivnostima održavanja i logističkim funkcijama upravljanja zalihama te nabavom, tijekom njegova uvođenja te rezultati primjene u HEP-ovim proizvodnim pogonima i toplinarstvu.

Asset maintenance in power utilities is the key component of management. To this end HEP launched a project for the introduction of a maintenance management system (MMS) in its daughter companies engaging in the generation of electricity and in the generation and distribution of heat. The purpose of the MMS project was to set up a single management system for technical systems of these facilities and to support it by implementing a specialised IT system. The paper describes the role of such systems in managing the operations of power utilities. It also shows the basic modules and functionalities in the MMS software for managing maintenance activities and logistic functions of managing inventories and procurement, the course of its introduction, and the performance in HEP's power and heat plants.

Ključne riječi: informacijski sustavi za upravljanje održavanjem, program SUPO, strategija upravljanja održavanjem, upravljanje zalihama

Key words: IT systems for maintenance management, maintenance management strategy, managing inventories, MMS software solution,



1 UVOD

Informatizacija kao prvorazredni globalni proces i težnja podizanju konkurentnosti gospodarstva uvjetuju uvođenje informacijskih sustava u poslovanje kao imperativ i hrvatskim tvrtkama.

Prihvatanjem pravila europskoga elektroenergetskog sustava Hrvatska elektroprivreda postaje sudionik tržišne utakmice u kojoj će za uspjeh i konkurentnost biti presudno učinkovito gospodariti vlastitim tehničkim sustavima, odnosno, promatrano u širem kontekstu, cjelokupnom fizičkom imovinom.

Održavanje imovine je u elektroprivrednim tvrtkama ključna komponenta upravljanja. Funkcija mu je osigurati maksimalnu raspoloživost kapaciteta za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne i toplinske energije, čime će se pojave degradacije, zastoja ili kvarova koji nepovoljno utječu na sposobnost izvršenja njihove zahtijevane funkcije svesti na najmanju moguću mjeru, uz minimalne troškove. Održavanje se, dakle, može promatrati i kao investicija u buduću profit koji će se ostvariti kroz osiguranje kapaciteta i smanjenje operativnih troškova poslovanja [1]. Održavanjem se također dokazuje i briga te sprečava negativan utjecaj tehničkih sustava na okoliš.

Vodeći se ovim načelima, HEP je u svojim tvrtkama - kćerima HEP Proizvodnja d.o.o. i HEP Toplinarstvo d.o.o. (koje obavljaju djelatnost proizvodnje električne te proizvodnje i distribucije toplinske energije) pokrenuo projekt uvođenja Sustava upravljanja poslovima održavanja (SUPO). Cilj projekta SUPO bio je uspostaviti jedinstveni sustav upravljanja održavanjem tehničkih sustava u tim pogonima, što obuhvaća planiranje, organizaciju, pripremu i praćenje izvršenja, dokumentiranje i analizu svih aktivnosti u procesu održavanja. Sve navedene sastavnice upravljanja održavanjem podržane su primjenom specijaliziranog informacijskog sustava.

1 INTRODUCTION

IT as a top-priority process, aimed at raising economic competitiveness, requires an introduction of IT systems in the operation as an imperative in Croatian companies.

By accepting the rules of the European electric power system, Croatian Electric Power Utility is becoming a player in the field of market competition where success and competitiveness will depend on efficient management of one's own technical systems or, more broadly, of one's entire physical assets.

Asset maintenance in power utilities is the key component of management. Its function is to ensure a maximum availability of capacities for generating, transmitting and distributing electricity and heat in order to minimize the degradation, downtimes or failures affecting the capacity to operate as required at minimum cost. Maintenance can also be seen as an investment in the future profit by way of providing the capacity and cutting operating costs [1]. Maintenance also means care and prevention of negative effects of technical systems on the environment.

Guided by these principles HEP launched, in its daughter companies HEP Proizvodnja d.o.o. (HEP Generation) and HEP Toplinarstvo d.o.o. (HEP Heating), engaging in the generation of electricity and in the generation and distribution of heat, the project for the introduction of a maintenance management system (MMS). The goal of the MMS project was to set up a single maintenance management system for technical systems in the facilities mentioned, which included planning, organisation, preparation and monitoring of the performance, documenting and analysing all the activities in the maintenance process. All the components of maintenance management were to be supported by a specialised IT system.

2 RAZVOJ INFORMACIJSKIH SUSTAVA ZA PODRŠKU UPRAVLJANJU ODRŽAVANJEM

Poslovodstvo elektroprivredne tvrtke, kao i svi ostali sudionici na tržištu, moraju odrediti ciljeve poslovanja, pri čemu je jedino bitan konačni rezultat. Kod operatera elektrana za uspješno poslovanje potrebno je uskladiti mnogo ciljeva - električnu energiju treba proizvoditi na siguran, ekološki prihvatljiv i troškovno konkurentan način.

Dok je utjecaj na okoliš uglavnom određen projektom postrojenja i na njega se u pogonu gotovo i ne može utjecati, ciljevi kao što su "sigurnost" (u smislu raspoloživosti) i "konkurentnost" (u smislu troškova) faktori su na koje se bitno može utjecati odlukama posloводства. Glavni je cilj operatera svake elektrane osigurati kontinuiran i siguran pogon uz visoku raspoloživost i minimalne specifične troškove proizvodnje.

U prošlosti je raspoloživost bila znatno ispred svih ostalih kriterija. Uvjeti isporuke električne energije omogućavali su da se troškovi opskrbe električnom energijom mogu prenijeti na kupce. U uvjetima nadmetanja, koji danas vrijede na tržištima električne energije, to više nije tako. Štoviše, u doba trgovanja električnom energijom na burzama, sposobnost njezine proizvodnje po trajno povoljnoj cijeni odlučuje o tome je li elektrana konkurentna, dakle hoće li moći prodati proizvedenu električnu energiju ili će je dispečer staviti u drugi plan u korist drugih elektrana, odnosno uvoza električne energije. Iz tog razloga poslovodstvo svoju elektranu ne bi trebalo shvaćati samo kao postrojenje koje treba održavati nego kao visokoučinkovit proizvodni pogon koji treba voditi tako da se osigura optimalna pogonska raspoloživost.

Pouzdanost elektrane treba stalno održavati na visokoj razini. Zbog toga treba precizno odrediti komponente postrojenja koje su tehnički ključne za sigurnost i raspoloživost elektrane i upravljati njihovim životnim vijekom na način kojim će se osigurati maksimalna iskoristivost, bez nedopuštenog povećanja rizika ispada čitavog postrojenja.

Osnovna mogućnost za to je preventivno održavanje prema vremenskim ciklusima, koje se u pravilu temelji na preporukama proizvođača. Ti su ciklusi definirani s velikim stupnjem sigurnosti, čija su posljedica relativno visoki troškovi. Takvom strategijom održavanja bez problema se može upravljati "manualno", na temelju sustava kartoteka, pri čemu se radni nalozi za održavanje

2 DEVELOPMENT OF IT SYSTEMS FOR SUPPORTING MAINTENANCE MANAGEMENT

The management of a power utility, just like in any other player on the market, must set the goals for the business operation of the company, and what finally counts is solely the final result. To operate successfully, power plant operators need to harmonise a number of goals - electricity needs to be generated in a safe, environmentally friendly and cost effective manner.

While the environmental impact is mostly determined by the facility design, which generally cannot be influenced during operation, goals like "safety" (in terms of availability) and "competitiveness" (in terms of expenses) are factors that can be substantially influenced by management decisions. The main goal of the operator of any power plant is to ensure a continuous and safe operation at a high availability and minimum specific production costs.

In the past, availability came first, way before all the other criteria. The terms of electricity supply made it possible to shift the expenses of electricity supply to customers. Under the circumstances of competition now prevailing on electricity markets, this is no longer the case. What is more, in the time of stock market trading in electricity, the capability to generate electricity at a permanently favourable price is decisive for the competitiveness of the power plant, that is whether it will be able to sell the electricity generated, or whether the dispatcher will put it in the waiting line behind other power plants i.e. behind the import of electricity. For this reason the management should not see their power plant only as a facility that needs to be maintained, but as a highly efficient production plant that needs to be managed in such a manner as to secure optimum operating availability.

Reliability of the power plant needs to be constantly maintained on a high level. To this end the components of the facility need to be accurately defined that are technically vital to the safety and availability of the power plant, and their life cycles need to be managed in the manner that will secure maximum exploitation, without the unacceptable increase of downtime risk.

The basic possibility to achieve this is preventive maintenance in accordance with time cycles, normally on the basis of the manufacturer's recommendations. These cycles are defined with a high degree of safety in mind, which results in relatively high expenses. Such a strategy of maintenance can be easily managed "manually", on

izdaju kad se dostigne propisana periodičnost. U modernim elektranama primjenjuju se sofisticirani tehnički sustavi za vođenje pogona kojima se kontinuirano ili periodički prati i dijagnosticira stanje i radni parametri komponenata na temelju kojih se može ocijeniti njihovo stanje, stupanj istrošenosti i preostali životni vijek.

Glavni zadatak posloводства elektrane je da zajedno s vodećim inženjerima definira strategiju održavanja, u skladu s prikupljenim podacima. Pritom je potrebno usredotočiti se na raspoloživost s obzirom na sustav, a ne samo na raspoloživost pojedinih komponenti. Takva strategija naziva se održavanje usmjereno na stanje i uz uvjet da se optimalno provodi, zasigurno je najekonomičnija za pogon elektrane.

Za njezino je provođenje, osim prikupljenih podataka iz pogona elektrane, potreban informacijski sustav za podršku upravljanju održavanjem. Iz saznanja o aktualnom stanju komponenti, podataka pohranjenih u informacijskom sustavu (prethodne aktivnosti održavanja, inspekcije i kontrole, evidencije uzroka kvarova) i pogonskih iskustava gdje su intervali održavanja produljeni s obzirom na preporuke proizvođača, moguće je smanjenim opsegom održavanja postići znatne uštede troškova bez znatnijeg povećanja rizika od ispada.

U tu su svrhu razvijeni programi poznati na svjetskom tržištu informacijskih tehnologija pod nazivom Enterprise Asset Management (EAM) Systems, odnosno informacijski sustavi za upravljanje imovinom. Nastali su nadogradnjom, proširenjem i razvojem funkcionalnosti prve generacije računalom podržanih sustava za upravljanje poslovnim održavanjem, na tržištu poznatih kao Computerised Maintenance Management Systems - CMMS.

Informacijski sustavi za podršku upravljanju održavanjem (CMMS/EAM) namijenjeni su planiranju i pripremi, praćenju te analizi učinkovitosti i uspješnosti izvršenja aktivnosti održavanja u poduzećima. Razvojem funkcionalnosti dodana im je nova dimenzija, pa osim procesa održavanja, podržavaju i logističke funkcije poslovanja poduzeća, poput upravljanja zalihama te nabave robe, usluga i radova. Također imaju važnu ulogu pri uspostavljanju, primjeni i provjeri sustava upravljanja kvalitetom (Quality Management - QM) u segmentu održavanja prema ISO i drugim strukovnim standardima.

Informacijski sustavi za podršku upravljanju održavanjem primjenjuju se u svijetu već godinama i bilježe stalni rast primjene usporedno

the basis of card file systems, with working orders issued when the prescribed periodicity is reached. In modern power plants sophisticated technical systems for plant management are implemented in which the status and working parameters of the components are continuously or periodically monitored, and on this basis their condition, extent of wear and the remaining life cycle can be estimated.

The main task of the power plant management is to define, together with the leading engineers, the maintenance strategy in accordance with the information collected. In this it is necessary to focus on the availability with regard to the system, not solely on the availability of individual components. Such a strategy is called status-oriented maintenance and, provided it is implemented in an optimum manner, it is without doubt the most cost effective for operating a power plant.

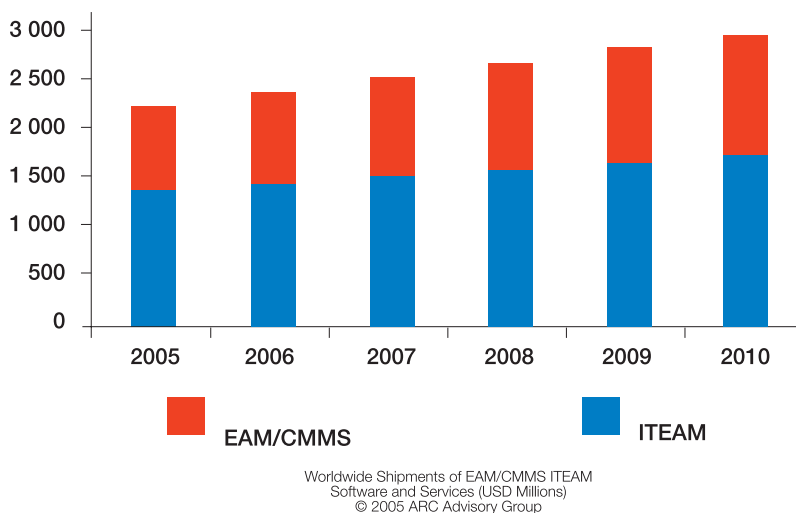
What is needed to implement it, in addition to the information collected during plant operation, is an IT system to support maintenance management. From the knowledge of the actual condition of components, the data stored in the IT system (history of maintenance activities, inspection and control, record of the causes of failures) and operating experience where maintenance intervals are extended compared with the manufacturer's recommendations, it is possible, at a reduced volume of maintenance, to achieve considerable cost savings without a significant increase in downtime risks.

To this end, programs were developed that are known on the world market of information technology as Enterprise Asset Management (EAM) Systems. They were created by upgrading, extending and developing the functionality of the first generation of computer aided systems for maintenance management, known on the market as Computerised Maintenance Management Systems - CMMS.

IT systems for supporting maintenance management (CMMS/EAM) are meant for planning and preparing, monitoring and analysing the efficiency and performance of maintenance activities in companies. In the development of functionalities a new dimension was added, so in addition to the management process they also support logistic functions of the company operation such as managing inventories and the procurement of goods, services and works. They also have an important role in establishing, implementing and checking the quality management system in the segment of maintenance pursuant to ISO and other industry standards.

s razvojem informatičkih tehnologija i povećanjem ulaganja u informatizaciju poslovnih procesa poduzeća. Krajem 2005. godine objavljena je studija ARC Advisory Group, jedne od vodećih svjetskih konzultantskih tvrtki u strateškom planiranju i istraživanju tržišta informatičkih tehnologija u industriji, koja pokazuje da je na svjetskom tržištu u 2005. godini vrijednost ulaganja u implementaciju EAM/CMMS i ITEAM sustava iznosila 2,2 milijarde USD. Kao poseban izdvojen segment ITEAM (Information Technology Enterprise Asset Management) obuhvaća informacijske sustave namijenjene podršci upravljanju mrežnom infrastrukturom, računalima, softverom i ostalim komponentama informatičke tehnologije u poduzećima. Očekuje se da će u idućih nekoliko godina porast ulaganja iznositi 5 % na godinu, pa bi u 2010. godini trebala dosegnuti iznos od 2,8 milijarde USD [2], što je grafički prikazano na slici 1.

IT systems to support maintenance management have been implemented throughout the world for a number of years now and their use is constantly rising simultaneously with the development of information technologies and the increase of investment in computerisation of corporate business processes. Towards the end of 2005, a study was published by ARC Advisory Group, one of the world's leading consultants in strategic planning and IT market research for the industry, which showed that on the world market in 2005, the value of investment in the implementation of EAM/CMMS and ITEAM systems was USD 2,2 billion. As a separate segment, ITEAM (Information Technology Enterprise Asset Management) includes IT systems supporting the management of network infrastructure, computers, software and other components of corporate information technology. It is expected that over the next few years the growth of investments will be 5 % per annum, so in the year 2010, it should reach USD 2,8 billion [2], as presented in Figure 1.



Slika 1
Procjena vrijednosti ulaganja na svjetskom tržištu u implementaciju informacijskih sustava za podršku upravljanju održavanjem
Figure 1
Estimate of the value of investment on the world market in the implementation of IT systems for supporting maintenance management

Procjenjuje se da na svjetskoj razini oko 15 % - 20 % ukupnih ulaganja u implementaciju EAM/CMMS informacijskih sustava otpada na segment elektroprivrede jer je uloga održavanja ključna.

According to estimates, about 15 % - 20 % of the total investment in the implementation of the EAM/CMMS systems globally is accounted for by the sector of electric power utilities, because the role of maintenance in there is vital.

3 OBILJEŽJA INFORMACIJSKOG SUSTAVA UPRAVLJANJA POSLOVIMA ODRŽAVANJA - PROGRAM SUPO

3.1 Izbor informacijskog sustava za program SUPO

Kod izbora informacijskog sustava za podršku upravljanju održavanjem u sklopu projekta SUPO u HEP-u izvršena je temeljita analiza CMMS/EAM sustava koji se nude na svjetskom tržištu. Definirano je više kriterija za njihovu evaluaciju, od kojih kao najvažnije treba izdvojiti:

- mogućnost primjene u održavanju tehničkih sustava u elektroprivrednim tvrtkama i ostvarene referencije proizvođača informacijskog sustava na tom segmentu tržišta,
- mogućnost konfiguriranja i prilagodbe informacijskog sustava poslovnim procesima održavanja u proizvodnim pogonima i toplinarstvu,
- mogućnost prilagodbe i podrške zakonskim propisima i internim aktima HEP-a u djelokrugu zaštite na radu i zaštite od požara kod provedbe aktivnosti održavanja,
- mogućnost prilagodbe i podrške informacijskog sustava hrvatskoj zakonskoj regulativi i zahtjevima međunarodnih računovodstvenih standarda (MRS) u djelokrugu skladišnog poslovanja i upravljanja zalihama te nabavi robe, usluga i radova,
- platforma informacijskog sustava održavanja (relacijska baza podataka Oracle, operacijski sustav i sučelje koje podržava rad u okruženju MS Windows) kompatibilna s informacijskom infrastrukturom i standardima na kojima je razvijen poslovni informacijski sustav HEP-a.

Za primjenu u projektu SUPO izabran je CMMS/EAM informacijski sustav renomiranog svjetskog proizvođača koji je nedvojbeno dokazao da može udovoljiti svim zadanim kriterijima.

3.2 Opis glavnih modula SUPO

Program SUPO za podršku upravljanju održavanjem u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu modularne je izvedbe. Moduli i struktura programa SUPO prikazani su na slici 2.

3 CHARACTERISTICS OF IT SYSTEM FOR MAINTENANCE MANAGEMENT - MMS SOFTWARE SOLUTION

3.1 Selection of IT system for the MMS

In selecting the IT system to support maintenance management within the MMS project in HEP were performed a thorough analysis of CMMS/EAM systems offered world-wide. Several criteria were defined for their evaluation, of which the most important are:

- possibility to be used in the maintenance of technical systems of electric power companies, and references of IT system manufacturer in this market segment,
- possibility of configuration and adjustment of the IT system to the business processes of maintenance of power and heat plants,
- possibility of adjustment and support for the legislation and for the by-laws of HEP concerning safety at work and fire protection in the implementation of maintenance activities,
- possibility of adjustment and support of the IT system with regard to Croatian legislation and the requirements of the International Accounting Standards (IAS) in warehouse and inventory management and the procurement of goods, services and works,
- platform of the IT system (Oracle relation database, operative system and interface supporting MS Windows working environment) compatible with the IT structure and standards on the basis of which the corporate IT system of HEP was developed.

For the implementation in the MMS project a CMMS/EAM IT system of a renowned world manufacturer was selected which proved beyond doubt that it met all the criteria.

3.2 Description of the main modules of MMS

The MMS solution for supporting maintenance management at HEP Generation and HEP Heating has a modular structure. Modules and the structure of the MMS software solution are shown in Figure 2.



Slika 2
Struktura programa
SUPO u HEP
Proizvodnji i HEP
Toplinarstvu
Figure 2
Structure of the MMS
software solution in
HEP Generation and
HEP Heating

Osnovni moduli programa SUPO i funkcionalnost koju nude bit će opisani u nastavku.

The basic modules of the MMS software solution and the functionalities they offer will be described below.

3.2.1 Objekti održavanja (tehnički sustavi)

Jezgru SUPO-a čini jedinstvena baza objekata održavanja. Objekte održavanja čine oprema, uređaji ili komponente, građevinski objekti te općenito govoreći svi tehnički sustavi u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu koji se održavaju. Obuhvaćeni su i objekti održavanja koji nisu u izravnoj funkciji proizvodnje i distribucije električne i toplinske energije, ali su nužni za funkcioniranje pogona i obavljanje temeljne djelatnosti ovih društava.

U skladu sa spomenutim, bazu podataka objekata održavanja čine:

- temeljna postrojenja, tehnološki sustavi i objekti za proizvodnju i predaju električne i toplinske energije u termoelektranama i hidroelektranama HEP Proizvodnje,
- vrelovodna i parovodna mreža za distribuciju toplinske energije, toplinske stanice s opremom i blokovske kotlovnice u HEP Toplinarstvu,
- visokotlačni plinovodi za dobavu plina termoelektranama,
- trafostanice i dalekovodi u sastavu nekih proizvodnih pogona,

3.2.1 Facilities to maintain (technical systems)

The core of the MMS is a single database of the facilities to maintain. The facilities to maintain include equipment, installations or components, buildings and, generally, any technical systems of HEP generation and HEP Heating which need to be maintained. They also include facilities that are not directly used in the generation and distribution of electricity and heat but are essential to the operation and basic performance of these companies.

Consequently, the database of the facilities includes:

- basic plants, technological systems and facilities for the generation and transmission of electricity and heat in thermoelectric power plants and hydroelectric power plants of HEP Generation,
- heating and steam mains for the distribution of heat, heat stations with equipment and boiler room units at HEP Heating,
- high-pressure gas pipelines for supplying gas to thermoelectric power plants,
- substations and power lines within some of the generation facilities,

Svakom objektu održavanja u programu SUPO dodijeljeni su sljedeći atributi:

- lokacija i moguće podlokacije objekta održavanja,
- odgovorna osoba - tehnolog održavanja,
- troškovni centar koji terete troškovi održavanja.

Osim osnovnih podataka, za svaki element u bazi objekata održavanja moguće je pohraniti određeni broj podataka tehničkog karaktera, poput tipa, serijskog broja, proizvođača, datuma nabave, datuma početka eksploatacije i sl. Za istovrsnu opremu (npr. pumpe, elektromotore, transformatore) ili objekte moguće je kreirati tzv. natpisnu pločicu ili obrazac koji sadrži skup standardnih tehničkih podataka. Svakom objektu održavanja također je moguće pridružiti i neograničeni broj dokumenata u digitalnom obliku. To mogu biti tekstualni dokumenti, crteži u CAD formatu, slikovni dokumenti, videozapisi itd.

Treba težiti tome da se sistematizira i u digitalnom obliku pohranjuje sva dokumentacija koja se generira tijekom životnog vijeka objekta održavanja, a posebice:

- projektna dokumentacija,
- tehnološke blok-sheme,
- upute za rukovanje i održavanje,
- fotografije ugradnje ili montaže,
- elaborati o inspekcijama i ispitivanjima,
- fotografije mjesta i utvrđenih uzroka kvarova.

Osim spomenutog, za svaki objekt održavanja moguće je definirati listu rezervnih dijelova i sklopova potrebnih za održavanje, a ako je instalirano više komada istovrsne opreme, ista lista rezervnih dijelova može se pridružiti svakome od njih. Ova funkcionalnost vrlo je bitna i znatno olakšava pregled raspoloživih zaliha te planiranje potreba rezervnih dijelova za održavanje.

3.2.2 Evidencija periodičkih aktivnosti programa plansko-preventivnog održavanja
Programom plansko-preventivnog održavanja definiraju se aktivnosti koje je periodički potrebno provoditi na tehničkim sustavima. Nakon što je kreirana baza objekata održavanja, svakom od objekata u programu SUPO pridružuje se lista planiranih aktivnosti održavanja. Opseg programa održavanja definira se na temelju:

- zakonskih obveza,
- preporuka proizvođača,
- najbolje svjetske prakse (Best Practices),
- vlastitih iskustava u eksploataciji.

Each facility to maintain in the MMS has the following attributes:

- location and possible sub-locations of the facilities to maintain,
- person in charge - maintenance technologist,
- cost centre to which the maintenance expense is debited.

In addition to the basic information, for each element in the database it is possible to store a particular number of technical data, such as the type, serial number, manufacturer, date of purchase, date of commission etc. For the same type of equipment (e.g. pumps, electric motors, transformers) or facilities it is possible to create the so-called nameplate or a form containing a group of standard technical data. Each maintenance object can be attributed an unlimited number of files in digital form. They can be textual files, drawings in CAD format, picture files, video recordings etc.

One should strive to systematise and store in digital form all the documents generated throughout the life cycle of the facilities to maintain, particularly:

- project documentation,
- technological layouts,
- instructions for use and maintenance,
- installation and assembly photographs,
- inspection and testing surveys,
- photographs of locations and detected causes of failures.

In addition, for each facility to maintain it is possible to define a list of spare parts and units necessary for maintenance, and in case more than one piece of the same type of equipment has been installed, a list of spare parts can be attributed to each one of them. This functionality is very important and it facilitates the overview of the available inventory and planning the required spare parts for maintenance.

3.2.2 Record of periodical activities in the program of scheduled/preventive maintenance

The program of scheduled/preventive maintenance defines the activities that need to be periodically conducted in technical systems. Following the creation of the database of the facilities to maintain, each of the facilities in the MMS is attributed a list of the maintenance activities planned. The scope of the maintenance program is defined on the basis of:

- statutory obligations,
- manufacturers' recommendations,
- best practices,
- own experience from the exploitation.

Za svaku periodičku aktivnost, primjerice ispitivanje ili inspeksijski pregled, propisuje se:

- periodičnost izvršenja aktivnosti na vremenskoj osnovi,
- datum zadnjeg izvršenja aktivnosti - na osnovi definirane periodičnosti sustav automatski izračunava datum sljedeće provedbe,
- normativi materijala i angažmana zaposlenika koji su potrebni za izvršenje aktivnosti,
- odgovorna osoba za izvršenje aktivnosti,
- uputa ili kontrolna lista sa svim podacima potrebnim za izvršenje određene aktivnosti.

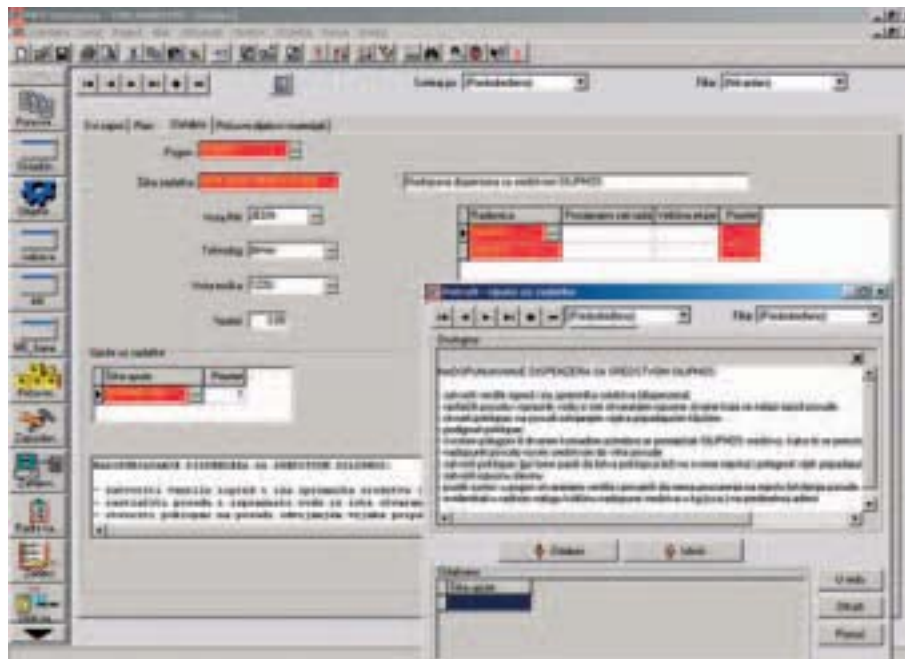
Način na koji su definirani podaci potrebni za izvršenje jedne aktivnosti preventivnog održavanja prikazan je na slici 4. Riječ je o periodičkoj (tromjesečnoj) aktivnosti nadopune sredstava za sprečavanje taloženja kalcijevog karbonata (kamenca) u instalacijama za pripremu potrošne tople vode u toplinskim stanicama HEP Toplinarstva.

For each periodical activity, e.g. testing or inspection, the following is prescribed:

- periodicity,
- date of last performance - on the basis of the periodicity defined the system automatically calculates the date of the next instance,
- material and labour standards,
- person in charge,
- instruction or control list with all the required information.

The manner in which the data required for a single activity of preventive maintenance are defined is shown in Figure 4. The example shows a periodical (quarterly) refill of the agent to prevent the settling of calcium carbonate in installations for the preparation of consumable hot water at heat stations of HEP Heating.

Slika 4
Definiranje potrebnih podataka za izvršenje aktivnosti preventivnog održavanja u programu SUPO
Figure 4
Defining the required data for an activity of preventive maintenance in the MMS software solution



3.2.3 Evidencija kvarova, odnosno zahtjeva za izvršenjem aktivnosti korektivnog održavanja
Program SUPO omogućuje evidenciju kvarova i općenito svih zahtjeva za izvršenjem aktivnosti korektivnog održavanja. Zahtjeve može izravno evidentirati osoblje iz održavanja, osoblje koje upravlja proizvodnjom elektrane (smjena) ili operateri u dispečerskom centru (slučaj HEP Toplinarstva - slika 5).

3.2.3 Record of failures, i.e. requests for corrective maintenance
The MMS software solution enables recording of failures and, generally, any requests for corrective maintenance. Requests may be directly noted by the maintenance staff, the plant operation staff (shift) or the operators at the dispatch centre (in case of HEP Heating - Figure 5).

Slika 6
 Prikaz formata
 radnog naloga iz
 programa SUPO
 Figure 6
 Work order form in
 the MMS

The image shows a screenshot of a 'RADNI NALOG' (Work Order) form. The form is titled 'RADNI NALOG' and contains various fields for data entry, including dates, times, and checkboxes. It is organized into several sections with blue headers. The form is a standard document used for recording maintenance activities in the MMS software.

U elektroenergetskim postrojenjima osobita se pozornost posvećuje provođenju pravila i mjera zaštite na radu. U programu SUPO moguće je definirati potrebne mjere sigurnosti na radu za provedbu aktivnosti održavanja na siguran način. Svi relevantni dokumenti zaštite na radu propisani biltenima HEP-a (Dozvola za rad, Obavijest o završetku radova, Isprava o razgraničenju ovlasti) integrirani su u SUPO te se izdaju i arhiviraju u elektroničkom obliku.

At electric power facilities particular attention is paid to the implementation of the rules and measures of safety at work. In the MMS software it is possible to define the required safety-at-work measures to provide for a safe maintenance activity. All the relevant documents of safety at work prescribed by HEP Bulletins (work clearance, notification of the completion of works, document on the definition of powers) are integrated in the MMS and issued and archived electronically.

3.2.5 Ljudski resursi (radna snaga)

Modul upravljanja zaposlenicima sadrži osobne podatke o svim zaposlenicima pogona, a služi ponajprije za evidenciju osoblja koje se izravno raspoređuje na radne naloge za izvršenje aktivnosti održavanja. Za svakog zaposlenika evidentirana je cijena sata rada čime se omogućuje praćenje komponente troška vlastite radne snage u održavanju. Osim toga, može se izvršiti evidencija osposobljenosti, specijalističkog obrazovanja i ostalih znanja zaposlenika koja su relevantna za održavanje tehničkih sustava.

3.2.5 Human resources (workforce)

The module of human resources contains personal data of all the employees of the facility, and it primarily serves to record the staff to be directly assigned to work orders for maintenance activities. For each employee the hourly cost of work is noted to enable monitoring the component of own labour costs. In addition, records can include information about the training, specialist education and other skills of the employees relevant to the maintenance of technical systems.

3.2.6 Evidencija zaliha rezervnih dijelova i potrošnog materijala, skladišno poslovanje i nabava

Upravljanje zalihama i nabava važni su logistički procesi za obavljanje funkcije održavanja tehničkih sustava, pa su zbog toga i integralni dio informacijskih sustava za podršku upravljanju održavanjem.

3.2.6 Record of spare parts and consumables, warehouse operation and procurement

Managing the inventory and procurement are important logistic processes in the maintenance of technical systems, so they are made part of the IT system for supporting maintenance management.

U segmentu skladišnog poslovanja i upravljanja zalihama program SUPO nudi sljedeće mogućnosti:

- evidenciju zaliha (rezervni dijelovi, komponente, sklopovi, potrošni materijal) - količine, vrijednosti, lokacije,
- definiranje zamjenskih dijelova,
- rezerviranje materijala za radne naloge,
- praćenje skladišnih transakcija (prometa zaliha) i kreiranje svih dokumenata skladišnog poslovanja,
- inventuru (popis zaliha),
- definiranje metode obnove zaliha min/maks ili signalna,
- praćenje iskorištenja zaliha u određenom vremenskom razdoblju,
- praćenje isporuka po dobavljačima,
- ABC analizu zaliha po vrijednosti i korištenju, definiranje ekonomičnih količina narudžbe (ENK),
- primjenu barkod čitača u evidenciji, praćenju prometa i inventuri zaliha.

Na slici 7 prikazana je evidencija zaliha rezervnih dijelova na središnjem skladištu Pogona TE-TO Zagreb za kombi kogeneracijski blok K.

In warehouse operations and inventory management the MMS offers the following options:

- inventory record (spare parts, components, assembly units, consumables) - quantities, values, locations,
- definition of replacements,
- reserving materials for work orders,
- monitoring warehouse transactions (inventory movement) and creating all the documents for warehouse operation,
- inventory (listing the inventory),
- definition of the method for restocking min/max or signal,
- monitoring the utilisation of inventory in a specified period,
- monitoring deliveries by suppliers,
- ABC analysis of the inventory by value and utilisation, definition of economic ordering quantities (EOQ),
- use of a bar code reader in recording, monitoring the movement and taking inventory.

Figure 7 shows a record of spare parts in stock at the central warehouse of TE-TO Zagreb for the combined co-generation K unit.

Naziv zaliha	Jedinica	Količina	Vrijednost	Status
KOMPLET	KOMP	1000	100000	U skladu
KOMPLET	KOMP	500	50000	U skladu
KOMPLET	KOMP	250	25000	U skladu
KOMPLET	KOMP	125	12500	U skladu
KOMPLET	KOMP	62.5	6250	U skladu
KOMPLET	KOMP	31.25	3125	U skladu
KOMPLET	KOMP	15.625	1562.5	U skladu
KOMPLET	KOMP	7.8125	781.25	U skladu
KOMPLET	KOMP	3.90625	390.625	U skladu
KOMPLET	KOMP	1.953125	195.3125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.9765625	97.65625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.48828125	48.828125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.244140625	24.4140625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.1220703125	12.20703125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.06103515625	6.103515625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.030517578125	3.0517578125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0152587890625	1.52587890625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00762939453125	0.762939453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.003814697265625	0.3814697265625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0019073486328125	0.19073486328125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00095367431640625	0.095367431640625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000476837158203125	0.0476837158203125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0002384185791015625	0.02384185791015625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00011920928955078125	0.011920928955078125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000059604644775390625	0.0059604644775390625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000298023223876953125	0.00298023223876953125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00001490116119384765625	0.001490116119384765625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000007450580596923828125	0.0007450580596923828125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000037252902984619140625	0.00037252902984619140625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000186264514923095703125	0.000186264514923095703125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000931322574615478515625	0.0000931322574615478515625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000046566128730773928125	0.000046566128730773928125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000232830643653869640625	0.0000232830643653869640625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000001164153218269348203125	0.00001164153218269348203125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000005820766091346741015625	0.000005820766091346741015625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000029103830456733705078125	0.0000029103830456733705078125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000145519152283668525390625	0.00000145519152283668525390625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000072759576141834262703125	0.00000072759576141834262703125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000363797880709171313515625	0.000000363797880709171313515625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000001818989403545856567890625	0.0000001818989403545856567890625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000009094947017729282839453125	0.00000009094947017729282839453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000045474735088646414177265625	0.000000045474735088646414177265625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000227373675443232070886328125	0.0000000227373675443232070886328125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000001136868377216160354431640625	0.00000001136868377216160354431640625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000568434188608030177165791015625	0.00000000568434188608030177165791015625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000002842170943040150885828955078125	0.000000002842170943040150885828955078125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000142108547152007544292947890625	0.00000000142108547152007544292947890625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000710542735760037721464739453125	0.0000000000710542735760037721464739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000035527136788001886073237165791015625	0.000000000035527136788001886073237165791015625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000001776356839400094303661878955078125	0.000000000001776356839400094303661878955078125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000088817841970004715183093947890625	0.00000000000088817841970004715183093947890625	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000444089209850023575915469739453125	0.000000000000444089209850023575915469739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000222044604925011787957734869739453125	0.000000000000222044604925011787957734869739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000001110223024625058939788694739453125	0.0000000000001110223024625058939788694739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000055511151231252946989434739453125	0.000000000000055511151231252946989434739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000027755575615626473494719739453125	0.000000000000027755575615626473494719739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000013877787807813236735959869739453125	0.000000000000013877787807813236735959869739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000006938893903906618367979934869739453125	0.000000000000006938893903906618367979934869739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000346944695195330919899496739453125	0.00000000000000346944695195330919899496739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000001734723475976654599498369739453125	0.000000000000001734723475976654599498369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000867361737988327299749169739453125	0.000000000000000867361737988327299749169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000043368086899416364987458369739453125	0.00000000000000043368086899416364987458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000021684043449708181993729169739453125	0.00000000000000021684043449708181993729169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000001084202172485409098636458369739453125	0.0000000000000001084202172485409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000005421010862427045493181829169739453125	0.00000000000000005421010862427045493181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000002710505431213522746591409098636458369739453125	0.00000000000000002710505431213522746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000013552527156067613732957045493181829169739453125	0.000000000000000013552527156067613732957045493181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000006776263578033806866477272746591409098636458369739453125	0.000000000000000006776263578033806866477272746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000003388131789016903433238636458369739453125	0.000000000000000003388131789016903433238636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000000016940658945084517166193181829169739453125	0.0000000000000000016940658945084517166193181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000000847032947254225858309591409098636458369739453125	0.000000000000000000847032947254225858309591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000000004235164736271129291477272746591409098636458369739453125	0.0000000000000000004235164736271129291477272746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000021175823681355646464591409098636458369739453125	0.00000000000000000021175823681355646464591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000010587911840677723222746591409098636458369739453125	0.00000000000000000010587911840677723222746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000000000529395592033886111113732957045493181829169739453125	0.0000000000000000000529395592033886111113732957045493181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000002646977960169430555636458369739453125	0.00000000000000000002646977960169430555636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000000013234889800847152778181829169739453125	0.000000000000000000013234889800847152778181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000661744490042357638909098636458369739453125	0.00000000000000000000661744490042357638909098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000330872245021178694495493181829169739453125	0.00000000000000000000330872245021178694495493181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000000001654361225105892237322746591409098636458369739453125	0.000000000000000000001654361225105892237322746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000082718061252529611366193181829169739453125	0.00000000000000000000082718061252529611366193181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000000000413590306262648056809591409098636458369739453125	0.000000000000000000000413590306262648056809591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000020679515313132402840477272746591409098636458369739453125	0.00000000000000000000020679515313132402840477272746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000000000103397576565662014220181829169739453125	0.000000000000000000000103397576565662014220181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000005169878828283100711109098636458369739453125	0.00000000000000000000005169878828283100711109098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.000000000000000000000025849394141415035545493181829169739453125	0.000000000000000000000025849394141415035545493181829169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000001292469707070751777272746591409098636458369739453125	0.00000000000000000000001292469707070751777272746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000000646234853535375888636458369739453125	0.00000000000000000000000646234853535375888636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000000000000032311742676768794429169739453125	0.0000000000000000000000032311742676768794429169739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.00000000000000000000000161558713383393972246591409098636458369739453125	0.00000000000000000000000161558713383393972246591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000000000000008077935669169698611227272746591409098636458369739453125	0.0000000000000000000000008077935669169698611227272746591409098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000000000000004038967834584980556111109098636458369739453125	0.0000000000000000000000004038967834584980556111109098636458369739453125	U skladu
KOMPLET	KOMP	0.0000000000000000000000002019483917292490277809098636458369739453125	0.0000000000	

Važno je spomenuti da sustav ima mogućnost odobravanja predmeta nabave (autorizaciju) elektroničkim putem osobama koje su u organizacijskoj strukturi pogona za to nominirane. Sustav autorizacije može se namjestiti prema vrijednosti predmeta nabave (na primjer, osoba A ovlaštena je odobravati predmete do 20 000 kn, osoba B do 200 000 kn itd.).

Osim navedenih, u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu primjenjuju se još i moduli programa SUPO - materijalno knjigovodstvo i upravljanje dokumentacijom.

3.3 Model primjene i funkcioniranja programa SUPO

Program SUPO je projektiran u skladu s modernim informatičkim tehnologijama na platformi relacijske baze podataka Oracle. Implementacija programa SUPO provedena je standardnom metodologijom implementacije informacijskih sustava.

Za svaki od proizvodnih pogona termoelektrana formirane su zasebne baze podataka, dok su za proizvodna područja hidroelektrana baze podataka zajedničke. Isto se odnosi i na pogone HEP Toplinarstva. Baze podataka programa SUPO instalirane su na poslužiteljima lociranim u datacentrima Sektora za poslovnu informatiku u Zagrebu, Rijeci, Osijeku i Splitu.

Model pristupa programu SUPO u skladu je sa standardnim pravilima sigurnosne politike u primjeni informacijskih sustava (prijava, autorizacija, zaštita podataka).

Pristup pojedinim modulima, ovlasti za pregled, izmjenu ili brisanje podataka temelje se na modelu tzv. korisničkih uloga koje su definirane uzimajući u obzir vrijedeću sistematizaciju radnih mjesta, organizacijske sheme pogona te ovlasti i zaduženja korisnika u procesima podržanim primjenom programa SUPO.

Program SUPO integriran je u poslovni informacijski sustav HEP-a radi održavanja konzistentnosti i točnosti definicijskih (matičnih) šifarnika u poslovanju HEP-a te izbjegavanja višestrukog unosa podataka. Povezivanje i integracija programa SUPO ostvareni su izradom sučelja (interface) s poslovnim aplikacijama namijenjenim podršci upravljanju poslovanja HEP-a u djelokrugu financijskog knjigovodstva, planiranja i evidencija nabave, kadrovske evidencije itd.

It is important to note that the system has the possibility of online authorisation of procurement for appropriate roles in the organisational structure of the facility. The system of authorisation may be adjusted according to the subject of procurement (example: person A is authorised to approve procurements of up to HRK 20 000; person B up to HRK 200 000 etc.).

In addition, HEP Generation and HEP Heating are also using MMS modules for material accounting and file management.

3.3 Model of MMS implementation and functioning

MMS is designed in accordance with modern information technologies on the platform of the relation database of Oracle. The implementation of the MMS was standard methodology for IT systems.

For each thermoelectric power plant separate databases were created, whereas for the generation areas of hydroelectric power plants there are joint databases. The same applies to the plants of HEP Heating. MMS databases are installed on the servers located at the data centres of the Business IT Sector in Zagreb, Rijeka, Osijek and Split.

The model of the access to the MMS software is in accordance with the standard rules of the policy of security in the use of IT systems (logging on, authorisation, data protection).

Access to individual modules, authorisation to view, modify or delete data, is based on the model of the so-called user roles which are defined by taking into account the relevant systematisation of jobs, organisational schedules of the facility, and the powers and responsibilities of users in the processes supported by the MMS software.

The MMS software is integrated into the corporate IT system of HEP with a view to maintaining consistency and accuracy of definition of (master) code lists in the operation of HEP and to avoiding multiple data entry. The connection and integration of the MMS software was accomplished by setting up an interface with business applications to support HEP operations management in the sphere of financial accounting, planning and recording procurement, HR records etc.

4 ULOGA INFORMACIJSKIH SUSTAVA ZA PODRŠKU UPRAVLJANJU ODRŽAVANJEM U VOĐENJU POSLOVANJA ELEKTROPRIVREDNE TVRTKE

Uvođenjem informacijskih sustava postižu se kvalitetni pomoci u cjelokupnoj organizaciji i upravljanju poslovima održavanja s tehničkog stajališta, a također ostvaruju preduvjeti za postizanje znatnih ušteda i smanjenja troškova, osobito po osnovi pronalaženja optimalne strategije održavanja te politike upravljanja zalihama i nabavom robe i usluga.

4.1 Strategija upravljanja održavanjem

U svijetu se u vezi s pristupom održavanju elektrana primjenjuje nekoliko filozofija, a zatim i strategija održavanja:

- japanski pristup - najbolje se odražava izrazom "kvarovi na bazi nula" pri čemu se povećanim opsegom preventivnog održavanja nastoji postotak neplaniranih zastoja svesti na najmanju moguću mjeru,
- američki pristup - tolerira visoki postotak neplaniranih zastoja (sintagma "radi dok ne otkaže") uz nešto manji opseg planiranog preventivnog održavanja [14]. Ovakav pristup u velikoj je mjeri određen komercijalnim uvjetima na američkom tržištu električne energije. Američke elektroprivredne tvrtke ne ulažu velika sredstva u produljenje životnog vijeka konvencionalnih elektrana, nego vodeći se logikom ekonomske opravdanosti, povećanje potrošnje električne energije rješavaju izgradnjom novih proizvodnih jedinica jer se ona stimulira poreznim olakšicama,
- zapadnoeuropski pristup - predstavlja sredinu između ova dva pristupa. Glavna odlika ovog pristupa očituje se u "brizi za tehničke sustave" koja se provodi ulaganjem znatnih sredstava u remonte postrojenja u planiranim zastojima. Tijekom remonata utvrđuje se stanje opreme i donosi odluka o njezinom popravku ili zamjeni ako se pokaže da ne udovoljava propisanim kriterijima prihvatljivosti.

Na pitanje koji je pristup najbolji odgovor nije jednoznačan. Promatranjem spomenutih filozofija može se uočiti da odražavaju gospodarska, pa i kulturološka obilježja spomenutih dijelova svijeta, lako vidljiva i u svakodnevnom životu.

Idealnom filozofijom održavanja mogla bi se proglasiti ona kojom će se postići planirana ili ciljana raspoloživost elektrane uz minimalne troškove, što će proizaći iz izbora optimalnih

4 ROLE OF IT SYSTEMS IN SUPPORTING MAINTENANCE MANAGEMENT ACROSS THE OPERATION OF POWER UTILITY

Introducing IT systems gives rise to quality improvement across the organisation and technical maintenance, and creates conditions for substantial savings and cost reduction, particularly by devising the optimum maintenance strategy and the management policy for the inventory and the procurement of goods and services.

4.1 Maintenance management strategy

Globally, there are several approaches to power plant maintenance, resulting in several maintenance strategies:

- Japanese approach - best expressed by the motto „zero failure”, a more intensive preventive maintenance in an attempt to minimise contingent downtimes,
- U.S. approach - tolerates high percentage of contingent downtime (“work until it breaks”) with a somewhat smaller scope of scheduled preventive maintenance [14]. Such an approach is to a great extent determined by the commercial conditions on the U.S. electricity market. U.S. power utilities do not invest very much in extending the life cycle of conventional power plants, but guided by the logic of economic justification they deal with the increasing consumption of electricity by constructing new generation units, this being encouraged by tax exemptions,
- West European approach - a middle way between these two approaches. The main characteristic of this approach is expressed by the motto “technical systems care” realised through considerable investment in facility overhauls during scheduled downtimes. During the overhaul the condition of the equipment is inspected and a decision taken regarding its repair or replacement if it proves not to meet the prescribed requirements of acceptability.

There is no simple answer to the question of which approach is the best. In observing the approaches mentioned above it is apparent that they reflect the economic and even cultural characteristics of the parts of the world involved.

An ideal maintenance approach could be the one that will achieve the planned or targeted availability of the power plant at a minimum cost, which will result from the choice of the optimum ratio between preventive and corrective maintenance and modification of facilities.

omjera preventivnog i korektivnog održavanja te modifikacija postrojenja.

U HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu teži se primjeni zapadnoeuropskog pristupa, s tim da u obzir treba uzeti činjenicu da je većina elektrana u pogonu između 30 i 40 godina. Povećanim ulaganjem u zamjene, rekonstrukcije i modifikacije postrojenja nastoji se produljiti životni vijek HEP-ovih elektrana, a pokrenut je i novi investicijski ciklus koji će rezultirati gradnjom novih proizvodnih kapaciteta.

Strategija, odnosno pristup ili koncepcija održavanja proizlazi iz filozofije održavanja. U svijetu je tijekom godina, usporedno s razvojem tehničkih sustava, utemeljeno više koncepcija održavanja [3]. Iako se u praksi mogu pronaći svi koncepti, pa čak i njihove kombinacije, pojednostavljeno gledajući može se reći da su u elektranama prisutna tri tipa održavanja, i to:

- preventivno održavanje koje se obavlja u unaprijed definiranim intervalima kako bi se spriječila pojava kvarova u tijeku eksploatacije
- preventivno održavanje obuhvaća održavanje prema vremenskim ciklusima, održavanje po stanju i održavanje predviđanjem,
- korektivno održavanje koje se provodi nakon što je došlo do pojave kvara, a cilj mu je vraćanje tehničkog sustava u funkcionalno stanje,
- modifikacije postrojenja su zahvati koji se obavljaju na postrojenju radi poboljšanja funkcionalnosti opreme te povećanja raspoloživosti postrojenja. Modifikacijama se u osnovi nastoje izvršiti izmjene projektiranih rješenja koja se u eksploataciji postrojenja nisu pokazala zadovoljavajućima. Pri razmatranju potrebe i koristi izvođenja modifikacije, osim tehničkog aspekta, potrebno je u obzir uzeti i financijski, provođenjem analize isplativosti (Cost Benefit Analysis).

Izbor strategije održavanja ovisi i o tome u kojoj je fazi životnog vijeka elektrana. U početnoj fazi životnog vijeka treba prepoznati i rješavati tzv. dječje bolesti. Istodobno treba razraditi i uspostaviti program preventivnog održavanja i dosljedno ga provoditi. Na onim tipovima opreme gdje su primjenjive treba težiti maksimalnoj primjeni tehnika održavanja predviđanjem. Najčešće i u praksi prokušane tehnike održavanja predviđanjem jesu:

- mjerenje radnih parametara - temperatura, tlak, protok i sl.,
- mjerenje vibracija rotirajućih strojeva,
- ultrazvučna i akustična ispitivanja,
- infracrvena termografija,

HEP Generation and HEP Heating generally lean towards the West European approach, but here one needs to take into account the fact that most of its power plants have been operating for 30-40 years now. By increased investment in the replacement, reconstruction and modification of facilities HEP is attempting to extend the life cycle of its power plants, and a new investment cycle has been started that should result in the construction of new generation capacities.

The strategy i.e. approach or concept of maintenance follows from the very philosophy of maintenance. Throughout the years, the world has, simultaneously with the development of technical systems, seen several maintenance concepts [3]. Although in practice all these concepts can be found, or even combinations of them, to keep it simple, there are three types of maintenance in power plants:

- preventive maintenance at predefined intervals with a view to preventing the occurrence of failures during exploitation - preventive maintenance includes maintenance in time cycles, maintenance related to condition, and maintenance by anticipation,
- corrective maintenance is conducted when a failure has occurred, with a view to returning the technical system back to its operating condition,
- modifications of facilities are interventions in the facility with a view to improving the functionality of equipment and the availability of the facility. Modifications basically attempt to accomplish changes in the solutions designed which have not proved satisfactory in exploitation. In considering the need for and the benefit from modification, it is necessary, in addition to the technical aspect, to take into account the financial aspect, too, by conducting a Cost-Benefit Analysis.

The choice of strategy also depends on the phase in the life cycle of the power plant. In the initial phase of the life cycle, infant mortality failures need to be eliminated. Simultaneously, the schedule for preventive maintenance needs to be developed and introduced and consistently implemented. Maximum use of maintenance techniques needs to be anticipated for the type of equipment where such techniques are applicable. The most usual and practically proved maintenance techniques implemented by way of anticipation are:

- measurement of working parameters - temperature, pressure, flow etc.,
- measurement of vibrations of rotating machinery,
- ultrasound and acoustic testing,

- nerazorna ispitivanja materijala (ultrazvukom, vrtložnim strujama, magnetskim česticama, tekućim penetrantima itd.),
- podmazivanje,
- analiza maziva,
- tehnike preciznog održavanja (centriranje osovine, uravnoteženje rotirajućih masa itd.).
- IR thermography,
- non-invasive material testing (ultrasound, eddy currents, magnetic particles, liquid penetrants etc.),
- lubrication,
- analysis of lubricants,
- accurate maintenance techniques (centring axles, balancing rotating masses etc.).

Na dijelovima postrojenja gdje tehnike održavanja predviđanjem nisu primjenjive potrebno je provoditi preventivno održavanje prema vremenskim ciklusima. Osim toga, preporučljivo je iskoristiti svaku priliku, primjerice neplanirani zastoj ili bilo koji trenutak kad je elektrana izvan pogona za pregled i praćenje stanja vitalne opreme. Takvim se pristupom pokazuje briga o postrojenju i stječe uvid o njezinom "zdravlju", što je ključni parametar u planiranju opsega, učestalosti izvođenja te eventualnom produljenju intervala između redovitih remonata.

Takva strategija održavanja po karakteru je dinamička i usmjerena je na upravljanje procesom održavanja, a ne samo njegovom provođenju. Ovaj je pristup u skladu s najboljom svjetskom praksom (Best Practices) održavanja tehničkih sustava i njegova bi primjena trebala rezultirati postizanjem optimalne raspoloživosti elektrane, kao što je prikazano u tablici 1.

In the sections of facilities where maintenance techniques by anticipation are not applicable, it is necessary to conduct preventive maintenance in intervals. In addition, it is recommendable to use any opportunity, such as an unforeseen downtime or any moment when the plant is not operating, to inspect and monitor the condition of the vital equipment. Such an approach enables care of the facility and provides insight into its "health", which is the key parameter in planning the scope, frequency and possible extension of intervals between overhauls.

Such a strategy of maintenance is dynamic in its character and focused on the process of maintenance management, not just on its implementation. This approach is in accordance with the world's best practices in maintaining technical systems, and its implementation should result in reaching the optimum availability of the power plant, as shown in Table 1.

Tablica 1 - Omjeri preventivnog i korektivnog održavanja te modifikacija postrojenja u funkciji postizanja optimalne raspoloživosti elektrane
Table 1 - Ratios of preventive and corrective maintenance and modification of facility with a view to achieving the optimum availability of the power plant

Korektivno održavanje Corrective maintenance	Preventivno održavanje Preventive maintenance	Modifikacije postrojenja Modification of facility	Raspoloživost Availability
30 %	60 %	10 %	80 % - 95 %

Vrijednosti prikazane u tablici 1 predstavljaju ujedno i kriterije za provođenje benchmarkinga procesa održavanja koji će ulaskom na otvoreno tržište i za HEP-ove elektrane postati osobito važan.

Uloga programa SUPO u cjelokupnom procesu koji obuhvaća definiranje strategije održavanja, podrške njezinoj realizaciji i analizi rezultata primjene nezaobilazna je. Analizom podataka sadržanih u informacijskom sustavu najbrže se uspostavlja povratna veza, odnosno utvrđuje efekt primjene strategije održavanja i dobivaju podaci potrebni za provođenje mogućih korekcija.

The values shown in Table 1 also reveal the criteria for the maintenance benchmarking process which will become particularly important for HEP's power plants, too, with their appearance on the open market.

The role of the MMS solution in the entire process spanning the definition of the maintenance strategy, the support for its realisation and the analysis of the implementation results is unavoidable. An analysis of the data contained in the IT system is the quickest way to establish a feedback, or the effect of the implementation of the maintenance strategy, and to obtain the data necessary for the implementation of possible corrections.

4.2 Praćenje i analiza kvarova

Proces eksploatacije tehničkih sustava neizbježno dovodi do pojave oštećenja, kvarova i posljedično do neplaniranih zastoja. S razvojem tehničkih sustava pojavila se potreba prikupljanja, sistematizacije i analize podataka o njima. Kako je opisano u prethodnom poglavlju, korektivno održavanje radi otklanjanja kvarova važna je sastavnica strategije održavanja.

Uloga programa SUPO je da na temelju pregleda i analize evidentiranih kvarova ukaže na "slabe točke" u postrojenju. Očito je da prva mjera za otklanjanje takvih mjesta može biti povećanje opsega preventivnog održavanja ili, ako se to pokaže opravdanim, provođenje modifikacije postrojenja. Prije povlačenja bilo kojeg poteza potrebno je usredotočiti se na utvrđivanje frekvencije pojave kvarova i njihova uzroka.

U teoriji održavanja primjenjuje se nekoliko pristupa i teorija predviđanja pojave i intenziteta kvarova. Jedna od njih zasniva se na teoriji pouzdanosti. Pouzdanost možemo definirati kao vjerojatnost da element funkcionira bez kvarova određeno vrijeme (t) u određenim uvjetima okoline.

Pritom se polazi od činjenice da ponašanje tehničkih sustava u eksploataciji, odnosno pojava kvara tijekom vremena predstavlja stohastički (slučajan) proces, čija se pojava sa sigurnošću ne može predvidjeti. Budući da su karakteristike ovih procesa slučajno promjenjive veličine, proizlazi da se i obrada raspoloživih podataka zasniva na teorijama vjerojatnosti i matematičke statistike.

Jedan od pokazatelja pouzdanosti koji opisuje intenzitet pojave kvarova, a koristi se kod popravljivih uređaja i sustava, je srednje vrijeme između pojave kvarova - SVIK (Mean Time Between Failure - MTBF).

Ako se promatra samo jedan uređaj, srednje se vrijeme rada računa prema izrazu [4]:

$$T_{sr} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i \quad (1)$$

gdje je: t - vrijeme rada između $(i-1)$ i i -tog kvara,
 k - ukupan broj kvarova tijekom vremena promatranja.

Program SUPO automatski izvršava izračun srednjeg vremena između kvara na temelju podataka o evidentiranim kvarovima. Na temelju

4.2 Failure monitoring and analysis

The process of exploitation of technical systems unavoidably leads to the occurrence of damage, breakdowns and, consequently, to unforeseen downtime. With the development of technical systems there arose the need to collect, systematise and analyse their data. As described in the preceding section, corrective maintenance for the purpose of eliminating failures is an important component of the maintenance strategy.

The role of the MMS solution is to indicate, by way of inspection and analysis of the failure observed, the weaknesses of the facility. It is evident that the first measure for eliminating such weaknesses can be an increase in the scope of preventive maintenance or, if applicable, a modification of the facility. Prior to making any move, it is necessary to focus on establishing the failure rate and the causes of failures.

In maintenance theory there are several approaches and methods for predicting the occurrence and failure rate. One of them is based on the concept of reliability. Reliability may be defined as a probability that an element will function without failure for a particular time (t) under particular external conditions.

The starting point in this is the fact that the behaviour of technical systems during exploitation, i.e. the occurrence of failure over a period of time, is a stochastic (random) process whose occurrence cannot be predicted with certainty. The characteristics of such processes being randomly variable values, it follows that the processing of available data is also based on the theories of probability and mathematical statistics.

One of the indicators of reliability describing the failure rate, applied in repairable devices and systems, is Mean Time Between Failure - MTBF.

If we take one device only, the mean time of operation is calculated according to expression [4]:

whereas: t - time between failures $(i-1)$ and i ,
 k - total number of failures during the period of observation.

MMS solution automatically calculates MTBF on the basis of the data on the failures observed. On the basis of MTBF and other relevant parameters

SVIK-a i ostalih relevantnih parametara treba razmotriti i po potrebi redefinirati strategiju održavanja promatrane opreme.

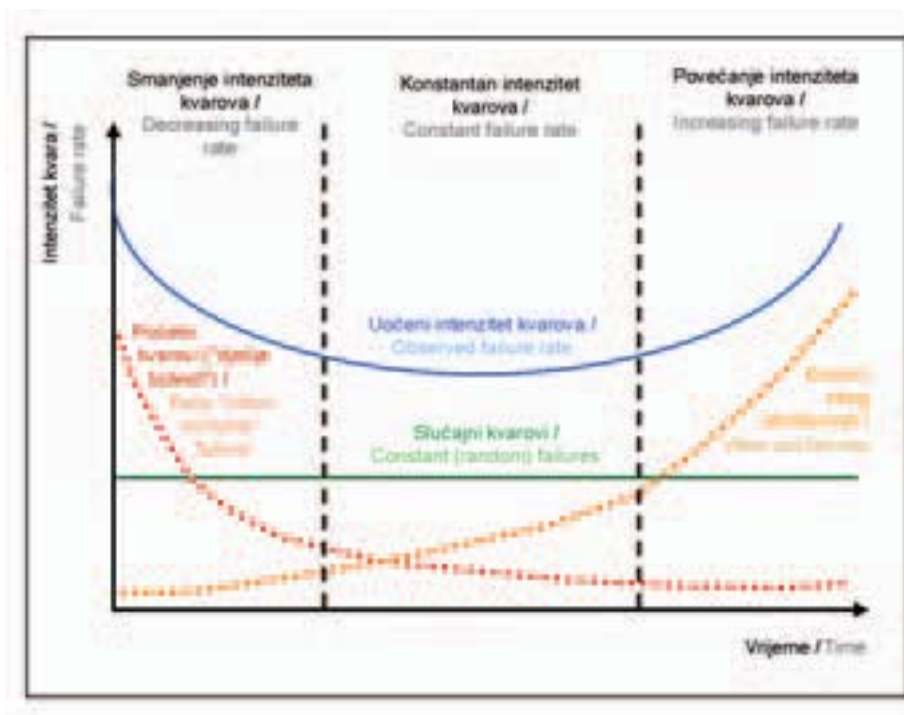
U praksi se pokazalo da su izračun i analiza SVIK-a prikladni za jednostavne sustave i komponente gdje se može krenuti od pretpostavke da je vjerojatnost pojave kvarova konstantna tijekom eksploatacije. U tom slučaju, prosječni intenzitet pojave kvarova bio bi jednak intenzitetu kvarova bilo u kojem trenutku ili konstantan. Ovaj scenarij korespondira s onim koji je poznat kao eksponencijalna distribucija, gdje je srednja vrijednost jednaka prosječnoj vrijednosti intenziteta kvarova.

Za kompleksnije sustave i komponente intenzitet kvarova može se mijenjati tijekom vremena. Polazeći od takvog pristupa, kvarovi tehničkih sustava dijele se na rane ili početne, slučajne te vremenske ili kvarove uzrokovane starenjem. Ova podjela kvarova prikazana je krivuljom mortaliteta koja je poznata i kao krivulja u obliku kade (Bathtub). Krivulja prikazana na slici 8 slikovito predočuje karakter i intenzitet pojave kvarova u ovisnosti o vremenu, odnosno životnom vijeku tehničkog sustava. Većina HEP-ovih elektrana i centralizirani toplinski sustavi nalaze se u fazi životnog vijeka koji se može locirati na desnoj strani osi (vrijeme), što na dijagramu odgovara području koje američki stručnjaci u održavanju nazivaju "penjanje iz kade".

the maintenance strategy for the equipment under scrutiny needs to be reconsidered and redefined if necessary.

Practice showed that the calculation and analysis of MTBF is appropriate for simple systems and components where it is possible to start from the assumption that the probability of failure occurring remains constant throughout the exploitation. In such a case, an average failure rate would be equal to the failure rate in any interval, or constant. This scenario corresponds with the one known as exponential distribution, where the mean value equals the average value of failure rate.

In more complex systems and components failure rate may vary with time. Starting from such an approach, failures of technical systems are divided into early or initial, random, and time failures or the failures caused by ageing. This division of failures is represented by a mortality curve also known as the bathtub curve. The curve in Figure 8 shows the character and failure rate depending on the time i.e. life cycle of the technical system. Most HEP's power plants and centralised heat systems are in the phase of their life cycle that can be located on the right side of axis x (time), which in the diagram corresponds with the area which U.S. maintenance experts term "Wearout Failure Period".



Slika 8
Krivulja mortaliteta (Bathtub - krivulja u obliku kade) s podjelom vrsta kvarova [5]
Figure 8
Bathtub curve with a division of failure types [5]

Prije opisane razlike u pristupu promatranju kvarova posebno su dolazile do izražaja s povećanjem složenosti tehničkih sustava i najprije su se pokazale u avionskoj industriji gdje se na temelju podataka o izračunu srednjeg vremena između kvarova nije mogao kontrolirati intenzitet njihove pojave. Razlog je što se izračun SVIK temelji na statističkim podacima o kvarovima iz prošlosti, dok nedovoljno uzima u obzir moguću pojavu kvarova u budućnosti zbog starenja komponenata tijekom njihova životnog vijeka.

Spomenute činjenice rezultirale su razvojem novih pristupa i strategija održavanja složenih tehničkih sustava gdje se mogu ubrojiti i objekti za proizvodnju električne energije. Jedan od njih, tzv. održavanje usmjereno na pouzdanost (Reliability Centred Maintenance - RCM), očituje se u tome da se na smanjenje intenziteta pojave kvarova može utjecati već u fazi izrade projekta, izborom odgovarajućih tehničkih rješenja. Na ovaj način definiranje strategije održavanja pomaknuto je već u fazu projektiranja tehničkog sustava. Ostali čimbenici RCM-a su rukovatelji ili osoblje koje upravlja proizvodnjom elektrane te održavatelji tehničkih sustava. Njihova je uloga da primjenom stručnog znanja i prikupljenih podataka tijekom praćenja sustava u eksploataciji, kao i redovitim remontima utječu na rano prepoznavanje funkcionalnih grešaka koje mogu dovesti do pojave kvarova [6].

Takva strategija podrazumijeva maksimalnu primjenu tehnika održavanja predviđanjem kojima se na temelju praćenja stanja i parametara sustava može utjecati na rano otkrivanje potencijalnih kvarova u kombinaciji s preventivnim održavanjem prema vremenskim intervalima i periodičkim remontima, kako je opisano u poglavlju 4.1.

U programu SUPO moguća je, osim same evidencije, i analiza uzroka pojave kvarova, uz uvjet da su prethodno klasificirani po tipovima. Općenito govoreći, uzrok kvarova mogu biti greške izazvane skrivenim defektima materijala ili komponenata, starenje komponente koje nepovoljno utječe na njezina svojstva i projektiranu funkciju te nepravilna uporaba ili nepravodobno preventivno održavanje komponente, a isto tako i nepravilni radni parametri ili režimi eksploatacije kao vanjski uzrok kvara.

4.3 Upravljanje zalihama

Upravljanje zalihama svakako je jedan od najvažnijih logističkih procesa u održavanju tehničkih sustava. Problematika pronalaženja optimalne politike upravljanja zalihama vrlo je složena i ovisi o raznim faktorima kao što su

The above-mentioned differences in the approaches to failure observation were particularly noticeable with the increasing complexity of technical systems, and they first surfaced in the aircraft industry where it was not possible to control the failure rate on the basis of the information derived from the calculation of MTBF. The reason for this was that MTBF is based on statistical data on failures from the past and is inadequately accounting for a possible occurrence of failures in the future due to the ageing of components during their life cycle.

This resulted in the development of new approaches to and maintenance strategies for complex technical systems to which electric power generation facilities belong. One of them, the so-called Reliability Centred Maintenance (RCM), is characterised by the possibility of reducing the failure rate already in the phase of design through a selection of appropriate technical solutions. This way defining the maintenance strategy is shifted to the phase of design of a technical system. Other RCM factors are operators or the staff managing the generation at a power plant and maintaining technical systems. Their role is to use the expertise and the data collected in the course of monitoring the system during its operation, as well as regular overhauls, to effect an early recognition of functional errors that can lead to failures [6].

Such a strategy includes a maximum implementation of anticipated maintenance techniques that make it possible, on the basis of monitoring the status and parameters of the system, to early detect potential failures in combination with preventive interval maintenance and periodical overhauls, as described in section 4.1.

In the MMS solution it is possible to both record and analyse the causes of failures, provided that they have been categorised by type first. Generally, the causes of failures may come from hidden defects of the material or components, the ageing of a component which affects its characteristics and designed function, and the incorrect use or a preventive maintenance of the component which is not performed in a timely manner, as well as irregular working parameters or exploitation regimes as the external causes of failures.

4.3 Inventory management

Inventory management is by all means one of the most important logistic processes in maintaining technical systems. The issue of devising an optimum inventory management policy is very complex and it depends on various factors such as unpredictability of demand, supply and delivery deadlines, multitude of items etc.

nepredvidljivost potražnje zaliha, rokovi dobave i isporuke, velik broj artikala itd.

Procjena potražnje za određenim zalihama ključni je čimbenik u politici određivanja zaliha i formiranju narudžbi. Poslovni proces održavanja u objektima za proizvodnju električne energije karakterizira model tzv. neovisne potražnje zaliha, pri čemu je u ukupnim zalihama dominantan udjel rezervnih dijelova namijenjenih za zamjenu neispravnih komponenti tehničkih sustava. Za model neovisne potražnje zaliha svojstven je pristup upravljanja zalihama koji se zasniva na filozofiji nadopunjavanja, što znači da se zalihe nakon njihova smanjenja odmah nadopunjavaju kako bi se osigurala njihova dovoljna raspoloživost za odvijanje poslovnog procesa, u ovom slučaju održavanja. U praksi su prisutni razni modeli koji se upotrebljavaju za nadopunjavanje zaliha, od kojih je najpoznatiji model ekonomične količine narudžbi (EKN) kojim se pokazuje odnos između cijene nabave i čuvanja zaliha [7]. Ideja ovog pristupa je izvršiti optimizaciju nabavnih količina tako da ukupni troškovi realizacije narudžbe i troškova čuvanja zaliha budu najmanji, a da se ne pojavi manjak artikala na skladištu.

Program SUPO omogućuje izračun ekonomičnih količina narudžbi na temelju podataka o povijesti korištenja, odnosno potrebama za određenim artiklom. Pritom algoritam za izračun EKN koristi sljedeće varijable:

- prosječnu količinu potreba za artiklom u jednoj godini - vrijednost bazirana na temelju ukupno korištenoj količini artikla tijekom promatranog vremenskog razdoblja - pretpostavlja se da je potreba za artiklom konstantna tijekom godine,
- prosječnu cijenu koštanja artikla,
- broj narudžbi artikla tijekom jedne godine,
- ukupnu korišteni količinu artikla u promatranom vremenskom razdoblju,
- troškove čuvanja artikla na zalihama - cijenu skladištenja,
- troškove realizacije narudžbe - uključuju administrativne troškove pripreme narudžbe i cjelokupnog procesa nabave te obrade računa za isporučeni artikl.

Izračun EKN može se prikazati sljedećim izrazom koji se izvodi traženjem ekstrema funkcije troškova po nabavnoj količini:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot D}{h}}$$

(2)

The estimate of demand for a particular inventory is the key factor of the policy of determining inventory and creating orders. The business process of maintenance at the facilities for the generation of electricity is characterised by the model of the so-called independent inventory demand where the share of spare parts for the replacement of broken components of technical systems is dominant in inventory total. The independent demand model is characterised by the approach to inventory management that is based on the philosophy of restocking, which means that supplies are restocked as they are being used, to ensure their adequate availability for running the business process, in this case maintenance. In practice there are various models used to restock, the best known being the model of economic procurement quantities (EPQ) showing the relation between the cost of purchase and keeping inventory [7]. The notion of this approach is to optimise procurement quantities to keep the total cost of order realisation and the cost of keeping inventory at the minimum without experiencing a warehouse shortage.

The MMS solution enables a calculation of an economic number of orders on the basis of the information about the history of usage, i.e. the need for a particular item. The algorithm for the calculation of EPQ uses the following variables:

- average number of requests for an item in one year - value based on the total number of items used in the period observed - under the assumption of constant demand for the item throughout the year,
- average cost of item,
- number of orders in one year,
- total unused number of articles in the period observed,
- cost of keeping the item in stock - cost of inventory,
- cost of the realisation of the order - including administrative costs of preparing the order and of the entire process of procurement and processing the invoice for the item delivered.

EPQ calculation can be represented by the following expression in search of the extreme of the function of cost per procured quantity:

gdje je: K - fiksni trošak realizacije jedne narudžbe,
 h - cijena skladištenja,
 D - vrijednost dobivena iz izraza $Q=T \cdot D$ u kojem T predstavlja nabavni ciklus (vrijeme između dviju obnova zaliha), a Q prosječnu razinu zaliha za koju je pretpostavljeno da je konstantna u određenom vremenskom razdoblju.

Osim prethodno opisane metode EKN koja je usmjerena na optimizaciju nabavnih količina, u troškovnom upravljanju i smanjenju zaliha u praksi korisnima su se pokazale još neke tehnike. Jedna od njih je ABC analiza koja je poznata i pod imenom Pareto analiza. Namijenjena je klasifikaciji i dodjeljivanju prioriteta artiklima na skladištu prema njihovoj relativnoj važnosti koja se očituje u:

- udjelu ili postotku kojim vrijednost pojedinog artikla pridonosi ukupnoj vrijednosti zaliha,
- udjelu ili postotku kojim vrijednost utroška (promet) pojedinog artikla pridonosi ukupnoj vrijednosti utrošenih (prometu) zaliha u promatranom vremenskom razdoblju.

Ako se usredotoči na analizu vrijednosti zaliha, artikli se mogu svrstavati u tri kategorije:

- kategorija A - artikli koji svojom vrijednošću čine 80 % vrijednosti zaliha,
- kategorija B - artikli koji svojom vrijednošću čine 15 % vrijednosti zaliha,
- kategorija C - artikli koji svojom vrijednošću čine 5 % vrijednosti zaliha.

U praksi je dokazano da otprilike 20 % artikala na skladištu tvori kategoriju A te bi se smanjenjem njihovih zaliha u najvećoj mjeri moglo utjecati na smanjenje ukupne vrijednosti zaliha. Ovo se pravilo u praksi često naziva pravilo 80/20. Temeljitom analizom kategorije A treba selektirati artikle čije se zalihe mogu smanjiti i držati na niskoj razini bez većih posljedica za odvijanje procesa održavanja. To mogu biti artikli čiji su rokovi dobave i isporuke kratki te nema opravdanosti stvaranja velikih zaliha.

Ako se rezultati provedene analize prikažu u obliku dijagrama gdje je na osi y ukupna vrijednost zaliha, a na osi artikli na zalihi, dobije se tipična Pareto krivulja prikazana na slici 9. Krivulja se može razlikovati od slučaja do slučaja, ali joj je oblik uvijek tipičan.

whereas: K - fixed cost or realisation of one order,
 h - inventory cost,
 D - value obtained from the expression $Q=T \cdot D$, where T is procurement cycle (interval between two inventory renewals) and Q is average inventory level assumed to remain constant throughout a particular period.

In addition to the EPQ method described above which is focused on the optimisation of procurement effects, some other techniques have proved useful in cost management and down-scaling inventory. One of them is the ABC analysis also known as the Pareto analysis. It serves to categorise and allocate priorities to inventory items according to their relative relevance reflected in:

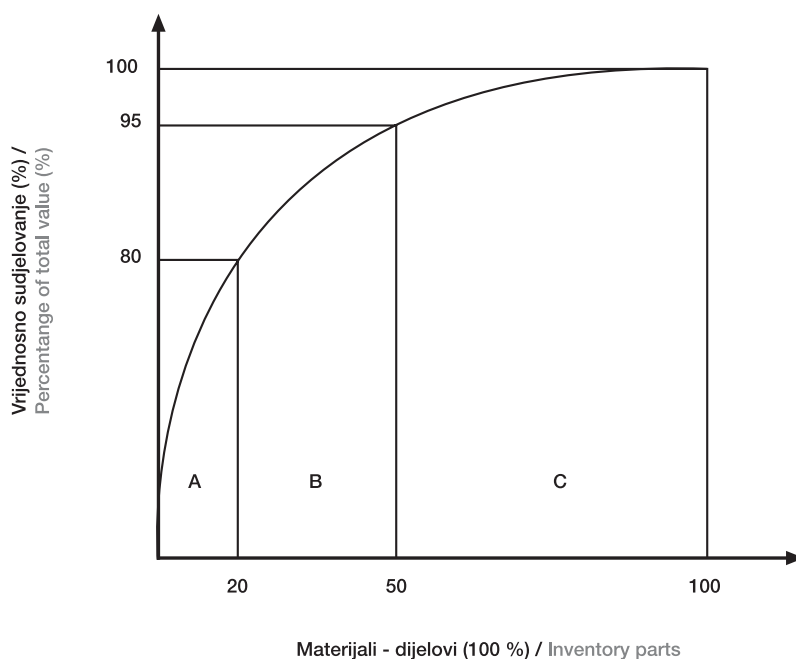
- share or percentage in which the value of an item contributes to the total inventory value,
- share or percentage in which the value of utilisation of an item contributes to the total value of utilisation of the inventory over a period of time.

If we focus on the analysis of the inventory value, items may be divided into three categories:

- A - items whose value makes 80 % of the inventory value,
- B - items whose value makes 15 % of the inventory value,
- C - items whose value makes 5 % of the inventory value.

It has been proved in practice that about 20 % of inventory items belong to category A, thus a reduction in their number could have a significant effect on the reduction in the total value of the inventory. This rule is often called the 80/20 rule. In a thorough analysis of category A, articles need to be selected whose number can be reduced and kept low without significantly affecting the maintenance process. These can be articles whose supply and delivery deadlines are short, so creating massive supplies is not justified.

If the results of the analysis are presented in the form of a diagram where axis y shows the total inventory value and axis x shows inventory items, we arrive at a typical Pareto curve shown in Figure 9. The curve may vary from case to case, but its form is always typical.



Slika 9
ABC analiza (Pareto
krivulja)
Figure 9
ABC analysis (the
Pareto curve)

Program SUPO ima integriran algoritam za provođenje i ispis rezultata ABC analize, što ga u kombinaciji s podrškom izračuna ekonomičnih količina narudžbi (EKN) čini snažnim alatom za optimizaciju, odnosno smanjenje razine i vrijednosti zaliha.

The MMS solution has an integrated algorithm for the implementation and printout of the results of the ABC analysis, which in combination with the calculation of economic procurement quantities (EPQ) makes it a powerful tool for the optimisation i.e. down-scaling the level and value of the inventory.

5 PRIMJENA PROGRAMA SUPO U PROIZVODNIM POGONIMA HEP-a

5.1 Tijek implementacije programa SUPO

Projekt SUPO realiziran je u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu u dvije faze, od kojih je prva priprema proizvodnih pogona za primjenu SUPO, a drugoj je krajnji cilj uvođenje informacijskog sustava za podršku upravljanju procesom održavanja - programa SUPO.

Preduvjet za uspješno uvođenje bilo kojeg, pa tako i informacijskog sustava za podršku upravljanju održavanjem dobro je osmišljena i provedena priprema koja se u osnovi sastoji od definiranja i pripreme temeljnih matičnih podataka i poslovnih procesa koje sustav treba podržati njegovom primjenom.

Svakako najposebniji dio posla u proizvodnim pogonima HEP-a bilo je kreiranje baze podataka tehničkih sustava (objekata održavanja) uz primjenu jednoznačnog šifarskog sustava. Za jedinstveni sustav šifriranja objekata održavanja u

5 IMPLEMENTATION OF MMS AT HEP'S GENERATION FACILITIES

5.1 Course of the MMS implementation

The MMS project was realised at HEP Generation and HEP Heating in two phases, of which the first was preparation of the generation facilities for the implementation of the MMS, and the ultimate goal of the second was to introduce an IT system for supporting the maintenance process.

A prerequisite to a successful introduction of any system including an IT system to support maintenance management is a thought-through preparation which basically consists of defining and preparing the basic master data and business processes that need to be supported.

By all means the most extensive work at HEP facilities was creating a database of technical systems (facilities to maintain) by applying a code system for unique reference. To this end, the KKS (Kraftwerk - Kennzeichensystem) was selected, which is used by many power utilities

HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu odabran je KKS (Kraftwerk - Kennzeichensystem) koji se primjenjuje u mnogim elektroprivredama zapadnoeuropskih zemalja. U okviru KKS-a integrirane su mnoge međunarodne i nacionalne norme, primjerice EN, DIN, ISO i IEC, a sam je sustav definiran kao jedna od smjernica Tehničkog udruženja vlasnika velikih elektrana (VGB) pod oznakom B-105 [8], [9].

Uzimajući u obzir strukturu tipičnog proizvodnog i toplinarskog postrojenja, zaključeno je da bi se najveći dio objekata održavanja u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu mogao prikazati na tehničkoj dokumentaciji postrojenja, što bi istodobno omogućilo lakšu preglednost te upisivanje KKS oznake uza svaku jedinicu. U najvećem broju slučajeva za strojarska postrojenja i elektropostrojenja prikladnom se pokazala tehnička dokumentacija u obliku blok-shema, dok se u graditeljstvu objekti održavanja mogu prikazati na položajnim nacrtima, presjecima građevinskih objekata i sl.

Poznato je da je većina proizvodnih jedinica HEP-a visoke prosječne starosti, pa je razumljivo da se naišlo na različito stanje tehničke dokumentacije postrojenja. Osim toga, temeljna oprema u elektranama je proizvedena, isporučena i ugrađena dijelom od domaćih, a dijelom od inozemnih dobavljača, što je predstavljalo otežavajuću okolnost pri uspostavljanju jedinstvenog šifarskog sustava i standardnog oblika dokumentacije. Određeni dio tehničke dokumentacije nije bio ažuran ili čak uopće nije postojao, pa je ova prilika ujedno iskorištena da se to popravi.

Unatoč svemu, treba reći da je za HEP Proizvodnju izrađeno više od 3 200 standardnih tehničkih crteža na kojima su dodijeljene KKS šifre za gotovo 250 000 objekata održavanja, a zatim su iz njih preuzeti podaci koji su poslužili za kreiranje jednoznačnih, do iste razine raščlanjenih i međusobno usporedivih baza podataka objekata održavanja.

Svi izrađeni crteži dostupni su korisnicima programa SUPO za pregled "on-line", preko web stranice. Razrađeni su standardni postupci za revidiranje crteža i kontrolu pristupa vrijedećim i svim prethodnim verzijama. Dokumenti u digitalnom obliku pohranjeni su na središnjim poslužiteljima (serverima) Sektora za poslovnu informatiku HEP-a.

Na slici 10 prikazana je kao primjer web stranica za pregled dokumentacije postrojenja hidroelektrana PP HE Zapad. Sve izrađene sheme su interaktivne, što znači da prilikom njihova pregleda odabirom KKS oznake objekta održavanja korisnik programa SUPO može obaviti pregled i/ili revidiranje tehničkih podataka, izvršiti prijavu kvara ili kreirati radni nalog, ovisno o dodijeljenim ovlastima.

in West European countries. Within the KKS many international and national norms are integrated, such as EN, DIN, ISO and IEC, and the system itself is defined as one of the guidelines of the Technical Association of Big Plant Owners (VGB) marked B-105 [8], [9].

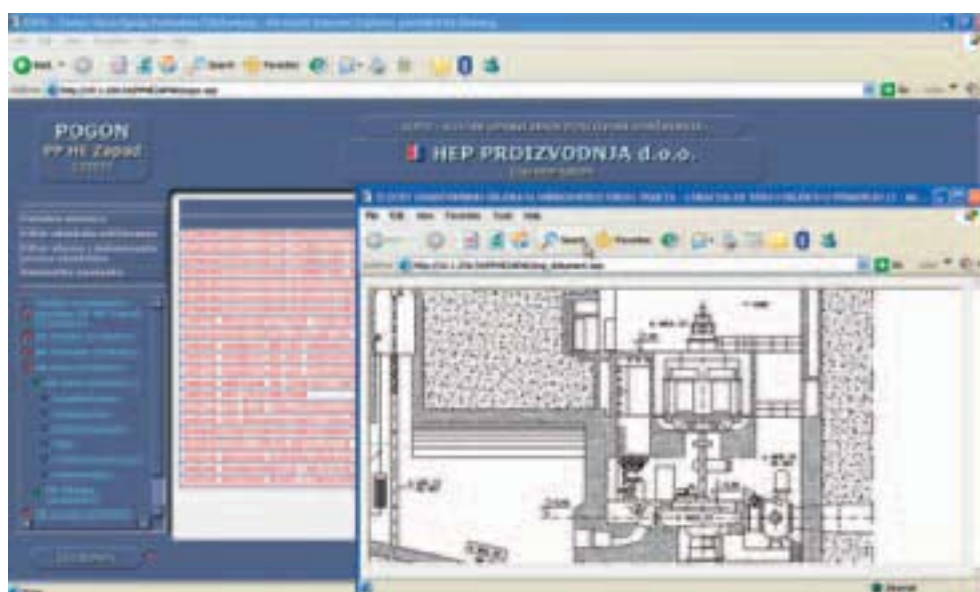
Bearing in mind the structure of a typical power and heat plant, it was concluded that most of the facilities to maintain at HEP Generation and HEP Heating could be shown in the technological documentation of the plant, which would also enable better overview and entering a KKS code for each unit. In most cases technical documentation in the form of flowcharts proved appropriate for mechanical and electrical facilities, whereas in construction area facilities to maintain may be shown in layouts, cross-sections of buildings etc.

It is known that most generating units of HEP are very old on the average, so it is understandable that the condition of the technical documentation of the facilities varied. In addition, the basic equipment of power plants had been manufactured, delivered and installed partly by national and partly by international suppliers, which added to the difficulty of setting up a unique code system and a standard form for documentation. Part of the technical documentation was not up-to-date or even existent, so this opportunity was taken to make this good.

Nevertheless, for HEP Generation more than 3 200 standard technical drawings were prepared with KKS codes for nearly 250 000 facilities to maintain, and then the data were taken over to create integrated databases of the facilities to maintain, comparable on the same level.

All the drawings prepared are accessible to the users of the MMS solution to be viewed "on-line" on the website. Standard procedures for reviewing drawings and controlling access to the relevant and all the preceding versions were developed. Documents in digital form were stored on central servers of the Business IT sector of HEP.

Figure 10 shows an example of the website for viewing the documentation of the hydroelectric power plant PP HE West. All the flowcharts are interactive, meaning that in viewing them the MMS solution user, by selecting the KKS of the facility to maintain, can view and/or revise technical information, report a failure, or create a work order, depending on his authorisation.



Slika 10
web stranica za on-line pregled temeljne dokumentacije postrojenja PP HE Zapad
Figure 10
Website for on-line inspection of the basic documents of PP HE West

Situacija u HEP Toplinarstvu bila je na određeni način specifična. S obzirom na obilježje i prostornu disperziranost centraliziranih toplinskih sustava, trebalo je šifrirati cjelokupnu distributivnu vrelvodnu i parovodnu mrežu te sve predajne toplinske stanice s opremom u stambenim i poslovnim prostorima, kao i blokvske kotlovnice. Rezultat toga je izrađenih više od 6 000 blok-shema te karata s vrelvodnom i parovodnom mrežom na kojima je označeno više od 370 000 objekata održavanja u gradovima Zagrebu i Osijeku.

Spomenute činjenice nalagale su i promjenu logike pristupa tehničkoj dokumentaciji s obzirom na proizvodne pogone - elektrane. Stoga je web stranica za pregled dokumentacije centraliziranog toplinskog sustava organizirana tako da prati zemljopisnu podjelu gradova Zagreb i Osijek na naselja, a zatim i ulice, nakon čijeg se pronalaženja pristupa segmentu vrelvodne mreže ili toplinskoj stanici u stambenom ili poslovnom prostoru. I u ovom je slučaju podržana funkcija izravne prijave kvarova preko karata vrelvodne ili parovodne mreže ili tehnoloških shema toplinskih stanica.


Zbirni podaci pripremne faze projekta SUPO prikazani su u tablici 2.

The conditions at HEP Heating were somewhat more specific. Considering the characteristics and the spatial dispersion of heating systems, it was necessary to code the entire heating and steam mains and all the heat transmission stations with their equipment at residential and commercial buildings, as well as boiler room units. The result was more than 6 000 flowcharts and maps of heating and steam mains indicating more than 370 000 facilities to maintain in Zagreb and Osijek.

These facts required a change in the logic of accessing technical documentation regarding the generation facilities - the power plants. For this reason a website for viewing the documentation of the centralized heat system was organised to follow the geographic division of the cities of Zagreb and Osijek into blocks, and streets, followed by the segments such as heating mains or heat stations at residential or commercial buildings. In this case the function of direct registration of failures by means of maps of heating or steam mains or technological layouts of heat stations is supported.

Collective data of the preparatory phase of the MMS project are shown in Table 2.

Tablica 2 - Zbirni podaci primjene SUPO u proizvodnim pogonima HEP-a
Table 2 - Collective data of the implementation of the MMS at HEP generation facilities

		PROJEKT SUPO - ZBIRNI PODACI PRIMJENE / MMS PROJECT - COLLECTIVE DATA				
		Pogon / Plant	Ukupno broj izradenih SUPO crteža / Total MMS drawings prepared	Broj objekata održavanja šifriranih prema KKS / Number of KKS-referenced facilities to maintain	Broj šifriranih artikala na skladištu / Number of referenced inventory items	Broj korisnika programa SUPO / Number of MMS users
		SVEUKUPNO / TOTAL	9 336	621 452	141 976	895
Sektor za termoelektrane / Thermoelectric power plant sector		TE-TO ZagREB	430	35 889	19 592	64
		TE Plomin	139	35 465	15 849	94
		EL-TO Zagreb	265	21 776	9 705	47
		TE Rijeka	145	18 975	13 400	58
		TE Sisak	289	30 522	13 650	49
		TE-TO Osijek	175	15 950	5 618	44
		KTE Jertovec	156	8 799	6 170	33
		UKUPNO Sektor za termoelektrane / TOTAL TPP Sector	1599	167 376	83 984	389
	Sektor za hidroelektrane / HPP Sector	PP HE Sjever / PP HE North	Služba za teh. posl. i KL / Technical department	9	558	2 913
HE Varaždin			94	5 044	3 850	
HE Čakovec			105	5 683	5 360	
HE Dubrava			111	6 516	5 094	
UKUPNO PP Sjever / SUBTOTAL PP HE North			319	17 801	17 217	
PP HE Jug / PP HE South		Služba za teh. posl. / Technical department	8	284	257	162
		HE Orlovac - Ruda	92	4046	1 344	
		HE Kraljevac	54	1995	751	
		HE Jaruga	30	785		
		HE Golubić	38	1159	972	
		MHE Krčić	6	205		
		HE Miljacka	72	1946		
		HE Peruća	73	2773	1 139	
		HE Đale	84	4127	3 395	
		RHE Velebit	122	6897	1 858	
HE Zakučac	155	8550	2 433			
CHE Buško Blato	59	3065	1 013	22		
UKUPNO PP Jug/ SUBTOTAL PP HE South	793	35 832	13 162	184		
PP HE Zapad / PP HE West	Služba za teh. posl. / Technical department	0	23	139	148	
	HE Gojak	78	4 425	2 570		
	HE Ozalj	64	2 307	1 230		
	HE Senj	87	5 046			
	HE Sklope	42	1 612	1 933		
	CHE Fužine	27	1 767			
	CHE Lepenica	12	597	1 831		
	HE Zeleni Vir	11	460			
	HE Vinodol	41	2 600			
	HE Rijeka	74	3 629	1 581		
UKUPNO PP Zapad / SUBTOTAL PP HE West	436	22463	9 284	148		
Pogon / Plant HE Dubrovnik	Služba za teh. posl. / Technical department	1			21	
	HE Dubrovnik	66	3 860	9 078		
	HE Zavrle	7	345			
	UKUPNO Pogon HE Dubrovnik / SUBTOTAL HE Dubrovnik Plant	74	4 205	9 078		
UKUPNO Sektor za HE / TOTAL HPP Sector		1622	80 301	48 741	420	
UKUPNO HEP PROIZVODNJA / GRAND TOTAL HEP GENERATION		3 221	247 677	132 725	809	
HEP TOPLINARSTVO d.o.o. / HEP HEATING	Službe u sjedištu / Central Departments		238		61	
	Toplinske mreže / Heating networks	4 310	225 500	5 181		
	Posebne toplane / Separate heat plants	753	89 356			
	Osijek	1 052	58 681	4 070		
	UKUPNO HEP TOPLINARSTVO / GRAND TOTAL HEP HEATING	6 115	373 775	9 251		

U fazi pripreme proizvodnih pogona za primjenu programa SUPO također je razvijen standardni šifarnik rezervnih dijelova te jedinstveni katalog i nazivlje potrošnog materijala za HEP Proizvodnju i HEP Toplinarstvo kako bi se unificirao i uveo u primjenu istovrsni način označavanja artikala, bez obzira na to na kojem se skladištu nalazili. Krajnji je cilj tog procesa racionalizacija i ostvarenje mogućnosti za smanjenje, odnosno okrupnjavanje broja skladišta, optimiranje razina zaliha i ujedinjavanje nabave. Katalog potrošnog materijala održava se i ažurira centralno, u skladu s propisanim postupcima te trenutačno broji više od 160 000 artikala.

Nakon što su stvorene temeljne pretpostavke i pripremljeni ključni matični podaci, uslijedila je sljedeća faza projekta - implementacija i primjena programa SUPO u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu.

5.2 Primjena programa SUPO u hidroelektranama

Implementacija programa SUPO u hidroelektrane HEP Proizvodnje realizirana je na modelu pilot-postrojenja za koje je odabrano Proizvodno područje hidroelektrana Sjever sa sjedištem u Varaždinu. PP HE Sjever obuhvaća hidroelektrane Varaždin, Čakovec i Dubrava na rijeci Dravi kojima se upravlja daljinski iz Komande lanca Varaždin.

U fazi pripreme pogona PP HE Sjever za primjenu programa SUPO izrađena je detaljna baza objekata održavanja u hidroelektranama. Trenutačno baza podataka sadrži gotovo 18 000 objekata održavanja označenih prema KKS-u koji su prikazani na gotovo 320 blok-shema i građevinskih nacrtu. Također je izvršen detaljan pregled i šifriranje više od 17 000 artikala rezervnih dijelova i potrošnog materijala na skladištima PP HE Sjever.

Za model organizacije PP HE Sjever razrađeni su i dokumentirani temeljni poslovni procesi koji će biti podržani primjenom programa SUPO, i to:

- proces provedbe programa preventivnog održavanja,
- proces prijave kvarova uz razradu mogućih scenarija kod pojave kvarova tijekom redovitoga radnog vremena pogona, kao i izvan radnog vremena, uključujući vikende i praznike,
- proces izdavanja dokumenata zaštite na radu kod izvođenja aktivnosti održavanja,
- proces skladišnog poslovanja - zaprimanja i izdavanja zaliha, uključujući izradu standardnih dokumenata skladišnog poslovanja koji će se koristiti u cijeloj HEP Proizvodnji,

In the phase of preparing the generation facilities for the implementation of the MMS solution, a standard code list for spare parts has also been developed as well as a single catalogue and references of consumables at HEP Generation and HEP Heating with a view to integrating and introducing a uniform way of referencing materials irrespectively of what warehouse they are stored at. The final goal of this process was streamlining and enabling a decrease in the number of warehouses, optimisation of inventory levels and unification of procurement. The catalogue of consumables is kept and updated centrally, in accordance with the prescribed procedure, and it currently includes more than 160 000 items.

Once the preconditions have been created and the key master data prepared, there followed the next phase of the project - implementation and application of the MMS solution at HEP Generation and HEP Heating.

5.2 MMS operation at hydroelectric power plants

The implementation of the MMS solution at hydroelectric power plants of HEP Generation was realised by way of a pilot facility model, for which the hydroelectric generation area North (PP HE North), headquartered in Varaždin, was selected. PP HE North includes the power plants of Varaždin, Čakovec and Dubrava on the river Drava, controlled remotely from the Varaždin Chain Command.

In the phase of preparing PP HE North for the implementation of the MMS solution a detailed database of the power plant facilities to maintain was created. Presently, the database contains more than 18 000 facilities to maintain referenced pursuant to the KKS and shown in nearly 320 flowcharts and construction plans. A detailed inspection and coding of more than 17 000 spare parts and consumables stored at the power plants of PP HE North was also undertaken.

For the organisational model of PP HE North the basic business processes were developed and documented, which would be supported by the MMS:

- implementation of preventive maintenance schedule,
- registering failures with the elaboration of possible scenarios upon the occurrence of failures during regular operating hours of the facility, as well as beyond the operating hours, including week-ends and holidays,
- issuing safety-at-work documents in performing maintenance activities,
- warehouse operation - receiving and releasing inventories, including the creation of standard

- proces knjiženja dokumenata skladišnog poslovanja u materijalnom knjigovodstvu uz prijenos podataka u financijsko knjigovodstvo (glavnu knjigu) u poslovnom informacijskom sustavu HEP-a,
- proces evidentiranja i upravljanja tehničkom dokumentacijom.

Prema postavljenim poslovnim procesima, definirana su radna mjesta, odnosno poimenično korisnici koji sudjeluju u realizaciji procesa. Trenutačno je u PP HE Sjever gotovo 70 korisnika programa SUPO. Tijekom tzv. probnog rada testirano je provođenje svih definiranih procesa uz podršku programa SUPO te usklađenost s projektnim postavkama. Sustav je u primjeni gotovo pet godina. U međuvremenu su uvedena određena poboljšanja instaliranjem novih verzija programa.

Prema modelu koji je definiran na PP HE Sjever, izvršena je implementacija programa SUPO u HE Dubrovnik i PP HE Zapad [10]. Implementacija programa SUPO u PP HE Zapad izvršena je u roku od oko četiri mjeseca, pri čemu je školovano i u primjenu uvedeno gotovo 150 korisnika u devet hidroelektrana i zajedničkim stručnim službama.

Implementacija programa SUPO u PP HE Jug u završnoj je fazi. SUPO je uveden u primjenu u hidroelektrane Đale, Peruća i Orlovac. Kad bude u potpunosti uveden u primjenu, programom SUPO u PP HE Jug koristit će se više od 160 korisnika.

Zbirni podaci primjene SUPO-a u Sektoru za hidroelektrane HEP Proizvodnje pokazuju da se programom SUPO koristi 420 korisnika. Primjenom šifarskog sustava KKS izvršeno je označavanje i evidentiranje više od 80 000 objekata održavanja koji su prikazani na više od 1 600 standardnih blok-shema. Uz podršku programa SUPO prati se promet i upravlja zalihama na skladištima s gotovo 50 000 artikala - rezervnih dijelova i potrošnog materijala za održavanje. Dosad je u programu SUPO u hidroelektranama kreirano nekoliko desetaka tisuća radnih naloga, primjerice samo na PP HE Sjever, gdje je SUPO najdulje u primjeni, u bazi podataka evidentirano je više od 1 600 aktivnosti preventivnog održavanja na temelju kojih je izdano gotovo 27 000 radnih naloga.

5.3 Primjena programa SUPO u termoelektranama

Za pilot postrojenje među termoelektranama HEP Proizvodnje u koje će se uvesti program SUPO odabrana je TE-TO Zagreb, kao tehnološki najsloženije postrojenje za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije. Program

- documents for warehouse operations to be used across HEP Generation,
- entering documents for warehouse operation in material accounting with the transfer of data to financial accounting (general ledger) in the business IT system of HEP,
- recording and managing technical documentation.

Pursuant to the business processes set, workplaces were defined i.e. the users, by names, involved in the realisation of processes. Presently, PP HE North has almost 70 users of the MMS solution. During the so-called trial commission, the operation of all the processes defined was tested with the support of the MMS solution, as well as their correspondence with the project setup. The system has been running for almost 5 years now. In the meantime, some improvements were introduced by installing new versions of software.

According to the model defined at PP HE North, an implementation of the MMS solution was conducted at HE Dubrovnik and PP HE West [10]. The implementation of the MMS solution at PP HE West was conducted in about 4 months, training and commissioning nearly 150 users at 9 hydroelectric power plants and joint technical departments.

The implementation of the MMS solution at PP HE South is in its final phase. The MMS has been rolled out at hydroelectric power plants of Đale, Peruća and Orlovac. Once it has been completely rolled out, the MMS solution at PP HE South will be used by more than 160 users.

The collective data for the MMS at the Hydroelectric Power Plant Sector of HEP Generation show that the MMS solution is used by 420 users. The implementation of the KKS code system provided for labelling and recording more than 80 000 facilities to maintain that are shown in 1 600 standard flowcharts. With the MMS support the utilisation of nearly 50 000 items of warehouse inventories is monitored and managed - spare parts and consumables used in maintenance. To date, several tens of thousands of work orders have been created within the MMS, e.g. at PP HE North alone, where the MMS has been running the longest, the database has recorded more than 1 600 preventive maintenance activities on the basis of which nearly 27 000 work orders were issued.

5.3 MMS operation at thermoelectric power plants

The selected pilot facility was TE-TO Zagreb, as technologically the most complex facility of HEP Generation for combined generation of power and heat. The MMS at TE-TO Zagreb was implemented

SUPO je u TE-TO Zagreb implementiran istodobno s pilot postrojenjem hidroelektrana PP Sjever.

Faza priprema pogona termoelektrana za primjenu programa SUPO sastojala se od standardnih, već opisanih aktivnosti. Funkcionalnost i model primjene programa SUPO razvijen u TE-TO Zagreb preslikan je na ostale termoelektrane radi potpune standardizacije procesa održavanja uz minimalna odstupanja uvjetovana specifičnostima pojedinih pogona.

Primjenom informacijskog sustava potpuno su podržani svi temeljni poslovni procesi iz opsega projekta. U TE-TO Zagreb SUPO je u primjeni više od pet godina. Programom SUPO u potpunosti je praćeno uvođenje u eksploataciju, a time i upravljanje procesom održavanja novog kombi-kogeneracijskog bloka K snage 200 MW.

Nakon TE-TO Zagreb implementacija programa SUPO provedena je na lokaciji TE Plomin. Dosadašnju primjenu SUPO u TE Plomin ilustrira baza podataka objekata održavanja u kojoj se nalazi više od 35 000 objekata održavanja označenih prema sustavu KKS, čiji se program preventivnog održavanja sastoji od više od 1 100 aktivnosti (zadataka) na temelju kojih je dosad izdana većina od gotovo 24 000 radnih naloga. U provedbi aktivnosti održavanja prema radnim nalogima izdano je više od 7 200 dokumenata zaštite na radu - Dozvola za rad.

Skladišni modul programa SUPO u TE Plomin sadrži više od 16 000 artikala, a broj narudžbi za robu, usluge i radove iznosi nešto više od 5 500.

Trenutačni broj korisnika programa SUPO na lokaciji TE Plomin je 94, među koje kao specifičnost dosadašnje primjene u HEP Proizvodnji treba ubrojiti i vanjske izvođače kojima je ugovorom povjerenje izvođenje aktivnosti održavanja postrojenja. Uloga vanjskih izvođača (u pravilu voditelja radilišta) u programu SUPO jest pripremiti specifikacije provedenih aktivnosti i utrošenih resursa prema izdanim radnim nalogima održavanja, vrsti i mjestu troška. Nakon što tehnolog održavanja TE Plomin odobri specifikaciju, vanjski izvođač ispostavlja račun za provedene radove održavanja.

Dovršetak implementacije, redom, u pogone TE Rijeka, EL-TO Zagreb, KTE Jertovec, TE Sisak i TE-TO Osijek, program SUPO uveden je u primjenu u cijeloj Sektor za termoelektrane HEP Proizvodnje.

Zbirni podaci primjene SUPO-a u termoelektrana HEP Proizvodnje pokazuju da se programom SUPO u radu koristi 389 korisnika. Primjenom šifarskog sustava KKS izvršeno je označavanje

simultaneously with the pilot facility of the hydroelectric power plant PP North.

The phase of preparing the facilities of thermoelectric power plants for the implementation of the MMS included standard, already described activities. The functionalities and the model for the operation of the MMS developed at TE-TO Zagreb were then copied to other thermoelectric power plants to achieve full standardisation of the maintenance process with a minimum deviation to account for the specific characteristics of individual facilities.

The implementation of the IT system fully supported all the basic operating processes from the scope of the project. The MMS has been running at TE-TO Zagreb for more than 5 years. It was used to fully control the commissioning and maintenance management of the new combined 200 MW co-generation K unit.

Following TE-TO Zagreb, the implementation of the MMS took place at TE Plomin. The operation of the MMS at TE Plomin is illustrated by the database of the facilities to maintain which includes 35 000 facilities to maintain referenced pursuant to the KKS, whose preventive maintenance schedule consists of more than 1 100 activities (tasks) on the basis of which most of the nearly 24 000 work orders have been issued. In the realisation of maintenance activities pursuant to work orders more than 7 200 safety-at-work documents - work clearances - have been issued.

The warehouse module of the MMS at TE Plomin contains more than 16 000 items, and the number of orders for goods, services and works exceeds 5 500.

Presently, the number of users of the MMS at TE Plomin is 94, including external contractors entrusted with the maintenance of the facilities, as a specific characteristic of the operation of the MMS at HEP Generation. The role of external contractors (generally, site managers) within the MMS is to prepare the specifications of the activities completed and the resources expended according to the maintenance work orders issued, the type and location of expense. Following the approval of the specifications by the maintenance technologist at TE Plomin, the external contractor issues his invoice for the maintenance works performed.

Upon the completion of the implementation at TE Rijeka, EL-TO Zagreb, KTE Jertovec, TE Sisak and TE-TO Osijek the MMS solution was rolled out across the Thermoelectric Power Plant Sector of HEP Generation.

The collective data from the implementation of the MMS in thermoelectric power plants of HEP Generation shows that the MMS is used by 389 users. By means of the KKS more than 167 000

i evidentiranje više od 167 000 objekata održavanja koji su prikazani na gotovo 1 600 standardnih blok-shema. Uz podršku programa SUPO prati se promet i upravlja zalihama na skladištima termoelektrana s gotovo 84 000 artikala - rezervnih dijelova i potrošnog materijala za održavanje. U dosadašnjoj primjeni programa SUPO u termoelektranama kreirano je nekoliko desetaka tisuća radnih naloga.

5.4 Primjena programa SUPO u toplinarstvu

U HEP Toplinarstvu, koje obavlja djelatnost distribucije i opskrbe, a dijelom i proizvodnje toplinske energije u gradovima Zagrebu i Osijeku, program SUPO je u primjeni gotovo tri godine. Implementacija programa SUPO u HEP Toplinarstvo vođena je usporedno s implementacijom u HEP Proizvodnju, s obzirom na to da su u trenutku pokretanja projekta SUPO poslovne funkcije tih društava bile ujedinjene u okviru prijašnje Direkcije za proizvodnju HEP-a.

Iz tog su razloga funkcije i procesi u ekonomskom djelokrugu poslovanja - upravljanju zalihama i skladišnim poslovanjem, materijalnim knjigovodstvom i nabavom robe, usluga i radova - gotovo identični kao i u HEP Proizvodnji, pa je preuzet i primijenjen ondje razvijen model njihove podrške primjenom programa SUPO.

Po svojoj funkciji, Toplinarstvo ima obilježja tipičnoga gradskog komunalnog sustava te se organizacija, planiranje i provedba aktivnosti i općenito proces održavanja u određenoj mjeri razlikuje s obzirom na termoelektrane i hidroelektrane. Jedna od ključnih razlika ogleda se u tome da dio reklamacija i prijava kvarova, dakle ulaznih podataka u programu SUPO za provedbu korektivnog održavanja, dolazi od građana i ostalih korisnika centraliziranog toplinskog sustava.

Osim aktivnosti održavanja, programom SUPO u HEP Toplinarstvu podržano je praćenje investicija - izgradnje novih objekata (dionica vrelovoda ili parovoda ili toplinskih stanica, ugradnja mjerila toplinske energije). Za realizaciju ovih aktivnosti izdaje se radni nalog po kojem se prati trošak materijala izdanog sa skladišta, rada vlastitih zaposlenika te angažmana vanjskih dobavljača, čime se izračunava ukupan trošak investicija.

U gradu Osijeku HEP Toplinarstvo ostvaruje dio prihoda izvođenjem radova za treće osobe. Utrošak resursa po radnim nalogima izdanim iz programa SUPO za te aktivnosti služi kao podloga za izradu računa za obavljene radove.

facilities to maintain were referenced, recorded and shown in nearly 1 600 standard flowcharts. With the support of the MMS the situation is monitored and inventories in the warehouses of power plants managed, including nearly 84 000 items - spare parts and consumables for maintenance. In running the MMS at thermoelectric power plants several tens of thousands of work orders were created.

5.4 MMS operation in heat industry

At HEP Heating, which engages in the distribution and supply and, partly, generation of heat in the cities of Zagreb and Osijek, the MMS has been operating for almost 3 years. The implementation at HEP Heating was conducted simultaneously with the implementation at HEP Generation, and upon the rollout of the MMS the operating functions of these companies were unified within the former Generation Directorate of HEP.

For this reason the functions and processes in the economic sphere of the operation - inventory management and warehouse operation, material accounting and procurement of goods, services and works - are almost identical as that of HEP Generation, so HEP Heating took over and implemented the MMS support model developed at HEP Generation.

In its function heat industry is a typical urban utility system, with its organisation, planning and activities, as well as the general process of maintenance, slightly differing from thermoelectric and hydroelectric power plants. One of the key differences is that part of the complaints and failure registrations, i.e. the input information in the MMS system required for corrective maintenance, comes from the citizens and other customers of the centralized heating system.

In addition to maintenance activities, the MMS at HEP Heating supports monitoring investments - the construction of new facilities (sections of heating or steam mains, or heat stations, and the installation of heat meters). For the realisation of these activities work orders are issued to follow the expenses of the material released from the warehouse, the work of the company's own employees and the involvement of external suppliers, adding up to the total cost of investment.

In Osijek HEP Heating earns part of its income by performing works for third parties. The spending of resources per work orders issued under the MMS for such activities serves as the basis for creating invoices for the works completed.

Baza podataka objekata održavanja u HEP Toplinarstvu broji više od 370 000 objekata održavanja označenih primjenom šifarskog sustava KKS, a čine je toplinske stanice s opremom kojih u Zagrebu ima više od 2 500, dionice vrelovodne mreže (u Zagrebu dužine oko 200 km) ili parovodne mreže (u Zagrebu dužine oko 45 km) te blokovske kotlovnice (u Zagrebu ih je više od 50). Svaki od objekata održavanja prikazan je na jednoj od više od 6 000 izrađenih blok-shema, uključujući i karte vrelovoda i parovoda čije su dionice ucrtane na zemljopisnim kartama gradova Zagreba i Osijeka.

Zalihe i skladišno poslovanje HEP Toplinarstva kojima se upravlja putem programa SUPO karakterizira relativno manji broj različitih tipova artikala (rezervnih komponenti i dijelova), s obzirom na to da je oprema većim dijelom tipska. Ukupno je evidentirano više od 9 000 artikala.

O opsegu primjene programa SUPO u HEP Toplinarstvu govore podaci prema kojima je dosad u Zagrebu izdano više od 14 500 radnih naloga (u prosjeku 5 000 na godinu), a u Osijeku više od 4 400 (u prosjeku 1 400 na godinu). Program preventivnog održavanja sastoji se od više od 2 500 aktivnosti.

U HEP Toplinarstvu planira se proširiti funkcionalnost i dovršiti implementacija integriranog sustava koji čine program SUPO i geoinformacijski sustav (GIS). Kombinacija primjene ovih informacijskih sustava u upravljanju održavanjem komunalnih infrastrukturnih sustava pokazala se u svjetskoj praksi vrlo korisnom, pa će takav model biti primijenjen i na centralizirane toplinske sustave u Zagrebu i Osijeku.

The database of the facilities to maintain at HEP Heating includes more than 370 000 facilities referenced in accordance with the KKS: heat stations with equipment, of which there are more than 2 500 in Zagreb, sections of heating mains (about 200 km in length in Zagreb) or steam mains (about 45 km in length in Zagreb) and boiler room units (more than 50 in Zagreb). Each of the facilities to maintain is shown in one of more than 6 000 prepared flowcharts, including maps of heating and steam mains whose sections are marked on the geographic maps of Zagreb and Osijek.

The inventories and warehouse operation of HEP Heating managed by means of the MMS solution are characterised by a relatively smaller number of different types of items (spare parts and components), considering the fact that the equipment is mostly standard. A total of more than 9 000 items have been recorded.

The scope of the use of the MMS at HEP Heating is apparent from the information showing that to date more than 14 500 work orders have been issued in Zagreb (5 000 a year on the average), or 4 400 in Osijek (1 400 a year on the average). The program of preventive maintenance includes more than 2 500 activities.

HEP Heating is planning to extend the functionalities and complete the implementation of the integrated system comprising the MMS and the GIS systems. A combination of the implementation of these IT systems in managing the maintenance of the systems of public utility infrastructure has globally proved very useful, so that this model will also be used in centralised heating systems in Zagreb and Osijek.

6 OSTVARENE I OČEKIVANE KORISTI ZBOG PRIMJENE PROGRAMA SUPO

6.1 Pogonska spremnost elektrana

Glede ostvarenih koristi i utjecaja na pogonsku spremnost, program SUPO treba promatrati u širem kontekstu kao alat za podršku vođenju pogona. Na temelju podataka iz programa SUPO, primjerice broja i frekvencije pojave kvarova, zabilježenih podataka o stanju opreme u provedenim remontima, stječe se uvid u stanje postrojenja, a time i uspješnost provedbe programa održavanja.

Obrada i analiza svih raspoloživih podataka iz programa SUPO već se u praksi koristi za definiranje i dinamičko upravljanje strategijom

6 MMS BENEFITS EXPECTED AND ACHIEVED

6.1 Operative readiness of power plants

With regard to its benefits and the effect on operative readiness, the MMS needs to be seen in a broader context as a tool to support the management of the facility. On the basis of the MMS data, e.g. the number of failures and the failure rate, the condition of the equipment noted during overhauls, the general condition of the facility is established, which enables successful performance of maintenance programs.

The processing and analysis of all the available MMS data are already being used in practice for defining and dynamically managing the

održavanja, čija će provedba rezultirati visokom raspoloživošću proizvodnih pogona [11]. Kao izvrstan primjer treba spomenuti TE Plomin 2.

Primjenom programa SUPO strategija upravljanja održavanjem TE Plomin 2 (kojim upravlja TE Plomin d.o.o., joint venture tvrtka HEP-a i RWE Power) znatno je redefinirana. Tomu je pridonijela i činjenica da se u upravljanju svojim elektranama RWE Power snažno oslanja na pomoć informacijskih sustava za planiranje, upravljanje i provedbu raznovrsnih poslova u vođenju pogona.

Umjesto preventivnog održavanja s godišnjim remontom, provođenje remonta sada je planirano u trogodišnjim intervalima. Pritom se djelomični i generalni remont izmjenjuju svake tri godine. Zakonski propisana ispitivanja (npr. posuda pod tlakom) se, u mjeri koliko je to moguće, obavljaju tijekom planiranih ili neplaniranih zastoja.

Ušteda troškova zbog povećanja remontnog intervala još je važnija ako se remont detaljno planira pomoću informacijskog sustava za podršku upravljanju održavanjem. Tako za remont iduće godine inženjeri i ostali stručnjaci za sve glavne komponente postrojenja: generator, turbinu, kotao i postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova izrađuju analize stanja već u prethodnoj godini te planiraju radne naloge u kojima se definira opseg radova, angažiranje zaposlenika i potreban materijal. Na osnovi pripremljenih podloga utvrđuje se "kritični put" koji određuje trajanje remonta, ugovaraju potrebne aktivnosti održavanja i iniciraju narudžbe u okviru SUPO-a za potrebne rezervne dijelove.

Rezultat ovakve detaljne pripreme je minimalno trajanje pojedinog zastoja, što za opskrbu Hrvatske električnom energijom znači dodatnu uštedu troškova jer se izbjegava uvoz skupe električne energije, a za elektranu to znači veći udio u pokrivanju vlastitih troškova. TE Plomin 2 je nakon izlaska elektrane iz jamstvenog roka pod punim opterećenjem u prosjeku na godinu radio 7 500 sati, uz radnu raspoloživost veću od 90 %.

U okviru primjene strategije održavanja usmjerenog na stanje postrojenja temeljene na informacijskom sustavu za održavanje kao što je SUPO i uz njegovu dosljednu primjenu, kroz zajednički rad još se više koristi potencijal znanja zaposlenika. Često citiran "intelektualni kapital" sada se više ne može upisivati samo u male crne notese nego mora biti jasan i u svakom trenutku raspoloživ u informacijskom sustavu.

Na lokaciji TE Plomin u primjenu programa SUPO uključen je velik broj korisnika, u namjeri

maintenance strategy whose implementation will result in a high availability of generating facilities [11]. An excellent example is TE Plomin 2.

The implementation of the MMS has considerably redefined the strategy for managing the maintenance of the thermoelectric power plant TE Plomin 2 (managed by TE Plomin d.o.o., a joint venture of the companies HEP and RWE Power). This was also helped by the fact that in managing its power plants RWE Power strongly relies on the support from IT systems for planning, managing and conducting various activities in running the facilities.

Instead of preventive maintenance with an annual overhaul, overhauls are now planned in three-year intervals, with partial and general overhauls alternating every three years. Statutory tests (e.g. pressurized vessel) are, to the extent possible, conducted during planned or non-planned downtime.

Cutting the expenses owing to the prolongation of overhaul intervals is even more important if the general overhaul is planned in detail with the help of the IT system to support maintenance management. For the next year's overhaul engineers and other experts in all the major components of the facility: the generator, turbine, boiler and fume desulphurisation plant, are preparing analyses one year in advance and are planning work orders to define the scope of works, the necessary labour, the duration of works and the required material. On the basis of the documents prepared the "critical path" is established to determine the duration of the overhaul, the necessary maintenance activities are being contracted and the orders of the required spare parts initiated within the MMS.

The result of such a detailed preparation is minimum duration of any downtime, which means additional savings for the country, because the import of expensive electricity is avoided, and for the power plant itself this means a greater extent of the coverage of its own expenses. Following the warranty period, TE Plomin 2 operated under full load 7 500 hours a year, its operating availability exceeding 90 %.

Within the implementation of the status-focused maintenance strategy relying on an IT system such as the MMS and its consistent application, the potential of the employee expertise is even better utilised in jointly working together. The often mentioned "intellectual capital" cannot be noted on memo pads any more, it must be transparent and available within the IT system at any moment.

da se svim ovlaštenim zaposlenicima omogući slobodan pristup središnjem alatu za upravljanje održavanjem. To je neizbježno jer dok se kod preventivnog održavanja moraju izvršiti propisani planovi održavanja, održavanje usmjereno na stanje zahtijeva veću odgovornost i stručne kompetencije svih sudionika u procesu održavanja. Vođenje i edukaciju tih zaposlenika potrebno je usmjeriti u skladu s time. U tome je velika zadaća posloводства. Zaposlenicima treba objasniti da postavljanje osobnih ciljeva u održavanju kroz informacijski sustav predstavlja veliku vrijednost i ima mjerljive rezultate.

6.2 Transparentnost poslovanja i certificiranje

Primjenom programa SUPO uspostavljen je jedinstven i jasan sustav upravljanja održavanjem tehničkih sustava HEP Proizvodnje i HEP Toplinarstva kroz standardizaciju postupaka planiranja, organizacije, pripreme i praćenja izvršenja i dokumentiranja svih aktivnosti u procesu održavanja te zaštite na radu, a isto tako i logističkih procesa skladišnog poslovanja i upravljanja zalihama, kao i nabavi robe, usluga i radova.

Može se reći da je realizacijom projekta SUPO već izvršena temeljita priprema HEP Proizvodnje i HEP Toplinarstva za uspostavljanje i certificaciju sustava upravljanja kvalitetom prema ISO standardima serije 9000 jer je održavanje ključan segment njihove djelatnosti.

Kod certificiranja sustava upravljanja okolišem prema normama serije ISO 14000 potrebno je potvrditi da je uspostavljen sustav upravljanja održavanjem čijom se dosljednom primjenom sprečava negativan utjecaj tehničkih sustava na okoliš. TE-TO Zagreb je prva HEP-ova elektrana koja je certificirala sustav upravljanja okolišem prema normi ISO 14001:2004 u veljači 2006., a to će se provesti i za preostale elektrane HEP-a.

Prilikom certificacije svih hidroelektrana HEP Proizvodnje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora (tzv. zelene energije) provjeravana je i organizacija te način dokumentiranja i mogućnost pregleda podataka o planiranim i provedenim poslovima održavanja postrojenja, pri čemu se program SUPO pokazao potpuno kompatibilnim s obzirom na postavljene zahtjeve [12].

At TE Plomin the MMS is running with a great number of users, the idea being to enable all the authorised employees a free access to the central tool for maintenance managing. This is inevitable, because preventive maintenance requires the fulfilment of prescribed maintenance schedules, whereas status-focused maintenance demands more responsibility and expertise in all the staff involved in maintenance. The guidance and training of such employees needs to be managed accordingly. In this the management has to play a big role. They need to explain to the employees that setting personal goals in IT-aided maintenance is a great asset with measurable results.

6.2 Transparent operation and certification

The implementation of the MMS system set up an integrated and transparent system of management of technical systems of HEP Generation and HEP Heating through the standardisation of the processes of planning, organising, preparing and monitoring the completion and documentation of all the activities of maintenance and safety at work, as well as the logistic processes for warehouse operation and inventory management and the procurement of goods, services and works.

It can be said that the realisation of the MMS has accomplished a thorough preparation of HEP Generation and HEP Heating for setting up and obtaining a certificate for the system of quality management according to ISO standards series 9000, because maintenance is the key segment in their operation.

To obtain a certificate for the system of environmental management according to the ISO 14000 standard it is necessary to confirm that a system has been set up for managing maintenance, whose consistent use prevents a negative effect of technical systems on the environment. TE-TO Zagreb is the first power plant of HEP to have obtained a certificate of environmental management system according to ISO 14001:2004, in February 2006, and this will be conducted in other power plants of HEP as well.

The certification of all the hydroelectric power plants of HEP Generation for the generation of electricity from renewable energy sources (the so-called green energy) included checking the organisation and the method of documentation and the possibility of viewing the data of the maintenance activities planned and conducted, in which the MMS proved to be absolutely compatible with the requirements [12].

6.3 Poslovno odlučivanje

Moderni informacijski sustavi za podršku upravljanju održavanjem, kao što je program SUPO, pružaju mogućnosti analitike, sumiranja i prikaza prikupljenih podataka u složenom procesu održavanja tehničkih sustava i njihovog pretvaranja u kvalitetne informacije na temelju kojih će biti moguće donošenje operativnih odluka te predviđanje trendova.

Nakon potpunog uvođenja u primjenu programa SUPO na razini temeljnih organizacijskih jedinica HEP Proizvodnje i HEP Toplinarstva pristupit će se kreiranju sustava izvještavanja za razinu posloводства ovih društava koja će omogućiti brz dohvat i dubinsku analizu ključnih pokazatelja procesa održavanja postrojenja, primjerice pregleda kvarova, omjera preventivnog i korektivnog održavanja, vrijednosti zaliha na skladištima, troškova održavanja i sl. Stoga se razmatra uvođenje sustava izvještavanja na platformi "Business Intelligence" informacijskih alata kao nadogradnje primjeni programa SUPO.

Primjena SUPO u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu već pridonosi podizanju razine poslovnog odlučivanja, počevši od razine operativnog vođenja i upravljanja procesom održavanja pa sve do razine posloводства pogona [11]. Kvalitetno praćenje temeljnih procesa u elektroprivrednoj tvrtki, kao što su poslovi održavanja, baza je za nadogradnju učinkovitog sustava korporativnog upravljanja.

Za poslovanje u europskom elektroenergetskom sustavu uspješnost procesa održavanja proizvodnih pogona bit će još važnije pratiti kroz sustav ključnih pokazatelja uspješnosti (Key performance indicators) i uspostaviti sustav benchmarkinga s obzirom na uspješne elektroprivredne tvrtke u Europskoj uniji (projekt u tijeku). Takav sustav zahtijeva stalno praćenje uspješnosti realizacije zacrtanih ciljeva i otklanjanje uočenih neusklađenosti u procesima, pri čemu će primjena programa SUPO biti izvor svih potrebnih podataka za usporedbu s istovjetnim podacima iz poslovanja naprednih elektroprivrednih tvrtki.

6.4 Optimiranje troškova poslovanja

Upravljanje troškovima i trajno unapređenje poslovne učinkovitosti uvjet su opstanka elektroprivredne tvrtke u uvjetima tržišne konkurencije. U tom smislu SUPO je podloga i alat za provedbu poslovnog planiranja, uspostavu kontroling funkcije i optimiranje troškova poslovanja.

6.3 Corporate decision-making

Modern IT systems for supporting maintenance management, such as the MMS solution, provide for the possibilities of analysing, summarising and presenting the data collected in a complex process of technical maintenance and their transformation in quality information on the basis of which it will be possible to make operative decisions and to predict trends.

Following the rollout of the MMS on the level of the basic organisational units of HEP Generation and HEP Heating, creating a system of reporting for the management levels of these companies will begin, which will enable a quick access to and an in-depth analysis of the key indicators of the process of maintenance, for instance the overview of failures, the ratio between the preventive and the corrective maintenance, the value of inventories in storage, the maintenance expenses etc. Therefore, an introduction of a system of reporting on the platform of "Business Intelligence" tools is being considered as an upgrade of the MMS.

The MMS at HEP Generation and HEP Heating is already contributing to raising the level of corporate decision-making, beginning with the operation management and the maintenance process to the level of plant management [11]. Quality monitoring of the basic processes in an electric power utility such as maintenance activities, is the basis for an upgrade to an effective system of corporate management.

In the operation within the European electric power system it will be even more important to monitor the performance of the process of maintenance of generation facilities by means of key performance indicators, and to set up a benchmarking system in relation to successful electric power utilities in the European Union (the project is under way). Such a system requires continuous monitoring of the successful realisation of the goals set and eliminating any disharmony noted in the processes, in which the MMS will be the source of all the information required for a comparison with the same type of information from the operation of successful electric power utilities.

6.4 Optimisation of operating expenses

Managing the expenses and permanent improvement of business efficiency are prerequisites to the survival of a power utility under the circumstances of market competition. In this context the MMS is the basis and the tool for business planning, controlling and optimising operating expenses.

Koristi primjene programa SUPO u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu mogu se načelno podijeliti na neizravne i izravne.

Neizravne koristi najvećim dijelom proizlaze iz očite racionalizacije poslovnih procesa kao posljedice uvođenja informatizacije u održavanje. Tu se mogu ubrojiti:

- općenito povećanje učinkovitosti i produktivnosti koje proizlazi iz standardizacije poslovnih procesa i podizanja razine njihove automatizacije s obzirom na tradicionalni sustav temeljen na manualnom protoku podataka i pisanoj dokumentaciji,
- formiranje središnjih baza podataka čime je smanjen utrošak vremena za dohvat i pretraživanje svih podataka i događaja u procesu održavanja - blok-sheme postrojenja, tehnički podaci, arhiva aktivnosti održavanja, kvarova, zaliha itd.,
- primjena jedinstvenog sustava šifriranja i nazivlja - nomenklature objekata održavanja, zaliha itd.

Izravne koristi primjene programa SUPO ogledaju se u raspoloživosti svih potrebnih informacija za primjenu koncepta upravljanja održavanjem "trošak kao motivator" koji se koristi u zapadno-europskim elektroprivredama, primjerice irskom ESBI-ju.

Programom SUPO evidentiraju se i prikupljaju sve komponente troškova održavanja - vlastitih zaposlenika, materijala sa skladišta i usluga vanjskih dobavljača. Podloga za prikupljanje troška je radni nalog održavanja koji omogućuje njegovo praćenje po više kriterija, i to:

- po aktivnostima, odnosno vrstama troška - preventivno ili korektivno održavanje, modifikacije postrojenja,
- po mjestu troška koje čine objekti održavanja, pri čemu je analitičko praćenje troška moguće ostvariti po više razina, od proizvodne jedinice do najmanje komponente postrojenja.

Smanjenje troškova poslovanja primjenom programa SUPO također je moguće ostvariti u segmentu upravljanja zalihama i procesu nabave materijala, usluga i radova:

- optimizacijom zaliha - primjenom provjerenih metoda ABC analize, a također i modela ekonomične količine narudžbe materijala,
- smanjenjem broja skladišta,
- okupnjavanjem narudžbi, sklapanjem partnerstava i dugoročnih ugovora za isporuku zaliha s kvalificiranim dobavljačima.

The benefits of the MMS at HEP Generation and HEP Heating can be generally divided into indirect and direct ones.

Indirect benefits mostly follow from the evident streamlining of business processes as a consequence of the introduction of IT in maintenance. This includes:

- general increase in efficiency and productivity following from the standardisation of business processes and raising the level of their automation compared with the traditional system based on the manually managed data flow and written documentation,
- creating central databases to reduce the time spent on retrieving and searching all the data and events in the maintenance process - flowcharts of the facilities, technical data, archives of maintenance activities, failures, inventories etc.,
- using a single system of codes and names - the nomenclature of the facilities to maintain, inventories etc.

Direct benefits of the MMS are reflected in the availability of all the necessary information for the implementation of the concept of maintenance management or "expense as a motivator" applied by West European power utilities, e.g. the Irish ESBI.

The MMS records and collects all the components of maintenance expenses - own labour, materials in storage and services of external suppliers. The basis for the collection of expenses is a working order that enables its monitoring by several criteria:

- by activities i.e. types of expense - preventive or corrective maintenance, modification of facilities,
- by the location of expense, including the facilities to maintain, where analytical monitoring of expenses is possible on several levels, from the generation unit to the smallest component of the facility

Cutting the operating expenses by using the MMS can also be realised in the segment of inventory management and the process of procurement of materials, services and works by means of:

- inventory optimisation - through the application of the proved methods of the ABC analysis, and by defining economic quantities for material orders,
- reducing the number of warehouses,
- accumulating orders, entering partnerships and long-term agreements for the supply of inventories with qualified suppliers.

Preduvjet za primjenu spomenutih mjera ostvaren je u okviru projekta SUPO razradom i primjenom jedinstvenog sustava šifriranja i nazivlja potrošnog materijala i rezervnih dijelova na razini HEP Proizvodnje i HEP Toplinarstva.

Program SUPO također ima bitnu ulogu u analizi iskorištenja zaposlenika, što predstavlja jedan od parametara za optimiranje broja zaposlenih, a time i odgovarajućih troškova poslovanja.

7 ZAKLJUČAK

Uvođenjem programa SUPO u djelatnost proizvodnje električne i toplinske energije HEP se svrstao u društvo naprednih elektroprivrednih kompanija koje se u vođenju proizvodnih pogona snažno oslanjaju na podršku informacijskih sustava.

Primjenom SUPO-a uspostavljen je jedinstveni sustav upravljanja održavanjem tehničkih sustava u HEP Proizvodnji i HEP Toplinarstvu, što obuhvaća standardizaciju poslovnih procesa planiranja, organizacije, izvršenja i dokumentiranja svih aktivnosti u procesu održavanja. Realizacijom ovog projekta izvršena je temeljita priprema HEP Proizvodnje i HEP Toplinarstva za uspostavu i certifikaciju sustava upravljanja kvalitetom prema ISO standardima serije 9000 i serije 14000.

Program SUPO već se u praksi upotrebljava za dinamičko upravljanje strategijom održavanja radi postizanja visoke raspoloživosti proizvodnih pogona. Poslovanjem HEP-a u europskom elektroenergetskom sustavu očekuje se još veća uloga SUPO-a u troškovnom optimiranju procesa održavanja, racionalizaciji upravljanja i smanjenju razine zaliha te optimiranju broja i iskorištenja vlastitih zaposlenika u održavanju proizvodnih pogona.

Primjenom informacijskih sustava poput programa SUPO HEP postiže razinu tehnološke kompatibilnosti i mogućnost jasne prezentacije načina na koji upravlja vlastitom imovinom.

Program SUPO u HEP Proizvodnji koristi približno 1/3 zaposlenih (809 od 2 399), a u HEP Toplinarstvu više od 1/5 zaposlenih (86 od ukupno 378) pa ga treba promatrati kao komponentu HEP-ova sustava upravljanja znanjem i alat koji omogućuje pohranjivanje, razmjenu i korištenje podataka, informacija i znanja bitnih za upravljanje procesom održavanja.

A prerequisite to the implementation of the above-mentioned measures was met within the MMS project by developing and applying a single system of codes and names for consumables and spare parts at the level of HEP Generation and HEP Heating.

The MMS also has an important role in the analysis of the utilisation of human resources, which is one of the parameters in optimising the number of employees and, consequently, the appropriate operating expenses.

7 CONCLUSION

The introduction of the MMS in the power and heat generation industry put HEP among the advanced power utilities which in managing their generation facilities strongly rely on IT support.

The implementation of the MMS set up a single system of technical management at HEP Generation and HEP Heating, including the standardisation of the business processes of planning, organisation, completion and documentation of all the activities in the maintenance process. The realisation of this project completed a thorough preparation of HEP Generation and HEP Heating for setting up and having certified a quality management system pursuant to ISO standard series 9000 and 14000.

The MMS is already being used for a dynamic management of the maintenance strategy with a view to achieving high availability of generation facilities. With HEP's the operation within the European electric energy system the role of the MMS in optimising the expenses of the maintenance process, streamlining the management and the reduction in the inventory level and the optimisation of the number and utilisation of own human resources in maintaining generating facilities, will be even greater.

By using IT systems such as the MMS, HEP has achieved the level of technological compatibility and the possibility of transparent presentation of the way in which it manages its own assets.

At HEP Generation, the MMS is used by nearly 1/3 (809 out of 2 399), and at HEP Heating by more than 1/5 (86 out of 378) of the total number of employees, so the MMS needs to be seen as an important component of HEP's knowledge-management tool and a tool enabling storage, exchange and use of data, information and knowledge essential to the management of the maintenance process.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] O'HANLON, T., Misson & Vison Statements for Maintenance & Reliability, CMRP Publisher, <http://www.Reliability.com>, 2005.
- [2] Enterprise Asset Management Software & Services Worldwide Outlook, Market Analysis and Technology Forecast Through 2010, ARC Advisory Group, Dedham (MA) USA, <http://www.arcweb.com/Community/arcnews>, 2005.
- [3] Skupina autora, Održavanje opreme, Inženjerski priručnik IP4, poglavlje 9, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
- [4] MAJDANDŽIĆ, N., Strategije održavanja i informacijski sustavi održavanja, Udžbenik Strojarskog fakulteta u Slavonskom Brodu Sveučilišta u Osijeku, Slavonski Brod, 1999.
- [5] WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Failure Rate, <http://en.wikipedia.org/wiki/MTBF>
- [6] BERGER, D., Maintenance optimization and your plant, <http://www.plantservices.com>
- [7] BELAK, V. et al., Upravljanje zalihama i skladišno poslovanje, RRIF, Zagreb, 2002.
- [8] HEP Proizvodnja, Naputak SUPO N-001/97: Raščlamba postrojenja sukladno sustavu označavanja KKS, Ekoneg, 1999.
- [9] HEP Toplinarstvo, Naputak SUPO N-004/98: Smjernice za primjenu KKS u HEP Toplinarstvu, Ekoneg, 1999.
- [10] BRADAČ, V., BRCKAN, K., PAVŠIĆ, T., Primjena Sustava upravljanja poslovanjem održavanja u hidroelektranama Hrvatske elektroprivrede, Zbornik radova 3. međunarodnog simpozija HEPP 2003, Hidroelektrane - obnovljiva energija za danas i sutra, Elektrotehničko društvo Zagreb, Šibenik, 2003.
- [11] BLOMBERG R., MARTINČIĆ A., Plomin 2 u razdoblju 2004. - 2005. godine, Časopis EGE 4/2005, 136-139
- [12] BACINGER, I., BREZOVEC, M., FATOVIĆ, S., Proizvodnja eko struje (zelene energije) u hidroelektranama, Zbornik radova 3. međunarodnog simpozija HEPP 2003, Hidroelektrane - obnovljiva energija za danas i sutra, Elektrotehničko društvo Zagreb, Šibenik, 2003.
- [13] STURM, A., Zustandswissen für Betriebsführung und Instandhaltung, Band 10 der Fachbuchreihe Kraftwerkstechnik, VGB-B010, 1. Ausgabe, VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, 1996.
- [14] OBERG, C. P., Managing Maintenance As a Business, EPAC Software Technologies, Inc., <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/>, 2001

Uredništvo primilo rukopis:
2006-04-11

Manuscript received on:
2006-04-11

Prihvaćeno:
2006-04-20

Accepted on:
2006-04-20

MATEMATIČKO MODELIRANJE KRETANJA CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA SPOT TRŽIŠTU MATHEMATICAL MODEL OF THE ELECTRICITY PRICES ON THE SPOT MARKET

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

Cijena se na tržištu električne energije neprestano mijenja. Njezina je buduća kretanja zbog karakteristika tržišta električne energije relativno teško predvidjeti. Zbog toga se primjenjuju sljedeća tri procesa: proces kretanja budućih cijena električne energije po geometrijskom Brownovom gibanju, proces kretanja prosječnih vrijednosti cijena električne energije i proces kretanja budućih cijena električne energije s povremenim vršnim vrijednostima. U radu su obrađena sva tri procesa, čime je obuhvaćena njihova definicija, formulacija, primjena te navođenje prednosti i nedostataka.

The price on the electricity market is constantly changing. Owing to the characteristics of electricity market the future movement of the price is relatively hard to predict. For this reason the following three processes are applied: the process of the future electricity price movement according to the geometric Brownian motion, the mean reversion process, and the price spikes process. The paper discusses all three processes, including their definitions, formulas and applications, as well as their upsides and downsides.

Ključne riječi: cijena, električna energija, procesi kretanja cijena
Key words: electricity, price, price processes



1 UVOD

Proces liberalizacije tržišta električne energije pokreće brojne promjene u sustavu trgovanja električnom energijom. Monopol nad električnom energijom nestaje, a time i monopolist koji je na zatvorenom tržištu jedini imao pravo opskrbljivati potrošače električnom energijom. Država je određivala tarifni sustav cijena kojim se monopolist služio za obračunavanje troškova potrošačima, odnosno kupcima. Uobičajeno je bilo da se tarifni sustav rjeđe mijenjao, što je kod potrošača električne energije stvaralo jedan oblik sigurnosti. S druge strane, potrošači nisu mogli po povoljnijim uvjetima dobavljati električnu energiju od drugog opskrbljivača.

Sloboda izbora opskrbljivača donosi i određene rizike od stalnih promjena cijena električne energije. Ovdje se govori o promptnoj cijeni električne energije, odnosno cijeni kod koje se obavlja trenutna isporuka električne energije. Na promjenjivost cijena u bitnoj mjeri utječu odnos između ponude i potražnje, cijene energenta za pogon proizvodnih postrojenja, klimatske promjene te povremeni zastoji, ispadi i preopterećenost elektroenergetskog sustava (EES). Iz tog proizlaze sljedeće karakteristike cijena električne energije [1] i [2]:

- sezonalnost: cijene električne energije mijenjaju se u skladu s njezinom potražnjom tijekom sata, dana, mjeseca i godine,
- trend kretanja prosječnih vrijednosti cijena oko kojih se kreću slučajne vrijednosti cijena električne energije,
- nemogućnost skladištenja električne energije: svaki kilovatsat električne energije treba biti potrošen kad je i proizveden, tako da se cijene, za razliku od ostalih vrsta robe, ne mogu mirnije kretati,
- povremene vršne vrijednosti cijena: zbog grešaka u prijenosu, nestašice električne energije, preopterećenja EES-a kao i zbog goleme potražnje te ekstremnih vremenskih uvjeta.

Cijene električne energije sklone su neprestanim promjenama, pa sudionici tržišta električne energije nastoje predvidjeti buduća kretanja cijena. Zbog toga se služe različitim stohastičkim procesima široko primjenjivanim i kod ostalih vrsta robe. Riječ je o sljedećim procesima: proces kretanja budućih cijena po geometrijskom Brownovom gibanju (GBM), proces kretanja prosječnih vrijednosti cijena te proces kretanja budućih cijena s povremenim vršnim vrijednostima. Karakteristika ovih triju procesa jest

1 INTRODUCTION

The process of the liberalisation of the electricity market is introducing many changes in the electricity market. The monopoly is vanishing, and with it goes the monopolist who on a closed market was solely entitled to supply consumers with electric power. The state used to determine the rates and prices the monopolist used in charging the consumers i.e. customers. Normally, rates were changed less frequently, which created a sense of security in the consumers. On the other hand, consumers could not purchase electricity under favourable terms from another supplier.

The freedom to choose the supplier brings some risks arising from the constant changes in the price of electricity. Here we are dealing with the spot price of electricity, notably the price at which electricity is supplied instantly. Changing prices are vitally affected by the relation between the demand and supply, the price of fuel for firing power generation facilities, climatic changes and occasional failures, outages and overloads in the electric power system. This results in the following characteristics of electric power prices [1] and [2]:

- seasonality: electricity prices change in accordance with the demand during hour, day, month and year,
- mean reversion: reflecting the movement of random values of electricity price,
- non-storability: every kilowatt-hour of electricity needs to be consumed when it is generated, so that prices, unlike other types of goods, cannot remain so steady,
- price spikes: owing to transmission failures, shortage of electricity, overload of electric power system, as well as the huge demand and extreme weather conditions.

Electricity prices are prone to constant changes, so players on the electricity market attempt to predict the future movement of prices. In this they use different stochastic processes which are widely applied to other types of commodities as well. The following processes are at play: the process of the movement of the future prices according to geometric Brownian motion (GBM), the process of Mean Reversion and the process of Jump Diffusion. The common characteristic of these three processes is a simulation of the future prices for a particular period.

The paper is divided in three chapters dealing with the three processes for the simulation of the future price of electricity. This includes their definition, formulation, application on one example and

simulacija budućih cijena za određeno vremensko razdoblje.

Rad je podijeljen u tri poglavlja u kojima se obrađuju sva tri procesa za simulaciju budućih cijena električne energije. To uključuje njihovu definiciju, formuliranje, primjenu kroz jedan primjer te navođenje prednosti i nedostataka. Na kraju slijedi zaključak rada i popis literature.

2 GEOMETRIJSKO BROWNOVO GIBANJE

Najpoznatiji proces kretanja cijena opisan je Brownovim gibanjem. Ime je dobio po škotskom botaničaru Robertu Brownu koji je 1827. godine došao do spoznaje da se čestice i plin gibaju neprestano kaotično i slučajno. Proces Brownova gibanja koristi se u mnogim područjima. Na primjer, u području financija za simulaciju slučajnih cijena vrijednosnica. S vremenom je u tom području Brownovo gibanje dobilo naziv slučajno kretanje po putanji pijanca od bifea do njegove kuće [3].

Osnovne karakteristike kretanja slučajnih cijena su sljedeće:

- cijene se mijenjaju nezavisno jedna od druge,
- cijene se mijenjaju s konstantnim prosjekom i s pokazateljem promjenjivosti cijena.

Za primjenu procesa kretanja budućih cijena koriste se krivulje koje prikazuju očekivane vrijednosti cijena za različite datume dospijanja. Odnos između različitih očekivanih vrijednosti cijena vođen je stopom povrata o kojoj ovisi odklon kretanja budućih cijena.

2.1 Definicija

Geometrijsko Brownovo gibanje podrazumijeva vraćanje slučajnih brojeva u prirodni logaritam kako njihove vrijednosti ne bi pale ispod nule. Tako raspodijeljene vrijednosti prate Brownovo gibanje, što predstavlja Wienerov proces ili proces normalne distribucije slučajnih brojeva.

Ako je S_t sadašnja cijena električne energije, promjena cijene može biti aproksimirana sljedećim izrazom [1], [2], [3] i [4]:

indication of their upsides and downsides. Finally, there follows the conclusion and the references.

2 GEOMETRIC BROWNIAN MOTION

The best known description of the process of price movement is Brownian motion. It got its name after the Scottish botanist Robert Brown who, in 1827, discovered that particles and gas incessantly move chaotically and randomly. The process of Brownian motion is used in many fields. For instance, in finances, to simulate random prices of securities. Eventually, the Brownian motion in this field came to be known as Random Walk after the path of a drunk from the bar to his home [3].

Basic characteristics of the movement of random prices are:

- the prices change independently of one another,
- the prices change with a constant mean and volatility.

In predicting the future movement of prices curves are applied that show expected price levels for different delivery dates. The relation between different expected price levels is defined by the yield on which the drift of the future price movement depends.

2.1 Definition

Geometric Brownian motion assumes reverting random numbers into the natural logarithm lest their values fall below zero. The values thus distributed follow the Brownian motion, which is Wiener's process or the process of normal distribution of random numbers.

If S_t is the current price of electricity, the change in the price may be approximated in the following expressions under [1], [2], [3] and [4]:

$$\Delta S = \mu \cdot S_t \cdot \Delta t + \sigma \cdot S_t \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt{\Delta t} \quad (1)$$

iz kojeg se izdvaja dio koji se odnosi na stupanj otklona vrijednosti cijena:

with the part related to the extent of the drift:

$$\mu \cdot S_t \cdot \Delta t$$

i dio koji se odnosi na kretanje slučajnih vrijednosti cijena električne energije:

and the part related to the movement of random values of electricity prices:

$$\sigma \cdot S_t \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt{\Delta t}$$

Stupanj otklona μ izražava se u postocima, a definiran je sljedećim izrazom:

The extent of the drift is expressed in percentage points and is defined in the following expression:

$$\mu = \beta + \delta \tag{2}$$

gdje su:

β - očekivani kapitalni dobitak,
 δ - očekivana dividenda ili stopa povrata.
Pretpostavlja se da je stupanj otklona konstantan.

whereas:

β - expected capital gain,
 δ - expected dividend or the convenience yield. It is assumed that the extent of the drift is constant.

U drugom dijelu izraza (1):

In the second part of the expression (1):

ε_t - normalna distribucija slučajnih brojeva koje određuju vrijednosti cijena u vremenskom intervalu Δt , a $\sqrt{\Delta t} = \sqrt{t_{i+1} - t_i}$ drugi korijen od vremenskog intervala u kojem se cijene električne energije mijenjaju,

ε_t - normal distribution of random numbers determining the values of prices in the interval Δt whereas $\sqrt{\Delta t} = \sqrt{t_{i+1} - t_i}$ square root of time rule,

σ - pokazatelj promjenjivosti cijena raste u skladu s drugim korijenom od promatranog vremenskog razmaka.

σ - indicator of price volatility is increasing consistently with the square root of the interval observed.

Stoga je, da bi se izvela simulacija kretanja budućih cijena električne energije po geometrijskom Brownovom gibanju, dovoljno poznavati sadašnju cijenu te očekivani pokazatelj promjenjivosti cijena. Nekoliko je metoda za procjenjivanje očekivanog pokazatelja promjenjivosti cijena. Najčešće su zastupljene sljedeće metode [2], [3]:

In order to make a simulation of the movement of the future electricity prices in accordance with the geometric Brownian motion, it suffices to know the current price and the expected volatility. There are several methods for estimating the expected volatility. The most frequently used are methods [2], [3]:

- očekivani pokazatelj promjenjivosti cijena procijenjen na osnovi statističkih podataka ili statistički pokazatelj promjenjivosti cijena,
- pokazatelj promjenjivosti cijena proizašao iz opcija ili implicirani pokazatelj promjenjivosti cijena. Opcija jest vrsta ugovora po kojem njezin imatelj ima pravo, ali ne i obvezu, prodati, odnosno kupiti robu ili vrijednosnice tijekom ili na kraju nekog razdoblja po dogovorenoj cijeni [4], [6] i [7].

- volatility estimated on the basis of statistical data or the statistical volatility,
- volatility resulting from options or implied volatility. Option is a type of contract under which the holder is entitled, though not obligated, to sell or buy commodities or securities for the duration or at the end of a period at the agreed price [4], [6] and [7].

S obzirom na razdoblje u kojem se promatra kretanje cijena, pokazatelj promjenjivosti cijena može biti satni, dnevni, mjesečni, godišnji te sveden na godišnju razinu.

Depending on the period in which the movement of prices is observed, volatility may be hourly volatility, daily volatility, monthly volatility, annual volatility and annualised volatility.

2.2 Primjer

Primijenit će se simulacija kretanja budućih cijena električne energije po geometrijskom Brownovom gibanju nakon što se odredi statistički pokazatelj promjenjivosti cijena (tablica 1). Pritom će se koristiti MS Excel koji sadrži sve relevantne statističke funkcije za simulaciju kretanja vrijednosti.

2.2 Example

A simulation of the future electricity price movement in accordance with geometric Brownian motion will be conducted once the statistical volatility has been determined (Table 1). In this, MS Excel will be used because it contains all the relevant statistical functions for the simulation of the value movement.

Tablica 1 - Određivanje pokazatelja promjenjivosti cijena na godišnjoj razini
Table 1 - Determining annual volatility

Dan Date	Prosječna cijena električne energije Average price of electricity (euro/MWh)	Relativna promjena cijene Relative price change
2005-10-26	44,75	
2005-10-27	58,11	26,12 %
2005-10-28	50,91	-13,23 %
2005-10-29	41,44	20,58 %
2005-10-30	30,74	29,87 %
2005-10-31	40,73	28,14 %
2005-11-01	31,81	-24,72 %
2005-11-02	50,55	46,32 %
2005-11-03	44,05	-13,76 %
2005-11-04	50,17	13,01 %
	Dnevni pokazatelj promjenjivosti cijena / Daily volatility	27,54 %
	Vremenska distanca / Time distance	17,32
	Pokazatelj promjenjivosti cijena na godišnjoj razini / Annual volatility	477 %

Izvor cijena / Price source: EEX Spot Market (www.eex.de)

Iz tablice 1 zadane su vrijednosti prosječne cijene električne energije koje su se dogodile u razdoblju od 26. listopada do 4. studenog 2005. godine na burzi European Electricity Exchange (EEX Spot Market). Relativna promjena cijene vraćena je u prirodni logaritam, na primjer $S_1 = \ln(S_1 / S_2)$ gdje su S_1 i S_2 buduće cijene električne energije za prvi i drugi dan. Za određivanje dnevnog pokazatelja promjenjivosti cijena koristi se funkcija STDEV (standardna devijacija) koja obuhvaća cijelo polje vrijednosti koje se odnosi na relativnu promjenu cijena. Za izračunavanje pokazatelja promjenjivosti cijena na godišnjoj razini množi se dnevni pokazatelj promjenjivosti

Table 1 shows the values of the average prices of electricity in the period from October 26 to November 4, 2005, on the European Electricity Exchange (EEX Spot Market). The relative price change was reverted to natural logarithm, e.g. $S_1 = \ln(S_1 / S_2)$ where S_1 and S_2 are future electricity prices for the first and second days, respectively. To determine the daily volatility the STDEV (standard deviation) function is applied which includes an array of values related to the relative price change. To calculate the annual volatility the daily volatility is multiplied by the interval of 300 days, which corresponds to the total number of days of trading in electricity in a year ($0,2754 \cdot 300 = 4,77$ ili 477 %).

cijena s vremenskim intervalom od 300 dana, što odgovara ukupnom broju dana u godini kad se trguje električnom energijom ($0,2754 \cdot 300 = 4,77$ ili 477 %).

Pokazatelj promjenjivosti cijena na godišnjoj razini za prikazani slučaj relativno je velik jer su cijene u razdoblju od deset dana bile sklone naglijim promjenama.

Za simulaciju kretanja vrijednosti cijena električne energije u nekoliko krivulja potrebno je zadati sljedeće konstantne parametre:

- trenutna cijena električne energije $S_0 = 50$ euro/MWh,
- vrijeme promatranja $t = 1$ godina,
- broj promatranih dana za simulaciju kretanja budućih cijena 300,
- vremenski interval $\Delta t = 1/300 = 0,03333$,
- pokazatelj promjenljivosti cijena (prema tablici 1) $\sigma = 27,54$ %,
- stupanj otklona $\mu = 20$ %.

Za simulaciju kretanja budućih cijena električne energije generirat će se jedinstveni slučajni brojevi (RAND), a nakon toga izvršiti njihova distribucija u normalnom obliku (NORMINV). Za izračunavanje slučajnih cijena koristi se izraz (1). Na slici 1 prikazan je dijagram krivulja budućih cijena.

Iz priloženog dijagrama vrijednosti cijena kreću se različito. Na primjer, cijene po krivulji S-6 bitno se razlikuju od cijena po krivulji S-2. Međutim, MS Excel programom mogu se neprestano generirati novi slučajni brojevi (tipkom F9), što rezultira novim krivuljama kretanja budućih cijena.

The annual volatility in the above example is relatively great because the prices in the ten-day period tended to sudden changes.

To simulate the movement of the value of electricity prices in several curves, it is necessary to set the following constant parameters:

- current price of electricity $S_0 = 50$ euro/MWh,
- period of observation $t = 1$ Year,
- number of days observed 300,
- time interval $\Delta t = 1/300 = 0,03333$,
- volatility (Table 1) $\sigma = 27,54$ %,
- drift $\mu = 20$ %.

To simulate the movement of future electricity prices, unique random numbers (RAND) will be generated, followed by their distribution in normal form (NORMINV). For calculating random prices the expression (1) will be used. Figure 1 shows the diagram with the curves of the future prices.

The diagram shows different movement of price values. For example, the prices on curve S-6 differ substantially from the prices on curve S-2. However, MS Excel can constantly generate new random numbers (F9 key), resulting in new curves.

Slika 1
Dijagram kretanja budućih cijena električne energije u šest krivulja
Figure 1
Diagram of the movement of future electricity prices with six curves



2.3 Prednosti i nedostaci

Geometrijsko Brownovo gibanje često je korišten proces za simulaciju kretanja budućih cijena električne energije jer su njegove karakteristike dobro poznate te kompjutorski lako primjenjive za računanje. S istim ulaznim parametrima (npr. pokazatelj promjenjivosti cijena, stupanj otklona, trenutna cijena električne energije...) i neprestanim generiranjem slučajnih brojeva dobivaju se različite krivulje kretanja cijena. Cijene među pojedinim krivuljama mogu drastično varirati, ali što je generacija slučajnih brojeva češća, to se više stječe osjećaj za nastupanje cijena u budućnosti.

Nedostaci geometrijskog Brownovog gibanja odnose se na složeno određivanje najvažnijeg parametra - pokazatelja promjenjivosti cijena. Korištenje statističkog pokazatelja promjenjivosti cijena nije pouzdano (to se odnosi i na implicirani pokazatelj promjenjivosti cijena). Idealno bi bilo poznavati buduću vrijednost pokazatelja promjenjivosti cijena, ali njegova je vrijednost nepoznata sve dok ne nastupe nove trenutne cijene električne energije. Tada taj pokazatelj promjenjivosti cijena postaje statistički pokazatelj promjenjivosti cijena. Stoga bi trebalo izraditi krivulju pokazatelja promjenjivosti cijena koja bi predstavljala najbolju procjenu budućeg pokazatelja promjenjivosti cijena. Drugo je rješenje iscrpno pratiti promjenu pokazatelja promjenjivosti cijena tijekom sati, dana, mjeseca, godine i godina te u njima pronalaziti uzroke. Takvi bi statistički pokazatelji promjenjivosti cijena pretpostavljali buduće pokazatelje promjenjivosti cijena postavljene po scenarijima nastupanja budućih cijena.

3 KRETANJE PROSJEČNIH VRIJEDNOSTI CIJENA

Povremene vršne vrijednosti cijena električne energije uobičajene su na tržištima, a nastaju zbog neočekivanih događaja (npr. zbog prisilnih pogonskih ispada elektroenergetskih postrojenja, zastoja u prijenosu električne energije, toplinskog udara itd.). Velika je vjerojatnost da će se cijene nakon dosizanja vršnih vrijednosti vratiti svojim prosječnim vrijednostima.

Za geometrijsko Brownovo gibanje povremene vršne vrijednosti znače normalan događaj jer cijene koje su generirane slučajnim brojevima ne zavise jedna od druge. Zbog toga navedeni proces nema sposobnost vratiti slučajnu vrijednost cijene na prosječnu vrijednost.

2.3 Upsides and downsides

Geometric Brownian motion is a frequently used process for the simulation of the movement of future electricity prices because its characteristics are well known and it is easy to use in computer calculation. The same input parameters (e.g. volatility, drift, current price of electricity...) and constant generation of random numbers result in different price movement curves. The prices between particular curves may vary drastically, but the more frequent the generation of random numbers, the better the perception of the future prices.

The downsides of the geometric Brownian motion include the complexity of determination of the most important parameter - volatility. Statistical volatility is not reliable (this applies to the implied volatility as well). It would be ideal to know the future volatility, but its value is unknown until the occurrence of new electricity prices. At that point this indicator becomes statistical volatility. For this reason it would be necessary to construct a volatility curve which would represent the best assessment of the future volatility. Another solution is to exhaustively follow the changes in volatility during hours, days, months, year and years, and establish causes in them. Such statistical volatility would assume a future volatility set according to the scenarios of the occurrence of future prices.

3 MEAN REVERSION

Price spikes are normal on electricity markets, and they are due to unexpected events (e.g. outages, transmission blockages, heat impact etc.). There is a great probability that the prices, once they have reached their peaks, will revert to their average values.

In geometric Brownian motion price spikes are normal because prices generated by random numbers are not dependent on each other. For this reason the process is not capable of reverting the random price value to the average level.

3.1 Definicija

Po definiciji trend kretanja prosječnih vrijednosti cijena jest tendencija da se cijene u stohastičkom procesu kreću u skladu s dugoročnim prosječnim vrijednostima. To je moguće ako se te cijene zajedno matematički povežu. Zbog toga će izraz (1) biti prilagođen procesu kretanja prosječnih vrijednosti cijena [5]:

$$\Delta S = \alpha \cdot (S_{\text{avg}} - S_t) + \sigma \cdot \varepsilon_t \quad (3)$$

Dio koji se odnosi na stupanj otklona cijena zamijenjen je dijelom za utvrđivanje prosječne vrijednosti cijena $\alpha \cdot (S_{\text{avg}} - S_t)$, dok drugi $\sigma \cdot \varepsilon_t$ dio i dalje predstavlja simulaciju slučajnih vrijednosti cijena. U ovom se slučaju nadovezuju novi parametri poput stope povrata vrijednosti cijena na prosjek, α (Mean reversion rate), i dugoročne prosječne vrijednosti cijene, S_{avg} .

3.2 Primjer

Za određivanje stope povrata vrijednosti cijena na prosjek i dugoročne prosječne vrijednosti cijene koristit će se postupak linearne regresije uz pomoć MS Excel programa i parametara regresije SLOPE (vertikalna udaljenost podijeljena po horizontalnoj udaljenosti između dviju točaka na pravcu čija je promjena usklađena s pravcem regresije), INTERCEPT (računa točku koja siječe y-os koristeći postojeće x, y vrijednosti; koristi se za određivanje vrijednosti zavisne varijable kad je vrijednost nezavisne varijable jednaka nuli) i STEYX (vraća standardnu grešku predviđene y vrijednosti za svaki x unutar regresije). Za primjer će se uzeti vrijednosti cijena i rezultati iz tablice 1. U tablici 2 prikazan je način određivanja dugoročne prosječne vrijednosti cijena električne energije.

3.1 Definition

By definition, mean reversion is a tendency for the prices in a stochastic process to move in accordance with long-term mean values. This is possible if prices are mathematically joined together. This is why expression (1) will be adjusted to mean reversion [5]:

The part related to the drift has been replaced by the part for determining the mean value of prices $\alpha \cdot (S_{\text{avg}} - S_t)$, whereas the second part $\sigma \cdot \varepsilon_t$ still represents the simulation of random values of prices. In this case there are new parameters such as a mean reversion rate, α , and a long run mean, S_{avg} .

3.2 Example

To determine the mean reversion rate and the long run mean the linear regression procedure will be used with the help of MS Excel and the regression parameters of SLOPE (vertical distance divided by the horizontal distance between two points on a line whose change is in tune with the line of regression), and INTERCEPT (calculates the point intersecting the y-axis using the available x, y values; used for determining values of the dependent variable when the value of independent variable equals zero) and STEYX (reverts the standard error of envisaged y value for each x within the regression). An example will include the values of prices and the results from Table 1. Table 2 shows the method to determine the long run mean of electricity prices.

Tablica 2 - Određivanje dugoročne prosječne vrijednosti cijena električne energije
Table 2- Determining the long run mean of electricity prices

Dan Date	Trenutačna cijena Current price (euro/MWh)	Relativna promjena cijene Relative price change (%)	Relativna promjena cijene Relative price change (%)	Prijašnja cijena Previous price (euro/MWh)
2005-10-26	44,75			
2005-10-27	58,11	26,12	13,36	44,75
2005-10-28	50,91	-13,23	-7,2	58,11
2005-10-29	41,44	-20,58	-9,47	50,91
2005-10-30	30,74	-29,87	-10,7	41,44
2005-10-31	40,73	28,14	9,99	30,74
2005-11-01	31,81	-24,72	-8,92	40,73
2005-11-02	50,55	46,32	18,74	31,81
2005-11-03	44,05	-13,76	-6,5	50,55
2005-11-04	50,17	13,01	6,12	44,05
Dnevni pokazatelj promjenjivosti cijena Daily volatility		27,54 %	Parametri regresije / Regression parameters:	
Vremenska distanca / Time distance		17,32	SLOPE	79,53%
Pokazatelj promjenjivosti cijena na godišnjoj razini Annual volatility		477 %	INTERCEPT	35,34
			STEYX	9,58
			Stopa povrata cijena na prosjek Mean reversion rate	79,53%
			Dugoročna prosječna vrijednost cijene Long run mean	44,43
			Pokazatelj promjenjivosti cijena Volatility	21,56

Izvor cijena: EEX Spot Market (www.eex.de)

Stopa povrata vrijednosti cijena na prosjek jednaka je vrijednosti parametra regresije SLOPE. Dugoročna prosječna vrijednost cijene računa se tako da se podijeli parametar regresije INTERCEPT sa stopom povrata vrijednosti cijena na prosjek. Pokazatelj promjenjivosti cijena predstavlja odnos između parametra regresije STEYX i dugoročne prosječne vrijednosti cijene.

Korištena metoda u tablici 2 primijenit će se za simulaciju kretanja vrijednosti cijena električne energije. Postupak je sljedeći: prvo se generiraju slučajni brojevi za određivanje trenutnih cijena za promatrana razdoblja po geometrijskom Brownovom gibanju.

The mean reversion rate equals the value of the SLOPE regression parameter. The long run mean is calculated dividing the INTERCEPT regression parameter by the mean reversion rate. Volatility is the relation between the STEYX regression parameter and the long run mean.

The method applied in Table 2 will be used in the simulation of the movement of the price of electricity. The procedure includes the following: first, random numbers are generated to determine the current prices for the periods observed under geometric Brownian motion.

Zatim se računa apsolutna promjena cijene i zajedno s prijašnjim cijenama određenim parametrima iz primjera u poglavlju 2.2. dobiva se sljedeće:

α - stopa povrata vrijednosti cijena na prosjek,
 S_{avg} - dugoročna prosječna vrijednost cijene,
 σ - pokazatelj promjenjivosti cijena na godišnjoj razini koja se u skladu s promjenom slučajnih brojeva može neprestano mijenjati.

Dobiveni parametri uvrštavaju se u izraz (3), nakon čega se dobivaju krivulje kretanja budućih cijena s pravcem dugoročne prosječne vrijednosti cijene. U ovom će se primjeru slučajni brojevi dva puta generirati (slike 2 i 3).

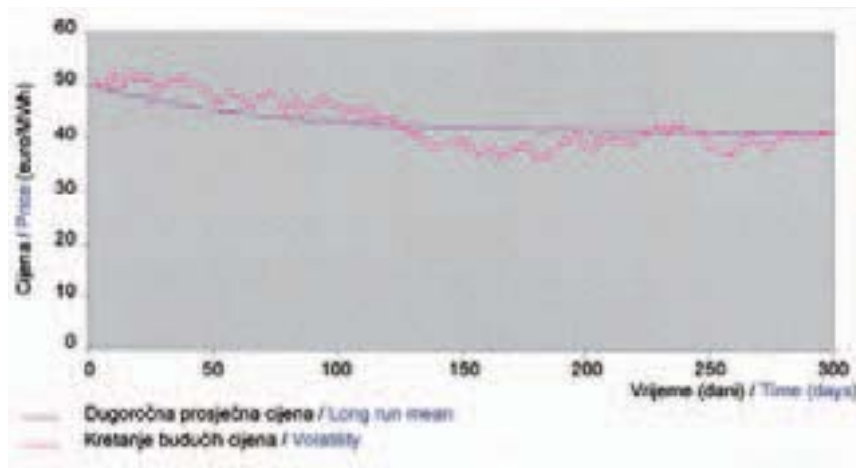
Then, the absolute price change is calculated and - together with the previous prices determined by means of the parameters mentioned in the example referred to in chapter 2.2. - the following is obtained:

α - mean reversion rate,
 S_{avg} - long run mean,
 σ - annual volatility which in accordance with the change in random numbers can change constantly.

The parameters obtained are included in expression (3) to obtain curves of the future volatility with the line of long run mean. In this example random numbers will be generated twice (Figures 2 and 3).

Slika 2

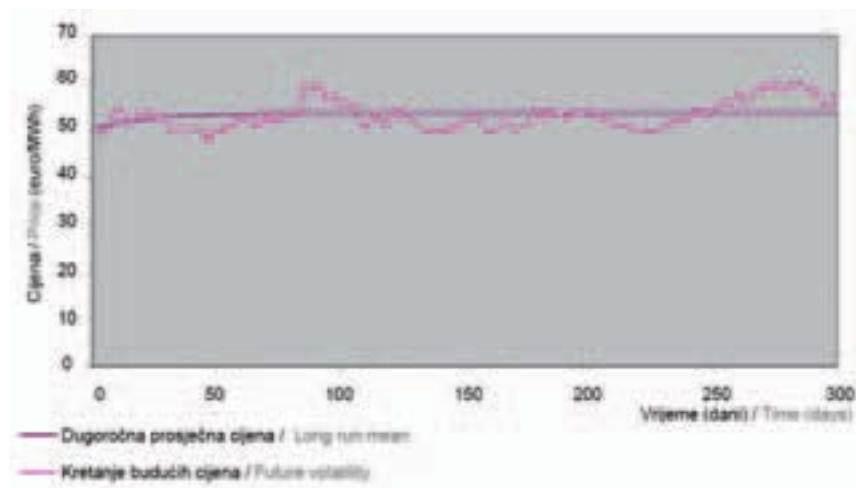
Dijagrami krivulja budućih cijena i dugoročnih prosječnih cijena električne energije (pad prosječnih vrijednosti)
 Figure 2
 Curve diagrams of the future volatility and long run means of electricity prices (decrease in mean values)



($\alpha = 1,5 \%$, $S_{avg} = 41,153$ euro/MWh, $\sigma = 1,7 \%$)

Slika 3

Dijagrami krivulja budućih cijena i dugoročnih prosječnih cijena električne energije (rast prosječnih vrijednosti)
 Figure 3
 Curve diagrams of the future volatility and long run means of electricity prices (increase in mean values)



($\alpha = 4,1 \%$, $S_{avg} = 53,752$ euro/MWh, $\sigma = 1,6 \%$)

Slike 2 i 3 prikazuju dva tipična dijagrama s tendencijom pada i rasta prosječnih vrijednosti cijena električne energije. Karakteristika prosječnih vrijednosti jest da prati trend promjena budućih cijena u određenom vremenskom razdoblju. Dijagram na slici 2 prikazuje trend postupnog pada vrijednosti budućih cijena u razdoblju od 300 dana. To znači da će se dugoročna prosječna vrijednost cijene u tom razdoblju smanjiti sa 50 euro/MWh na 41,153 euro/MWh. Dijagram na slici 3 prikazuje obrat, odnosno trend postupnog rasta vrijednosti budućih cijena električne energije, što znači i rast dugoročne prosječne vrijednosti cijena sa 50 euro/MWh na 53,752 euro/MWh. To, pak, znači da cijena električne energije sporije raste u drugom slučaju nego što pada u prvom slučaju, a to pokazuju i njihovi pokazatelji promjenjivosti cijena (1,6 % prema 1,7 %).

3.3 Prednosti i nedostaci

Proces kretanja prosječnih vrijednosti cijena jako se dobro uklapa u proces kretanja budućih cijena po geometrijskom Brownovom gibanju. To je dokazano dijagramima na slikama 2 i 3 u kojima krivulje prosječnih vrijednosti cijena prate oscilacijsko kretanje budućih cijena električne energije.

S druge strane, ovaj proces ne uzima u obzir povremene vršne vrijednosti cijena električne energije koje su važne kod planiranja strategije za izbjegavanje rizika, odnosno mogućeg gubitka. Brzina po kojoj se cijene vraćaju dugoročnoj prosječnoj vrijednosti ovisi o prirodi, veličini i pravcu naglih skokova cijena. Zbog toga se često stopa povrata vrijednosti cijena na prosjek kalibrira za svaki mjesec u godini uz isključivo korištenje podataka razmatranog mjeseca [5].

4 KRETANJE BUDUĆIH CIJENA S POVREMENIM VRŠNIM VRIJEDNOSTIMA

Cijene električne energije izložene su velikim, naglim i iznenadnim promjenama okarakterizirane skokovima ili vršnim vrijednostima. U literaturi je uvriježen naziv vršne vrijednosti cijene jer vrijednosti u jednom trenutku dosegnu te vrijednosti i zatim se ponovno vraćaju na prosječne vrijednosti.

Na liberaliziranom tržištu električne energije pojedini sudionici nisu sposobni upravljati rizikom od pojavljivanja vršnih vrijednosti cijena. Stoga su izloženi velikim gubicima. Događa se da im sva zarada koju su tijekom godine ostvarili ispari zbog nepredviđenih velikih vršnih vrijednosti cijena. Te su vrijednosti uobičajene za razdoblja visokih tarifa kad je golemi broj potrošača uključen na mrežu, a potražnja za električnom energijom velika, odnosno

Figures 2 and 3 show two different diagrams with the decreasing and increasing tendencies regarding the mean prices of electricity. A characteristic of means is that they follow the future volatility in a particular period of time. The diagram in Figure 2 shows the decreasing trend in future volatility in the period of 300 days. This means that the long run mean in this period will decrease from 50 euro/MWh to 41,153 euro/MWh. The diagram in Figure 3 shows the opposite, notably the increasing trend in the future volatility, which is an increase in the long run mean from 50 euros/MWh to 53,752 euro/MWh. This, again, means that the price of electricity is increasing slower in the second instance than it is decreasing the first, as reflected in their volatility (1,6 % and 1,7 %).

3.3 Upsides and downsides

The process of the mean reversion fits very well into the process of future price movement according to geometric Brownian motion. This is supported by the diagrams in Figures 2 and 3 in which mean curves follow the oscillating movement of the future process of electricity prices.

On the other hand, this process does not take into account electricity price pikes which are important in planning the strategy to avoid risks i.e. a possible loss (hedging). How quickly the prices revert to the long run mean depends on the nature, scale and direction of such price jumps. This is why the mean reversion rate is calibrated for each month of the year using just the data for the month under scrutiny [5].

4 JUMP DIFFUSION

Electricity prices are exposed to great, rapid and sudden changes characterised as jumps or spikes. In the reference literature, the term price spikes is standard because at one moment prices reach such a value and then again revert to mean values.

On the liberalised electricity market some participants are not capable of managing the risk of price spikes. They are thus exposed to great losses. It may happen that their entire earnings throughout the year evaporates owing to unpredicted great price spikes. Such spikes are normal in high rate periods when a huge number of consumers are connected to the network and the demand for electricity is high i.e. when electric power system is overloaded. Likewise, price spikes are characteristic of the daily prices. To determine price means, the impact of price spikes is included in the number

kad je EES preopterećen. Isto su tako vršne vrijednosti cijena karakteristične za cijene koje se zbivaju u tijeku dana. Za određivanje prosječnih vrijednosti cijena, utjecaj vršnih vrijednosti uključen je u niz cijena promatranog razdoblja za koje se računa prosječna vrijednost cijene.

4.1 Definicija

Proces kretanja budućih cijena električne energije s povremenim vršnim vrijednostima jest proces vršnih vrijednosti u kombinaciji procesa po geometrijskom Brownovom gibanju i procesa kretanja prosječnih vrijednosti cijena. Sam proces vršnih vrijednosti opisan je Poissonovim procesom čija su obilježja sljedeća: na svakom malom vremenskom intervalu vršna vrijednost cijene može i ne mora nastupiti, čija je vjerojatnost proporcionalna duljini promatranog intervala. Drugim riječima, za svaki je trenutak t vremenskog intervala $(t, t + \Delta t)$ promjena parametra Poissonovog procesa definirana sljedećim relacijama [2]:

$$\begin{aligned} Pr(\Delta q = 0) &= 1 - \lambda \cdot \Delta t \\ Pr(\Delta q = 1) &= \lambda \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

gdje je intenzitet Poissonovog procesa opisan brojem nastupanja vršnih vrijednosti cijena električne energije u godini dana.

Sam proces kretanja cijena s vršnim vrijednostima matematički se opisuje na sljedeći način [1]:

$$\Delta S = \alpha \cdot (S_{\text{avg}} - S_t) \cdot \Delta t + S_t \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{1t} \cdot \sqrt{\Delta t} + \eta \cdot [S_t \cdot (\kappa + \delta \cdot \varepsilon_{2t})] \quad (5)$$

iz kojeg je vidljivo da su uključeni parametri Poissonovog procesa opisanog dijelom izraza (5) koji se odnosi na proces kretanja vršnih vrijednosti cijena električne energije:

$$\eta \cdot [S_t \cdot (\kappa + \delta \cdot \varepsilon_{2t})]$$

Novi parametri su sljedeći:

η - uvjetovana varijabla čija je vrijednost jednaka jedan ako nastupi vršna vrijednost cijene, odnosno jednaka nuli ako ne nastupi vršna vrijednost cijene, što je u skladu s relacijom (4),

κ - očekivani skok cijene, izražen u postotku od prethodne cijene električne energije,

δ - standardna devijacija skoka cijene, izražena u postotku,

ε_{2t} - normalna distribucija slučajnih brojeva za određivanje vršnih vrijednosti cijena u vremenskom intervalu t .

of prices from the period observed for which mean values are calculated.

4.1 Definition

Jump diffusion is a price spike process combined with the geometric Brownian motion and the mean reversion process. Jump diffusion itself is described by the Poisson process with the following characteristics: in each small time interval there may, but need not, occur a price spike, whose probability is proportionate to the length of the interval observed. In other words, for each moment t of the time interval $(t, t + \Delta t)$ the change of parameters in the Poisson process is defined by the following relations [2]:

where is intensity of the Poisson process described by the number of occurrences of price spikes in a year.

Jump diffusion itself is mathematically described in the following manner [1]:

showing the inclusion of the parameters of the Poisson process described by the part of expression (5) related to the jump diffusion of electricity prices:

New parameters are:

η - conditional variable whose value equals one, if price spike occurs, or which equals zero if no price spike occurs, which is in accordance with relation (4),

κ - expected price jump, expressed as a percentage of the previous price of electricity,

δ - standard deviation of price jump, expressed as a percentage,

ε_{2t} - normal distribution of random numbers in determining price spikes in the time interval t .

Po definiciji se izraz (5), osim navedenog dijela koji se odnosi na proces vršnih vrijednosti cijena, sastoji još od sljedećeg:

$\alpha \cdot (S_{avg} - S_t) \cdot \Delta t$ - proces kretanja prosječnih vrijednosti cijena električne energije i

$S_t \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{yt} \cdot \sqrt{\Delta t}$ - proces kretanja budućih cijena po geometrijskom Brownovom gibanju.

Svi su parametri prethodno definirani osim ε_{yt} koji predstavlja normalnu distribuciju slučajnih brojeva za određivanje vrijednosti cijena električne energije u vremenskom intervalu Δt .

4.2 Primjer

Za simulaciju kretanja vršnih vrijednosti cijena električne energije također se koristi MS Excel. Pritom će poslužiti parametri koji su otprije zadani za simulaciju kretanja budućih cijena i simulaciju kretanja prosječnih vrijednosti cijena, a vidljivi su u priloženom programu. Novi zadani parametri su sljedeći:

- broj nastupanja vršnih vrijednosti cijena električne energije $\lambda = 30$,
- očekivani skok cijene, $\kappa = -0,5$ % od vrijednosti prethodne cijene,
- standardna devijacija skoka cijene, $\delta = 27,54$ % (isto je kao i kod primjera simulacije kretanja budućih cijena po geometrijskom Brownovom gibanju).

Uvjetovana varijabla η u Excelu određuje se tako da se postavi uvjet ako je $IF(\lambda \cdot \Delta t > \text{slučajni broj})$, onda je vrijednost jednaka jedan, odnosno suprotno od toga jednaka je nuli, što je u skladu s relacijom (4).

Simulacija kretanja budućih cijena, prosječnih vrijednosti cijena i vršnih vrijednosti cijena električne energije prikazana je na slikama 4 i 5, s trendom kad vrijednosti rastu, odnosno padaju.

By definition, expression (5), in addition to the part related to the jump diffusion, also consists of the following:

$\alpha \cdot (S_{avg} - S_t) \cdot \Delta t$ - mean reversion of electricity prices, and

$S_t \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{yt} \cdot \sqrt{\Delta t}$ - future price movement according to the process of geometric Brownian motion.

All the parameters have been pre-defined except ε_{yt} which represents the normal distribution of random numbers in determining the values of electricity prices in the time interval Δt .

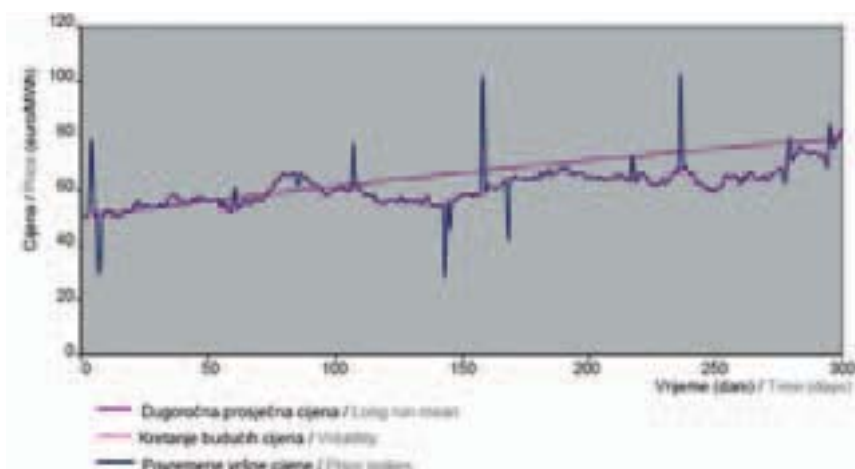
4.2 Example

MS Excel is again used in the simulation of the jump diffusion in electricity prices. It will employ the parameters previously set for the simulation of future volatility and mean reversion, as can be seen in the program enclosed. New parameters are:

- number of price spike occurrences $\lambda = 30$,
- expected price jump, $\kappa = -0,5$ % of the previous price value,
- standard jump deviation, $\delta = 27,54$ % (the same as in the example of the simulation of future price movement in geometric Brownian motion).

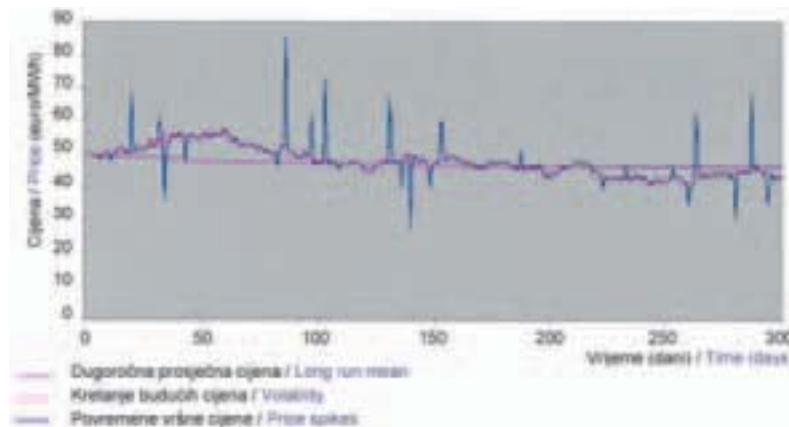
In Excel, conditioned variable η is determined by setting the condition $IF(\lambda \cdot \Delta t > \text{random number})$ then the value equals one, i.e. in the opposite case the value equals zero, which is in accordance with relation (4).

The simulation of the future price movement, mean reversion and jump diffusion in the electricity prices is presented in Figures 4 and 5, showing increasing and decreasing trends.



Slika 4
Trend rasta budućih cijena električne energije s povremenim vršnim vrijednostima
Figure 4
Trend of increase in spiking electricity prices

Slika 5
Trend pada
budućih cijena
električne energije
s povremenim
vršnim
vrijednostima
Figure 5
Trend of decrease
in spiking
electricity prices



Iz obiju slika, 4 i 5, uočava se da su vrijednosti na krivulji budućih cijena električne energije i krivulji povremenih vršnih cijena u većem dijelu razmatranog razdoblja iste. Razlika je u povremenim vršnim vrijednostima cijena koje mogu imati gornji ili donji ekstrem. To se u promatranoj godini događa 30 puta.

Both Figures, 4 and 5, show that the values on the curve of future prices of electricity and on the curve of occasional price spikes are the same for the best part of the period observed. The difference lies in the occasional price spikes that may have lower or upper extremes. Within the year observed, this occurs 30 times.

4.3 Prednosti i nedostaci

S obzirom na prethodna dva procesa, proces kretanja budućih cijena električne energije s povremenim vršnim vrijednostima s gledišta upravljanja rizikom najvažniji je jer najbolje opisuje fenomene budućih cijena, kao što su povremene vršne vrijednosti. Iz tog proizlaze i nedostaci jer parametri koji se zadaju za simulaciju povremenih vršnih vrijednosti cijena nisu stabilni i teško ih je predvidjeti.

Dodatna karakteristika krivulje povremenih vršnih vrijednosti cijena jest brže približavanje vrijednosti prosjeka s obzirom na krivulju budućih cijena. U izloženom primjeru proces kretanja budućih cijena električne energije s povremenim vršnim opterećenjima pretpostavlja samo jednu stopu povrata vrijednosti cijena na prosjek. Složeniji procesi pretpostavljaju različite stope povrata vrijednosti na prosjek. Na to mogu utjecati i vršne vrijednosti cijena. Na primjer, ako na povremene vršne vrijednosti cijene utječe greška u prijenosu električne energije, cijene će se vratiti na normalnu razinu odmah nakon što se ta greška otkloni. No, ako su cijene visoke zbog nenormalnih vremenskih uvjeta, pa onda i zbog preopterećenja EES-a, tada brzina povrata vrijednosti cijena na prosjek ovisi o sustavu prognoze vremena [1].

4.3 Upsides and downsides

Compared with the two preceding processes, from the aspect of risk management jump diffusion is the most important one, because it best describes the phenomena of future prices such as price spikes. From this also follow the downsides, because the parameters set for the simulation of price spikes are not stable and are difficult to predict.

Another characteristic of the curve of occasional price spikes is that values approach the mean level quicker considering the future prices curve. In the example presented the process of the movement of electricity prices with occasional price spikes provides for just one mean reversion rate. More complex processes provide for different mean reversion rates. These, too, can be affected by price spikes. For instance, if price spikes are affected by a transmission failure, prices will revert to the normal level promptly at the moment the failure has been repaired. However, if prices are high on account of abnormal weather conditions, resulting in the overload in the electric power system, then the speed of mean reversion will depend on the weather forecast system [1].

5 ZAKLJUČAK

Za simulaciju kretanja budućih cijena električne energije koriste se jednostavniji procesi, kod kojih se zadaje manji broj parametara, i složeniji procesi, koji obuhvaćaju veći broj zadanih parametara. Kod procesa kretanja budućih cijena po geometrijskom Brownovom gibanju zadaju se samo dva parametra, što ga čini jednostavnim za računanje. Tim procesom nisu opisana sva svojstva cijene električne energije. S druge strane, složeni proces, poput procesa kretanja budućih cijena s povremenim vršnim vrijednostima, uključuje barem još tri parametra koja treba zadati. Cijene se na liberaliziranom tržištu neprestano mijenjaju, pa je parametre za potrebe simulacije budućih cijena katkad teško predvidjeti. Čak i onda ako su statistički podaci i provjerene informacije podvrgnute detaljnoj i kvalitetnoj analizi. Opisana metoda simulacije preporučljiva je za proaktivnu djelatnost trgovanja električnom energijom, ali i za elektroprivrednu djelatnost općenito.

5 CONCLUSION

In the simulation of the movement of future electricity prices simpler processes are applied, with smaller number of parameters, as well as more complex processes which include a greater number of parameters to set. In the process following geometric Brownian motion just two parameters need to be set, which makes the calculation simple. However, this process does not describe all the characteristics of the price of electricity. On the other hand, a complex processes such as jump diffusion includes at least three more parameters to set. Prices on a liberalised market are constantly changing, so the parameters necessary for the simulation of future prices are sometimes difficult to predict. This is true even when the statistical data and verified information have undergone a detailed quality analysis. The described method of simulation is recommendable both for proactive trade in electricity and for electric power industry in general.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BLANCO, C., SORONOW, D.: Jump Diffusion Processes - Energy Price Processes Used for Derivatives Pricing & Risk Management, Commodities Now, September, 2001.
- [2] EYDELAND, A., WOLYNIEC, K., Energy and Power: Risk Management, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- [3] BLANCO, C., SORONOW, D., Energy Price Processes Used for Derivatives Pricing & Risk Management (I), Commodities Now, March, 2001.
- [4] HULL, C. J., Options, Futures & Other Derivates, 4th ed., Prentice Hall, 2000.
- [5] BLANCO, C., SORONOW, D., Mean Reverting Processes - Energy Price Processes Used For Derivatives Pricing & Risk Management, Commodities Now, June, 2001.
- [6] ZGOMBIĆ, H., Business Dictionary, IV. izdanje, Faber & Zgombić Plus, Zagreb, 2001.
- [7] SHIM, J. K., SIEGEL, J. G., Dictionary of International Investment Terms, Barron's Educational Series, New York, 2001.

Uredništvo primilo rukopis:
2005-11-07

Received on:
2005-11-07

Prihvaćeno:
2006-01-15

Accepted on:
2006-01-15

ŽIVOT I DJELO NIKOLE TESLE THE LIFE AND WORK OF NIKOLA TESLA

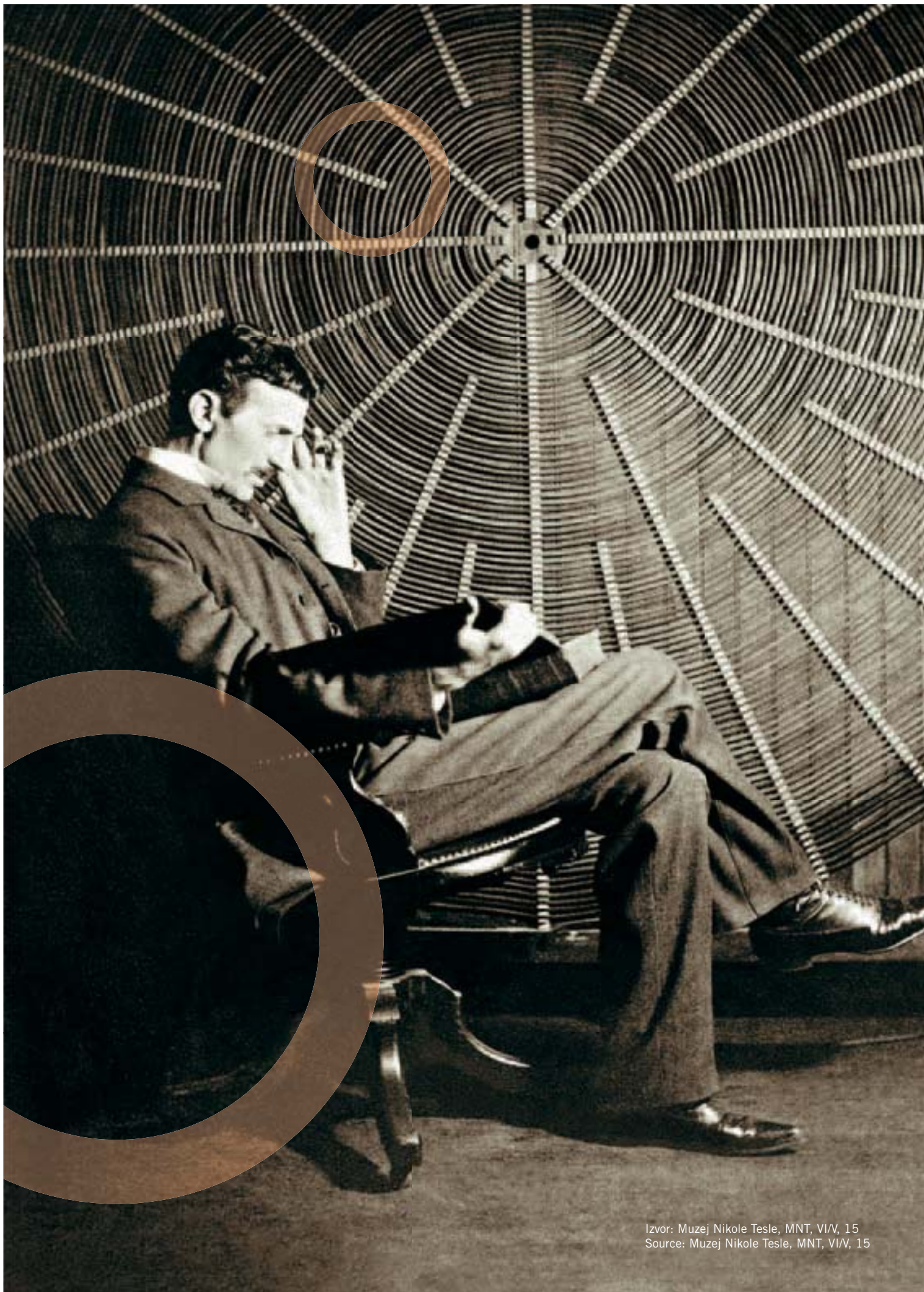
Prof. dr. sc. Vladimir Muljević,
Trg Francuske Republike 7, 10000 Zagreb, Hrvatska
Prof Vladimir Muljević, PhD,
Trg Francuske Republike 7, 10000 Zagreb, Croatia

Članak ukratko opisuje život Nikole Tesle, od sela Smiljana do New Yorka, od snalažljivog dječaka, ljubitelja životinja do znanstvenika svjetskog glasa. Počevši od opisa stanovništva Like razmatra se porijeklo obitelji Tesla. Nastavlja se s Teslinim školovanjem u Hrvatskoj: pučka škola u Smiljanu i Gospiću, gimnazija u Gospiću i Rakovcu. Slijedi školovanje na Tehničkoj visokoj školi u Grazu te boravak i dopuna obrazovanja u Pragu. Prikazan je Teslin rad u Budimpešti i Francuskoj, odlazak iz Europe i nastavak rada u SAD-u te osnivanje vlastitog laboratorija. Ukratko su prikazani Teslini patenti u području električnih strojeva i uređaja koje je patentirao u Patentnom uredu SAD. Na kraju su iznesena mišljenja znanstvenika o Nikoli Tesli i priznanja koja je zaslužio svojim radom.

The article briefly describes the life of Nikola Tesla, from the village of Smiljan to New York, from a resourceful boy and animal lover to a world famous scientist. The ancestry of the Tesla family is discussed, starting with a description of the ethnic background of the inhabitants of Lika. Tesla's education in Croatia consisted of elementary school in Smiljan and Gospić, and secondary school in Gospić and Rakovac. This was followed by the polytechnic school in Graz and further education in Prague. Tesla's work in Budapest and France, his departure from Europe and the continuation of his work in the USA are discussed, as well as the establishment of his own laboratory. Tesla's patents in the field of electrical machinery and equipment that he patented at the United States Patent Office are briefly presented. There are also comments by distinguished figures about Nikola Tesla and the recognition he merited.

Ključne riječi: bežični sustav, električni stroj, lučna svjetiljka, mehanički oscilator, Nikola Tesla, Tesline struje, višefazni sustav

Key words: arc light, electrical device, mechanical oscillator, Nikola Tesla, polyphase system, Tesla currents, wireless system



Izvor: Muzej Nikole Tesle, MNT, VI/V, 15
Source: Muzej Nikole Tesle, MNT, VI/V, 15

1 UVOD

Kada se o Nikoli Tesli govori i piše, uvijek se počinje od sela Smiljana, nedaleko od Gospića. Njegovo podrijetlo, odnosno podrijetlo njegove obitelji nije međutim ondje, nego u drugom dijelu Like, pa i dalje.

Razmotreni su podaci o svim obiteljima koje su prije više stotina godina živjele u raznim dijelovima Like, ali nigdje se nije naišlo na prezime Tesla, jer to je bio samo nadimak koji je dobio jedan od Nikolinih predaka, koji se zapravo zvao Draganić, a bio je doseljenik vjerojatno iz okolice Ledenica. Priženio se u obitelj prote Mandića, pa je tako nastala lička obitelj Tesla.

I Nikolin je otac bio svećenik, pa je nakon službovanja u Senju došao u Smiljan, gdje se rodio Nikola i ondje pošao u pučku školu, koju je nastavio u Gospiću. Dobra krajiška gimnazija u Gospiću i njegovo školovanje ondje bili su solidna osnova za njegovu daljnju izobrazbu. Nikolina prirodna sklonost tehnici bila je u znatnoj mjeri pojačana i obogaćena njegovim školovanjem u Velikoj realnoj gimnaziji u Rakovcu (pokraj Karlovca). Nedvojbeno je da je školovanje Nikole Tesle u Velikoj realnoj gimnaziji u Rakovcu imalo presudnu ulogu za njegov odabir struke kojoj je posvetio cijeli svoj život - elektrotehnike.

Tehnička visoka škola (Technische Hochschule) u Grazu svojom je relativnom blizinom, a i tradicijom bila cilj mladome Tesli u stjecanju znanja na polju elektrotehnike.

Bujna mašta mladog Tesle dovela ga je u Budimpeštu do osnovnog njegova otkrića na području izmjeničnih struja. Odlazak u Pariz, rad u Strabourgu te konačno prijelaz u New York ubrzali su Teslin stručni, a uskoro i znanstveni rad na sve širem polju elektrotehnike.

Nizala su se otkrića, izumi, nove konstrukcije i patenti zadivljujućom kvalitetom i brzinom. Vlastito poduzeće, vlastiti laboratorij, mnogi suradnici te predavanja, članci i putovanja postali su svakidašnjica Teslina života u Americi.

Međutim požar u laboratoriju, Teslina nezainteresiranost za novac te opsežni planovi i projekti doveli su ga u velike poteškoće. Godine su prolazile, mijenjao je donekle i područje svojih istraživanja, materijalno mu se stanje pogoršalo, a i zdravlje je popuštalo, pa je tako došao i kraj tom našem i svjetskom velikanu elektrotehnike i znanosti, koji je svojim djelima ovjekovječio svoje ime i ime svoje domovine.

1 INTRODUCTION

Any discussion of Nikola Tesla always begins with the village of Smiljan, not far from Gospić. The origins of his family were not from that place but from another part of Lika and beyond.

Data on all the families who lived in the various parts of Lika several centuries ago have been studied but the name Tesla is nowhere to be found. It was merely the nickname given to one of Nikola's ancestors, actually named Draganić, who most likely came to Lika from the surroundings of Ledenice. He married into the family of the Orthodox priest Mandić and thus began the Lika family of Tesla.

Nikola's father was also a priest. After serving in Senj, he came to Smiljan, where Nikola was born and then attended elementary school, which he continued in Gospić. The fine secondary school in the Croatian Military Border town of Gospić and the education Nikola obtained there provided a solid foundation for his further studies. Nikola's natural affinity for technology was significantly fostered and enriched by his schooling at the secondary school in Rakovac (near Karlovac). Undoubtedly, Nikola's education at the secondary school in Rakovac had a crucial role in the selection of the profession to which he devoted his life - electrical engineering.

The polytechnic school (Technische Hochschule) in Graz, by virtue of its relative vicinity and tradition, was the place the young Tesla aspired to attend in order to acquire knowledge in the field of electrical engineering.

While in Budapest, Tesla's fertile imagination led to his fundamental discovery in the area of alternating current. His departure to Paris, work in Strasbourg and final transition to New York accelerated Tesla's professional and scientific activity in the growing field of electrical engineering.

There followed discoveries, inventions, new constructions and patents of enviable quality and frequency. His own company, his own laboratory, many associates and lectures, articles and travels became the daily events of Tesla's life in America.

However, a fire in his laboratory, Tesla's disinterest in money, and extensive plans and projects caused him grave difficulties. The years passed, he somewhat changed his area of investigation, his financial situation worsened and his health failed. Thus ended the life of our world famous figure in electrical engineering and science, whose works have immortalized his name and are a credit to his homeland.

2 STANOVNIŠTVO LIKE I PODRIJETLO OBITELJI TESLA

U doba prodiranja Turaka na područje Like, Podgorja i Senjskoga primorja oko 1520. godine mnogi su stanovnici izbjegli u druge krajeve, sigurnije od turske najezde. U Dalmatinskoj zagori i Lici ostali su Hrvati i dio starobalkanskog stanovništva Morlaci, Lahi i Olahi. Dio tog stanovništva prihvatio je pravoslavnju, a dio muslimansku vjeru. Ti su se pomuslimanjeni starosjedioci poslije pomiješali s doseljenim muslimanima koji su u Liku dolazili iz zapadne Bosne, gdje je starosjedilačko katoličko i bogumilsko stanovništvo većinom prešlo na islam. Opustjele krajeve, nakon što su iz njih izbjegli katolički starosjedioci, naseljavali su Turci pravoslavnim stanovništvom koje su doveli iz Podrinja, Poibarja i Polimlja.

U dijelovima Like koje Turci nisu mogli osvojiti ostalo je do danas jedino čisto potomstvo predturskoga stanovništva tih krajeva. Tako su se starosjedioci održali u staroj Gackoj i Brinjskoj županiji, u Senju te u senjskoj okolici, nedaleko od Ledenica.

Kada su Turci, nakon mira sklopljenoga 1699. godine u Sremskim Karlovcima, otišli iz Like, ondje osim katoličkih ostaju naselja pravoslavaca. Stanovnici Like nazivali su "ljude grčkog zakona", odnosno pravoslavce, Vlasima, a Srpska pravoslavna crkva im je odredila srpsku nacionalnu pripadnost.

Do danas nije dovoljno istraženo, niti se pouzdano zna podrijetlo obitelji Tesla. Poznato je da su neki preci imali prezime Draganić. To se prezime nalazilo u srednjoj Dalmaciji, pa su ga u 16. stoljeću nosili i dijelovi obitelji Vrančić koja je živjela u Šibeniku.

Prema obiteljskoj predaji jedan je od predaka imao istaknute prednje zube slično tesli, alatu za obrađivanje drva. Riječ tesla - sjekira nalazi se u poznatom rječniku "Dictionarium Quinque nobilissimarum Europae lingvarum, Latinae, Italicae, Germanicae, Dalmaticae, et Ungaricae", objavljenu 1595. godine u Veneciji, koji je sastavio hrvatski polihistor Faust Vrančić (Šibenik, 1552.-Venecija, 1617.). Po tom je alatu dotična grana Draganića dobila nadimak, koji je kasnije prešao u prezime Tesla.

Draganići su u Liku, na područje Divosela došli vjerojatno u 17. stoljeću iz sela Ledenice kraj Novoga Vinodolskoga, kamo su se doselili iz srednje Dalmacije. Jeli i neki drugi Draganić već u Ledenicama dobio nadimak Tesla, nije poznato.

2 THE INHABITANTS OF LIKA AND THE ORIGINS OF THE TESLA FAMILY

During the time of the Turkish penetration into the region of Lika, Podgorje and the Senj littoral, in approximately the year 1520, many of the local inhabitants fled the Turkish invaders to safer regions. Croats and some of the old Balkan inhabitants, the Morlachs, Lachs and Olachs, remained in Dalmatinska Zagora and Lika. Part of this population accepted Orthodoxy and part the Islamic faith. These indigenous converts to Islam later intermarried with the Muslims who arrived in Lika from western Bosnia, where the majority of the indigenous Catholic and Bogomil inhabitants had converted to Islam. The Turks brought in Orthodox settlers from Podrinje, Poibarje and Polimlje to settle the regions that the indigenous Catholic population had fled.

In the parts of Lika that the Turks could not conquer, there dwell what are today the only direct descendents of the pre-Turkish population in these regions. These indigenous inhabitants remained in the old Gacka and Brinj County, Senj and the surroundings of Senj, not far from Ledenice.

When the Turks left Lika, following the peace accord of 1699 in Sremski Karlovci, in addition to the remaining Catholic settlements there were also some Orthodox settlements. The inhabitants of Lika called them "the people of the Greek rite," i.e. Orthodox, Vlachs, and the Serbian Orthodox Church conferred Serbian nationality on them.

The origin of the Tesla family has neither been sufficiently investigated nor is there reliable information. It is known that some of Nikola Tesla's ancestors had the surname of Draganić. This is a surname that is found in central Dalmatia, and in the 16th century was also the name of parts of the Vrančić family who lived in Šibenik.

According to family lore, one of the ancestors had prominent front teeth that resembled tesli, tools for processing wood. The word tesla, or ax, is found in a famous dictionary entitled *Dictionarium Quinque nobilissimarum Europae lingvarum, Latinae, Italicae, Germanicae, Dalmaticae, et Ungaricae*, compiled by the Croatian polyhistor Faust Vrančić (Šibenik, 1552 - Venice, 1617) and published in Venice in the year 1595. It was after this tool that a branch of the Draganić family received its nickname, which later became the surname of Tesla.

In the 17th century, the Draganić family probably arrived in the Divoselo region of Lika from the

U doba kada su Francuzi osnovali Ilirske provincije (1809.-1813.) Nikola Tesla stariji, otac Milutina Tesle (1819.-1879.) služio je neko vrijeme kao seržan, tj. dočasnik pješačke vojske u Napoleonovoj vojsci, gdje je bio odlikovan za hrabrost. Vjerojatno je da je on i prije bio vojnik u austrijskoj vojsci, odnosno u Vojnoj Krajini u Hrvatskoj. Prema obiteljskoj predaji seržanov otac živio je 129 godina. Živio je u Raduču i vjerojatno je imao mnogo djece. Njegovi potomci su današnje Tesle iz Raduća.

Žena Nikole Tesle st. Ana bila je iz graničarske obitelji Kalinić, divoselske skupine pravoslavnih stanovnika Like. Iz toga braka potječe i Milutin rođen u selu Raduču. On je u Gospiću polazio njemačku pučku, a poslije i vojnu školu. Nije mu, međutim, odgovarao život u vojsci pa je u Plaškome učio bogosloviju, koju je završio 1845. godine. Zatim se oženio Đukom Mandić (1821.-1892.) iz Tomingrada kraj Gračaca.

Milutin Tesla je kao mladi svećenik službovao u Senju, odakle je bio premješten za upravitelja parohije u Smiljan, selo nedaleko od Gospića. U Smiljanu se 10. srpnja 1856., u kući prikazanoj na slici 1, rodio Nikola Tesla, a zatim i njegova sestra Mandica.

village of Ledenice near Novi Vinodol, to which they had emigrated from central Dalmatia. It is not known whether some other Draganić received the nickname of Tesla while still in Ledenice.

During the period when the French established the Illyrian Provinces (1809-1813), the senior Nikola Tesla, the father of Milutin Tesla (1819-1879), served for a time as a sergeant, i.e. a noncommissioned officer in the infantry of Napoleon's army, where he was decorated for bravery. It is likely that he had previously been a soldier in the Austrian army, i.e. in the Military Border Territory in Croatia. According to family lore, the sergeant's father lived for 129 years. He made his home in Raduč and probably had many children. His descendents are today's Teslas of Raduč.

The wife of the senior Nikola Tesla, Ana, came from a family from the Military Border Territory, a group of Orthodox inhabitants of Divoselo in Lika. Their son Milutin was born in the village of Raduč. Milutin attended German elementary school in Gospić, followed by military school. However, life in the army did not suit him so in Plaškome he studied theology, which he completed in 1845. He then married Đuka Mandić (1821-1892) of Tomingrad near Gračac.

As a young priest, Milutin Tesla served in Senj, from which he was transferred to administer the parish in Smiljan, a village not far from Gospić. On July 10, 1856, Nikola Tesla was born in Smiljan in the house shown in Figure 1, and was later followed by a sister, Mandica.

Slika 1
Rodna kuća
Nikole Tesle u
Smiljanu
Figure 1
The birthplace
of Nikola Tesla in
Smiljan



Izvor
Muzej Nikole
Tesle, MNT,
VI/VIII,112
Source
Muzej Nikole
Tesle, MNT,
VI/VIII,112

3 TESLINO ŠKOLOVANJE U HRVATSKOJ

Nikola je prvi razred trivijalke polazio i završio u Smiljanu. Tu su školu tada polazila djeca smiljanskih obitelji Milković, Kovačević, Rudelić, Tomljenović i ostalih. Moja baka Marija Milković, rođena Kovačević, išla je u prvi razred s Nikolom Teslom, koji je već kao dječak volio igračke tehničkog sadržaja.

Milutin Tesla je nakon šest godina službovanja u Smiljanu na vlastitu želju bio premješten 1862. u Gospić. Nikola je ondje polazio tzv. Pripremnju osnovnu školu koju je završio 1866. godine. Već kao dijete volio je životinje. Hranio je i pripitomljavao golubove, a to je radio i u New Yorku do kraja života.

Svoju snalažljivost pokazao je u Gospiću kada je prigodom svečanog puštanja u rad nove vatrogasne štrcaljke ova zatajila. Mali je Tesla brzo shvatio da se dovodna cijev u rijeci začepila. Izuo se, zagazio u vodu i odčepio cijev, nakon čega je štrcaljka proradila.

Nakon završetka pučke škole u Gospiću pošao je u Nižu realnu gimnaziju, gdje je stekao dobro znanje iz prirodnih znanosti i naučio njemački jezik.

Konstruirao je vodenu turbinu i izvodio pokuse na području elektriciteta s pomoću uređaja iz školskog fizikalnoga kabineta. Zanimala ga je matematika, ali prostoručno crtanje nije mu išlo od ruke. Bio je ljevak, "šuvak". Mnogo je čitao, služio se očevim knjigama. Bio je osrednji đak, volio je računanje, pa je i napamet izračunavao složenije račune.

Kada je u ljeto 1870. godine završio treći razred Niže realne gimnazije u Gospiću, zbog bolesti je morao odležati dva mjeseca. Nakon toga bio je na oporavku kod ujaka Tome Mandića u Tomingradu.

Velika realna gimnazija nedaleko Karlovca, prikazana na slici 2, osnovana je za potrebe Vojne Krajine i za pripremanje đaka za studij tehnike. Od školske godine 1869./70. Vlada je u realnu gimnaziju u Rakovcu uvela maturu, pa pri upisu na studij tehnike đaci nisu trebali polagati prijamni ispit (Aufnahmeprüfung).

3 TESLA'S SCHOOLING IN CROATIA

Nikola completed the first grade of elementary school in Smiljan. At the time, the school was attended by the Smiljan families of Milković, Kovačević, Rudelić, Tomljenović and others. My grandmother, Marija Milković, née Kovačević, was in the same first grade class as Nikola Tesla, who was already a boy who liked toys of a technical nature.

In 1862, following six years of service in Smiljan, Milutin Tesla was transferred at his own request to Gospić. Thereafter, Nikola attended the preparatory elementary school in Gospić, which he completed in the year 1866. Even as child, Nikola loved animals. He cared for tame pigeons, as he did in New York until the end of his life.

Nikola demonstrated his resourcefulness in Gospić when a new firefighting hose malfunctioned on the occasion of its official trial. Little Tesla quickly understood that the pipe conveying water from the river was blocked. He felt for the suction hose in the water and found that it had collapsed. When he waded into the river and opened the hose, water rushed forth.

After completing elementary school in Gospić, Nikola attended the lower secondary school where he acquired a good foundation in the natural sciences and learned the German language.

Tesla constructed a water turbine and performed experiments in the field of electricity with the help of equipment from the school's physics laboratory. He was interested in mathematics but freehand drawing was not an easy subject for him. He read a lot, borrowing his father's books. He was an average student but enjoyed calculation so that he was able to compute complex bills in his head.

In the summer of 1870, when he had completed the third year of the lower secondary school in Gospić, he had to remain in bed for two months due to illness. After that, he was sent to recover at the home of his uncle, Toma Mandić, in Tomingrad.

The upper secondary school not far from Karlovac, shown in Figure 2, had been established for the needs of the Military Border Territory and for preparing students for the study of technology. Starting in the academic year 1869/70, the government introduced a final examination at the secondary school in Rakovac, so that it was no longer necessary to take an entrance examination (Aufnahmeprüfung) in order to enroll in further technical studies.

Slika 2
Velika realna
gimnazija u
Rakovcu
Figure 2
Secondary School
in Rakovac



Ratno ministarstvo u Beču imenovalo je 1863. godine devet učitelja Velike realne gimnazije u Rakovcu, među njima i Martina Sekulića (Lovinac, 1833.- Zagreb, 1905.), dotadašnjeg učitelja Niže realne gimnazije u Rakovcu, za matematiku i fiziku. Martin Sekulić bio je tada kustos školske knjižnice.

Nastavnici Velike realne gimnazije u Rakovcu dobivali su od 1866. godine naslov profesor. Školske godine 1871./72. profesor Sekulić predavao je predmete "Maschinenlehre" (strojarstvo) i Aritmetik. Nastavni jezik bio je njemački, a iz njega je Tesla dobivao uvijek najbolju ocjenu.

Nakon što je 1870. godine završio treći razred Niže realne gimnazije u Gospiću, roditelji su Nikolu poslali u Višu, poslije Veliku realnu gimnaziju u Rakovcu. Ondje je stanovao kod svoje tetke Stanke, udane za umirovljenoga majora austrijske vojske, Danila Brankovića. Tetka je pazila na njegovu prehranu, te je pokušavala u njemu probuditi zanimanje za umjetnost i povijest umjetnosti, ali to Nikolu nije zanimalo. Iako je imao osjetljivo uho, odnosno dobar sluh nije pokazivao zanimanje za glazbu.

Nikola je neprestano razmišljao o nekim izumima. Tako je jednom na putovanju kolima iz Gospića u Karlovac pripovijedao svojem prijatelju, da se bavi izumom koji će omogućiti prenošenje govora između Europe i Amerike bez ikakve materijalne veze, tj. bez žica ili kabela.

Tijekom školovanja u Realnoj gimnaziji u Rakovcu nije bio osobito dobar đak. Premda je uvijek uspješno prolazio, iz nacrtno geometrije i prostornog crtanja obično je dobivao ocjenu dovoljan. Bio je osjetljiva zdravlja, pa je u školskoj

In 1863, the Ministry of War in Vienna appointed nine teachers to the higher secondary school in Rakovac, including Martin Sekulić (Lovinac, 1833 - Zagreb, 1905), until then a teacher at the lower secondary school in Rakovac, who taught mathematics and physics. Martin Sekulić was the custodian of the school library at the time.

In 1866, the teachers at the secondary school in Rakovac were given the title of professor. During the 1871/72 academic year, Prof. Sekulić taught the subjects of mechanical engineering and arithmetic. The language used in the classroom was German. Tesla always received the highest grade.

After Nikola completed the third year of the lower secondary school in Gospić in 1870, his parents sent him to the higher secondary school, and afterwards to the secondary school in Rakovac. Here he lived with his aunt, Stanka, who was married to a retired major in the Austrian army, Danilo Branković. His aunt was careful about his nutrition and attempted to kindle Nikola's interest in art and history, without success. Although he had a sensitive and good ear, he never showed an interest in music.

Nikola was constantly thinking about some invention. On a wagon trip from Gospić to Karlovac, he told a friend that he was working on an invention that would make it possible to transmit speech between Europe and America without any material connection, i.e. without wires or cables.

At the secondary school in Rakovac, he was not a particularly good student. Although he always passed his courses, he usually received barely passing grades in drawing. He was of delicate health and was absent for two months due to illness during the 1872/73 academic year in the first semester of his seventh year of studies.

godini 1872./73. u prvom polugodištu sedmog razreda izostao dva mjeseca zbog bolesti.

Školske godine 1870./71. pohađao je četvrti razred. Sljedeće godine pohađao je peti i šesti razred. Imao je prosječnu ocjenu dobar. U prvom polugodištu te školske godine dobio je iz matematike ocjenu nedovoljan, koju je poslije ispravio. Slaba ocjena iz matematike bila je vjerojatno posljedica njegove dvomjesečne bolesti.

Maturu je Nikola polagao 24. srpnja 1873. godine, a inspektor na maturi bio je prirodoslovac i zoolog Živko Vukasović (1829.-1874.).

Nakon mature vratio se roditeljima u Gospić, iako se tome njegov otac Milun protivio, jer je tada u Lici vladala velika zaraza kolere. Nikola se ondje doista zarazio kolerom, pa je gotovo devet mjeseci bio vezan uz krevet. Nakon ozdravljenja očekivalo ga je služenje vojnog roka u austrijskoj vojsci u trajanju od tri godine. Kako je tada promijenio boravište te je boravio kod ujaka Tome Mandića u Tomingradu kraj Gračaca, bio je zapravo vojni bjegunac.

Nikola se nije posvetio svećeničkom zvanju, po želji svojega oca, nego tehnicu, odnosno elektrotehnicu. Pritom je presudnu ulogu imao njegov profesor u gimnaziji u Rakovcu, Martin Sekulić, koji je bio izvrstan eksperimentator, pa i konstruktor fizikalnih aparata. Sam je Nikola o tome napisao: "Veoma sam se zanimao za elektricitet potaknut utjecajem svog profesora fizike koji je bio genijalan čovjek, a često je demonstrirao osnovne zakone aparaturama koje je sam izumio. Sjećam se jedne sprave u obliku staklenog balona obavijenog staniolom, koji se brzo okretao kad bi bio spojen s električnom strujom. Ne mogu vam izraziti ni približno objasniti svoje uzbuđenje dok sam prisustvovao njegovim pokusima s ovim tajanstvenim fenomenom. Svaki dojam proizveo je tisuće odjeka u mom mozgu. Želio sam o toj izvanrednoj snazi saznati više. Žudio sam za pokusom, za istraživanjem, ali predao sam se teška srca sudbini". Tesla ne spominje izričito o kojem je profesoru riječ, ali se sa sigurnošću može zaključiti da je to bio Sekulić.

In 1870/71, he attended the fourth year of studies. The next year he completed the fifth and sixth years of studies. He had an average grade of good. During the first semester of that academic year, he received the grade of unsatisfactory in mathematics, which he later corrected. This poor grade in mathematics was most likely due to his two months of illness.

Nikola passed his final graduation examination on July 24, 1873. The inspector at the examination was the natural scientist and zoologist Živko Vukasović (1829-1874).

After his final examination, he returned to live with his parents in Gospić, disregarding the wishes of his father, Milutin, who wanted him to stay away from the cholera epidemic raging in Lika at the time. Nikola caught cholera and was bedridden for nearly nine months. After he recovered, he faced three years of military service in the Austrian army. Since he had changed his place of residence and was registered as living with his uncle, Toma Mandić, in Tomingrad near Gračac, he was technically an army deserter.

Nikola did not pursue a priestly vocation, as his father would have liked, but electrical engineering. A crucial role was played by his secondary school professor in Rakovac, Martin Sekulić, who was an excellent experimenter and constructor of physics devices. Nikola wrote the following about this: "I was very interested in electricity, under the influence of a physics' professor who was an ingenious man and often demonstrated the basic laws with devices he had invented himself. I remember one device in the shape of a freely rotatable bulb with tinfoil coating, which was made to spin rapidly when connected to a static machine. It is impossible for me to convey an adequate idea of the intensity of feeling I experienced in witnessing his exhibitions of these mysterious phenomena. Every impression produced a thousand echoes in my mind. I wanted to know more of this wonderful force; I longed for experiment and investigation and resigned myself to the inevitable with an aching heart." Tesla does not specifically mention which professor he was writing about but it can be inferred with certainty that it was Sekulić.

4 TESLIN STUDIJ NA TEHNIČKOJ VISOKOJ ŠKOLI (JOHANNEUM) U GRAZU I BORAVAK U PRAGU

Dvije godine nakon mature i oporavka od bolesti, u svojoj devetnaestoj godini upisao se školske godine 1875./76. na K.u.K. Technische Hochschule u Grazu. Imao je najprije stipendiju Vojne Krajine. Određenu novčanu pomoć slali su mu otac Milutin i ujak Toma Mandić.

Dekan Tehničke visoke škole pisao je tada Nikolinu ocu: "Vaš je sin zvijezda prvog stupnja." Nikolin napor u studiju utjecao je na njegovo zdravlje, pa je profesor ocu preporučio da ga ispíše iz škole, jer postoji opasnost da će Nikola upropastiti zdravlje pretjeranim radom.

Drugu godinu studija Tesla je upisao uvjetno jer je stipendija izostala pa nije mogao platiti školarinu. Istaknuvši se radom i rezultatima, približio se i svojim profesorima, među kojima je bio i profesor teorijske i eksperimentalne fizike Jakob Pöschel.

Kada je bio na drugoj godini studija, Tehnička visoka škola u Grazu dobila je Grammeov dinamo. O tome je Tesla zabilježio: "Dok je profesor J. Pöschel demonstrirao vrteću mašinu kao motor, četkice su zadavale probleme, jer su iskrile, a ja sam primijetio da bi možda rad s motorom bio moguć i bez četkica. Ali profesor se izjasnio da je to nemoguće, pa je čitavo predavanje posvetio tom problemu, da bi na kraju naglasio: 'Gospodin će Tesla možda učiniti velike stvari, ali je sigurno da ovo neće unaprijediti.'" Tesla zatim nastavlja: "Neko sam se vrijeme kolebao impresioniran profesorovim autoritetom, ali sam se uvjerio da sam bio u pravu i preuzeo sam zadatak da ga riješim, sa svim žarom i bezgraničnim mladenačkim samopouzdanjem. Počeo sam zamišljati stroj istosmjerne struje, vrteći ga i prateći promjenljive struje u armaturi. Tada bih zamislio alternator i istraživao procese koji se odvijaju na sličan način. Nakon toga bih sebi dočarao sistem s motorima i generatorima i radio s njima na različite načine. Zamisli su mi se činile savršeno stvarne i opipljive. Čitav boravak u Grazu prošao je u stalnom ali neplodnom naporu i gotovo sam zaključio da je problem nerješiv".

Na kraju druge godine studija (1877.) Tesla marljivo polaže ispite, no na trećoj godini (1878.) popušta u radu. Tomu je možda bio razlog što svoj problem konstrukcije električnog stroja nije uspio privesti kraju.

4 TESLA'S STUDIES AT THE POLYTECHNIC SCHOOL (JOHANNEUM) IN GRAZ AND PERIOD IN PRAGUE

Two years after passing his final secondary school examination and recovery from illness, at the age of nineteen he enrolled during the 1875/76 academic year at the polytechnic school (Technische Hochschule) in Graz, Austria, with a scholarship from the Military Border Territory. His father, Milutin, and uncle, Toma Mandić, also sent him some money.

The dean of the polytechnic school wrote the following to Nikola's father: "Your son is a star of the first magnitude." Nikola's efforts in his studies affected his health, so the professor recommended that his father remove him from the school because there was danger that Nikola would ruin his health with excessive work.

Tesla enrolled conditionally in the second year of his studies because there was no scholarship and he was not able to pay tuition. Distinguishing himself by his work and results, he became closer to some of his professors, including his professor in theoretical and experimental physics, Jakob Pöschel.

During the second year of his studies, the polytechnic school in Graz obtained a Gramme dynamo. Tesla wrote the following about it: "While Prof. J. Pöschel was making demonstrations, running the machine as a motor, the brushes gave trouble, sparking badly. I observed that it might be possible to operate a motor without these appliances. But he declared that it could not be done and did me the honor of delivering a lecture on the subject, at the conclusion of which he remarked: 'Mr. Tesla may accomplish great things but he certainly will never do this.'" Tesla continued: "For a time I wavered, impressed by the professor's authority, but soon became convinced I was right and undertook the task with all the fire and boundless confidence of my youth. I started by first picturing in my mind a direct-current machine, running it and following the changing flow of the currents in the armature. Then I would imagine an alternator and investigate the processes taking place in a similar manner. Next I would visualize systems comprising motors and generators and operate them in various ways. The images I saw were to me perfectly real and tangible. All my remaining term in Graz was passed in intense but fruitless efforts of this kind, and I almost came to the conclusion that the problem could not be solved."

At the end of the second year of his studies, (1877), Tesla diligently passed his examinations but in the third year, (1878), he became slack in his work. This may be due to the fact that he was unable to bring

Nakon što je u svojoj 23 godini života izgubio godišnju stipendiju od 420 forinti od Komande Vojne Krajine, u dva je navrata zamolio stipendiju od Matice srpske u Novom Sadu, ali je odbijen 1876. i 1878. godine. Stoga prekida studij i nestaje iz Graza te prekida vezu s rodbinom.

Neko je vrijeme boravio u Mariboru, gdje ga je slučajno, u jednoj gostionici pri kartanju, sreo neki njegov znanac. Nikola je u Mariboru navodno radio kod nekog inženjera kao pomoćnik i dobivao plaću od 60 forinti. Ipak su ga kao nezaposlenoga mjesne vlasti prisilno vratile u Gospić, mjesto njegovog stalnog boravka. Sve se to teško dojmilo njegovog oca Milutina pa je on uskoro, 29. travnja 1879. godine i umro. Nikola je zatim kratko vrijeme radio kao nastavnik u gimnaziji u Gospiću koju je i sam prije pohađao.

Početak siječnja 1880. godine Nikola Tesla je kao 24-godišnjak otišao u Prag. U svojoj biografiji napisao je na engleskom jeziku, da je otišao u Prag, u Češku kako bi ispunio očevu želju, da upotpuni svoje školovanje na tamošnjem Sveučilištu. Nema, međutim, dokumenata o tome je li bio upisan na koji od dvaju fakulteta, odnosno Tehničke visoke škole, tj. na njemačku ili češku. Moguće je da je posjećivao predavanja pojedinih profesora, ali o tome nema podataka. O svojem boravku u Pragu Tesla kaže da je "u tom gradu znatno napredovao, odvojio sam komutator od stroja i proučio fenomen s ovog novog stajališta, ali još uvijek bez rezultata."

5 BORAVAK I RAD NIKOLE TESLE U BUDIMPEŠTI I FRANCUSKOJ

Tesla je 1881. godine započeo raditi u Telefonskoj centrali u Budimpešti. U tom je gradu došao do izuma elektromotora s okretnim magnetskim poljem. Do tog je izuma slučajno došao za vrijeme jedne nedjeljne šetnje u veljači 1882. s prijateljem Antalom Szigetyjem u Gradskom parku, gdje je u pijesku štapom nacrtao dijagram svojega motora temeljenoga na okretnom magnetskom polju. Svoj je izum priopćio šefu Tivadaru Puskašu, koji ga je nakon toga poslao u Pariz nadajući se da će ondje moći ostvariti svoj izum. Za to, međutim, nije bilo zanimanja u tvornici američkog izumitelja Thomasa Alve Edisona (1847.-1931.), u kojoj su se tada projektirali i konstruirali elektromotori za istosmjernu struju, po Edisonovom patentu, za Francusku i Njemačku. Tesla je tada izveo neke izmjene na postojećim električnim strojevima.

his problem regarding the construction of an electrical motor to conclusion.

After he lost his scholarship of 420 forints from the Command of the Military Border Territory at the age of 23, on two occasions he sought a scholarship from the Serbian Cultural Society in Novi Sad but was refused in 1876 and 1878. Therefore, he interrupted his studies and left Graz, also breaking ties with his family.

For a time, he lived in Maribor, where by chance, in an inn during a game of cards, he met an acquaintance. Allegedly, Nikola worked in Maribor for an engineer as an assistant and received a wage of 60 forints. Nonetheless, he was forced by the local authorities to return to Gospić, the place of his permanent residence, as an unemployed person. All of this was difficult for his father, Milutin, to accept and he died soon after, on April 29, 1879. Nikola then worked for a short time as a teacher at the Gospić secondary school that he had previously attended.

In early January of the year 1880, Nikola Tesla went to Prague at the age of 24. In his autobiography, written in the English language, he wrote that he went to Prague to carry out his father's wishes for him to complete his education at the university. However, there is no document showing that he was enrolled at either of the two colleges there or either of the polytechnic schools, German or Czech. It is possible that he attended lectures given by individual professors but there is no information on this. Regarding his sojourn in Prague, Tesla wrote that "it was in that city that I made a decided advance, which consisted of detaching the commutator from the machine and studying the phenomena in this new aspect, but still without result."

5 NIKOLA TESLA IN BUDAPEST AND FRANCE

In 1881, Tesla began working at the Central Telegraph Office in Budapest. It was in this city that he devised an electrical motor operating on the rotating magnetic field principle. Tesla had arrived at this invention by chance in February 1882, during a Sunday walk in the municipal park with his friend Antal Szigety, when he drew a diagram of this device in the sand with a stick. He showed his invention to the inspector-in-chief, Tivadar Puskás, who subsequently sent him to Paris, where he hoped to build his invention. However, there was no interest in the factory of the American inventor Thomas Alva Edison (1847-1931), that was then designing and constructing direct current electric motors, under Edison's patent, for France and Germany. Instead, Tesla made several changes in the existing electrical machinery.

Edisonovo poduzeće poslalo ga je u Strasbourg radi popravka novoizgrađene električne centrale. Ondje je Tesla konstruirao svoj prvi jednofazni asinkroni motor.

Edison's company sent him to Strasbourg in order to make repairs on a newly built power plant. It was there that Tesla constructed his first single-phase electromagnetic (asynchronous) motor.

6 TESLIN ŽIVOT I RAD U SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA

Iz Francuske 1884. odlazi u Edisonovu tvornicu u New Yorku, gdje radi godinu dana i usavršava 24 različita tipa električnih strojeva. Budući da za svoj rad nije dobivao odgovarajuću nagradu, napušta Edisonovu kompaniju i po savjetu nekih tehničara i financijera osniva vlastito poduzeće Tesla Arc Light Company.

Slika 3 je iz 1884. godine i prikazuje Nikolu Teslu u dobi od 28 godina.

6 TESLA'S LIFE AND WORK IN THE UNITED STATES OF AMERICA

In 1884, Tesla left France to work in Edison's factory in New York, where he stayed for one year and perfected twenty-four different types of electrical devices. Since he did not receive suitable compensation for his work, he left Edison's company and, at the advice of several technicians and financiers, opened his own firm, the Tesla Arc Light Company.

The figure shows Nikola Tesla at 28 years of age (1884).

Slika 3

Nikola Tesla u dobi od 28 godina (1884.)

Figure 3

Nikola Tesla at 28 years of age (1884)



Izvor
Muzej Nikole
Tesle, MNT, VI/V, 3
Source
Muzej Nikole
Tesle, MNT, VI/V, 3

Namjeravao je ondje s kapitalom društva konstruirati nove motore na izmjeničnu struju, ali mu financijeri to nisu odobrili, budući da su se bavili konstrukcijom i montažom lučnih svjetiljaka. Tesla je 1886. usavršio lučnu svjetiljku i načinio praktični sustav tvorničke i ulične rasvjete. Za svoj rad dobio je od društva samo dionice, koje nisu imale nikakvu vrijednost.

Godine 1887. osniva Tesla Electric Company te u laboratorijima toga poduzeća, prema svojim idejama, konstruira motore izmjenične struje. Te je godine prijavio svoja četiri patenta:

- iz područja okretnog magnetskog polja,
- o višefaznim strojevima,
- o sinkronim motorima,
- o daljinskom prijenosu električne energije.

At the time, he intended to construct new alternating current motors using company capital. However, the financiers did not approve because they were engaged in the construction and installation of arc lamps. In 1886, Tesla perfected the arc lamp and made a practical system for factory and street lighting. For his efforts, the company merely gave him some worthless stocks.

In the year 1887, he founded the Tesla Electric Company. In the laboratory of this enterprise, he constructed alternating current motors based upon his own ideas. That year, he filed four patents:

- in connection with the rotating magnetic field,
- polyphase devices,
- induction motors,
- a long-distance electrical transmission system.

Radi uspješnog razvođenja svojih višefaznih struja Tesla je konstruirao višefazne generatore i transformatore te pronašao sustav “trokut-zvijezda”. Time je omogućio proizvodnju električne energije na mjestima njezinih prirodnih izvora te njezino prenošenje na velike udaljenosti, do mjesta potrošnje.

Tesla je 1888. godine prodao svoje patente tvrtki Westinghouse Electric and Manufacturing Company. Po želji te tvrtke usavršio je tijekom 1888. i 1889. godine jednofazni indukcijski motor i preuredio cjelokupni sustav za znatno više frekvencije od 133 periode u sekundi, jer je tvrtka do tada za tu frekvenciju izrađivala transformatore za rasvjetu.

Teslin sustav prijenosa električne energije prikazan je prvi put na Svjetskoj izložbi u Chicagu 1893. godine, a po njegovu je sustavu 1896. godine izgrađena hidroelektrana na Niagari. Pločica tvrtke Westinghouse Co u HE na Niagari s popisom primijenjenih Teslinih patenata prikazana je na slici 4.

For the distribution of polyphase currents, Tesla constructed polyphase generators and transformers, and discovered the “star delta” system. This made it possible to produce electricity at the sites of its natural sources and then transmit it great distances to the places of consumption.

In the year 1888, Tesla sold his patents to the Westinghouse Electric and Manufacturing Company. At the request of this company, during 1888 and 1889 he perfected a single-phase induction motor and adapted his entire system to the significantly higher frequency of 133 cycles because the company had been making lighting transformers for that frequency.

Tesla's system for the transmission of electricity was presented for the first time at the Chicago World's Fair of 1893, and in 1896 a hydroelectric power plant was built at Niagara Falls according to his system. The plaque of the Westinghouse Company at the Niagara Falls Power Plant is shown in Figure 4.



Slika 4
Pločica tvrtke Westinghouse Co. u HE na Niagari s popisom primijenjenih Teslinih patenata
Figure 4
Plaque of the Westinghouse Company at the Niagara Falls Power Plant with a List of Tesla's Applied Patents

Godine 1889. konstruirao je stroj visoke frekvencije od 15 tisuća perioda u sekundi. Nakon toga posebnom je konstrukcijom s pomoću iskrenja u strujnom krugu sastavljenom od izvora izmjenične struje niske frekvencije, indukcijskog svitka, kondenzatora i iskrišta dobio slabo prigušene oscilacije. Iskre brzo slijede, a nizovi oscilacija kontinuirano se obnavljaju. Time se dobivaju struje od nekoliko stotina tisuća perioda u sekundi. Te struje Tesla transformira preko svojega transformatora u struje iste frekvencije, ali višega napona. To su tzv. Tesline struje, a djeluju fiziološki i mogu se prenositi jednom žicom. Tesline struje visoke frekvencije upotrebljavaju se u medicini kod dijatermije i darsonvalizacije, a u

In the year 1889, he constructed an apparatus for producing high frequency electrical currents of 15,000 cycles per second. After that, using a special arcing construction in an electrical circuit, consisting of a low-frequency alternating current source, induction coil, condenser and spark gap, he obtained weakly damped oscillations. Sparks quickly ensued and continuous oscillations were generated. Thus, current of several hundred thousand cycles was obtained. Tesla transformed this current via his transformer into current of the same frequency but higher voltage. These are the so-called Tesla currents, which act physiologically and can be transmitted via a single wire. Tesla's high frequency currents are used in medicine in

kemiji za dobivanje ozona. Tim se strujama postižu svjetlosni efekti koji se osnivaju na luminiscenciji, a daju znatno ekonomičnije svjetlo od električne žarulje s užarenim vlaknom. Te su struje dobile i najveću primjenu u radiotehnici.

Tesla je 1892. izvodio pokuse s bežičnim prijenosom, a 1896. započeo je prenositi signale na udaljenosti od 32 kilometra. Svoj radio-telegrafski odašiljač i prijemnik prikazao je 1897. godine. Iz tog je vremena fotografija na slici 5 kada je Tesla imao 39 godina.

Godine 1898. sagradio je brod i pustio ga u more kraj New Yorka te je njime upravljao s obale. Iste je godine istaknuo potrebu rezonancije između primarnog i sekundarnoga kruga odašiljača i prijmnika. U državi je Colorado 1899. godine prenosio znakove bežičnim putem na udaljenosti od 1 000 kilometara, te podignuo prijamno-odašiljačku postaju. Tom postajom Tesla je tvorac radiotehnike.

diathermy and darsonvalization, and in chemistry for obtaining ozone. These currents achieve light effects based upon luminescence, and provide more economical illumination than incandescent light bulbs. However, their most important applications are in radio technology.

In 1892, Tesla conducted experiments in wireless transmission and in 1896 began to transmit signals at distances of 32 kilometers. He presented his radio-telegraph transmitter and receiver in 1897. Figure 5 shows Tesla from this period, at 39 years of age.

In the year 1898, he built a teleautomatic boat operated by remote control, that he demonstrated before a crowd at Madison Square Garden in New York City. That year, he demonstrated the need for resonance between the primary and secondary circuits of a transmitter and receiver. In 1899 in the state of Colorado, he transmitted signals wirelessly at a distance of 1,000 kilometers, and built a primary transmitter station. With this station, Tesla became the creator of radio technology.

Slika 5

Nikola Tesla u dobi od 39 godina (1895.)
Figure 5
Nikola Tesla at 39 years of age (1895)



Izvor
Muzej Nikole Tesle,
MNT, VI/V,10
Source
Muzej Nikole Tesle,
MNT, VI/V,10

Uvidjevši već nakon prvih pokusa da i slabo prigušeni oscilatori stvaraju poremećaje u eteru, on je s prigušenih valova prešao na održavanje neprigušenih elektromagnetskih oscilacija. Time je preduhitrio Guglielma Marconija (1873.-1937.), koji je tada ostvario domet signala od 16 kilometara.

Nakon ispitivanja u kolovozu 1899. i 1900. godine Tesla obavlja prenošenje električne energije s pomoću elektromagnetskih valova, pod naponom od 12 milijuna volti na udaljenosti od 30 kilometara. U Long Islandu podiže toranj visine 57 metara i bavi se problemima prenošenja velike količine električne energije za potrebe domaćinstava i industrije. Godine 1917. taj su toranj uništili dinamitom

Realizing after his first attempts that weakly damped oscillators were creating signal interference, he abandoned damped waves in favor of undamped electromagnetic oscillations. In this he surpassed Guglielmo Marconi (1873-1937), who had achieved a signal range of 16 kilometers.

After testing in August 1899 and 1900, Tesla transmitted electricity by means of electromagnetic waves 30 kilometers from a 12 million volt source. In Long Island, he erected a 57-meter tower and engaged in the problems of the transmission of large quantities of electricity for household and industrial use. In 1917, an unknown perpetrator destroyed the tower with dynamite, perhaps at the orders of the general headquarters of the US Army.

nepoznati počinitelji. Možda je to uništeno po nalogu Generalnog štaba vojske SAD-a.

Tesla je završio svoje radove na više od 100 patenata, a mnogi su od njih čekali primjenu.

U pokusima 1891./92. godine upotrebljavao je sklopove sa sekundarnim krugovima, Teslinim transformatorom i zemljom, dakle sve bitne dijelove odašiljača, koji su se pojavili desetak godine poslije.

Talijanski inženjer G. Marconi upotrebljavao je bežičnu telegrafiju nakon Tesle i to 1897. godine.

Tesla je 1892. godine održao predavanje u Londonu i Parizu o elektromagnetskim valovima. Sljedeće godine, 1893. imao je vlastiti sustav za bežični prijenos.

7 TESLINI PATENTI I STRUČNI ČLANCI

Pravu i potpunu sliku o Teslinim otkrićima, izumima i konstrukcijama nije doista moguće dobiti bez uvida u sve ono što je on zapisao, pribilježio i nacrtao.

Nikola Tesla je u Patentnom uredu SAD-a patentirao 99 svojih izuma. Ti se patenti mogu podijeliti na sljedeće skupine:

- motori i generatori - 36 patenata,
- transformacija električne snage - 9 patenata,
- rasvjeta - 6 patenata,
- visokofrekventni uređaji i regulatori - 17 patenata,
- radio - 12 patenata,
- telemehanika - 1 patent,
- turbine i slične naprave - 7 patenata,
- različiti izumi - 11 patenata.

Patentni spisi dvaju Teslinih glavnih patenata: asinkroni motor i električni prijenos energije, koje je prijavio 12. listopada 1887. godine, prikazani su na slikama 6 i 7.

Nadalje, objavio je 17 znanstvenih i stručnih članaka u časopisima:

- The Electrical World - 1 članak,
- The Electrical Engineer - 4 članka,
- The Electrical Review - 11 članaka,
- Electrical Experimenter - 1 članak.

Objavio je sedam članaka o nekim općim problemima u raznim časopisima, u razdoblju od 1897. do 1917. godine.

Tesla completed work on over 100 patents, many of which are still awaiting practical application.

In experiments conducted during 1891/92, he used units with secondary circuits, a Tesla transformer and earth, i.e. all the essential parts of the transmitter that appeared ten years later.

The Italian engineer G. Marconi was using a wireless telegraph later than Tesla, in the year 1897.

In 1892, Tesla held lectures in London and Paris on electromagnetic waves. The following year, 1893, he had developed his own system for wireless transmission.

7 TESLA'S PATENTS AND PROFESSIONAL ARTICLES

It is not possible to obtain an accurate or complete picture of Tesla's discoveries, inventions and constructions without inspection of his writings, notes and drawings.

Nikola Tesla patented ninety-nine of his inventions at the US Patent Office. These patents can be divided into the following groups:

- motors and generators - 36 patents,
- transformation of electrical power - 9 patents,
- lighting - 6 patents,
- high frequency equipment and regulators - 17 patents,
- radio - 12 patents,
- telemechanics - 1 patent,
- turbines and similar devices - 7 patents,
- miscellaneous inventions - 11 patents.

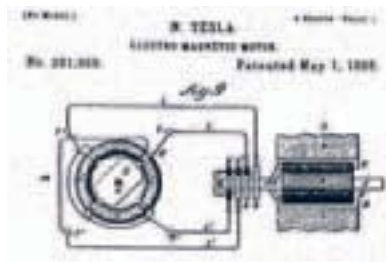
Patent certificates for Tesla's main patents: the electromagnetic (asynchronous) motor and the electrical transmission of power, which he patented on October 12, 1887, are shown in Figures 6 and 7.

He also published seventeen scientific and professional articles in journals:

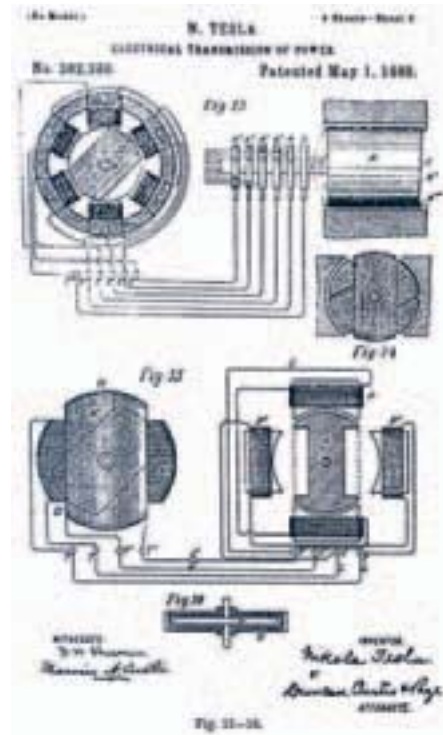
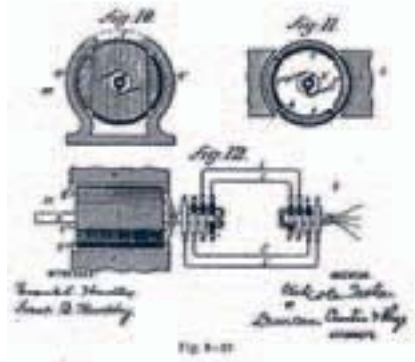
- The Electrical World - 1 article,
- The Electrical Engineer - 4 articles,
- The Electrical Review - 11 articles,
- Electrical Experimenter - 1 article.

He published seven articles on general subjects in various journals during the period from 1897 to 1917.

Slika 6
 Patentni spis:
 Asinkroni motor
 Figure 6
 Patent document:
 Electromagnetic
 (Asynchronous)
 Motor



Slika 7
 Patentni spis:
 Električni prijenos
 energije
 Figure 7
 Patent document:
 The Electrical
 Transmission of
 Power



Sačuvana fotografija, nastala 1938. godine, prikazuje Teslu u njegovoj starijoj životnoj dobi (slika 8).

A photograph taken 1938 with Tesla at his older ages is shown in Figure 8.

Autobiografski članak Some Personal Recollections (Neka osobna sjećanja) objavio je u časopisu Scientific American od 6. lipnja 1915. godine. U tu skupinu pripada i niz članaka pod naslovom My Inventions objavljenih u časopisu Electrical Experimenter iz 1919. godine. Hrvatski prijevod tog djela pod nazivom Moji pronalasci objavljen je 1977. godine u Zagrebu.

Tesla published an autobiographical article, Some Personal Recollections, in the journal Scientific American, on June 6, 1915. This group also includes a series of articles entitled My Inventions, published in the journal The Electrical Experimenter in 1919. The Croatian translation of this work was published in 1977 in Zagreb under the title Moji pronalasci.

Slika 8
 Tesla u starijoj
 životnoj dobi
 (1938.)
 Figure 8
 Tesla at his older
 ages (1938)



Izvor
 Muzej Nikole
 Tesle, MNT,
 VI/VIII, 50
 Source
 Muzej Nikole
 Tesle, MNT,
 VI/VIII, 50

8 ZNAMENITI O NIKOLI TESLI

Grof George Arco, (1869.-?) njemački izumitelj na području radiotehnike bio je veliki poštovatelj Nikole Tesle, a također i njemački fizičar Adolf Slaby (1849.-1913.), koji je zajedno s G. Arcom 1897. godine gradio u Njemačkoj prve radio telegrafске uređaje.

Predsjednik američkog udruženja IRE u New Yorku rekao je 1915. godine da je rad Nikole Tesle jedan od najvećih pothvata ljudske mašte u povijesti svijeta.

Njemački profesor D. Ing. h. c. Görgeš objavio je 1930. godine u stručnom časopisu u Dresdenu članak pod naslovom Über die Bedeutung Nikola Tesla für die Elektrotechnik.

Prof. dr. sc. Milan Vidmar (Ljubljana, 1885.-Ljubljana, 1962.) objavio je 1930. godine u stručnom tehničkom listu članak Nikola Tesla.

Charles F. Scott, došao je u ljeto 1888. godine u Westinghouse Company te je bio Teslin asistent u prvim pokusima na njegovim motorima. Scott je nastavio rad na tom području više od dvadeset godina i aktivno sudjelovao u razvoju višefaznog sustava te je bio neposredno povezan za pionirske radove na slapovima Niagare. On je napisao članak The Contribution Of Tesla To Electrical Power Development, u povodu dodjele Edisonove medalje Nikoli Tesli 1917. godine.

A. du Bois-Reymond objavio je u časopisu ETZ 1888. godine članak pod naslovom Neues System von Wechselstrommotoren und Transformatoren von N. Tesla.

Prof. dipl. ing. Miroslav Plohl (1881.-1939.) objavio je u Tehničkom listu u Zagrebu članak pod naslovom Dr. tech. h. c. Nikola Tesla.

L. Černi je u Vjesniku u Zagrebu povodom godišnjice Tesline smrti objavio članak pod naslovom Zaboravljeni genij iz Smiljana. U njemu ističe da Tesla nije znao komercijalizirati svoje projekte, ali je bio genijalni vizionar koji je mislio da se uz pomoć elektriciteta može učiniti sve i to nebrojeno puta i dokazao.

Časopis Nature (SAD) u veljači 1943. godine piše o Tesli i njegovu radu.

Vijest o smrti Nikole Tesle pročitao je na radiju 7. siječnja 1943. gradonačelnik New Yorka La Guardia. Rekao je da je umro siromašan, ali je bio jedan od najkorisnijih ljudi koji su ikad živjeli.

8 DISTINGUISHED PERSONS ON NIKOLA TESLA

Baron George Arco, (1869.-?), a German inventor in the area of radio technology, was a great admirer of Nikola Tesla, as was the German physicist Adolf Slaby (1849-1913), who together with G. Arco in the year 1897 built radiotelegraphic devices in Germany.

The president of the American society IRE in New York said in the year 1915 that the work of Nikola Tesla was one of the greatest undertakings of the human imagination in the history of the world.

The German professor D. Ing. h. c. Görgeš published an article in a professional journal in Dresden in 1930, entitled "Über die Bedeutung Nikola Tesla für die Elektrotechnik."

Prof. Milan Vidmar, PhD (Ljubljana, 1885 - Ljubljana, 1962) published an article in a professional technical journal about Nikola Tesla in 1930.

Charles F. Scott came to the Westinghouse Company in 1888 and was Tesla's assistant in the testing of his motors. Scott continued work in this area for over twenty years, actively participated in the development of a polyphase system and was directly involved with the pioneering work on Niagara Falls. He wrote an article entitled The Contribution of Tesla to Electrical Power Development, on the occasion of the awarding of the Edison Medal to Nikola Tesla in the year 1917.

In 1888, A. du Bois-Reymond published an article in the journal ETZ entitled Neues System von Wechselstrommotoren und Transformatoren von N. Tesla.

Prof. Miroslav Plohl (1881-1939) published an article in Tehnički list in Zagreb entitled "Dr. tech. h. c. Nikola Tesla."

On the occasion of the anniversary of Tesla's death, L. Černi published an article in the Zagreb newspaper Vjesnik entitled Zaboravljeni genij iz Smiljana (The Forgotten Genius from Smiljan). This article points out that Tesla did not know how to commercialize his projects but was a brilliant visionary who believed that everything was possible with electricity, as he proved countless times.

The US journal Nature wrote about Tesla and his work in the February 1943 issue.

News of the death of Nikola Tesla was announced over the radio on January 7, 1943, by Mayor Fiorello La Guardia of New York. He said that Tesla died a poor man but that he was one of the most useful people who had ever lived.

Engleski fizičar Lord Kelvin (1824.-1907.), po kojemu se naziva jedinica za temperaturu, rekao je da je Tesla više pridonio znanosti o elektricitetu nego bilo tko prije njega. Taj je citat objavljen u siječnju 1943. godine.

Za svoj 75. rođendan 1931. godine Tesla je primio mnogo čestitaka, među ostalima čestitao mu je i dr. Lee de Forest (SAD, 1873.-1961.), konstruktor triode, koji je prije s njim surađivao.

Čestitao mu je i veliki fizičar Albert Einstein, začetnik teorije relativnosti (1879.-1955.), napisavši mu: "S veseljem sam saznao da slavite svoj 75. rođendan i da ste kao pionir u području struja visoke frekvencije doživjeli izvanredan razvoj tehnike. Čestitam na velikom uspjehu Vašeg životnog djela."

Knjiga Tesla Master Of Lightning autora Margaret Cheney i Roberta Utha objavljena je u SAD-u 1999. godine u izdanju Metro Books. Prevodi se na hrvatski jezik i bit će objavljena u Zagrebu 2006. godine u nakladi Zoro pod naslovom Čovjek izvan vremena.

9 UMJESTO ZAKLJUČKA

U povodu Teslina četrdesetog rođendana, bio je 17. prosinca 1896. godine izabran na glavnoj skupštini za počasnog člana JAZU u Zagrebu.

Nikola Tesla i Thomas Alva Edison bili su 1912. godine predloženi za dodjelu Nobelove nagrade za fiziku, ali im ta nagrada nikad nije dodijeljena. Tesla je pravio razliku između izumitelja korisnih izuma i otkrivača novih principa. Tvrdio je da je on otkrivač, a Edison izumitelj. Ako bi obojica bili stavljeni u istu kategoriju smatrao je da bi to uništilo smisao relativne vrijednosti njihovih dostignuća.

Vrlo je vjerojatno da je na Teslu utjecalo i to što je Nobelovu nagradu za fiziku 1909. godine dobio Guglielmo Marconi u zajednici s Karlom Ferdinandom Braunom (1850.-1918.). Bio je time razočaran, jer dodijeliti nagradu najprije Marconiju, a zatim tražiti od Tesle da nagradu dijeli s Edisonom, bilo je preveliko podcjenjivanje vrijednosti Teslina rada. Stoga je Nikola Tesla bio prvi znanstvenik koji je odbio da bude predložen za nagradu.

Sveučilište u Zagrebu dodijelilo mu je 3. lipnja 1926. godine naslov Doctor honoris causa, a 15. lipnja 1926. godine Tehnički fakultet Univerziteta u Beogradu dodijelilo mu je naslov počasnog doktora tehničkih znanosti.

The English physicist Lord Kelvin (1824-1907), the namesake of the unit of temperature, said that Tesla contributed more to the knowledge of electricity than anyone before him. This quotation was published in the year 1943.

For Tesla's 75th birthday in the year 1931, he received many congratulations, including one from Dr. Lee de Forest (USA 1873-1961), the constructor of the triode, who had worked with him previously.

He was also congratulated by the great physicist Albert Einstein, author of the theory of relativity (1879-1955), who wrote him: "I was pleased to learn that you are celebrating your 75th birthday and that you, as a pioneer in the area of high frequency electricity, have lived to see the exceptional development of the technique. I congratulate the great success of your life's work."

A book entitled Tesla, Master Of Lightning, by the Margaret Cheney and Roberta Utah, was published in the United States in 1999 by Metro Books. The translation in the Croatian language will be published in Zagreb in the year 2006 by Zoro under the title Čovjek izvan vremena.

9 CONCLUDING REMARKS

On the occasion of Tesla's fortieth birthday, on December 17, 1896, he was chosen by the general assembly as an honorary member of the Yugoslav Academy of Arts and Sciences in Zagreb.

In the year 1912, Nikola Tesla and Thomas Alva Edison were nominated for the Nobel Prize in physics. However, this prize was never awarded. Tesla differentiated between the inventor of useful inventions and the discoverer of new principles. He maintained that he was a discoverer and Edison was an inventor. He felt that if both of them were placed in the same category, it would destroy the relative value of their achievements.

It is highly likely that the awarding of the Nobel Prize in physics for the year 1909 to Guglielmo Marconi together with Karl Ferdinand Braun (1850-1918) upset Tesla. He was disappointed because to award the prize first to Marconi and then ask Tesla to share his with Edison belittled Tesla's work. Therefore, Nikola Tesla was the first scientist who refused to be nominated for the prize.

On June 3, 1926, the University of Zagreb awarded him the title of Doctor honoris causa, and on June 15, 1926 the Technical College of the University of Belgrade awarded him an honorary doctorate of technical sciences.

Da bi se na međunarodnom planu iskazalo priznanje Nikoli Tesli kao velikanu suvremene elektrotehnike, studijski je odbor IEC-a (Međunarodna elektrotehnička komisija) preporučio da se međunarodna jedinica magnetske indukcije nazove tesla. Tu je odluku prihvatila i potvrdila 11. generalna konferencija za mjere i utege (Conference General des Poids et Mesures), održana 10. listopada 1960. godine u Parizu.

In order for Nikola Tesla to be recognized at the international level as a great figure in modern electrical engineering, a study group of the the International Electrotechnical Commission (IEC) recommended that the international unit of magnetic induction should be called a tesla. This decision was adopted and confirmed at the Eleventh General Conference on Weights and Measures, held on October 10, 1960 in Paris.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BOKŠAN, S., Nikola Tesla und sein Werk, Deutscher Verlag, Wien, 1932.
- [2] NJEGOVAN, V., Nikola Tesla 1856.-1956., Prosvjeta, Zagreb
- [3] O'NEILL, J., Nenadmašeni genij, Život Nikole Tesle, Jugoslavensko društvo za unapređenje nauke i tehnike, Nikola Tesla Beograd, 1956.
- [4] TESLA, N., Dnevnik istraživanja Colorado Springs, 1899.-1900., Nolit, Beograd, 1976.
- [5] PERDUE, L., Teslina ostavština, Znanje, Zagreb, 1988.
- [6] MULJEVIĆ, V., Nikola Tesla - od Smiljana do Patentnog ureda SAD, Hrvatski patentni glasnik, Zagreb, vol. 15, 1996.
- [7] MULJEVIĆ, V., Nikola Tesla slavni izumitelj, Hrvatska zajednica tehničke kulture, Zagreb, 2000.

Uredništvo primilo rukopis:
2006-02-21

Manuscript received on:
2006-02-21

Prihvaćeno:
2006-03-20

Accepted on:
2006-03-20

PROBLEMATIKA DJELOVANJA U KRIZNIM SITUACIJAMA PRIJENOSNE MREŽE TRANSMISSION LINE CRISIS MANAGEMENT

Dr. sc. Zorko Cvetković, dipl. ing.,
Medveščak 55, 10000 Zagreb, Hrvatska
Zorko Cvetković, PhD,
Medveščak 55, 10000 Zagreb, Croatia

Višestruki trajni kvar dalekovoda uzrokovan klimatsko-atmosferskim utjecajima stvarnost su koja pogađa mnoge elektroenergetske sustave. Izravne štete zbog tih kvarova vrlo su velike, no marginalne su u odnosu na društvenu štetu uzrokovanu redukcijom potrošnje električne energije. Kako je neekonomično graditi dalekovode otporne na atmosferske utjecaje, treba nastojati preventivnim akcijama što efikasnije sanirati nastale štete, odnosno skratiti rokove popravaka. Radna skupina CIGRÉ (WG B2 13) priredila je Upute za djelovanje u kriznim situacijama temeljenim na iskustvima velikih poremećaja.

I naša iskustva s višestrukim trajnim kvarom dalekovoda kao i značaj naše prijenosne mreže dovode do zaključka da bi bilo mudro da HEP OPS pristupi odgovarajućoj organizaciji preventive u dogovoru s HERA-om. U manjoj mjeri taj se problem odnosi i na sabirnice 400 kV.

Multiple failures of transmission lines caused by climatic/atmospheric impact plague many electric power systems. Direct damage from such failures is quite huge, yet it is marginal compared with the social damage caused by the reduction in the supply of electricity. As it is not economical to construct weatherproof transmission lines, preventive actions should be employed the most effective restoration, or to reduce restoration time.

A working group of CIGRÉ (WG B2 13) has prepared emergency guidelines based on the experience of large-scale disruptions. Our experience with multiple transmission line failure, as well as the importance of our power grid, lead to the conclusion that it would be wise for HEP OPS to begin with an appropriate organisation of preventive actions in agreement with HERA.

To a lesser extent, this also applies to 400 kV buses.

Ključne riječi: atmosferski utjecaj, identifikacija rizika, najugroženiji mjeseci, scenarij popravka, trajni kvar dalekovoda, ugroženo područje, upute radne skupine CIGRÉ (WG B2 13), višestruki kvar, vjerojatnost kvara

Key words: affected area, atmospheric impact, CIGRÉ (WG B2 13) guidelines, identification of risk, most affected months, multiple failures, probability of failure, repair scenarios, transmission line failure



1 UVOD

Elektroenergetski svijet se mijenja. Nekoliko velikih sustava, uglednih i vrlo pouzdanih, doživjelo je u posljednjim godinama velik broj raspada. Sam raspad sustava nije ništa novo, to je fenomen prisutan od izgradnje prvog dalekovoda. Međutim, velik broj raspada koje su doživjele upravo zapadne zemlje pripisuje se promjenama elektroenergetskog svijeta. Promjene uključuju deregulaciju energetske tržišta, podjelu djelatnosti proizvodnje i prijenosa, smanjenje ili odgađanje investicija, neočekivane tokove energije zbog trgovačkih transakcija te povezivanje na mrežu većeg broja izvora neredovite energije. Zbog toga prijenosna mreža radi na svojoj tehničkoj granici i u uvjetima koji nisu bili predviđeni kada je ona projektirana. Slijedi da je stupanj sigurnosti smanjen pa i najmanji poremećaj može u stanovitim uvjetima izazivati veliki kolaps elektroenergetskog sustava (EES-a) [1].

U ovom članku riječ je isključivo o trajnim kvarovima dalekovoda i nešto manje trajnim kvarovima rasklopnih postrojenja, no uvodna rečenica je bila potrebna da bi se bolje razumjelo u kakvom okruženju danas radi prijenosna mreža. Prvenstveno treba definirati što je to trajni kvar. To je kvar koji traži izlazak ekipe na teren radi otklanjanja kvara, koje može trajati satima, danima a katkad i mjesecima.

Poznato je da je prijenosna mreža izložena mnogim kvarovima, a osobito su dalekovodi ugroženi od atmosferskih utjecaja. Na žalost u današnjem svijetu ni terorističke akcije ne treba isključiti. S druge strane, iako u manjoj mjeri, vanjska rasklopišta, pogotovo 400 kV, nisu imuna na slične utjecaje čiji uzroci mogu biti identični onima na dalekovodima, ali i vrlo specifični. Poznato je također da gradnja mreže koja bi bila apsolutno sigurna od atmosferskih utjecaja nije ekonomski opravdana. Drugim riječima s trajnim kvarovima dalekovoda treba računati, pa bi se svaki vlasnik prijenosne mreže morao pitati: "Imamo li razrađenu jasnu politiku djelovanja u kriznim situacijama? Može li naša organizacijska struktura efikasno odgovoriti na takve izazove?"

Svrha je ovog članka da pomogne, odnosno da potakne prijenosnu tvrtku u razvijanju vlastitih planova djelovanja u kriznim situacijama, što znači da pripremi odgovarajuću opremu, materijale, alate i radnu snagu koja može efikasno odgovoriti na navedene izazove.

1 INTRODUCTION

The world of electric power is changing. Several big systems, with high reputation and reliability, have experienced a great number of breakdowns in the recent years. A breakdown in the system is not a new thing, it is a phenomenon known since the construction of the first transmission line. However, the great number of breakdowns experienced by the countries of the West is put down to changes in the electric power ecosystem. These changes include deregulation of the electricity market, separation between the generation and transmission, reduction or postponement of investments, unexpected power flows owing to trading transactions, and connection to the network of a greater number of irregular sources of electricity. Therefore, power grid is operating at its technical limits and under the conditions that were not envisaged at the time it was designed. Consequently, the security level is lower and even the slightest incident may under particular circumstances cause a major breakdown of the electric power system [1].

This paper addresses solely transmission line failures, and slightly less the failures of switching facilities, but the introduction was necessary to better understand the environment in which transmission networks operate today. Primarily, the concept of the failure should be defined. It is an incident which requires a field intervention by a team, which can last hours, days and sometimes even months.

It is generally known that transmission networks are exposed to many causes of failures, the weather being particularly merciless with transmission lines. Today, terrorist actions are, regrettably, not to be excluded either. On the other hand, though to a lesser extent, outdoor switching stations, particularly the 400 kV ones, are not immune to similar effects whose causes may be identical to those affecting transmission lines, but which can also be very much specific. It is also known that constructing a transmission network which would be absolutely weatherproof is not economically justifiable. In other words, transmission line failures are to be counted with, and each owner of a transmission network should ask himself: "Do we have a clear policy on emergency action in place? Can our organisational structure effectively tackle such challenges?"

The purpose of this paper is to help i.e. encourage the transmission company to develop its own emergency action plans, which means to prepare the appropriate equipment, materials, tools and workforce that can effectively respond to the challenges mentioned.

2 NEKA SVJETSKA ISKUSTVA

Iz dugačke liste trajnih kvarova dalekovoda izdvojena su samo tri, i to:

- ledena oluja u mreži BC Hydro 1972.,
- oluja u mreži EdF-a 1999.,
- snježna oluja u mreži RWE 2005.

Taj odabir bi mogao biti znakovit i za naše prilike. Može se naime postaviti pitanje što je centralni problem svih tih havarija. Odgovor se nameće sam od sebe, tj. u svim navedenim slučajevima došlo je prvenstveno do velike redukcije potrošnje električne energije pa su neki potrošači i danima bili bez energije. Nadalje, oluja odnosno ledena oluja kao uzrok havarija bila je i kod nas prisutna u gotovo svim većim kvarovima prijenosne mreže pogotovo uz tzv. južnu magistralu koja se proteže od Gorskoga kotara do Dalmatinske zagore. Konačno, poremećaj u njemačkoj mreži 2005., tj. u godini razvijene tržišne elektroprivrede donosi neka nova saznanja koja upozoravaju na to što budućnost može donijeti. Naime njemački potrošači nisu priznali višu silu već traže odštetu od tvrtke RWE za štetu koju su pretrpjeli od redukcija. Potrošači smatraju da RWE nije dovoljno uložio u povećanje sigurnosti mreže iako ostvaruje dobitke u poslovanju.

Tu se treba malo osvrnuti na pojam štete jer će to pomoći da u sljedećim poglavljima dođemo do korisnih zaključaka. Jedna je šteta koju trpi prijenosna tvrtka ili možda njezin osiguravatelj koja je velika ali marginalna u usporedbi s društvenom štetom koja pritom nastaje. Poznato je da cijena neisporučena kWh dostiže i do 100 puta veći iznos od same cijene kWh. Očito da u planiranju strategije djelovanja u kriznim situacijama imaju što reći i prijenosna tvrtka i potrošači prvenstveno preko agencije za regulaciju energetske djelatnosti (u našem slučaju je to HERA). Budući da smo prihvatili činjenicu da je u razumnim ekonomskim granicama nemoguće izgraditi mrežu otpornu na sve atmosferske utjecaje, treba se okrenuti akcijama koje nastale štete smanjuju. Nije naime isto je li potrošač reduciran 6 sati ili 12 sati, odnosno 6 dana ili 12 dana [2].

Akumulirana svjetska iskustva o potrebnim mjerama mogu se vidjeti iz uputa koje je priredila Radna skupina CIGRÉ (WG B2 13) i koje su predstavljene u sljedećem poglavlju [3].

2 INTERNATIONAL EXPERIENCE

From a long list of transmission line failures here are just three cases:

- ice storm in the BC Hydro network in 1972,
- storm in the EdF network in 1999,
- snow storm in the RWE network in 2005.

This selection could be indicative of our situation as well. The question may be posed what is central to all the three breakdowns. The answer is quite ready at hand, i.e. in all three cases there was a large-scale reduction in the supply of electricity, and some consumers went without electricity for days. Furthermore, we have also had storm or ice storm as the cause of almost all major transmission line failures, particularly along the so-called southern arm stretching from Gorski Kotar to Dalmatinska Zagora. Finally, the incident in the German transmission network in 2005, i.e. in the country of developed market-oriented power utilities, disclosed some new things as a warning of what the future may bring. Notably, German consumers are not recognizing Force Majeure, they are claiming damages from the company RWE for the losses suffered from reductions in supply. Consumers hold that RWE did not invest sufficiently into raising the level of security of the grid although the company extracted high profits from its operation.

Here we should consider the concept of damage or loss, because it will help us arrive at useful conclusions in the following chapters. The concept includes the damage suffered by the transmission company or perhaps its insurer, and it is great but marginal compared with the consequent social damage. It is known that the cost of a non-delivered kWh can be as many as 100 times greater than the price of a kWh. Apparently, in emergency planning the transmission company and consumers have a thing or two to say, primarily through the agency for industry regulation (in our case it is HERA). Having reconciled ourselves to the idea that within reasonable economic limits it is not possible to construct a totally weatherproof transmission network, we need to look at the actions to contain the damage. It is not irrelevant whether the consumer remains without electricity for 6 or 12 hours, or for 6 or 12 days [2].

Accumulated international experience concerning the necessary measures may be found in the Guidelines prepared by a CIGRÉ working group (WG B2 13), and they are presented in the next chapter [3].

3 UPUTE RADNE SKUPINE CIGRÉ

Radna skupina CIGRÉ priredila je Upute za djelovanje u kriznim situacijama. Odmah na početku javlja se i jedna od glavnih dilema. Naime vlasnici prijenosne mreže umjesto pitanja navedenog u uvodu često se pitaju: "Što nam trebaju svi ti materijali, alati i oprema?" Prevedeno to znači: "Koliki si gubitak prihoda vlasnik prijenosne mreže može dopustiti zbog poremećaja u mreži?" Računica bi naravno bila jednostavna kada bi se zanemarila prije navedena šteta ili gubitak društvene zajednice.

Slijedom takvih razmišljanja lako je zaključiti:

- da vlasnik prijenosne mreže mora imati određena sredstva za djelovanje u kriznim situacijama,
- da ta sredstva postaju, međutim, beskorisna bez detaljnog plana djelovanja u momentu kada su potrebna.

3.1 Priprema plana djelovanja

Ključ za razradu plana djelovanja prihvaćanje je dugoročne politike uprave prijenosne tvrtke o procjeni mogućih kritičnih situacija i načinu kako na njih odgovoriti. Prvi je korak uspostava Organizacije za djelovanje u kriznim situacijama.

Možda je ovdje zgodno navesti dva primjera: RTE francuski operator prijenosnog sustava poslije oluje 1999. osnovao je GIP - Priority Action Group. Ta se jedinica za brzo djelovanje sastoji od sedam timova raspoređenih širom Francuske. Aktivira ju jedinica za upravljanje u kriznim situacijama koja analizira problem i predlaže moguća rješenja koja će omogućiti ponovno napajanje potrošača u roku manjem od 5 dana. GIP ima na skladištu 17 km 400 kV dalekovoda.

BC Hydro u Kanadi je već iza oluje 1972. godine osnovao skladište materijala za brze popravke i tako stvorio prethodnicu današnje organizacije za brzo djelovanje kojom se upravlja centralno. Planirana razina pripravnosti predviđa na primjer do 10 km vodova svake naponske razine za brzu montažu.

Organizacija za djelovanje u kriznim situacijama

Na čelu organizacije u koju su uključeni vlastiti stručnjaci s dugogodišnjim iskustvom u djelovanju na terenu treba biti visoko rangirani iskusni menadžer s obzirom na to da je riječ o znatnim sredstvima. Njegov je prvi zadatak da osnuje Tim za strateško planiranje i imenuje njegovoga voditelja, koji vodi tim u obnovi postrojenja. Takav pristup ujedno daje i značaj cijeloj akciji.

3 CIGRÉ WORKING GROUP GUIDELINES

A CIGRÉ working group prepared guidelines for emergency action. At the very beginning one of the main dilemmas occurs. The owners of transmission networks, instead of the question posed in the introduction, often wonder: "Why do we need all these materials, tools and equipment?" Translation: "How high a loss of revenues due to grid incidents can the owner afford?" The calculation would be simple, of course, if the above-mentioned damage or loss of the community were not taken into account.

Following such consideration it is easy to conclude that:

- the owner of transmission network must have some funds to act in emergency,
- such funds are, however, useless if there is no detailed plan of action when it is needed.

3.1 Preparing a plan of action

The key to the development of a plan is for the Board of the transmission network owner to adopt a long-term policy on the estimate of possible critical situations and the way to respond to them. The first step is setting up a Crisis Management Organisation.

It is perhaps convenient to mention two examples here: following the storm in 1999, RTE, a French transmission system operator, established GIP - Priority Action Group. This rapid response unit consists of seven teams deployed throughout France. It is activated by the crisis management unit which analyzes the problem and proposes possible solutions to enable restoration of power within less than 5 days. GIP has 17 km of 400 kV power lines in store.

BC Hydro of Canada setup a storage already after the 1972 storm, to allow for quick repairs, thus creating the predecessor of today's centrally-managed crisis management organisation. The planned level of readiness envisages e.g. up to 10 km of lines for quick assembly for each voltage level.

Crisis management organisation

The organisation including the company's own experts with many years of field experience should be headed by a high-ranking experienced manager, considering the fact that considerable funds are involved. His or her first task would be to set up a team for strategic planning and appoint a person in charge to lead the team in the restoration of the facility. Such an approach also gives importance to

Imenovani voditelj može biti i na čelu Tima za operativne zahvate.

Tim za strateško planiranje. Njegov je zadatak:

- utvrditi potencijalne rizike vlasnika mreže,
- za te rizike razviti različite scenarije obnove,
- odabrati scenarije u skladu s općom politikom tvrtke,
- utvrditi strukturu članova tima,
- operacijsko povezivanje s vanjskim organizacijama,
- operacijsko povezivanje s javnim medijima,
- razvoj programa treninga,
- na bazi stečenih iskustava uvesti poboljšanja.

Tim za operativne zahvate u obnovi. Obavlja popravke u skladu s uputama koje donosi Tim za strateško planiranje. Struktura tog tima ovisi o lokalnim prilikama, no svakako treba sadržavati sljedeće ključne funkcije:

- rukovodstvo tima,
- inženjering,
- radove na terenu,
- koordinaciju materijala,
- koordinaciju sigurnosti na radu,
- logistiku, transport i komunikacije,
- koordinaciju komunikacija,
- ugovaranje,
- vlasničke odnose,
- financijsku koordinaciju.

Pokušajmo nabrojiti neke od odgovornosti pojedinih funkcija tima:

Rukovodstvo tima izravno je odgovorno menadžeru na čelu organizacije, brine se za ugovore o međusobnoj pomoći, za odnose s distribucijom i za potrebne dozvole.

Operator sustava određuje prioritete obnove, koordinira zaštitu i stavlja pojedine vodove u ponovni pogon.

Inženjering obavlja procjenu štete, odobrava promjene na licu mjesta, obavlja nadzor radova i osigurava nužnu projektnu dokumentaciju.

Rukovoditelj radova na terenu planira radove i rokove izvršenja, brine se za zaštitu na radu, ugovara koordinaciju s vanjskim timovima i vraća obnovljene vodove u domenu operatora sustava.

Koordinator za materijale brine se za nabavu materijala, njegovu kvalitetu te kontrolu pakovanja i otpreme.

the entire action. The appointed team leader can also head the Restoration Operations Team.

Strategic Planning Team. Its task is to:

- establish the potential risks for the transmission network owner,
- develop different restoration scenarios for such risks,
- select scenarios in accordance with the general policy of the company,
- determine team structure,
- operational links to outside organisations,
- operational links to public media,
- training program development,
- introduce improvements based on experience made.

Restoration Operations Team. Conducts repairs in accordance with the instructions issued by the Strategic Planning Team. The structure of the team depends on local conditions, but it should by all means include the following key functions:

- management,
- engineering,
- field work,
- material coordination,
- safety-at-work coordination,
- logistics, transport and communication,
- coordination of communication,
- contracting,
- proprietorship,
- financial coordination.

Let us try to mention some of the responsibilities of particular team functions:

Team management reports directly to the manager heading the organisation, takes care of the contracts for mutual assistance, relations with distribution, and for special permits.

System operator determines the reconstruction priorities, coordinates protection and resumes operation on individual lines.

Engineering estimates the damage, approves on-site changes, supervises the works and provides the necessary project documentation.

The field works manager plans the works and deadlines, takes care of safety at work, contracts coordination with external teams and return the restored lines back to the domain of the system operator.

The materials coordinator takes care of materials supply, its quality and packaging and shipment control.

Koordinator za sigurnost na radu brine se za sigurnost, prvu pomoć te za kvalifikacije radnika.

Logistika se brine za transport i prijem opreme, putovanja sudionika, stan i hranu, opremu i alat, sigurnost gradilišta te za telekomunikacijsku opremu.

Koordinator komunikacije brine se za unutarnju i vanjsku komunikaciju te posjete gradilištu.

Ugovaranje podrazumijeva realizaciju i nadzor nad izvršenjem ugovora s trećim licima.

Vlasnički odnosi uključuju kontakt s vlasnicima, dozvole pristupa, prava prolaza te otklanjanje eventualno učinjenih šteta.

Financijska koordinacija odobrava sredstva i obavlja kontrolu troškova.

Identifikacija rizika

Najvažnija zadaća Tima za strateško planiranje je procjena potencijalnih havarija. Pritom se oni oslanjaju na:

- vlastita iskustva s velikim poremećajima,
- aktualno stanje dalekovoda,
- potencijalne prirodne događaje,
- poremećaje izazvane ljudskim djelovanjem.

Među zadaćama te grupe mogu se podvući:

- procjene frekvencije događanja velikih poremećaja i njihovo trajanje, što se prvenstveno odnosi na višestruki kvar dalekovoda,
- procjene otpornosti stupova i opreme, terenski uvjeti i mogućnost pristupa mjestima kvara,
- procjene političkih i ekonomskih posljedica poremećaja.

Ekonomske posljedice uglavnom se kvantificiraju troškom neisporučene električne energije. Kombinacija vjerojatnosti kvara i ekonomskih posljedica kvantificiraju rizik, odnosno nužna sredstva koja tvrtka mora redovito osiguravati kako bi smanjila štete od velikih poremećaja kada do njih dođe.

Procjena tipa rizičnih događaja

Za materijalne i financijske izvore važno je procijeniti vjerojatnost potencijalnih događaja u smislu radi li se o pojedinačnom događaju koji se u nekim intervalima ponavlja ili o velikom broju pojedinačnih događaja koji se pojavljuju istodobno kod velike oluje, sabotaže i sl.

The coordinator for safety at work takes care of safety, first aid and the qualifications of workers.

The logistics takes care of the transport and acceptance of equipment, travelling, board and lodgings, equipment and tools, security of the site, and telecommunications equipment.

Communications coordinator is responsible for internal and external communication and visits to the site.

Contracting includes realisation and monitoring of the fulfilment of third party contracts.

Proprietorship includes contact with owners, access permits, rights of passage, and redressing possible damage.

Financial coordination approves the funds and controls expenditures.

Identification of risk

The most important task of the Strategic Planning team is to make estimates about potential breakdowns. In this the team relies on:

- its own experience with major incidents,
- current state of transmission lines,
- possible natural events,
- incidents caused by human action.

The tasks of this group include:

- estimate of major incident frequency and duration, primarily in case of multiple transmission line failure,
- estimate of the resilience of towers and equipment, field conditions and possibility to access the points of failure,
- estimate of the political and economic effects of the incident.

The economic effects are mainly quantified by means of the cost of non-supplied electricity. The combination of the possibility of failure and the economic effects quantify the risk i.e. the necessary means that the company must regularly provide in order to reduce the damage from major incidents when they occur.

Estimate of the type of risk

For the material and financial sources it is important to estimate the probability of potential events depending on whether it is a single recurrent event or a number of single events occurring simultaneously in the event of great storms, sabotage etc.

Scenarij popravka

Grupa za strateško planiranje određuje rizik mogućeg poremećaja. Također preventivnim akcijama smanjuje pojedine rizike, na primjer pojačavanjem nekih specifičnih struktura s jedne strane ili s druge strane sporazumom s većim potrošačima da smanje potrošnju ako dođe do potencijalnih poremećaja. Za svaki potencijalni poremećaj razrađuje se scenarij popravka te nužna radna snaga, oprema, materijali, alati i sl. Te su razrade vrlo detaljne i uzimaju u obzir razne aspekte kao na primjer potrebu da materijal na skladištu ne ostari, detalje načina pakovanja za prijevoz helikopterom, nužne treninge radnika u timovima ili detalje vanjske komunikacije.

3.2 Plan akcije u kriznim situacijama

Procjena rizika i analiza scenarija osnova su plana akcije koji, među ostalim, mora sadržavati:

Nivo akcije u kriznim situacijama

U pravilu plan akcije predviđa tri razine akcije u kriznim situacijama:

- prvu razinu koju u svojem okviru može riješiti lokalni menadžer,
- drugu razinu koju rješava viši menadžer,
- treću razinu koju po svojem opsegu može riješiti viši menadžer u okviru zacrtanog plana popravka odnosno obnove.

Brzina akcije

Realizacija popravka može se pospješiti sustavom ranog upozorenja, brzim lokacijama kvara i njegova opsega. Ekipe mogu biti stavljene u pripremu pri najavi lošeg vremena ili nekog političkog događaja koji bi mogao izazvati terorističke akcije.

Nužni materijali

Hoće li tvrtka formirati skladište za krizne situacije ili ne, nije bitno - bitno je postojanje plana po kojem se zna komu se treba obratiti za materijalne potrebe. To nisu velike investicije u materijalna dobra već investicije u pravi materijal.

Među mogućim pristupima nabrojimo:

Odvojeno skladište za krizne situacije - materijal se može upotrebljavati i za povremene popravke ili zamjene, ali pod strogim nadzorom višeg menadžera, odgovornoga za krizne situacije.

Neodvojeno skladište za krizne situacije - minimalne zalihe stvaraju se s nakanom da se taj materijal uvijek treba naći negdje u sustavu. Riječ je o manje kritičnom materijalu ili materijalu koji stari.

Restoration scenario

The strategic planning group determines the risk of the potential disruption. It also reduces particular risks through preventive action, e.g. by reinforcing some specific structures on the one hand, or by reaching agreements with major consumers to reduce their consumption in case of potential incidents on the other. For each potential incident a restoration scenario is developed, as well the necessary labour, equipment, materials, tools etc, in a very detailed manner, taking into account different aspects as for instance the requirement that the material stored should not pass its expiration date, the details of the packaging for helicopter transportation, the necessary training of workers and teams, or the details of external communication.

3.2 Emergency plan of action

The estimate of the risk and the analysis of the scenario are the basis for the plan of action which, among other things, must include:

Level of emergency action

As a rule, the plan of action envisages three levels of emergency action:

- the first level which can be tackled by the local manager in its scope,
- the second level tackled by a senior manager,
- the third level tackled by a senior manager in its scope within the framework of the established restoration i.e. reconstruction plan.

Response time

The repair realisation can be improved through an early warning system, quick location of the failure and the identification of its scope. Teams can be set up and put on alert when bad weather is coming or a political event is announced that could provoke terrorist actions.

Necessary materials

Whether the company will establish an emergency storage or not, is not so important; what is important is that there is a plan envisaging who to turn to for material requirements. It is not a matter of a big investment in material goods, but of an investment in the right material.

Possible approaches include:

Separate emergency storage - material can also be used for occasional repairs or replacements, but under a strict supervision of a senior crisis manager.

Non-separate emergency storage - minimum stock created with the intention to always have the material

Dogovor o međusobnoj pomoći - to je ugovor sa susjednim prijenosnim tvrtkama o međusobnom korištenju skladišnih zaliha ili ugovor s poslovnim partnerima. Kod velikih oluja ili višestrukih kvarova ta međusobna pomoć ima i svojih ograničenja.

Komercijalni ugovor s isporučiteljima opreme - taj ugovor podrazumijeva držanje obveznih zaliha za slučaj kriznih situacija.

Radna snaga

Bez obzira na to koristi li se vlastita radna snaga i oprema ili vanjska ili obje, bitno je da postoji provediv plan. Plan mora odgovoriti na pitanja kao što su: koliko ljudi treba u pripravnosti, koliko ih se mora kratkoročno, a koliko dugoročno angažirati. Može se koristiti:

Vlastita radna snaga - plan mora dati odgovor na pitanja razine radne snage, kvalifikacijske strukture i broja ljudi u pripravnosti.

Vanjska radna snaga - odnose treba regulirati dobrim komercijalnim ugovorima koje treba redovito obnavljati. Upitna je međutim prevelika ovisnost o vanjskoj radnoj snazi [4].

Međusobni ugovori - dogovori sa susjednim prijenosnim tvrtkama trebaju jasno definirati međusobne obveze. I te dogovore valja redovito obnavljati.

Logistika

Bitno je da se zahtjev s terena za materijalom jasno definira skladištima za kritične situacije. Materijali i alati trebaju biti logično spakirani kako bi se rad na terenu ubrzao. Odgovorna osoba za logistiku mora imati sve prikladne aranžmane za transport do lokacija na kojima se radi. Ako se koristi helikopter, pakiranje mora po volumenu i težini odgovarati dopuštenim mjerama.

Oprema

Ako prijenosna tvrtka nema strojeve za razvlačenje užadi, zaštitne užadi i optičkih kabela treba to ugovoriti s tvrtkom koja ih posjeduje. Te strojeve i ostale specijalizirane alate koji se mogu rabiti na različitim tipovima terena uzduž trase, ta tvrtka treba održavati u radnom stanju kako bi na osnovi specijalnog ugovora mogla odgovoriti na krizne situacije.

Važan dio opreme je helikopter za prijevoz ljudi i materijala na udaljene lokacije, za pomoć u radu na teškim terenima i za sigurnost osoblja. Kad vrijeme dopušta koristi se također za lokaciju kvarova.

somewhere in the system. This includes critical material or ageing material.

Agreement on mutual assistance - a contract with neighbouring transmission companies on mutual use of storage stock, or a contract with business partners. In the event of major storms or multiple failures such assistance has its limitations.

Commercial contract with equipment suppliers - such a contract includes holding sufficient stock of supplies in the event of emergency.

Labour

Irrespectively of whether company's own labour or external labour is used, or both, it is important to have an actionable plan. The plan must answer such questions as: how many people need to be on standby, how many of them must be commissioned on a short-term and how many on a long-term basis. Labour may include:

Company's own labour - the plan must provide answers concerning the level of labour, the qualifications and number of people on stand-by.

External labour - relations need to be regulated by good commercial contracts which need to be regularly renewed. However, too great a dependence on external labour is questionable [4].

Mutual agreements - agreements with neighbouring transmission companies need to clearly define mutual obligations. Such agreements should also be regularly renewed.

Logistics

It is important that the field request for material is clearly defined to emergency storages. Materials and tools need to be logically packaged to speed up field operations. The person in charge of logistics must have all the appropriate arrangements for the transportation to intervention sites. If helicopters are used, the volume and weight of packaging must be as prescribed.

Equipment

If the transmission company has no machines for stretching cables, protective cables and optic fibre cables, it has to enter into appropriate agreements with a company that does. Such machines and other specialised tools that can be used at different types of ground along the corridor need to be maintained in working order by such a company to be able to respond in emergency pursuant to the special agreement.

An important part of the equipment is a helicopter for transporting men and material to distant locations in support of interventions on difficult ground and for the

Komunikacije

Interne komunikacije. Aspekt planiranja ključan za uspješno djelovanje u kriznim situacijama je komunikacija među raznim jedinicama koje djeluju unutar tima za popravak. Ta komunikacija treba biti izravna sa svim jedinicama uz jasno definirane odgovornosti. Važan je centar za krizne situacije, gdje se skupljaju članovi tima za operativne zahvate. U tom centru bit će omogućena veza sa svim ugovornim partnerima, isporučiteljima i potrošačima. Ovdje se također nalazi i pripremljena dokumentacija.

Vanjska komunikacija. Odgovorna osoba ima važnu dužnost da o planu i rokovima popravka obavijesti sredstva javnog informiranja, javnost, ostale servisne organizacije te vladine i nevladine agencije. Važno je da je ta osoba dio tima za operativne zahvate kako bi tekuće informacije bile dostupne vanjskim strankama, a također kako bi i sam tim bio svjestan o vanjskim reakcijama i poslovnim porukama. Ta osoba mora biti jedini kontakt za slanje informacija prema vani.

3.3 Trening

Određena tvrtka može izgraditi povjerenje i kompetentnost u svoju spremnost djelovanja u kriznim situacijama kroz redovito vježbanje (trening). Preporuča se trening svih članova tima, uključujući više menadžere kroz simulirane situacije. Monteri trebaju redovito imati teoretsku i praktičnu nastavu kako bi se što bolje pripremili. To može biti i trening kroz rad na gradnji stupova, razvlačenju užeta ili kroz normalno održavanje. Tako se dobro upoznaje oprema i okoliš. Bez redovite uporabe opreme i alata djelatnici se ne mogu osposobiti za rad u kriznim situacijama. I ugovorne tvrtke trebaju biti uključene u trening.

3.4 Kontinuirano poboljšanje

Nakon svakoga kriznog događaja Tim za strateško planiranje treba korigirati planove na temelju naknadne analize djelovanja čime se postižu trajna unapređenja. Drugi važan izvor informacija koji služi poboljšanju rada je iskustvo drugih prijenosnih tvrtki.

3.5 Zaključak uz Upute radne skupine CIGRE

Efektivni plan djelovanja zahtijeva jasnu korporativnu politiku kao bazu za detaljnu procjenu rizika i planiranje odgovarajućih akcija. Prijenosna tvrtka može procijeniti je li plan u skladu s politikom i financijskim ograničenjima. To može dovesti i do nove definicije kako politike tako i samog plana. Realizacija plana zahtijeva odgovarajuće materijale, opremu i radnu snagu kako

safety of the staff. Weather permitting, it can also be used to locate failure.

Communications

Internal communication. The aspect of planning essential to a successful crisis management is communication between various units of the restoration team. The communication must be direct with all the units, with clearly defined responsibilities. A crisis management centre is important, where members of the Operations Team gather. The centre will have connection to all the contractual partners, suppliers and consumers. This is also where the documentation prepared will be kept.

External communication. The person in charge has a very important responsibility to notify the media, the public, other service organisations and governmental and non-governmental organisations about the restoration plan and time. It is important that such a person be part of the Operations Team, so that current information is available to external parties, and that the team itself is aware of external reactions and business messages. This person must be the only contact authorised to disclose information.

3.3 Training

A company may build confidence and competence into its readiness for emergency action through regular training. It is recommended that all the team members train together, including senior managers, in simulated situations. Assembly men need regular theoretical and practical training to be as well prepared as possible. It can also be an on-the-job training while erecting towers, stretching cables, or during regular maintenance. This way they get to know the equipment and the terrain real well. Without the regular use of their equipment and tools, the staff cannot be made capable of emergency action. Companies under contract should also be included in the training.

3.4 Constant improvement

After each emergency, the Strategic Planning Team should correct the plans on the basis of subsequent analysis of the intervention, to achieve permanent improvements. Another important source of information which serves the purpose of work improvement is experience of other transmission companies.

3.5 Conclusion with regard to CIGRE WG Guidelines

An effective plan of action requires a clear corporate policy as the basis for a detailed risk estimate and appropriate action planning. The transmission company can estimate whether the

bi u kriznim situacijama mogli djelovati u skladu s korporativnom politikom. S obzirom na promjene uvjeta treba i politiku i plan redovito podvrgnuti reviziji.

4 NAŠA SITUACIJA

4.1 Procjena rizika na bazi iskustva

Prijenosna mreža u nadležnosti HEP Operatora prijenosnog sustava (HEP OPS-a) preduvjet je slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj. Spajanjem sinkronih zona u veliko europsko tržište dovelo je HEP OPS u situaciju da svaki veći poremećaj u njegovoj mreži može ugroziti mreže susjednih zemalja pa i šire. Takva odgovornost naprosto prisiljava HEP OPS da procijeni sve rizike svojeg djelovanja.

Dalekovodi

Ne uzimajući u obzir problem terorizma koji je teško predvidiv i po lokaciji i po opsegu štete, činjenica je da su dalekovodi u pravilu izloženi svim klimatskim i atmosferskim utjecajima i da ih nije ekonomično dimenzionirati tako da budu otporni na sve te utjecaje. Potrebno je zato procijeniti vjerojatnost broja dalekovoda koji će biti istodobno u kvaru, trajanje toga kvara, koja su područja najugroženija i u koje godišnje doba je vjerojatnost kvara najveća.

Na osnovi tih procjena moguće je procijeniti i rizik štete zbog neisporučene električne energije potrošačima, odnosno zbog nemogućnosti tranzita među trećim zemljama preko naše prijenosne mreže te zbog nemogućnosti plasiranja energije elektrana na ugroženom području.

Prema našim statistikama osobito ugroženo područje prostire se uz tzv. južnu magistralu i obuhvaća područje od Hrvatskog primorja i Istre preko Gorskoga kotara i Like do Dalmatinske zagore. To je ujedno područje na kojem su locirane elektrane ukupne instalirane snage oko 1 750 MW.

Statistika nadalje pokazuje da vjerojatna frekvencija pojave istodobnih kvarova dalekovoda, s 5 do 8 dalekovoda u kvaru, iznosi u prosjeku 6 godina, dok popravak svih oštećenih dalekovoda do njihova stavljanja u ponovni pogon traje od 8 dana do 7 mjeseci. Statistika pokazuje da su mjeseci studeni, prosinac i siječanj najugroženiji [5].

Iz svega navedenoga može se konstatirati da rizik višestrukih kvarova dalekovoda sa svim svojim posljedicama nije zanemariv. Sva se ta razmatranja odnose na dalekovode koji su redovito održavani i kontrolirani u skladu s međunarodnim

plan is in accordance with the policy and financial limitations. This can also lead to a new definition of both the policy and the plan itself. The realisation of the plan requires appropriate materials, equipment and labour to be ready for emergency action in accordance with the corporate policy. Considering the changes in conditions, the policy and the plan need to be regularly reviewed.

4 OUR SITUATION

4.1 Risk estimate based on experience

A transmission network operated by HEP Transmission System Operator (HEP OPS) is a prerequisite to a free market for electricity in Croatia. The connection of synchronous zones into the broader European market put HEP OPS in a position that any major incident in its grid may affect the grids of the neighbouring states, or even broader. Such responsibility simply forces HEP OPS to estimate all the risks of its operation.

Transmission lines

Excluding the problem of terrorism, which is hardly predictable in terms of location and the extent of damage, the fact is that transmission lines are, as a rule, exposed to all the climatic and atmospheric effects, and that it is not economical to design them resilient to any adverse impact. It is, therefore, necessary to estimate the probability of the number of transmission lines which fail at the same time, the duration of the failure, the most vulnerable areas, and the season in which the probability of failure is the highest.

On the basis of such estimates it is possible to estimate the risk of losses caused by non-supply of electricity to consumers, i.e. because of the failure of transit between third countries through our transmission network and because of the failure to distribute the electricity generated by the power plants in the affected area.

According to our statistics a particularly vulnerable area stretches along the so-called southern arm and includes the territory from Croatian Littoral Region and Istria through Gorski Kotar and Lika to Dalmatinska Zagora. This is also the area in which power plants with total installed output of about 1 750 MW are located.

The statistics further shows that the probable frequency of simultaneous failure of transmission lines (5 to 8 lines) is 6 years on the average, and that their restoration, up to a renewed start-up, would last from 8 days to 7 months. The statistics

preporukama [6], što znači da su uzemljenja, temelji stupova, stupovi, izolatori, vodiči i ovjesni materijal u dobrom stanju. Na žalost, zbog dugogodišnje štednje na krivome mjestu to ne odgovara stvarnosti, što povećava element rizika.

Sabirnice 400 kV

Besprijekorno stanje sabirnica u postrojenjima 400 kV jedan je od važnih uvjeta sigurnosti EES-a. Prema statistikama u Hrvatskoj su se kvarovi na sabirnicama dogodili u TS Melina zbog bure, u TS Tumbri zbog eolskih vibracija, dok su ratom oštećene sabirnice u TS Ernestinovo i u manjoj mjeri u TS Konjsko. Srećom današnja je situacija zbog niza zahvata koji su izvedeni ili su u tijeku relativno povoljna, no to nije razlog da se uspavamo, već bi bilo korisno procijeniti realne rizike i eventualne akcije.

4.2 Poželjne akcije

U dosadašnjim trajnim kvarovima dalekovoda ekipe prijenosa (HEP OPS-a) i poslovnih partnera, prvenstveno tvrtke Dalekovod uspješno su se nosile s popravcima, no nema sumnje da bi organiziranim preventivnim akcijama njihovo djelovanje bilo još uspješnije i da bi vrijeme redukcije potrošnje električne energije bilo kraće. Spomenuti primjeri Kanade, Francuske i Njemačke potvrđuju to stajalište. I njihove su ekipe bez sumnje uspješno djelovale, ali ipak se odlučuju na organiziranu preventivu, pogotovo zato što tržište postaje sve zahtjevnije u pogledu sigurnosti napajanja.

Preventivna akcija trebala bi dati odgovor na pitanja:

Dalekovodi

- koja je vjerojatnost višestrukoga kvara,
- koje je područje najviše ugroženo,
- koje je godišnje doba s najvećom vjerojatnosti kvara,
- koje su posljedice kvara u pojedinim energetskim scenarijima,
- kakva je organizacija nužna za djelovanje u kriznim situacijama,
- tko sudjeluje u otklanjanju kvara,
- koji su materijali, alati i oprema nužni i na kojim lokacijama,
- kakve su transportne mogućnosti,
- kako treba izgledati unutrašnja i vanjska komunikacija,
- koje ugovore treba sklopiti s partnerima,
- kako organizirati kontinuirani trening,
- kolika je cijena preventive,
- kakav je vremenski plan realizacije preventive,
- kakav je odnos sa HERA-om.

shows that November, December and January are the most vulnerable months [5].

Consequently, it may be concluded that the risk of multiple transmission line failures with all their consequences is not negligible. All the reviews apply to regularly maintained and controlled transmission lines in accordance with international recommendations [6], which means that grounding, foundations for towers, towers, insulators, conductors and suspension materials are in good condition. Regrettably, due to many years of cutting corners at a wrong end, this is not realistic, which increases the element of risk.

400 kV Buses

Impeccable state of the buses at 400 kV facilities is one of important prerequisites to the security of electric power system. According to the statistics, in Croatia failures of buses occurred at the Melina Substation due to strong wind (Bora), at the Tumbri Substation due to eolian vibration, whereas the buses at the Ernestinovo Substation were damaged in the war, the same as - to a lesser extent - at the Konjsko Substation. Fortunately, the situation today, owing to a number of interventions conducted or under way, is relatively favourable, which is no reason for us to become lax, but to estimate the real risks and possible action.

4.2 Desirable action

To date, failures were successfully tackled by the teams of the transmission company (HEP OPS) and its business partners, primarily the company Dalekovod, but there is no doubt that organised preventive actions would make their interventions even more successful and that the duration of reduced electricity supply would be kept even shorter. The above-mentioned examples from Canada, France and Germany support this view. Their teams doubtlessly operated successfully, but they still decided to introduce organised prevention, particularly in the light of the market becoming increasingly demanding with regard to the stability of supply.

Preventive action should answer the following questions:

Transmission lines

- what is the probability of a multiple failure,
- what area is the most vulnerable,
- what season has the greatest probability of failure,
- what are the effects of failure in particular power supply scenarios,
- what organisation is necessary for emergency action,
- who participates in the restoration,

Sabirnice 400 kV

- kakva je organizacija nužna za djelovanje u kritičnim situacijama,
- koja je optimalna topologija 400 kV mreže u različitim energetske scenarijima,
- jesu li mehanički proračuni svih sabirnica središnji,
- je li montaža sabirnica u redu,
- jesu li izabrani optimalni materijali,
- postoje li ugroženija postrojenja,
- kakav je opseg kvara vjerojatan,
- koju opremu i materijale treba imati u rezervi,
- koje ugovore treba sklopiti s partnerima,
- kolika je cijena preventive,
- kakav je odnos sa HERA-om.

Samo dva praktična primjera

Izabrali smo iz prethodnih popisa jedno pitanje: koju opremu i materijale treba imati i gdje, te ga pokušavamo primijeniti na dalekovode i postrojenja 400 kV.

Dalekovodi. Imamo li relativno lagani, lako prenosivi, vjerojatno sidreni stup za višenaponsku upotrebu? Gdje ga treba skladištiti? Kako ga transportirati i prije svega je li naša ekipa kroz opetovani trening osposobljena da brzo podigne taj stup primjerice u Lici za vrijeme snježnih nepogoda?

Sabirnice 400 kV. Za koliko kompletnih polja 400 kV imamo uskladištenu rezervnu opremu dostupnu u 24 sata? Iako se ne uklapa izravno, isto pitanje traži odgovor i za napone 110 kV i 220 kV.

4.3 Jedan od mogućih scenarija

Između brojnih scenarija izaberimo jedan koji se možda neće nikad dogoditi, no može se dogoditi još ove godine jer se uklapa u račun vjerojatnosti. Pretpostavimo, naime, da se kao posljedica ledenih oluja zbog višestrukog kvara dalekovoda odvoji od sustava rasklopište koje napaja važnu javnu infrastrukturu kroz razdoblje od dva tjedna, koliko je potrebno vrijeme popravka oštećenih dalekovoda. Štete koje bi zbog tih havarija nastale mogu se podijeliti na izravne koje se odnose na HEP OPS i neizravne koje se odnose na potrošače, prvenstveno na nemogućnost napajanja javne infrastrukture, pa prema tome i na nemogućnost njenog korištenja. Eventualno je moguća i problematika plasmata energije iz obližnje elektrane. Pitanja koja ovakav scenarij otvara su sljedeća:

- jesmo li dalekovode održavali u skladu s međunarodnim preporukama [6] ili smo štedjeli na krivom mjestu,
- ako nismo je li to utjecalo na opseg štete,

- what materials, tools and equipment are necessary and on what locations,
- what transportation options are readily available,
- what are internal and external communication to be like,
- what contracts need to be entered into with partners,
- how to organise constant training,
- what is the price of prevention,
- what is the schedule for the realisation of prevention,
- what is the relation with HERA.

400 kV buses

- what organisation is necessary to act in emergency,
- what is the optimum topology of the 400 kV grid in different power supply scenarios,
- have the mechanical calculations for all the buses been done,
- is the assembly of buses OK,
- have the optimum materials been selected,
- are there vulnerable facilities,
- what is the probable scope of failure,
- what equipment and materials need to be in reserve,
- what contracts need to be concluded with partners,
- what is the cost of prevention,
- how is the relation with HERA.

Just two practical examples

We have chosen one question from the above lists: What equipment and materials are needed and where, and we trying to apply it to transmission lines and 400 kV buses.

Transmission lines. Do we have a relatively lightweight, portable, probably anchored tower for multi-voltage purposes? Where should it be stored? How should it be transported, and above all, has our team become capable, through operative training, of quickly erecting the tower e.g. in Lika during snow storms?

400 kV buses. For how many complete 400 kV fields do we have spare equipment stored and available within 24 hours? Although it is not directly relevant here, the same question needs to be answered in case of 110 kV and 220 kV buses.

4.3 A possible scenario

Of the many possible scenarios let us pick one that perhaps will never happen, yet which can happen this year already because it fits the probability calculation. Suppose that as a result of an ice storm causing multiple defects on the transmission lines the switchyard, which supplies some important public

- jesmo li mogli načiniti neke prethodne zahvate u mreži ili na dalekovodnim strukturama koji bi smanjili opseg razaranja,
- je li organizacija popravka mogla biti efikasnija, tj. brža,
- hoće li na primjer nadležni za javnu infrastrukturu tražiti odštetu za dio štete koji se boljom organizacijom mogao izbjeći.

Sve su to pitanja nad kojima se treba zamisliti i na koja bi trebalo naći detaljne odgovore za sve predvidive scenarije, odnosno poduzeti akcije.

4.4 Odnos HEP OPS - HERA

Prema definiciji HEP OPS je monopolistička organizacija. HEP OPS mora domaćim i stranim proizvođačima električne energije omogućiti pristup mreži, osigurati napajanje potrošača te u mogućim granicama osigurati tranzit preko vlastite mreže. Uz to je odgovoran za frekventnu, kutnu i naponsku stabilnost EES-a.

HERA prema definiciji ima prvenstvenu zadaću zaštite potrošača pa ona među ostalim odobrava cijenu usluge prijenosa. No zaštita potrošača ne znači samo brigu o cijeni prijenosa već i brigu o kvaliteti napajanja u čemu dominira sigurnost napajanja. Bilo bi poželjno da HEP OPS predloži kratkoročne i srednjoročne mjere za povećanje sigurnosti napajanja kroz organizaciju preventive i naravno cijenu takvih mjera. HERA može te mjere prihvatiti, a HEP OPS može preuzeti obvezu realizacije ili ne prihvatiti u kojem će slučaju i nadalje nastojati uspješno djelovati u kriznim situacijama, ali u granicama organizacijskih i materijalnih ograničenja.

To bi trebala biti čista ekonomska kategorija i može se uspješno riješiti samo ako se ne uplete politiziranje.

5 ZAKLJUČAK

Pod pritiskom velikih kvarova dalekovoda uzrokovanih atmosferskim utjecajima, ali i zbog straha od terorizma, svjetske elektroprivredne tvrtke kroz Radnu skupinu CIGRE izdale su upute za djelovanje u kriznim situacijama.

S obzirom na značaj i položaj prijenosne mreže u Hrvatskoj i na vlastita iskustva s njezinom ugroženosti osobito u nekim područjima, bilo bi mudro pristupiti odgovarajućoj organizaciji preventive. Vodeće mjesto u toj organizaciji ima HEP OPS, ali ona uključuje i njegove partnere prvenstveno tvrtku Dalekovod. Sama organizacija

infrastructure, becomes detached from the system for a period of two weeks, the time required for the repair of the damaged transmission lines. Damages caused by such an accident can be divided into direct damage affecting HEP OPS and indirect damage affecting consumers, primarily the impossibility of supplying public infrastructure and thereby of using it. A possible consequence may be restriction in power supply from a nearby plant. The questions posed by such a scenario are:

- have we maintained the transmission lines in accordance with the international recommendations [6] or have we cut corners at a wrong end,
- if not, has it affected the scope of damage,
- could we have undertaken any preliminary interventions in the network or on transmission line structures to reduce the extent of destruction,
- could the organisation of the repair have been more efficient, i.e. quicker,
- will e.g. the public infrastructure authority claim damages for some of the losses which could have been avoided by better organisation.

All these are questions to consider and to find detailed answers to for any foreseeable scenarios, i.e. to act on.

4.4 Relation between HEP OPS and HERA

According to its definition HEP OPS is a monopoly. HEP OPS must provide network access to national and foreign generators of electric power, secure the supply to consumers and, within the limits of what is possible, make possible the transit through its own network. In addition, it is responsible for the frequency, angle and voltage stability of the electric power system.

HERA's primary task is to protect consumers, so among other things it approves the price of the transmission service. However, consumer protection does not only mean managing the transmission price, but also managing the quality of supply, predominantly meaning the security of supply. It would be desirable for HEP OPS to propose short-term and long-term measures to increase the security of supply through the organisation of prevention, and, of course, the cost of such measures. HERA can accept the measures, and HEP OPS can accept the responsibility for the realisation, or not, in which case it will continue its attempts to successfully act in emergency, but within its and material limitations.

This should be a purely economic category which can be successfully settled only if politics is kept away.

je trajna, ali ona nastupa samo u slučaju objave krizne situacije i uključuje radnu snagu koja u međuvremenu djeluje na svojim redovitim radnim mjestima. Ta organizacija, naravno, ima i svoju cijenu prijenosa koju odobrava HERA. HERA i HEP OPS morali bi naći zajedničko rješenje za takvu akciju, koja u krajnjoj liniji najveću korist donosi potrošačima, ali i proizvođačima na ugroženom području.

Ovaj članak koji ne može ulaziti u detalje trebao bi biti poticaj za pokretanje te akcije.

5 CONCLUSION

Under the pressure of large-scale failures in transmission lines caused by atmospheric impact, and also because of the fear of terrorism, the world's power utilities have, through the CIGRE Working Group, issued guidelines on how to act in emergency.

Considering the importance and position of the transmission network in Croatia and our own experience of its vulnerability, particularly in some areas, it would be wise to begin to organise appropriate prevention. The leading role in the organisation is played by HEP OPS, but it also includes its partners, primarily the company Dalekovod. The organisation itself is on permanent standby, but it is only to be used in case of emergency, and it includes staff who in the meantime go about their regular business. This organisation, of course, has its transmission prices approved by HERA. HERA and HEP OPS should find a joint solution to such an action which, at the end of the day, brings the most benefit to consumers and to generators in the vulnerable area.

This paper, though unable to go into details, should serve as an incentive to act.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] POMEL, F., SOUDRY, I., Simulated reality, ABB Review 2/2005
- [2] RHEBERGEN, B., BOONE, M. J. M., WALTER, R. N., ROGIER, J., Experiences with 400 kV and 150 kV emergency restorations in Belgium and the Netherlands, CIGRÉ Session 22-205, 1998.
- [3] WG B2.13 CIGRÉ, Guidelines for emergency resource planning for overhead transmission line asset owners, ELECTRA 222, listopad 2005.
- [4] SCHWEINER, R. J., TWOMEY, K. E., LINDSEY, K. E., Transmission line emergency restoration philosophy at Los Angeles department of water and power, CIGRÉ Session 22-101, 2002.
- [5] CVETKOVIĆ, Z., Dalekovodi i pouzdanost elektroenergetskog sistema u vezi s raspadom dalmatinskog EES-a 2003. godine, 6. savjetovanje HK CIGRÉ C2-09 Cavtat, studeni 2003.
- [6] WG 22.13 CIGRÉ, Management of existing overhead transmission lines, brošura 175, prosinac 2000.

Uredništvo primilo rukopis:
2006-02-10

Received on:
2006-02-10

Prihvaćeno:
2006-03-22

Approved on:
2006-03-22

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, u 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 Uređivačkog odbora - mr. sc. Slavica Barta-Koštrun
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska
Tel.: +385 (1) 632 2641
Faks: +385 (1) 617 0438
e-mail: slavica.barta@hep.hr

KOREKTURA I AUTORSKI PRIMJERC

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

AUTORSKO PRAVO

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

MANUSCRIPTS

1. Energija journal publishes articles never before published in another periodical.
2. Articles are written in Croatian or English, in the third person, on one paper side, beginning with an introduction and ending with a conclusion, with double line spacing and adequate margins. Pages are numbered consecutively.
3. As a rule articles cannot exceed 14 pages of the Energija journal (about 9000 words).
4. The name of the author and his/her academic title, the name and address of the company of the author's employment, and e-mail address, are noted separately.
5. The text of the article is preceded by a summary of max. 250 words. The summary is a rounded off whole comprehensible to an average reader apart from the context of the article. The summary is followed by the listing of the key words.
6. Articles are written in MS Word with pictures embedded or as separate TIFF files, 1:1, min. 300 dpi.
7. Articles are written without bottom-of-page footnotes.
8. Mathematical expressions, Greek letters and other symbols must be clearly written with sufficient spacing.
9. The sources mentioned in the text of the article are only to be referenced by the number under which it is listed at the end of the article. References are listed at the end of the article in the order in which they are mentioned in the text of the article. If a work referenced has three or more authors, the first author is mentioned followed by the indication et al. Names of journals are given in full.

Journal

[1] FRAZIER, L., FODOR, J. D., *The sausage machine: A new two-stage parsing model.* *Cognition*, 6 (1978), 291-325

Book

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

Conference paper

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

Unpublished report/theses

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

10. An article will be accepted for publication if it is positively evaluated by two professional reviewers. In the review, articles are categorised as follows:
 - original scientific articles - works containing hitherto unpublished full results of original research,
 - preliminary information - works containing hitherto unpublished preliminary results of original research,
 - review articles - works containing the original, summarized and critical review from the field or from a part of the field in which the author of the article is himself/herself involved - the role of the author's original contribution to the field must be noted with regard to already published works, and an overview of such works provided,
 - professional articles - works containing useful contributions from the profession and for the profession, not necessarily derived from original research.
11. Articles will undergo language editing and metrological reviews.
12. Articles are to be submitted in a machine-readable form plus one printout to the following address:
HEP d.d. - Energija
N/r tajnika Uređivačkog odbora - mr. sc. Slavica Barta-Koštrun
Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia
Tel.: +385 (1) 632 2641
Fax: +385 (1) 617 0438
e-mail: slavica.barta@hep.hr

CORRECTIONS AND FREE COPIES FOR AUTHORS

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

COPYRIGHT

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

INSTRU- CTIONS TO AUTHORS



AKADEMIJA
TEHNIČKIH ZNANOSTI HRVATSKE

pod pokroviteljstvom
HRVATSKOG SABORA
organizira
MEĐUNARODNI
ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP

"ŽIVOT I DJELO NIKOLE TESLE"



CROATIAN ACADEMY OF ENGINEERING

under Auspices of the
CROATIAN PARLIAMENT
is organizing
INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL MEETING

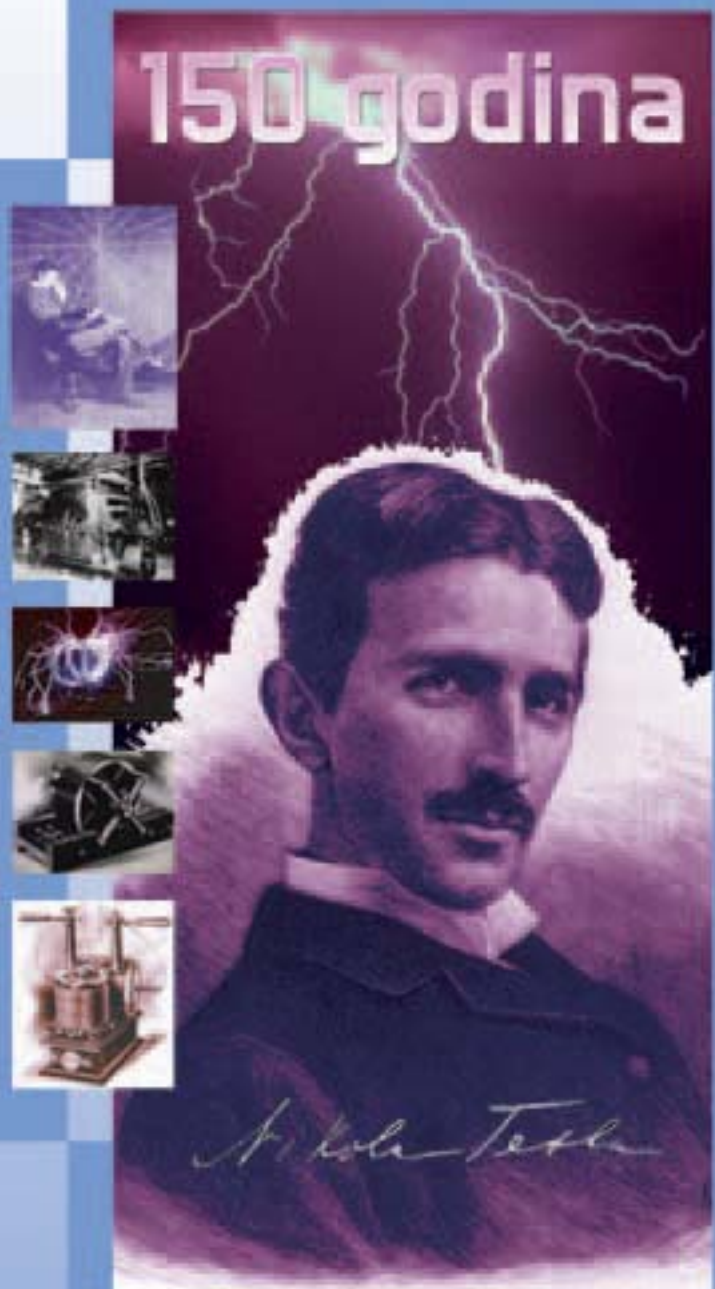
**"THE LIFE AND WORK OF
NIKOLA TESLA"**



SUDJELUJTE NA SKURU!

Svečano otvaranje skupa

Koncertna dvorana Vatroslav Lisinski, Zagreb
28. lipnja 2006. u 09:00 sati



www.hatz.hr/TESLA

PARTICIPATE ON THE MEETING!

Opening Ceremony

Concert Hall Vatroslav Lisinski, Zagreb, Croatia
June 28, 2006 – 09:00 AM

tradicija.
tradition.

Photo: GETTY IMAGES



znanje.
knowledge.

odgovornost.
responsibility.



