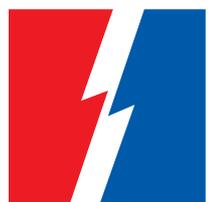


# energija 1



ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE



UDK 621.31 ENJAAC 54 (1) 1 – 90 ISSN 0013-7448  
ENERGIJA • GODINA 54 • BROJ 1 • STRANA 1 – 90 • ZAGREB, VELJAČA 2005.



HEP d.d.  
Ulica grada Vukovara 37  
10000 Zagreb, Hrvatska  
Tel. 63 22 111 (centrala)

ENERGIJA – uredništvo  
Ulica grada Vukovara 37  
10000 Zagreb, Hrvatska  
Tel. 63 22 641, fax 61 70 438

IZDAVAČ – PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

ZA IZDAVAČA

Mr. sc. Ivan Mravak, dipl. ing.

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije  
i informatike

UREDIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Mr. sc. Branko *Grgić*, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split –  
Adrijano *Fišer*, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea*, dipl.  
ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović*, dipl. ing., HEP Osijek  
– mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc.  
Vladimir *Mikuličić*, dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko  
*Malbaša*, dipl. ing., Ekoneg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR - EDITORIAL BOARD

Glavni urednik – Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković*, dipl. ing.  
Urednik – Editor: Zdenka *Jelić*, prof.  
Lektor: Šime *Čagalj*, prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

**Godišnje izlazi 6 brojeva.** Godišnja pretplata za pojedince iznosi  
300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo \$ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju")  
broj 30101-604-495

Tisak: VARTEKS d.d., P.J. Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

Godište 54 (2005)

Zagreb 2005

Br. 1

## SADRŽAJ

<i>Haznadar Z.</i> : Tehnološki izazovi na početku trećeg tisućljeća (Pregledni članak) .....	5
<i>Dokmanović V.</i> : Konceptijska studija o referentnoj elektrani RKW NRW (Pregledni članak) .....	17
<i>Čavlina N.</i> – <i>Grgić D.</i> – <i>Pevec D.</i> – <i>Carelli M.</i> – <i>Petrović B.</i> : IRIS – napredni integralni nuklearni reaktor modularne izvedbe (Pregledni članak) .....	37
<i>Škrlec D.</i> – <i>Krajcar S.</i> – <i>Katić A.</i> : Utjecaj distribuiranih izvora na planiranje razdjelne mreže (Pregledni članak) .....	53
<b>Vijesti iz elektroprivrede i okruženja</b> .....	73
<b>Iz inozemne stručne literature</b> .....	81
<b>Ostale vijesti</b> .....	87

Fotografija na omotu:

**NE KRŠKO**

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sektor  
informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

## Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 stranica. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "presude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedi-nica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sus-tava jedi-nica - SI.  
Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizi-kalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove**. Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:
  - **kratak sažetak**. U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
  - **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.
  - **kategorizaciju**. Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
  - **literaturu**. Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.  
Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom pa-piru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.
7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm - 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka:

**IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK** (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originalnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

**PRETHODNO PRIOPĆENJE** (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorlaufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

**PREGLEDNI ČLANAK** (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornija rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristi u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

**STRUČNI ČLANAK** (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, professionalnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

---

---

# energija

ČASOPIS  
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

**UREDNIŠTVO**

---

---

## **POGLED U BUDUĆNOST**

### **Riječ glavnog urednika**

Ovaj, prvi broj časopisa u 2005. godini možemo smatrati tematskim. Naime, svi članci imaju zajednički nazivnik "pogled u budućnost", a ja bih dodao u budućnost koja je već počela.

U prvom članku Zijada Haznadara i suautora, dan je prikaz razvoja tehnologija u elektroenergetici kako u proteklom razdoblju, tako i o onome što nas čeka u 21. stoljeću.

U članku autora Vladimira Dokmanovića daju se rezultati povećanja efikasnosti termoelektrana na ugljen u SR Njemačkoj i posljedicama koje iz toga proizlaze.

U članku Nikole Čavline i suautora prikazana su aktualna dostignuća u razvoju nuklearnih elektrana i dani najnoviji primjeri iz Finske.

U članku Slavka Krajcara i suautora opisuje se razvoj distribuirane proizvodnje i posljedice uklapanja te proizvodnje u elektroenergetski sustav.

Kao što je iz izbora članaka vidljivo, riječ je o temama i problemima kojima se već ozbiljno bavimo, ali i o onima kojima ćemo se, htjeli mi to ili ne, morati uskoro ozbiljnije pozabaviti.

Obnova proizvodnih kapaciteta kojima je završio vijek trajanja, izgradnja novih proizvodnih kapaciteta za pokriće sve veće potrošnje, diversifikacija goriva, zaštita okoliša (Protokol iz Kyota), uvjeti koje postavlja novo tržište električne energije, povećanje prijenosne moći, smanjenje gubitaka, ponajprije u distribucijskoj mreži, investiranje u ljudske resurse, horizontalne integracije i mnogo drugoga događanja su i problemi koji nužno zahtijevaju da se problematika navedena u člancima ovoga tematskog broja časopisa, kao i ona koja u njemu nije navedena, počnu sustavno razmatrati. Ne možemo si više dopustiti luksuz da u svom mandatu rješavamo samo neposrednu problematiku bez jasnog pogleda u budućnost.

Osvrnemo li se na zemlje koje su daleko odmaknule na polju transformacije elektroenergetskog sektora ili na stvaranju tržišta električne energije, vidjet ćemo da one prije svega uspješno rješavaju tehničke probleme svojih EES-ova, a ekonomija i pravo logična su i nužna dogradnja.

Nadam se da će ovi članci biti poticaj širem pristupu rješavanja navedenih problema te pozivam suradnike našeg časopisa da svojim prilozima obogate tu tematiku.

Glavni urednik

# TEHNOLOŠKI IZAZOVI NA POČETKU TREĆEG TISUĆLJEĆA

Prof. dr. sc. Zijad Haznadar, Zagreb

UDK 621:621.31  
PREGLEDNI ČLANAK

Opisano je stanje u znanosti i tehnologiji koncem XX. stoljeća. Navedena su tehnološka dostignuća i iskoraci u elektrotehnici. Posebno je analizirana elektroenergetika. Osim proizvodnje i prijenosa električne energije razmatrani su integrirani elektroenergetski sustavi i velika zamračenja u njima. Kratko su navedene novosti u elektronici, komunikacijama i računalima. Opisani su rezultati ankete IEEE o stanju i tehnološkom razvoju, koja je provedena u 2003. godini. Dane su tehnološke prognoze za elektroenergetiku i transport. Na kraju je analizirana mogućnost primjene vodika kao energenta u bliskoj budućnosti.

**Ključne riječi:** tehnološki razvoj, elektroenergetika, integrirani elektroenergetski sustav, velika zamračenja, fuzioni reaktor, hibridni automobil, gorivne stanice, vodik.

## 1. UVOD

Cijelo prošlo stoljeće Hrvatska, a osobito Zagreb, bili su među vodećim europskim središtima kulturnog, obrazovnog, znanstvenog i tehnološkog napretka. Zbog nedavnog Domovinskog rata došlo je do zastoja, no danas se postupno obnavlja industrija, a tehnološki razvoj nužno se mora nastaviti i ubrzati.

U razvijenom svijetu koncem XX. i u XXI. stoljeću znanost i tehnološki razvoj snažno i veoma brzo napreduju. Prema istraživanjima na Univerzitetu u Stanfordu (SAD), ukupno ljudsko znanje udvostručilo se svakih pet do osam godina.

Posljedica takvog napretka u znanosti je razvoj i brzi prodor novih visokih tehnologija, da nabrojimo samo neke: mikro i nano tehnologije, informatika, energetika, bioinženjering, egzotični materijali itd.

To je pak rezultiralo otkrićima ljudskog genoma, virtualne realnosti, kvantnih računala, gorivnih elemenata na bazi vodika (hidrogenska era), digitalnih komunikacija, svjetlovođa i lasera, visokotemperaturne supravodljivosti itd.

Ovim člankom, oslanjajući se na relevantna izvješća, želi se ukazati na neke od tih tehnoloških napredaka koji su dostigli gotovo nezamislive granice. Namjera je dati doprinos i poticaj povratku tradiciji i novom tehnološkom napretku u našoj zemlji.

Pažnja će se usredotočiti na tehnološki razvoj u elektrotehnici, poglavito u elektroenergetici, elektronici, računalima i komunikacijama. Na kraju članka ukazat će se na primjenu i povezanost s dostignućima u drugim područjima.

## 2. DOSTIGNUĆA I TEHNOLOŠKI ISKORACI U ELEKTROTEHNICI

Opstanak suvremenog društva na dostignutom stupnju razvoja, kao i daljnji napredak ovise o industrijskoj proizvodnji, transportu ljudi i dobara i prijenosu informacija, ali iznad svega o pouzdanoj opskrbi energijom [1].

Velikim dijelom to su uglavnom područja koja obuhvaća elektrotehnika, odnosno njene grane: elektroenergetika, elektrostrojstvo, elektronika, komunikacije i tehnička informatika, koje se bave proizvodnjom, prijenosom, obradom i pretvorbom dvaju ključnih resursa energije i informacija.

### 2.1. Elektroenergetika

Električna energija važna je i danas nezamjenjiva vrsta energije. Proizvodnja i prijenos električne energije relativno su jednostavni, a ne uzrokuju ni posebne probleme za prirodni okoliš.

Potrebe za električnom energijom u razvijenim zemljama udvostručile se svakih deset godina. Znatna porast očekuje se i ubuduće. Na plenarnom otvaranju 40. savjetovanja Međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave (CIGRE) u Parizu u rujnu 2004. godine iznesen je podatak da će se u svijetu do 2030. godine u elektroenergetiku investirati 10000 milijardi \$.

S druge strane prirodni izvori energije, ugljen, nafta, zemni plin i hidroenergija nisu raspoloživi u neograničenim količinama. Globalni energetske manjak popunjava se sve više iskorištavanjem nuklearne ener-

gije. Istraživanja u svijetu usmjerena su i na pronalaženje novih izvora energije, a koriste se i alternativni izvori energije.

### 2.1.1. *Proizvodnja i prijenos električne energije*

Stalni porast potrošnje energije zahtijeva unaprjeđenje i nove tehnološke iskorake u proizvodnji, prijenosu i distribuciji električne energije. Vodom hlađeni generatori grade se već do snage od 1500 MW, a predviđa se mogućnost i do 2500 MW. Generatori sa supravodljivim (uzbudnim) namotom upućuju na granicu od 3000 MW, pa i više.

Alternativni obnovljivi izvori energije omogućuju proizvodnju na razini distribucije električne energije i predstavljaju nove izazove za inženjere. Solarna energija, energija vjetra, bioenergija, gorivne stanice, itd., omogućuju ekološki prihvatljivu dodatnu proizvodnju električne energije.

Institut za elektrotehniku Društva KONČAR iz Zagreba počinje proizvodnju prototipa vjetroelektrane snage 750 kW s rotorom promjera 51 m [2]. Naveden je i podatak da je snaga instaliranih vjetroelektrana u Europi do kraja 2003. godine iznosila blizu 29000 MW, te da će do 2020. godine proizvodnja električne energije iz vjetra u svijetu doseći 12 posto ukupne proizvodnje. U svakom slučaju treba imati rezervu u konvencionalnim elektranama da bi se osigurala opskrba u vrijeme kada vjetroelektrane ne proizvode.

Prijenos električne energije ima ključnu ulogu u povezivanju (hidro, termo, nuklearnih i alternativnih) elektrana i glavnih čvorišta (TS) integriranog energetskeg sustava. Prijenosne linije, tj. dalekovodi grade se za sve više prienosne napone, koji dosežu milijun volta i više.

Naša visokonaponska prienosna mreža (400, 220 i 110 kv) ukupne je duljine 7200 km i sadrži 140 trafostanica. Najveće energetske čvorište u jugoistočnoj Europi je u Hrvatskoj – TS Ernestinovo, koja je nakon rata proširena i obnovljena. U listopadu 2004. godine upravo je preko TS Ernestinovo uspješno povezan superveliki energetskeg sustav EU s energetskeg sustavom jugoistoka Europe. Uza sve to Hrvatska ima energetskeg deficit i uvozi električnu energiju. Očekuje se daljnji veliki porast potrošnje i prema prosudbama do 2010. godine u Hrvatskoj planira se izgradnja novih elektrana snage 1220 MW.

Osim što se uvode novi kompozitni izolacijski materijali u prienosne sustave, istražuju se i nova rješenja za efikasniji prijenos električne energije. Ispituju se tehnološka rješenja za prijenos velikih snaga pomoću supravodljivih kabela.

Vidan napredak postignut je primjenom selektivnog tristorskog upravljanja u prilagodljivom izmjeničnom prienosnom sustavu (FACTS), kojega je razvio Institut za istraživanja u elektroenergetici (EPRI – SAD).

Tim sustavom maksimira se prijenos električne energije, postiže se velika stabilnost sustava jer se može veoma brzo kontrolirati sve prijelazne poremećaje u sustavu itd.

### 2.1.2. *Integrirani elektroenergetski sustavi*

Danas se sve više integriraju i u djelovanju zajednički obuhvaćaju proizvodnja, prijenos, distribucija i potrošači u elektroenergetskim sustavima. Uz klasične elektrane uvodi se dodatna proizvodnja na razini distribucije. Integrirani energetskeg sustav sadrži različite oblike novih proizvodnih tehnologija: kogeneracijske jedinice, gorivne elemente, foto elemente, elektrane na vjetar, mikroturbine itd.

Postoje i stalno se izrađuju novi „alati“ za analizu distribuirane proizvodnje energije u takvim integriranim sustavima [3]. Ti alati sadrže sustave za analizu tijeka snage, kratkih spojeva, sustava zaštite, dinamičke i prijelazne stabilnosti, selektivnosti zaštite, harmonika u mreži, kao i Monte-Carlo simulacije, elektromagnetske prijelazne simulacije, simulaciju i koordinaciju zaštite, proračun flickera, probalističke proračune tijeka snaga, kompatibilnost s ostalim energetskeg sustavima itd.

Pomoću novog softvera za proračun elektromagnetskih polja (EMP) razvijenog na Katedri za teorijsku elektrotehniku, Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, proračunata su polja E i B u TS Ernestinovo, Žerjavinec i Jarun, kako bi se odredile zone u kojima EMP prelaze propisima dozvoljene granice. Slike 1 do 5 prikazuju raspodjelu izračunatih polja u TS Žerjavinec [4].

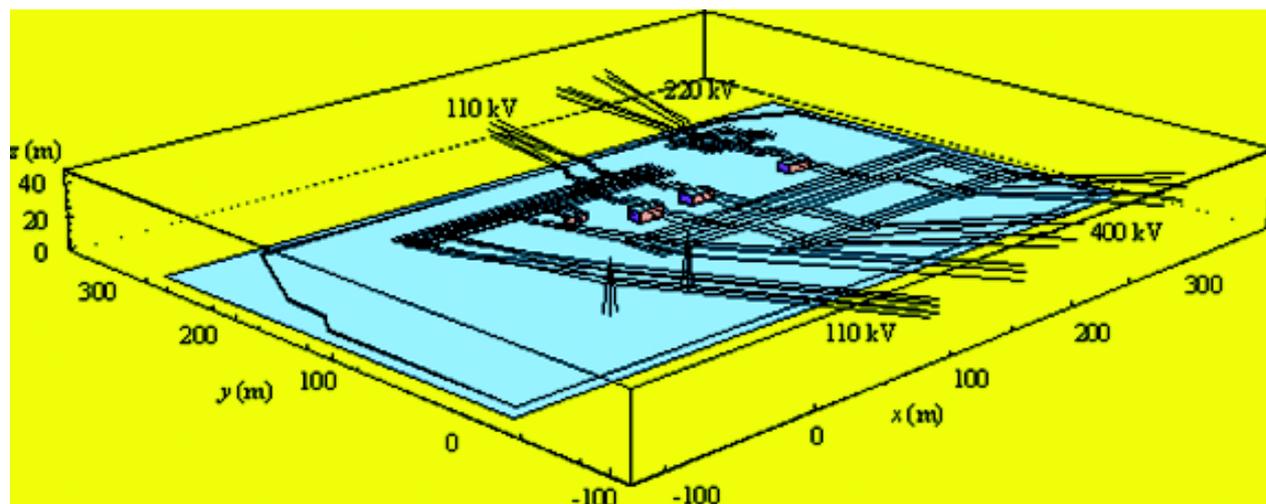
### 2.1.3. *Velika zamračenja*

Suvremene studije i napredno matematičko modeliranje integriranih elektroenergetskih sustava dovode do istog zaključka: veliki kvarovi, tj. velika zamračenja su neizbježna.

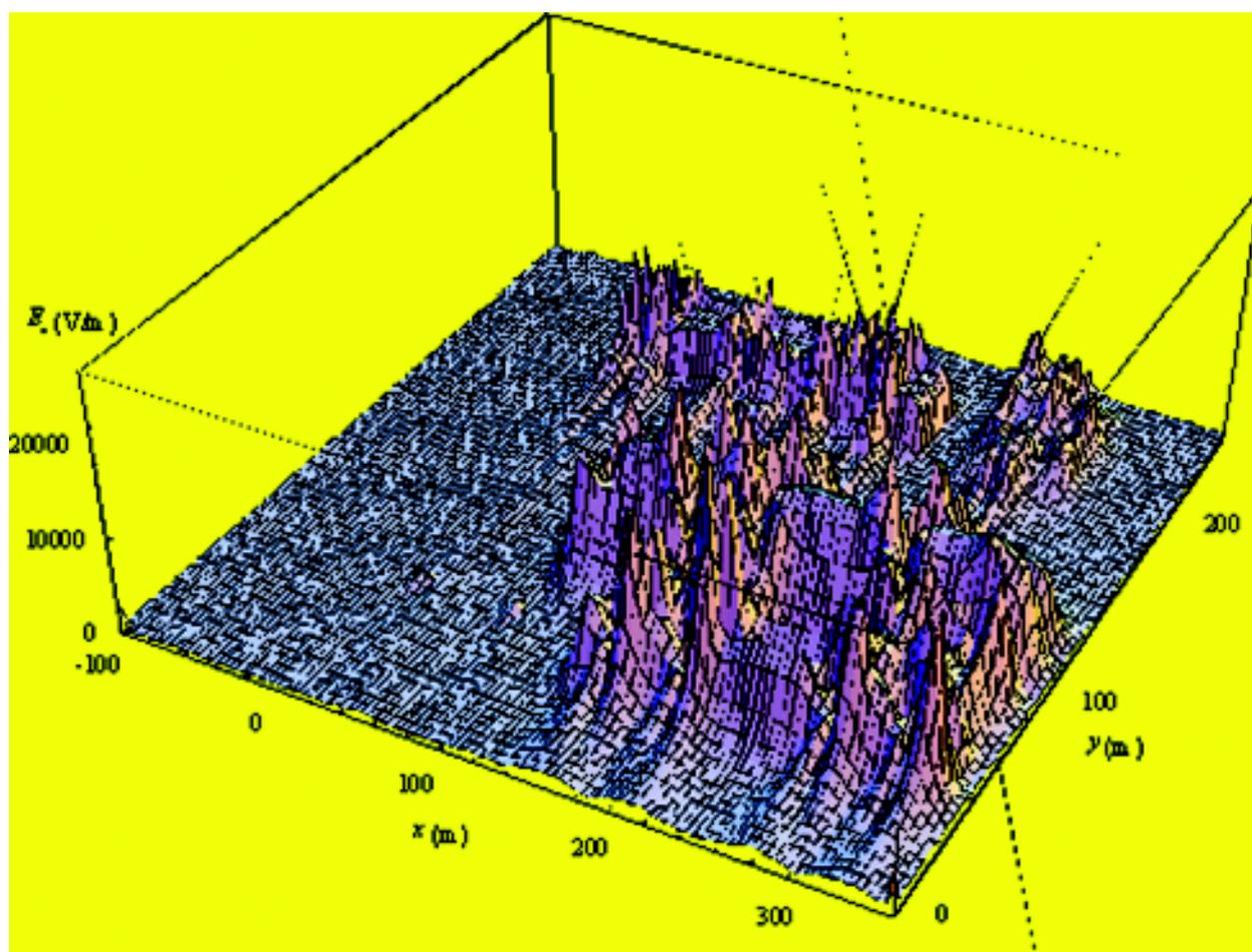
Prema statistikama velikih ispada između 1984. i 2000. godine koji su djelovali na potrošače veće od 4000 MW, proizlazi (prema Fairleyu [5]) vjerojatnost od jednog ispada koji bi se mogao očekivati u velikim integriranim sustavima svakih 15 godina.

Prema podacima US Department of Energy, jedno od najvećih zamračenja koje se dogodilo u povijesti, 14. kolovoza 2003. godine (Ohio, USA) koštalo je između 4 i 6 milijardi dolara.

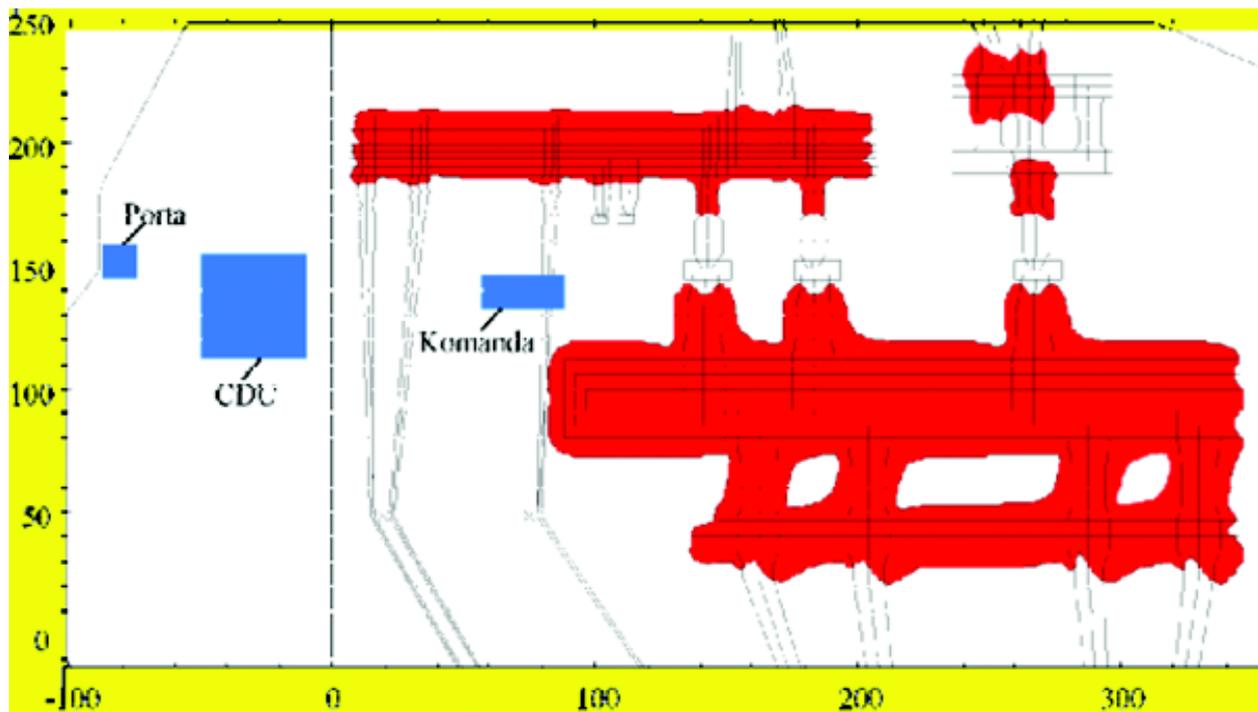
Ima raznih mišljenja kako izbjegavati probleme velikih zamračenja u integriranim energetskeg sustavima. Tako se predlažu neke mjere: učiniti mrežu robusnijom, usavršiti simulacijske tehnike, primijeniti kompjutorizirano upravljanje u realnom vremenu, poboljšati regulaciju itd.



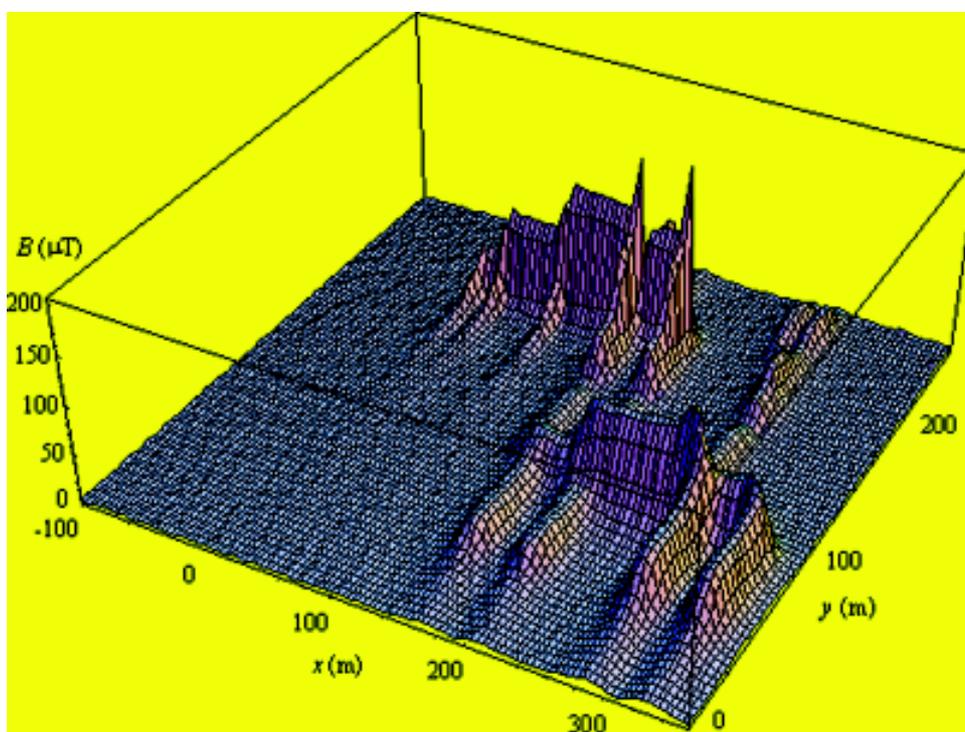
Slika 1. Shema TS Žerjavinec



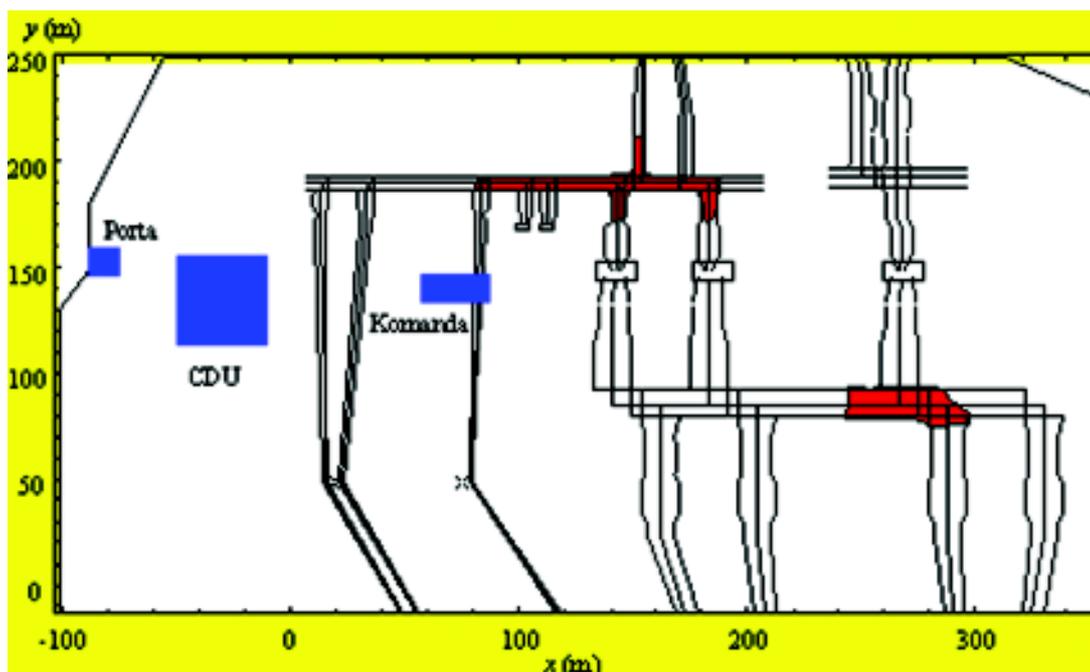
Slika 2. Raspodjela električnog polja u TS Žerjavinec



Slika 3. Područje jakoga električnog polja u TS Žerjavinec



Slika 4. Raspodjela magnetske indukcije u TS Žerjavinec



Slika 5. Područje jake magnetske indukcije u TS Žerjavinec

## 2.2. Elektronika, komunikacije, računala

Prema riječima dugogodišnjeg predsjednika „Fraunhofer Gesellschaft“ (57 instituta u Njemačkoj) prof. Hans Jürgen Warnecke u izlaganju u HAZU u svibnju 2003. u Zagrebu, mikroelektronika se svakih 18 mjeseci udvostručuje, a cijena se smanji dva puta. To je dosad najbrži razvoj u tehnologiji [6].

Podrobnije je to opisao dr. sc. Dalibor Vrsalović potpredsjednik INTEL COPR. iz SAD u izlaganju na Savjetovanju MIPRO u Opatiji u svibnju 2003. godine. Prema Vrsaloviću, svakih 18 mjeseci integrirani sklopovi mogu udvostručiti broj funkcija, tzv. pakiranje, odnosno brzinu. Razvojem tehnologije, uvjeren je, da brzine u procesorima mogu ići na 20 GHz, kao i da će se globalni jaz i dalje širiti. Već sada se na svjetskom tržištu u informacijskim tehnologijama okreće oko 1300 milijardi dolara godišnje. Također predviđa da će do 2014. godine kapacitet najvećeg računala doseći kapacitet ljudskog mozga!?

Komunikacije (tele, radio, računalne) na početku trećeg tisućljeća bilježe također nevjerojatno brzi razvoj. Takvom razvoju doprinose i fiksne i mobilne i satelitske komunikacije. Novosti stižu sa svih strana. U fiksnim telekomunikacijama u uporabi su poluvodički laseri i svjetlovođi bez elektroničkih pojačala (dark fiber). Zatim su tu distribuirana optička pojačala s dodatkom erbija. Asinkroni prijenosni mod na fotonskom nivou optimalan je za fiksne globalne telekomunikacijske mreže.

Od 1980. godine kapacitet optičkih prijenosnih linija udvostručuje se svake godine.

## 3. STANJE I TEHNOLOŠKI RAZVOJ PREMA PROCJENI EKSPERATA U ANKETI IEEE-A

Prema procjenama IEEE stanje 2003. godine u mnogim tehnološkim područjima usprkos brzom razvoju nije zadovoljavajuće.

Što treba poboljšati? Lista je duga, pa se navode samo dva važna područja: telekomunikacije (zagušene) i energija (nedostatak). Inženjersko obrazovanje je glomazno i šaroliko, a politika bez vizije.

Temeljno pitanje je kako znanje i intelektualne resurse usmjeriti da daju tehnološka rješenja koja će nas uvesti u novo tisućljeće. Da bi odgovorio na to pitanje IEEE je konzultirao grupu od 565 elitnih tehnoloških eksperata u oblastima koja su obuhvaćale računala, telekomunikacije, energetiku, poluvodiče i procesore, transport i obrazovanje. Rezultati ankete objavljeni su u [7].

### 3.1. Odgovori i mišljenja

Ovdje će se navesti samo neka pitanja i skraćeni odgovori.

1. Koja grupa problema će zahtijevati najveće tehnološke izazove u sljedećim godinama, eksperti su ocijenili da je energetska razvoj vrhunski prioritet. Prevelika ovisnost o fosilnim gorivima sve ih zabrinjava, a s tim povezuju i zagađenje okoliša.
2. Što se predviđa na području prijenosa i obrade informacija, većina eksperata očekuje daljnji napredak u izradi mobilnih telefona, prijenosnih računala, digitalne televizije (HDTV) itd.

3. Što bi pridonijelo uspješnoj proizvodnji i distribuciji električne energije, 70% ih se izjasnilo za alternativne energetske izvore.
4. Koji su obećavajući izvori energije u sljedećoj dekadi, postoji širok spektar odgovora. Iznenadjujući je poredak: energija vodika, nuklearna energija, fotoćelije, fosilna goriva, hidroenergija i energija vjetra.
5. Na pitanje što slijedi, IEEE eksperti predviđaju najvažniji tehnološki razvoj u sljedećim godinama na području alternativnih izvora energije, superbrzih bežičnih komunikacija i molekularnih računala.

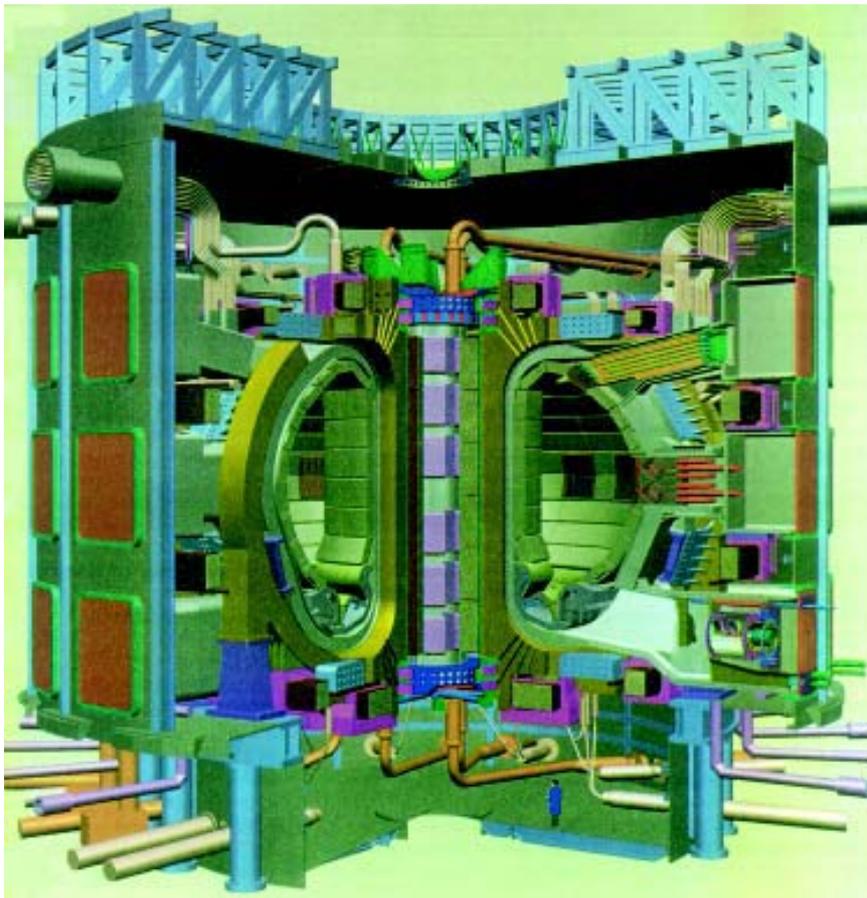
U [7] navodi se još cijeli niz zanimljivih pitanja i odgovora. Tako predviđaju jeftin širokopolasni pristup i međuveze, sve ono što je internet obećavao, a nije ostvario. Sljedeća internet revolucija bit će „high-speed wireless“ pristup.

Očekuje se primjena alternativnih gate-dielektrika kao zamjena za silicij. Predviđa se korištenje jeftine umjetne inteligencije, inteligentna računala koja mogu upravljati određenim vrstama vozila ili djelovati kao istraživačka pomagala itd. Mnogo se očekuje od prikazivanja i primjene genomske istraživanja kao i od integracije biologije i tehnologije (genetski inženjering i bioinformatika).

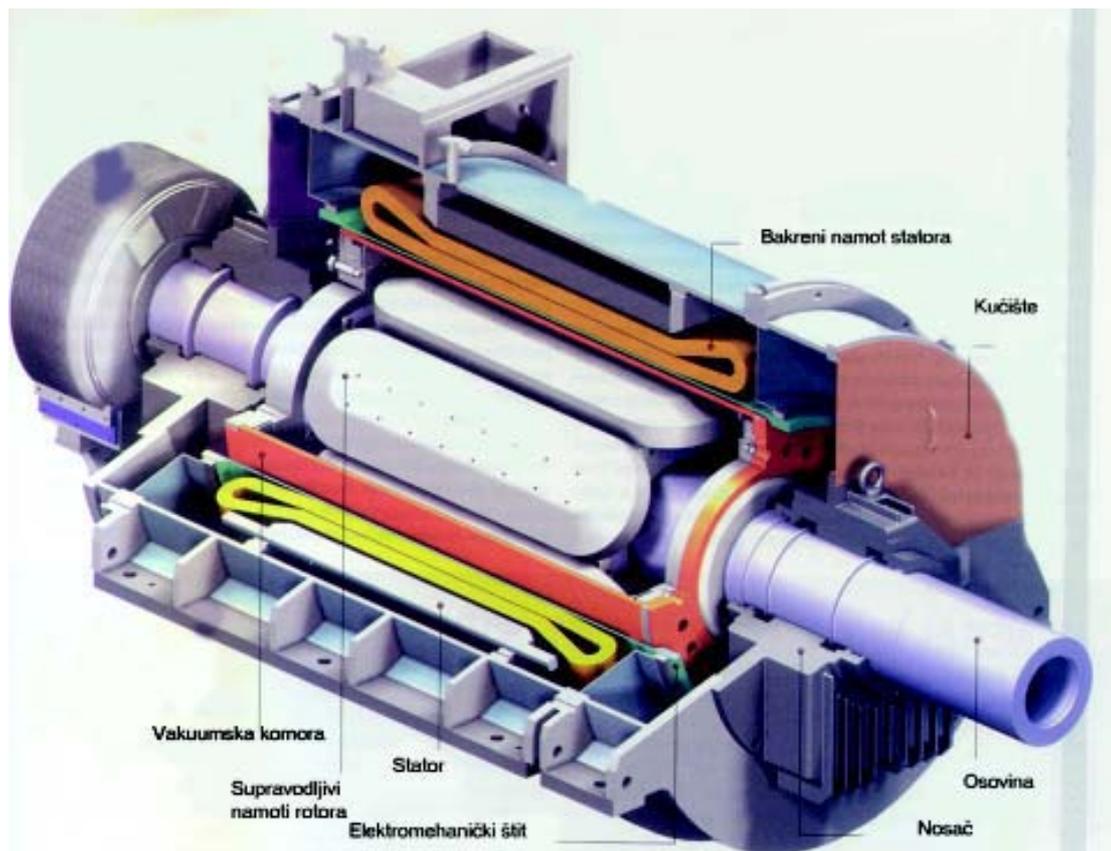
#### 4. TEHNOLOŠKE PROGNOZE U 2004. GODINI

U posebnom izvješću IEEE [8] opisani su rezultati postignuti u 6 velikih tehnoloških projekata u područjima komunikacija, elektroenergetike, poluvodiča, transporta, računala i bioinženjeringa. Neka rješenja u tim projektima nazivaju se „visoko-tehnološkim snovima“ koji će postati stvarnost još za našeg životnog vijeka. Ovdje će se iz [7] i [8] prikazati neka od očekivanja u elektroenergetici i transportu.

Na slici 6. prikazan je prijedlog tokamak reaktora u kojem se plazma zagrijava i tlači pomoću magnetskog polja koje proizvodi supravodljiva zavojnica postavljena naokolo. Tako se generira samoodrživa fuzijska reakcija. Taj favorizirani pristup za proizvodnju električne energije pomoću snažnih magnetskih polja u torusnim strojevima (fuzionim reaktorima) testiran je u prvim velikim pokusima u Joint European Torus, Abingdon, UK i u Princeton Plasma Physics Laboratory u New Jersey-u sredinom 1990-tih godina. Sljedeći važan događaj bit će projektiranje i kompletiranje International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER). Ta međunarodna suradnja s investicijom od 5 milijardi dolara ima za cilj proizvesti trajnu (neprekidnu) samoodrživu



Slika 6. Fuzijski reaktor



Slika 7. Motor sa supravodljivim namotom na rotoru (5 MW)

reakciju u tzv. gorućoj plazmi. Na takvim projektima aktivne su SAD, EU i Japan.

Novi supravodljivi električni motori za pogon brodova predstavljaju revoluciju u brodogradnji i plovidbi [8]. U programu U. S. Office of Naval Research (ONR) je ispitivanje 5 MW-nog i 23 tone teškog supravodljivog brodskog motora (na slici 7). Rotor sa supravodljivim namotom razvijen je u American Superconductor in Westborough, Mass. U supravodljivom stanju na temperaturi 32° K održava ga rashladno postrojenje s helijem. Stator je s bakarnim namotom hlađenim uljem. Izgrađen je u Alstom Power Conversion in Rugby, UK. ONR već sprema razvoj sljedeće generacije 36,5 MW-nog motora. Sva istraživanja u morskom prijevozu vode prema 36,5 MW motoru kao optimalnom. Taj motor je u posebnom oklopu izravno spojen na brodski vijak.

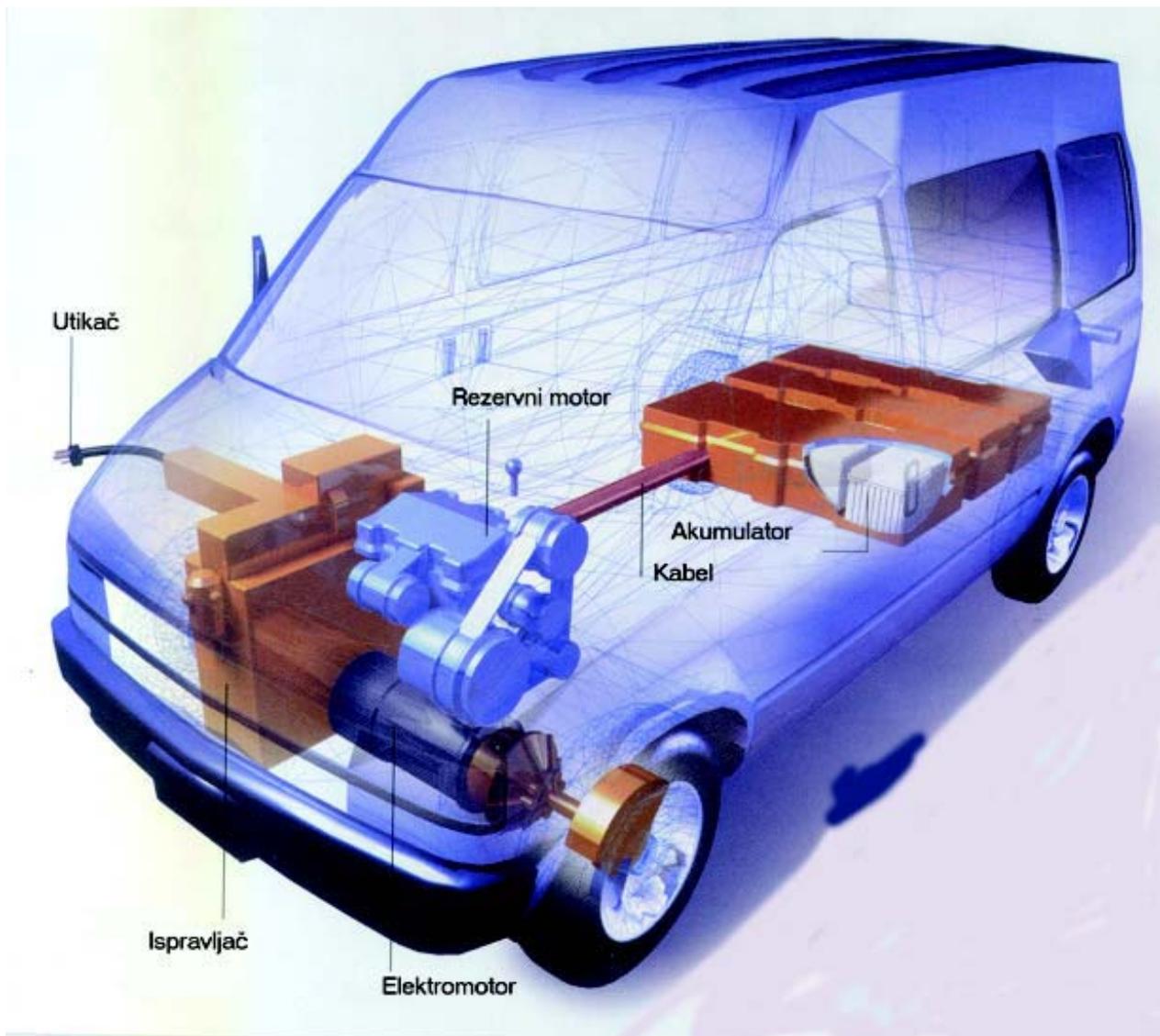
Elektromotorni pogon automobila postaje također realnost. Tako su u [9] pod nazivom „hibridi dolaze“ opisani primjeri Toyotinih, Fordovih i Chevroletovih tipova hibridnih automobila. Hibridni automobil s utikačem (za napajenje električnom energijom) sadrži benzinski motor i elektromotor s elektroničkim pretvaračem za punjenje baterija koje pokreću elektromotor (slika 8). U [8] je opisan hibridni automobil koji se

razvija u Daimler Chrysler-u u Mannheimu u Njemačkoj.

Ubrzano se radi na razvoju magnetskih lebdećih superbrzih vlakova koji postižu sve veće brzine. Vagoni takvih vlakova sadrže supravodljive elektromagnete hlađene tekućim helijem, koji pokreću vlak i istodobno mu omogućuju da „lebdi“ iznad tračnica. Jedan takav superbrzi vlak koji je sačinjen iz tri dijela (slika 9), postigao je koncem 2003. godine maksimalnu brzinu od 581 kilometar na sat u području Yamanashi, zapadno od Tokya [8]. U tablici 1. dani su podaci za projekte takvih i sličnih superbrzih vlakova koji će se graditi u svijetu.

## 5. VODIKOVA ERA U BUDUĆNOSTI

Prije skoro 50 godina u znanstvenoj i tehničkoj literaturi najavljena je uporaba vodika kao primarnog energetskog izvora u prijevozu i elektroenergetici. Kasnih 1960-ih godina u NASA Apollo programu upotrijebljena je goriva stanica na vodik kao energetski izvor [10]. Danas se vizija vodika kao energenta budućnosti potvrđuje u mnogim nadležnim odborima u razvijenom svi-



Slika 8. Hibridni automobil (s utikačem)

jetu. U 2003. godini predsjednik SAD Bush i predsjednik EU Prodi potvrdili su viziju „ekonomije vodika“ [11]. Vizija poziva na promjenu globalne ekonomije transporta energije ovisne o nafti u onu temeljenu na vodik. Glavni razlog je zagađenje koje izazivaju automobili s pogonom na fosilna goriva (ugljikovodike). Samo u SAD, 2001. godine emisija iz vozila bila je veća od 500 milijuna tona ekvivalentnog ugljika. U 2002. godini dvije trećine emisije CO<sub>2</sub> iz fosilnih goriva bilo je generirano iz područja transporta i proizvodnje energije. U.S. Department of Energy inicirao je uporabu vodikova goriva (tablica 2, [10]), prema kojoj bi vodikova era započela 2024. godine. Jedna od njihovih procjena je da je potrebno 40 milijuna tona vodika godišnje da bi se napajalo 100 milijuna vozila s gorivim elementima i da bi se opskrblilo oko 25 milijuna domaćinstava.

Gorive stanice (elementi) razvijene su za više primjena tamo gdje je potrebna električna energija. Na slikama 10, 11, 12 prikazane su (prema [10]), gorive stanice. Na slici 10 dan je shematski prikaz stanice s polimerom napajane vodikom, koja se čini najpogodnijom za hibridna i električna vozila. Na slici 11 prikazana je goriva stanica koja se napaja zemnim plinom i služi kao stacionarni energetski izvor snage 250 kW. Na slici 12 prikazan je Fordov električni automobil u koji je ugrađen gorivi element postavljen ispred postaje s vodikovim gorivom koje se nalazi pod tlakom od 350 bara.

Na kraju bi se prema iznesenom, i prema mnogim stručnim člancima objavljenim u posljednje vrijeme, dalo zaključiti:



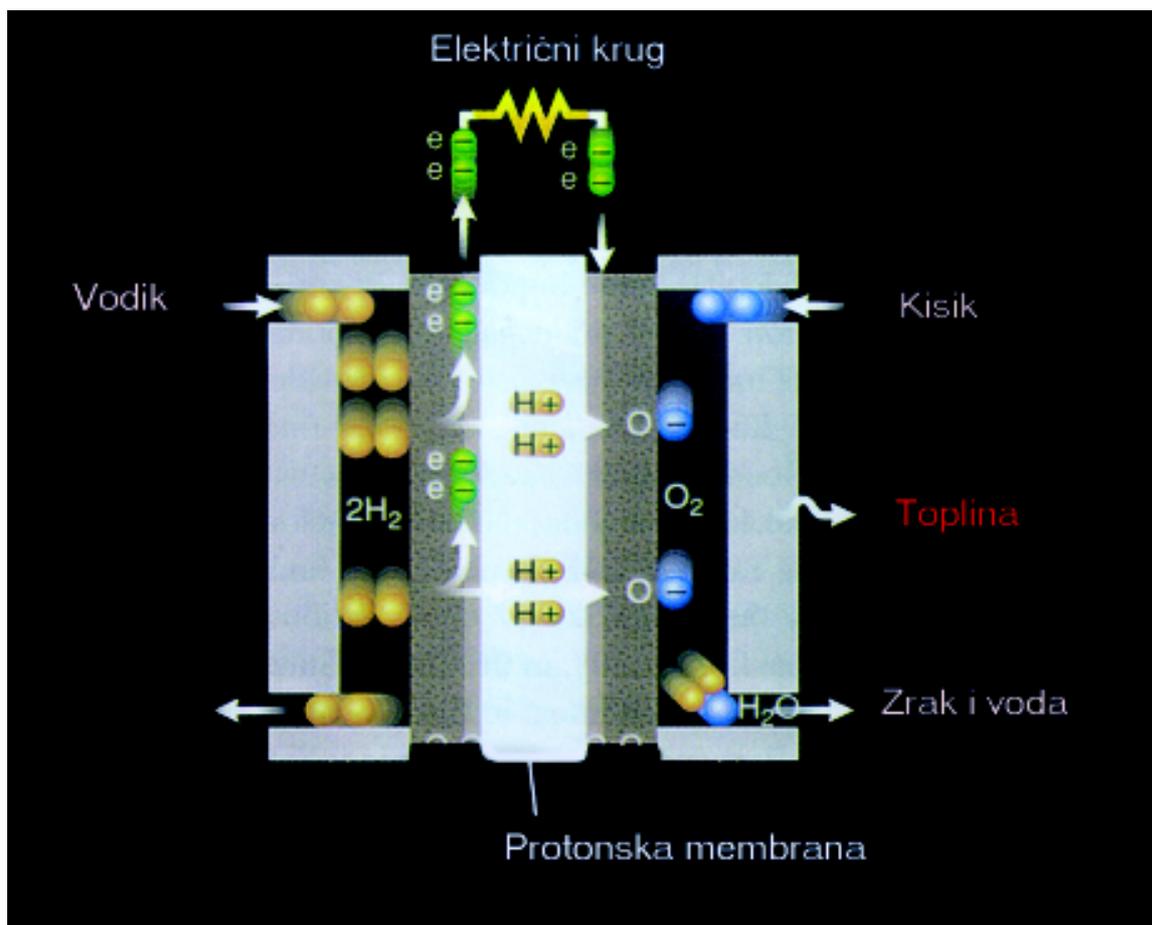
Slika 9. Superbrzi lebdeći vlak s linearnim motorom

Tablica 1. Projekti superbrzih vlakova u svijetu

	U testiranju	U razvoju			U studiji		
Lokacija	Shangai	Munich	Pittsburgh	Washington	Las Vegas – L.A.	L. A – Palmdale	Atlanta
Namjena	Aerodrom – Podz. želj.	Centar – Aerodrom	Centar – Aerodrom	Centar – Aerodrom	Las Vegas Aerodrom	Centar – Aerodrom	Aerodrom – centar
Udaljenost	30 km	37 km	76 km	64 km	56 km	115 km	51 km
Vrijeme putovanja	8 min	10 min	23 min	18 min	12 min	Ovisno	23 min
Brzina	500 km/h	400 km/h	400 km/h	430 km/h	500 km/h	400 km/h	400 km/h
U upotrebi	2003.	2008.	2012.	2012.	2010.	2010.	2010.

Tablica 2. Vremenski dijagram istraživanja i razvoja “vodikove ekonomije”

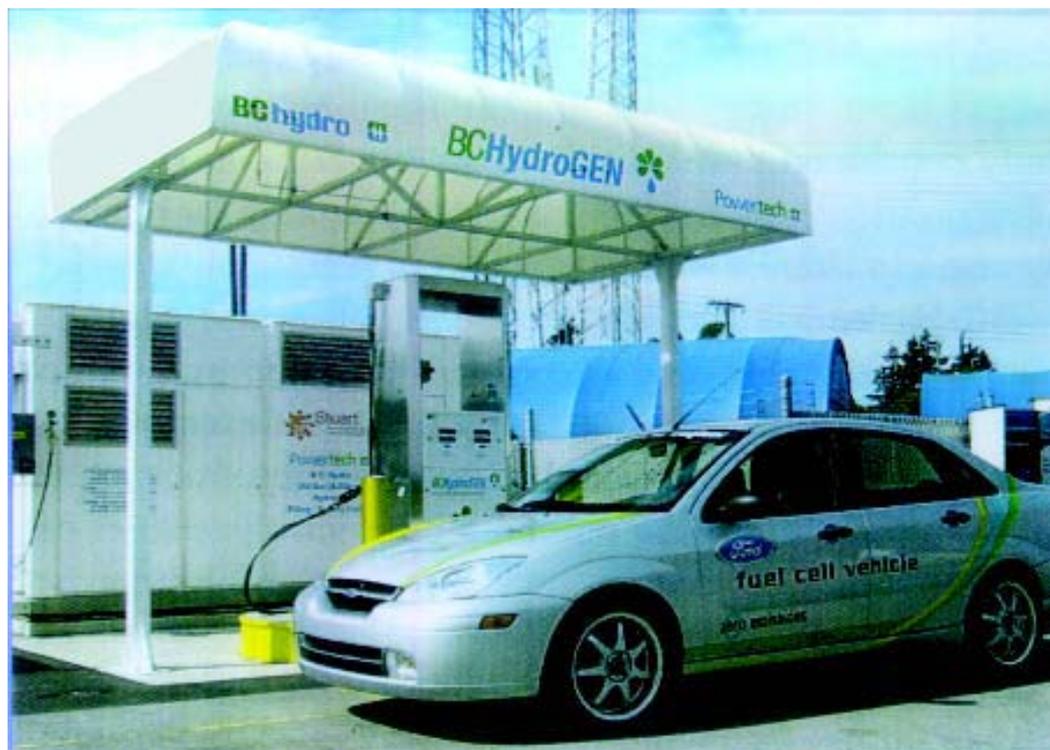
(Izvor: US Department of Energy)



Slika 10. Goriva stanica s polimernom membranom



Slika 11. 250 kW zemnim plinom napajana goriva stanica



Slika 12. Fordov automobil s gorivim elementom ispred postaje s vodikovim gorivom (350 bara)

1. Trenutačna zamjena nafte u vozilima nije moguća. Jedno rješenje za danas i za blisku budućnost je hibridno vozilo s motorom s unutarnjim izgaranjem i s gorivom stanicom, postupan prijelaz na vozila

samo s gorivim stanicama. S druge strane uporaba gorivih stanica u transportu je ključ za realizaciju vodikove ekonomije.

2. Na gorivim stanicama temeljen energetska sustav danas bi bio vrlo skup način proizvodnje električne energije. Uza sve prednosti vodika argumenti protiv široko utemeljenog energetska sustava na vodikovu gorivu su sama proizvodnja vodika, kao i visoka cijena izgradnje sustava za distribuciju vodika. Kritična točka je električna energija potrebna za proizvodnju vodika, koji ćemo potom koristiti za proizvodnju električne energije. Ova "dvostruka pretvorba" bitno povećava cijenu uporabe gorivih stanica kao primarnih izvora energije. Možda će put biti da se svi novi izvori energije kombiniraju u proizvodnji u jedinstvenom energetska sustavu. Raissi i Block u [11] navode da su vodik i elektricitet idealni partneri i da zajedno tvore integrirani energetska sustav temeljen na distribuiranoj proizvodnji energije.

## LITERATURA

- [1] Z. HAZNADAR, "Elektrotehnika: Razvoj i perspektive u svijetu i u Hrvatskoj", *Energija*, god. 50 (2001), broj 2.
- [2] Institut za elektrotehniku, "Domaći Know-How za vjetroelektrane", *Končarevac*, god.40, broj 1298, lipanj 2004.
- [3] "Integrated Power System Analysis Software", *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 2., No 4, July/August 2004.
- [4] Z. HAZNADAR, "Zaštita i EMC u elektroenergetskim sustavima", Prvi kongres hrvatskih znanstvenika, Zagreb – Vukovar, 15. – 19. studeni 2004.
- [5] P. FAIRLEY, "The Unruly Power Grid", *IEEE Spectrum*, Vol. 4, No 8, August 2004.
- [6] Z. HAZNADAR, "Tehnološki izazovi i obrazovanje inženjera elektrotehnike", studija, FER, Sveučilište u Zagrebu, 2004.
- [7] "2003-IEEE pogled na tehnologiju", *IEEE Spectrum*, January and June 2003.
- [8] Special report: "2004 Technology Forecast and Review", *IEEE Spectrum*, Vol.41, No.1, January 2004.
- [9] J.VOELCKER, "Top 10 Tech Cars", *IEEE Spectrum*, Vol. 41, No 3, March 2004.
- [10] "The Promise of Hydrogen", *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 2, No 2, March/April 2004.
- [11] A. T. RAISSI, D. L. BLOCK, "Hydrogen: Automotive Fuel of the Future", *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 2, No 6, November/December 2004.

## TECHNOLOGICAL CHALLENGES AT THE BEGINNING OF THE THIRD MILLENNIUM

State of art in science and technology at the end of the twentieth century is described. Technological results and further steps in electric energy sciences are given. Electric energy supply is specially analysed. Beside electric energy production and transmission reviewed are integrated electric power systems and huge blackouts. News from electronic, communication and computer sciences are given in short. Questionnaire results made by the IEEE in 2003, on the current status and technological development are described. Technological forecasts are given for electric energy supply and transport. Finally, the possibility of hydrogen usage as an energy source in the near future is analysed.

## TECHNOLOGISCHE HERAUSFORDERUNGEN AM ANFANG DES DRITTEN MILLENIUMS

Beschrieben ist der Zustand in der Wissenschaft und in der Technologie am Ende des XX. Jahrhunderts. Angeführt sind technologische Errungenschaften und Vorstöße in der Elektrotechnik. Neben der Erzeugung und Übertragung der elektrischen Energie sind auch integrierte elektroenergetische Systeme, sowie große Ausfälle in diesen Systemen, erörtert worden. Neuheiten in der Elektronik, im Fernmeldewesen und in der Computertechnik wurden kurz angeführt. Beschrieben sind die Ergebnisse der im Jahre 2003 durchgeführten IEEE-Umfrage über dem Zustand der Elektroenergetik und ihrer technologischen Entwicklung. Für die Elektroenergetik und den Transport sind technologische Vorhersagen gegeben. Am Ende ist die Möglichkeit der Anwendung des Wasserstoffes als Energieträger in naher Zukunft erörtert.

Naslov pisca:

**Prof. dr. sc. Zijad Haznadar, dipl. ing.**  
**Fakultet elektrotehnike i računarstva,**  
**Unska 3,**  
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
 2005 – 01 – 10.

# KONCEPCIJSKA STUDIJA O REFERENTNOJ ELEKTRANI RKW NRW

Vladimir D o k m a n o v i ć, Zagreb

UDK 621.311.22  
PREGLEDNI ČLANAK

U članku je sažeto prikazana koncepcijska studija referentne termoelektrane bruto snage 600 MW, neto stupnja djelovanja oko 46%. Prikazana je tehničko-ekonomski i ekološki optimirana elektrana za uvjete njemačke zemlje Nordrhein-Westfalen. Referentna elektrana je koncipirana na temelju razvoja potrošnje električne energije i cijene energenata.

**Ključne riječi:** potrošnja električne energije, cijena energenata, stupanj djelovanja, vrijeme izgradnje, novi materijali, tehnička rješenja, okoliš i zaštita klime, ekonomičnost i pogonska prihvatljivost, investicije.

## Uvod

Koncept referentne elektrane (RKW NRW) temelji se na elektrani na kameni ugljen, bruto snage 600 MW s optimiranim postrojenjem s neto stupnjem korisnog učinka 45.9 posto. S određenim tehničkim mjerama moguće je dosegnuti stupanj korisnog učinka preko 48 posto. To doduše zahtijeva druge lokacijske uvjete i druge ekonomske okvirne uvjete, koji trenutno ne postoje na tržištu električne energije. Sa stupnjem korisnog učinka od 45.9 posto, referentna elektrana značajno premašuje učinkovitost postojećih elektrana na kameni ugljen u Njemačkoj (38 posto) i u svijetu (30) posto. Referentna elektrana može značajno doprinijeti ostvarivanju ciljeva usmjerenih na smanjenje CO<sub>2</sub> emisije.

Investicijska ulaganja bez troškova za prethodne, pripreme i nepredviđene radove u referentnu elektranu snage 600 MW iznose oko 480 milijuna eura. Ta investicijska sredstva bi omogućila zaposlenost 6 160 djelatnika u tijeku tri godine izgradnje, od kojih bi 3 600 djelatnika bilo zaposleno na gradilištu, a 2 560 djelatnika bi bilo zaposleno u projektnim i znanstvenim institucijama, te u proizvodnim pogonima isporučitelja opreme.

Studija je pokazala da tehničko-ekonomski i ekološki optimirana elektrana na bazi kamenog ugljena ima dobre izgleda za primjenu. Ako se otklone nesigurnosti glede CO<sub>2</sub> opterećenja usmjerenog na zaštitu klime, proizvođači električne energije će moći donositi odluke o izgradnji novih proizvodnih jedinica na ekonomskim kriterijima i tržišnim uvjetima. Važna podloga za odlučivanje o izgradnji nove elektrane na bazi kamenog

ugljena je koncepcijska studija referentne elektrane. Studija opisuje ostvarivu tehnologiju suvremene elektrane za kratko- i srednjoročno razdoblje izgradnje. U studiji je pored ostalog detaljno predočeno optimiranje pojedinih komponenti i sustava elektrane, prezentirani su pojedini tehnološki sustavi, smještaj objekata, te predočen detaljan terminski okvir izgradnje elektrane. Navedene teme se iz tehničkih razloga neće obrađivati u ovom članku. Stručnjaci koje će zanimati specifičnosti referentne elektrane, mogu nabaviti studiju "Langfassung Konzeptstudie Referenzkraftwerk NRW" na adresi: VGB Power Tech, Fax: +49 201 8128 329.

## 1. PROVEDBA PROJEKTA I OKVIRNI UVJETI

Sigurnost opskrbe, stavljanje na raspolaganje jeftine električne energije i štednja postojećih fosilnih resursa su osnovni zahtjevi koji se postavljaju pred proizvođače energetske opreme i proizvođače električne energije. S ciljem da se razvije koncept elektrane na kameni ugljen, koji će biti dugoročno konkurentan i ekološki prihvatljiv i koji će zadovoljiti navedene zahtjeve, izrađena je studija pod nazivom "Koncepcijska studija referentne elektrane Nordrhein-Westfalen", skraćeno nazvana RKW NRW. Studiju je financirala vlada njemačke zemlje Nordrhein-Westfalen i Europska unija (Europski fond za regionalni razvoj EFRE). Bitan cilj koncepcijske studije bio je odgovor na pitanje, je li moguće izgraditi suvremenu elektranu na kameni ugljen s bitno smanjenim emisijama, koja će moći ostvarivati pozitivan ekonomski rezultat u trenutnim nepovoljnim ekonomskim uvjetima, koji vladaju na liberaliziranom europskom tržištu električne energije.

U koncept postrojenja elektrane uključeno je mnoštvo inovativnih prijedloga. Te su inovacije vrednovane i birane prema ekonomičnosti i njihovoj primjenjivosti s obzirom na raspoložive materijale i tehnologije.

Studiju su izradili proizvođači opreme Babcock Borsig Power Systems i Siemens AG. Okvirne uvjete za dimenzioniranje elektrane predložili su operatori elektrana koncerna E.ON Kraftwerke, Mark-E, RWE Power i STEAG. Ekonomske, ekološke i strukturno-političke aspekte su istraživali "Lehrstuhl für Energiewirtschaft der Universität Duisburg, Essen", Wuppertal Institut für Klima, Umwelt Energie" i Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung". VGB Power Tech je kao međunarodna udruga za proizvodnju električne i toplinske energije imala ulogu koordinatora.

### Energetsko-politički okvirni uvjeti

Poduzeća, koja se bave opskrbom energijom stoje danas pred izazovom da smanje CO<sub>2</sub> emisiju uzrokovanu proizvodnjom električne energije iz fosilnih goriva i da ekonomično proizvode električnu energiju.

S ciljem proizvodnje električne energije bez CO<sub>2</sub> emisije, uložena su u Njemačkoj značajna investicijska sredstva u postrojenja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora.

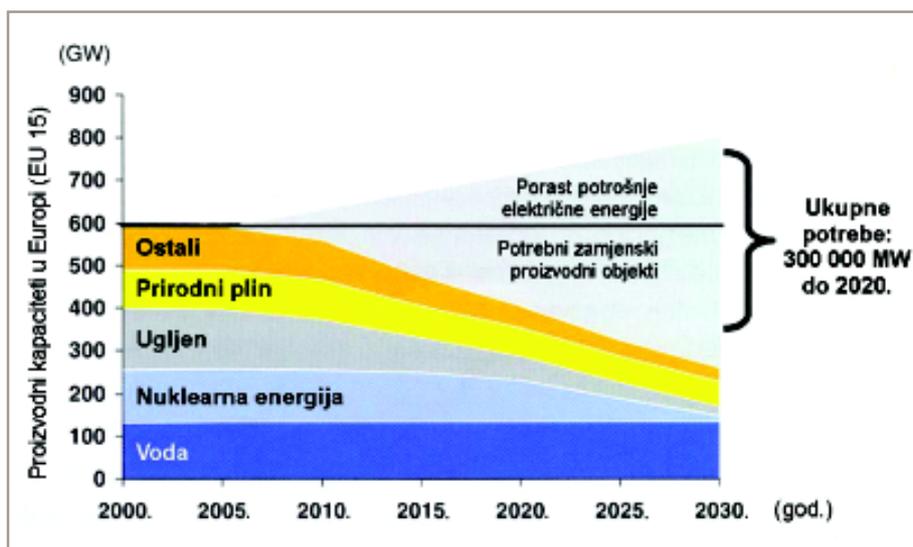
U Njemačkoj se pokazalo da nije moguće, u razdoblju od 2010. do 2020. godine izgraditi novi zamjenski proizvodni park od 40 000 MW, uvjetovan starošću postojećih elektrana, isključivo na bazi obnovljivih izvora energije. Dodatnom izgradnjom postrojenja za proizvodnju električne energije na bazi obnovljivih izvora može se povećati instalirana snaga, ali se ne može dobiti očekivana sigurnost opskrbe. Za održavanje sigurnije opskrbe električnom energijom, zbog promjenljive proizvodnje električne energije vjetroelektrana, u sustavu moraju biti raspoložive fleksibilne klasične elektrane, koje svojom regulacijskom snagom drže trajnu

ravnotežu između potrebne i stvarno raspoložive snage. To ustvari znači da za određeni kapacitet vjetroelektrane mora biti raspoloživo oko 85 posto proizvodnih kapaciteta u klasičnim elektranama. Da bi se jamčila sigurnost opskrbe proizvedene električne energije iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana, moraju se osigurati dvostruke investicije u proizvodne kapacitete; najprije za postrojenja iz obnovljivih izvora, zatim dodatno za elektrane koje isporučuju zamjensku energiju za obnovljive izvore. Povrh toga moraju se osigurati dodatne investicije za izgradnju mreže, koja se mora prilagoditi novoj proizvodnoj strukturi.

Često se misli da je elektrane na ugljen lako nadomjestiti kombi elektranama na prirodni plin. S gospodarskog stajališta, zamjena starih postrojenja kombi elektranama je rizična. Proizvodni troškovi kombi elektrana u velikoj mjeri (65%) ovise o troškovima goriva, tako da električna energija iz kombi elektrana može biti konkurentna ugljenu samo s niskom cijenom prirodnog plina. Po pričuvama, kameni ugljen je najznačajniji primarni izvor energije, s nalazištima rasprostranjenim diljem svijeta. Za razliku od prirodnog plina, kameni ugljen je karakterističan po povoljnoj strukturi dobavljača i stabilnim cijenama koje se neznatno mijenjaju.

## 2. RAZVOJ POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U EUROPI I NJEMAČKOJ

U Europi (EU 15) je instalirano u elektranama za opću opskrbu oko 600 000 MW. Od toga je šestina snage instalirana u Njemačkoj. Iako trenutačno u europskom sektoru električne energije postoji tržišna konkurencija u proizvodnji električne energije, od 2010. godine će se situacija bitno promijeniti, jer će trebati izgraditi značajne zamjenske kapacitete zbog starosti postojećeg proizvodnog parka.



Slika 1. Potrebni zamjenski i dodatni proizvodni kapaciteti u EU 15

U Njemačkoj će biti još izraženiji manjak proizvodne snage, naročito u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, i zbog obustavljanja pogona postojećih nuklearnih elektrana. Pored toga, prognoziran je u idućem desetljeću kontinuirani rast potrošnje električne energije. Za Njemačku će prema dugoročnim prognozama godišnja potrošnja rasti između 0.5 i 1 posto, a za Europu između 1.5 i 2.0 posto. U razdoblju između 2010. i 2020. će u Njemačkoj nedostajati oko 40 000 MW zbog starosne strukture postojećeg proizvodnog parka i rasta potrošnje električne energije, a u Europi 300 000 MW (slika 1).

U Njemačkoj će do 2020. godine biti dostignut 40 godišnji tehnički životni vijek elektrana instalirane snage od oko 40 000 MW. Političkom odlukom o obustavljanju pogona nuklearnih elektrana do 2025. godine će dodatno biti obustavljeno 21 700 MW (slika 2). Nejasno je, kako je moguće dugoročno nadomjestiti taj manjak snage. I kratkoročno postoje problemi. Na dan najvećeg vršnog opterećenja (10. 12. 2002.) preostala rezervna snaga u njemačkom sustavu iznosila je samo 1 700 MW, što je 1.6% ukupne instalirane snage.

### 3. OKOLIŠ I ZAŠTITA KLIME

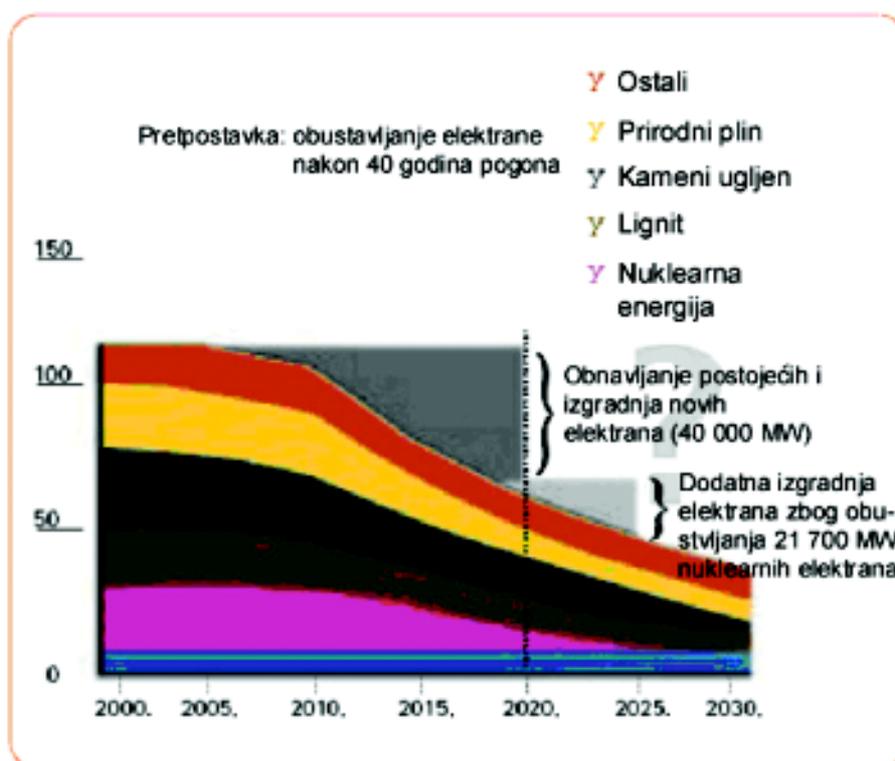
U svijetu i nadalje raste CO<sub>2</sub> emisija nastala izgaranjem fosilnih goriva. Prema analizama Međunarodne agencije za energiju (IAE), 40 posto CO<sub>2</sub> emisije uzrokuje opskrba električnom energijom. 70 posto te emisije

nastaje proizvodnjom električne energije u elektranama koje koriste ugljen kao pogonsko gorivo.

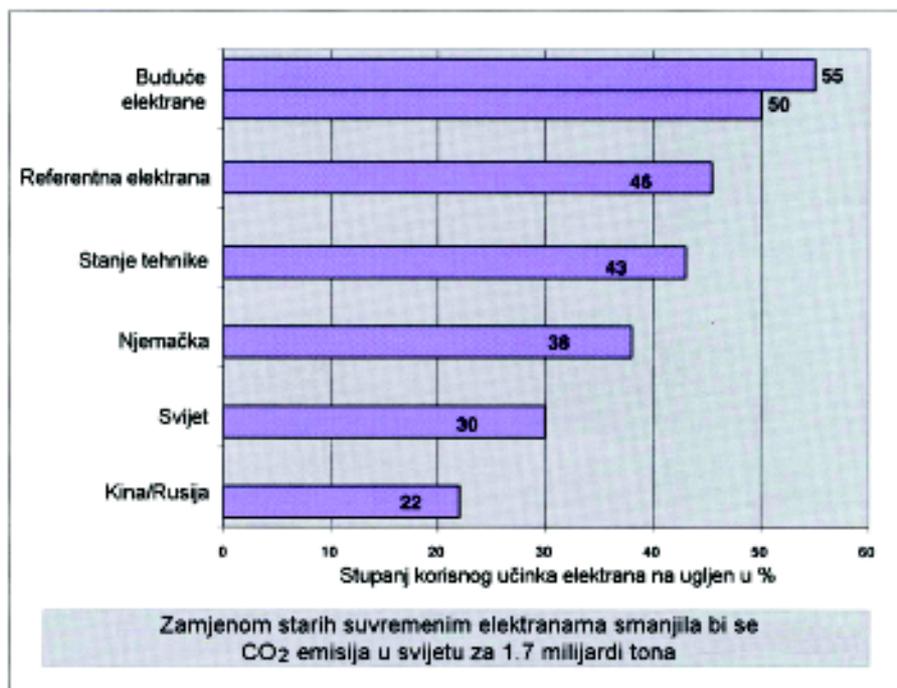
Odlučujuće za visok udio CO<sub>2</sub> emisije uzrokovane proizvodnjom električne energije, globalno gledano, je niski stupanj iskorištenja ugljena kao primarnog goriva i njegov visoki specifični emisijski CO<sub>2</sub> faktor. Slika 3. predočuje prosječni stupanj korisnog učinka elektrana na kameni ugljen u svijetu.

Prosječni stupanj korisnog učinka elektrana na ugljen u svijetu je oko 30 posto. Pored nastojanja, diljem svijeta, usmjerenog na štednju energije i posebice električne energije, te pojačanog korištenja obnovljivih izvora, nužno je trajno povećanje stupnja korisnog učinka pretvorbe fosilnih goriva u električnu energiju, da bi se ograničio očekivani rast CO<sub>2</sub> emisije u svijetu. Jedan jednostavan, iako teoretski proračun pokazuje, da bi se pri potpunoj zamjeni postojećih elektrana na ugljen u svijetu, današnjim na tržištu najboljim raspoloživim tehnologijama, s stupnjem korisnog učinka 43 posto\*, ostvarilo trenutačno smanjenje CO<sub>2</sub> emisije za gotovo 1.7 milijardi tona godišnje (oko 6 posto svjetske CO<sub>2</sub> emisije). Zbog toga, porast učinkovitosti elektrana na ugljen u svijetu ima značajnu ulogu u zaštiti klime.

\* Pri veoma povoljnim uvjetima (npr. hlađenje kondenzatora morskom vodom), danas je moguće s postojećom tehnologijom dostići i veću učinkovitost elektrana (npr. > 47 posto Nordjyllandsværket u Danskoj)



Slika 2. Razvoj proizvodnog parka elektrana u Njemačkoj od 2000. do 2030. godine



Slika 3. Prosječni stupanj korisnog učinka elektrana na kameni ugljen u svijetu

#### 4. ZNAČAJ UČINKOVITIH ELEKTRANA NA UGLJEN ZA ZAŠTITU KLIME

World Energy Council (WEC) i Internationale Energieagentur (IEA) računaju na kontinuitet sadašnje energetske politike do 2020. godine i na globalni rast CO<sub>2</sub> emisije, sa 24.5 milijardi tona (stanje 2000.) na 36.6 milijardi tona. To odgovara 50 postotnom povećanju u samo 20 godina. Udio emisije nastao proizvodnjom električne energije će u tom razdoblju porasti s 5.6 milijardi na 9.1 milijardi tona CO<sub>2</sub> ili za 63 posto. Značajan udio te emisije bi nastao u elektranama na kameni ugljen, koja bi se udvostručila u odnosu na današnju razinu. Izgradnjom elektrana na kameni ugljen s povećanim stupnjem korisnog učinka, poput referentne elektrane s minimalnim stupnjem korisnog učinka od 46 posto bi se CO<sub>2</sub> emisija u 2020. godini smanjila s prognoziranih 9.1 milijarde tona na 6.7 milijardi tona. Prognozirano povećanje CO<sub>2</sub> emisije elektrana na kameni ugljen dalo bi se na taj način smanjiti za 2.4 milijarde tona, odnosno ukupno povećanje CO<sub>2</sub> emisije iz elektrana na kameni ugljen bilo bi u 2020. godini 20 posto.

#### 5. DODATNI ZAHTJEVI NA ELEKTRANE NA UGLJEN

Pored zahtjeva koji se postavljaju na ekonomičnost i pogonsku prihvatljivost elektrana na ugljen, postoje specifični zahtjevi na elektrane. Pri tome se ne radi samo o maksimalnom povećanju stupnja korisnog učinka i raspoloživosti elektrane, već i o njenom uklapanju u elektroenergetski sustav:

- traži se visoka regulacijska sposobnost i visok stupanj korisnog učinka pri djelomičnom opterećenju, široki raspon promjene snage i visoka dinamička svojstva (brzina promjene opterećenja, kratka vremena ulaska i izlaska iz pogona), kao i pogon elektrane s promjenljivom snagom, kao dopunskom i pričuvnom za izravnavanje neravnomjerne proizvodnje vjetroelektrana i sunčanih elektrana
- mogućnost istodobnog korištenja drugih vrsta (biogenih) goriva i istodobno korištenje sunčane energije za zagrijavanje napojne vode.

Za referentne elektrane se pored toga mora ostaviti mogućnost kompatibilnosti i dogradnje uređaja za separiranje CO<sub>2</sub> iz dimnih plinova mokrim postupkom, što je prema današnjim saznanjima skupa i energetske zahtjevna tehnologija. Na osnovi ekonomskih i ekoloških kriterija može se separiranje CO<sub>2</sub> provesti i prijelazom na druge tehnologije, kao što je integrirano rasplinjavanje ugljena.

#### 6. TEHNIČKO-EKONOMSKO OPTIMIRANJE ELEKTRANE

Cilj konceptijske studije referentne elektrane je razvoj koncepta još učinkovitije elektrane koja bi se trebala potvrditi i dokazati na postojećem tržištu i u postojećim još uvijek nepovoljnim energetsko-gospodarskim okvirnim uvjetima.

U studiji se polazi od pretpostavke da referentna elektrana ulazi u probni pogon 2008. godine. Stoga se koncept postrojenja isključivo temelji na materijalima i

tehnologijama, koje su već sada raspoložive i sigurno izvedive.

Za tehničko-ekonomsko optimiranje elektrane su određeni vrijednosni faktori za poboljšanje stupnja korisnog učinka, smanjenje vlastite potrošnje i rast raspoloživosti elektrane. Na taj način utvrđeni tehničko-ekonomski optimirani koncept cijelog postrojenja, nazvan je preferentnom varijantom.

U početnoj fazi izrade studije prikupljeno je i tehničko-ekonomski obrađeno i vrednovano oko 80 inovativnih prijedloga iz područja projektiranja, procesne tehnike, kotla, strojarstva, elektrotehnike, vođenja i generatora.

U tablici 1 je predočen primjer dizajniranja, odnosno vrednovanja sustava zagrijavanja napojne vode.

Istražene su sljedeće karakteristične inovacije:

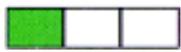
- Analizirana je izlazna ispušna površina niskotlačne turbine od 16 m<sup>2</sup> s ciljem povećanja snage turbine.
- Istraživani su razni koncepti smještaja turbine s ciljem smanjenja investicijskih troškova. Razmotren je smještaj turbinskog stola na visinama od 8, 16 i 60 metara. Visina turbinskog stola utječe između ostalog i na dužinu i izbor materijala cjevovoda između generatora pare i turbine.
- Također su istražene i vrednovane izvedbe kotla (toranjska, dvosmjerna i vodoravna izvedba).

Tehničko-ekonomski optimirani koncept elektrane odlikuje se sljedećim značajkama:

Bruto snaga:	600 MW
Tip kotla:	toranjski, s okomitim cijevima ložišta i parnim zagrijačem zraka (Luvo)
Iskorištavanje suviška topline sustava za pripremu goriva predajom iste radnom mediju voda – para:	predajom topline zraka na napojnu vodu se regulira temperatura zraka za sušenje
Odvođenje dimnih plinova:	preko rashladnog tornja
Tip turbine:	H 30-40/M 30-63/N 30-2x16 m <sup>2</sup>
Parametri svježe pare:	285bar/600°C/620°C
Tlak u kondenzatoru:	45 mbar
Generator:	hlađenje vodom i vodikom
Stupnjevi zagrijavanja napojne vode:	8 zagrijača + vanjski završni regulirajući
Temperatura napojne vode:	303.4 °C
Koncept napojnih pumpi:	3x50% elektro napojne pumpe, regulacijska spojka s planetnim prigonom.

Pored navedenih karakteristika, na preferentnu varijantu elektrane su postavljeni, kao opcija, dodatni zahtjevi glede povećanja fleksibilnosti elektrane:

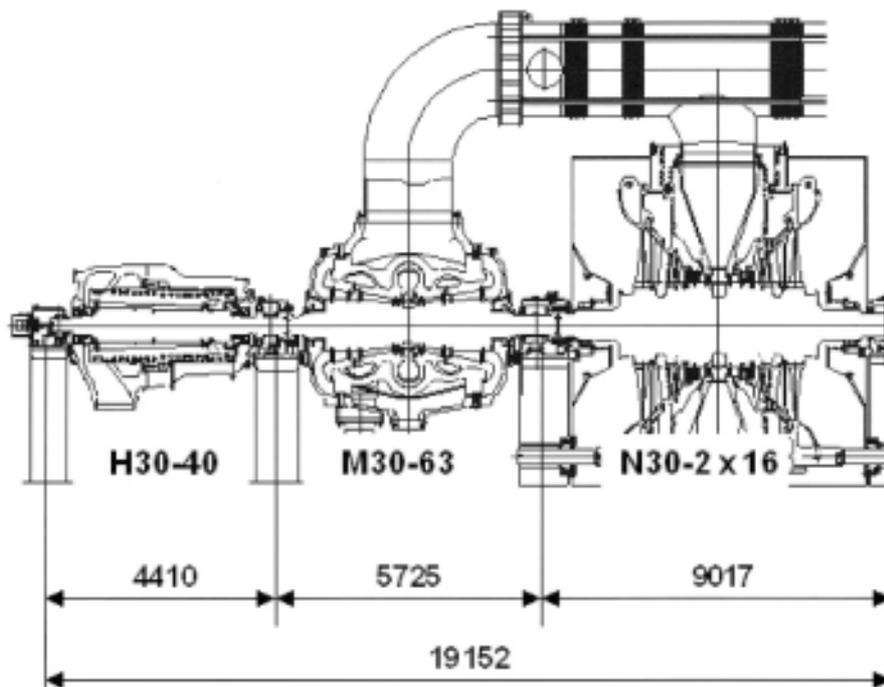
**Tablica 1. Primjer dizajniranja sustava zagrijavanja napojne vode**

Varijanta	Vanjski zagrijač napojne vode na 303.4 °C*	Vanjski zagrijač napojne vode na 320.0 °C*	Termokompresija**	Devet zagrijača napojne vode
Potrošnja topline turbine	oko 9 kJ/kWh	oko 24 kJ/kWh	oko 12 kJ/kWh	oko 11 kJ/kWh
Povećana ulaganja	oko 400 000 EUR	oko 2 100 000 EUR	oko 840 000 EUR*	oko 710 000 EUR
Rezultat				
Preporuka			Razmatranje samo za vanjski smještaj zagrijača vode	



\* površinski hladnjak pregrijane pare oduzete iz parne turbine s reguliranim protokom napojne vode

\*\* iskorištavanje otpadne topline dimnih plinova ili otparka sušenja ugljena u pripremi dodatne napojne vode na principu rada toplinske pumpe



Slika 4. Uzdužni presjek i dimenzije HMN-turbine proizvodnje Siemens

- brzo aktiviranje podrške frekvenciji prema zahtjevima njemačkog "Grid Code" - ("Mrežno-sistemska pravila njemačkog operatora sustava")
- mogućnost davanja dodatne snage u mrežu (5 posto bruto snage proizvodne jedinice u tijeku 30 sekundi) djelomičnim izvrštavanjem visokotlačnog zagrijača napojne vode i sustava otpreme kondenzata iz kondenzatora
- izvedbom visokotlačnog zagrijača napojne vode s cijevnim komorama.

Na taj način je omogućeno da operator elektrane raspolaže proizvodnom jedinicom za pokrivanje temeljnog dijela dijagrama potrošnje, ali i za fleksibilniji pogon elektrane prema zahtjevima elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije.

## 7. KRATKI OPIS GLAVNIH KOMPONENTI REFERENTNE ELEKTRANE

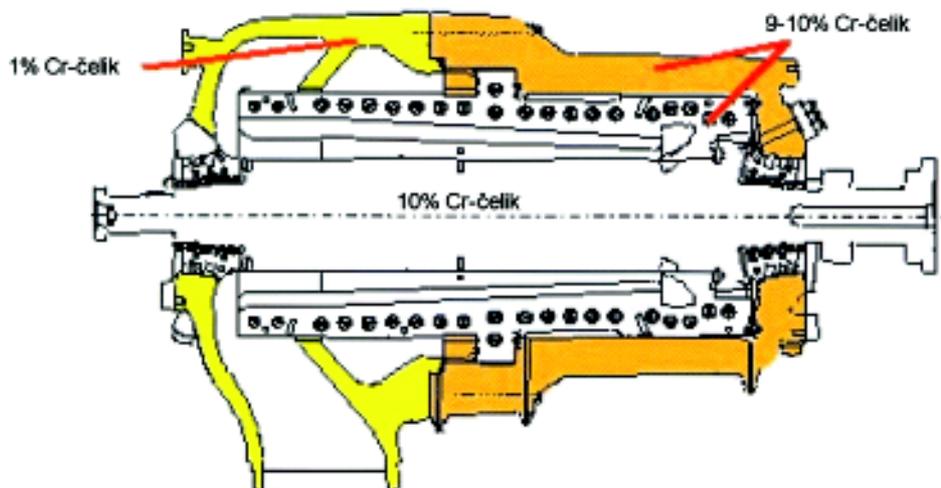
### 7.1. Turbinsko postrojenje

Za turbinu je odabrana Siemens turbina, tipa HMN s odvojenim visokim, srednjim i niskotlakotlačnim kućištem. Turbina se postavlja u strojarnicu na turbinski stol na visini (+16 m), odvojen od ostalog građevinskog dijela strojarnice.

Uzdužni presjek s dimenzijama turbine predočen je na slici 4.

#### 7.1.1. Visokotlačni dio turbine

Za visokotlačni dio turbine odabran je tip H30-40.



Slika 5. Materijali za visokotlačni dio turbine

Ulazna temperatura svježe pare u visokotlačni dio turbine iznosi 600 °C pri 285 bar. Visokotlačni dio turbine je u lončastoj izvedbi.

Parametri pare od 600 °C/285 bar zahtijevaju izvedbu turbine s unutrašnjim plaštem.

Materijali glavnih komponenti visokotlačnog dijela turbine su predočeni na slici 5.

Materijali za rotorske i statorske lopatice su isključivo visoko legirani krom čelici, sa sadržajem kroma od 10% – 12%.

### 7.1.2. Srednjotlačni dio turbine

Srednjotlačni dio turbine je tipa M30-63. Predočena je na slici 6. Ulazni parametri jednostrukog međupregrijanja u srednjotlačni dio turbine su 620 °C i 60 bar.

Srednjotlačni dio turbine izveden je kao dvostrupni s dva plašta. Materijali osovine i unutrašnjeg plašta su visokolegirani krom čelici. Vanjsko kućište se izrađuje od legiranog čeličnog lijeva s kuglastom grafitnom strukturom (slika 7).

Do sada je srednjotlačni dio turbine bio konstruiran i izveden za maksimalnu temperaturu svježe pregrijane pare od 610 °C (Elektrana Isogo, Japan). Za temperaturu međupregrijanja od 620 °C predviđen je materijal 10% krom-čelik s borom.

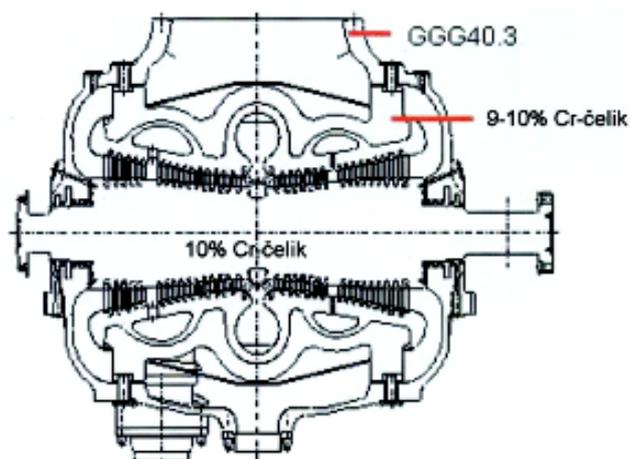
Prva tri stupnja lopatica rotora su izvedena na bazi legure nikla (nimonic). Ostale lopatice, rotora i statora su izvedene od visokolegiranog krom čelika sa sadržajem kroma od 10 do 12%.

### 7.1.3. Niskotlačni dio turbine

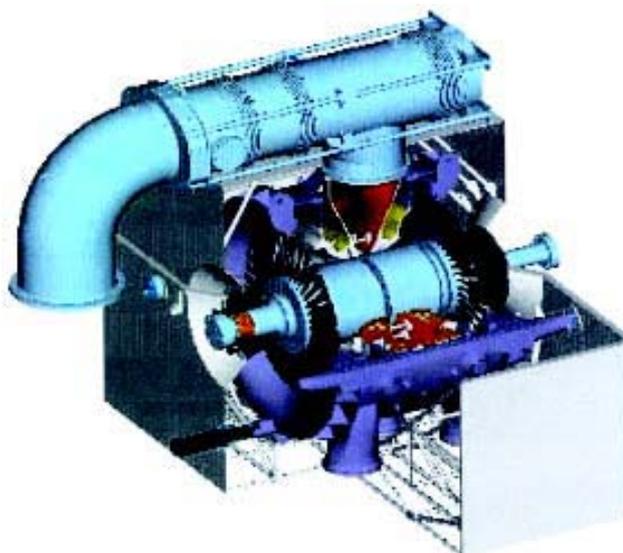
Niskotlačni dio turbine je novo razvijeni dio turbine N30-2x16 m<sup>2</sup>. Na slici 8 predočen je 3D prikaz turbine.



Slika 6. Srednjotlačni dio turbine M30-63



Slika 7. Materijali srednjotlačnog dijela turbine



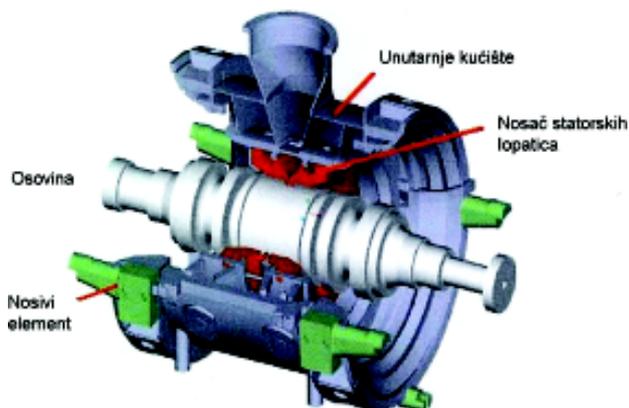
Slika 8. Niskotlačna turbina N30-2x16 m<sup>2</sup>

Niskotlačna turbina N30-2 x 16 m<sup>2</sup> je izvedena kao dvosmjerna s dva plašta. Tehničko-tehnološki razvoj lopatica dužine 1 400 mm omogućuje pouzdan rad rotora turbine promjera oko 1900 mm, pri brzinama od 750 m/s na obodu lopatica i povećanje izlaznog presjeka, a time i smanjenje broja kućišta niskog tlaka (ranije 4x8 m<sup>2</sup>)

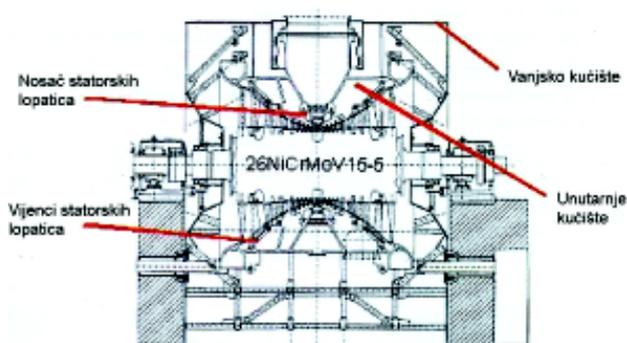
Osovina, unutrašnji plašt i nosač statorskih lopatica, predočeni su na slici 9.

Unutrašnji plašt je u zavarenoj izvedbi s umetnutim nosačem statorskih lopatica. Vanjski plašt je potpuno odvojen od unutrašnjeg. Glavne komponente turbine su predočene na slici 10.

Zbog velikog opterećenja, lopatice krajnjeg stupnja moraju biti izrađene od legure titana.



Slika 9. Unutrašnji plašt niskotlačne turbine



Slika 10. Glavne komponente niskotlačne turbine

## 7.2. Generatorsko postrojenje

Generatorsko postrojenje se sastoji od neposredno spojenog s turbinom dvopolnog turbogeneratora, statičke uzbude, dvokanalnog digitalnog regulatora napona, i pomoćnih opskrbnih uređaja za brtveno ulje, vodik i rashladnu vodu.

Statorski namot se neposredno hladi vodom, a rotorski vodikom.

Predviđen je statički sustav uzbude s uzbuđnim transformatorom i tiristorskim slogom u mosnom spoju.

## 7.3. Kotao

Ekonomskim vrednovanjem varijanti kotla odabrana je kao preferentna toranjska izvedba kotla. Ta izvedba kotla ispunjava pored ekonomskih zahtjeva i tehničke kriterije koje su postavili operatori elektrana i instituti uključeni u izradu studije (slika 11).

Da bi se ostvario stupanj korisnog učinka kotla od 95 posto optimirano je ložište kotla i smanjena temperatura izlaznih dimnih plinova.

Toranjski kotao se ponajprije gradi s kvadratičnim presjekom ložišta. Ta izvedba kotla pruža veliku fleksibilnost pri odabiru broja gorača i mlinova.

Tri mlina sa po šest gorača predstavljaju u projektnoj fazi optimalan ložišni koncept.

Zbog visokih parametara pare membranski zidovi ložišta su izvedeni iz materijala 7 CrMoVTiB10. S tim materijalom dozvoljene su maksimalne temperature cijevnih stijena od 540 °C.

Nakon provedene usporedbe i odabira toranjske izvedbe kotla, u daljnjoj obradi projekta definirana je kao optimalna bruto snaga bloka od 600 MW.

Proizvodna jedinica radi s kliznim tlakom do 40 posto opterećenja. Pogon kotla ispod 40 posto moguć je s konstantnim tlakom, pri čemu se smanjuju brzine međija.

Kotlovsko postrojenje je dimenzionirano za količinu pare od 435 kg/s (1556 t/h).

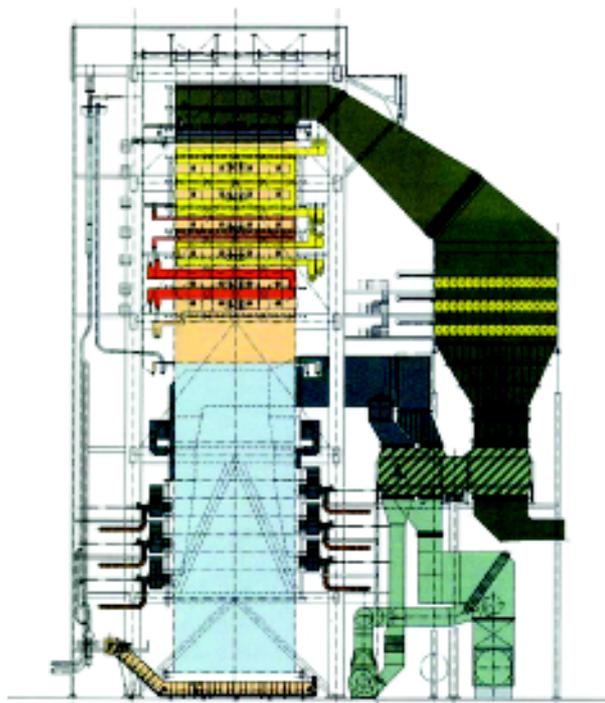
Izborom visokih parametara pare od 600 °C/620 °C/292.5 bar, u obzir dolaze materijali kao što su TP 347HFG, Super 304 H, HR3C, odnosno AC66.

Relativno nisko legirani čelici X3CrNiMoN17 13 (01.4910) koriste se samo za temperature do 560 °C.

Optimiranim dimenzioniranjem ložišnog sustava uključujući geometriju ložišnog prostora, smještaj goriionika, uređaje za opskrbu zrakom, ostvaren je udio nesaгорivih čestica u pepelu manji od 3 posto, što smanjuje gubitke u procesu izgaranja.

Sa 18 gorača smještenih u tri razine po 6 gorača ostvaruje se toplinska snaga ložišta od 1210.3 MW.

Regulacijsko područje loženja ugljenom je 1 : 4, tj. minimalna snaga loženja je 25 posto, pri korištenju specifičnog garantnog ugljena.



Slika 11. Toranjska izvedba kotla



Slika 12. Mlinovi s valjcima (MPS) i gorači s postupnim uvijanjem plamena (DS)

Ložišni uređaji se dimenzioniraju za 100% snagu parogeneratora, i sva tri mlina istodobno u pogonu.

Dimni plin se oslobađa dušičnih oksida u DENOX postrojenju. Nakon DENOX-a se veliki dio topline dimnih plinova predaje zagrijaču zraka (Luvo). Ohlađeni plin na 115 °C se vodi u elektrofiltre, u kojim se oslobađa od krutih čestica i tako očišćen odvodi u postrojenje za odsumporavanje.

U sve tri varijante primijenjeni su mlinovi s valjcima, gorači sa zakretnim plamenom i malom emisijom dušičnih oksida (slika 12).

## 8. KVALITETA UGLJENA

Pretpostavljena je sljedeća kvaliteta ugljena (tablica 2):

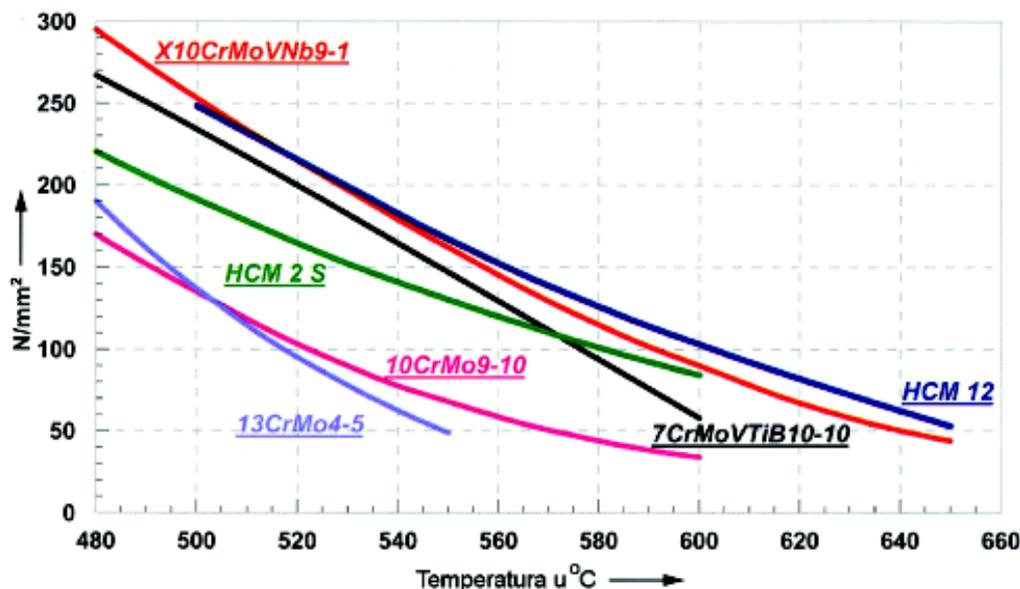
Tablica 2. Pretpostavljena kvaliteta ugljena

Parametri	Jedinice	Ugljen mjerodavan za određivanje glavnih značajki bloka. Garantirani ugljen	Raspon kvalitete ugljena relevantan za projektiranje o njemu ovisnih podsustava
Ogrjevna vrijednost $H_u$	MJ/kg	25.0	21.0 – 29.0
Vlaga	%	7.5	7.0 – 18.0
Pepeo	%	14	5.0 – 22.0
Hlapivi sastojci (waf)	%	30	23.0 – 47.0
Ugljik	%	1.5	< 2
Sumpor	%	0.6	< 1.5
Klor	%	< 0.01	< 0.3
Faktor nadimanja	–	0	0.0 do < 5.0
Meljivost	°H	50	40 – 80
Temperatura omekšavanja	°C	1270	> 1150
Temperatura polukugle	°C	1410	> 1300

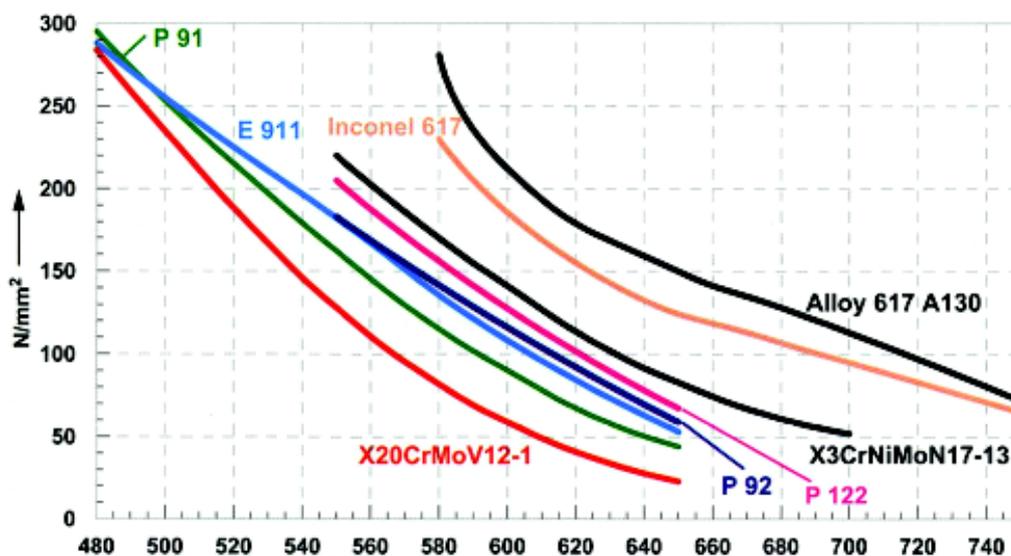
## 9. NOVI MATERIJALI

Na slici 13 predočeni su materijali za membranske zidove, a na slici 14 materijali za sabirnike i spojne cjevovode.

Pri određivanju granične temperature pare za pojedine grupe materijala uzima se u obzir vremenska otpornost materijala, visokotemperaturna korozija i stvaranje oksida na unutrašnjim stjenkama cijevi. Ljuštenje sloja oksida može izazvati značajna oštećenja unutrašnje površine stjenke cijevi pregrijača i ako je dimenzioniranje provedeno sukladno (ISO/DIN) normativima. Razloge često treba tražiti u stvarnim pogonskim temperaturama, često višim od proračunskih, koje uzrokuju ubrzano stvaranje oksida. Ono se prema najnovijim spoznajama može usporiti brzom difuzijom kroma (Cr)



Slika 13. Materijali za membranske zidove – srednje vrijednosti vremenske izdržljivosti materijala 100 000 sati



Slika 14. Materijali za sabirnike i cjevovode – srednje vrijednosti vremenske izdržljivosti materijala 100 000 sati

iz strukture osnovnog materijala (VGB Power Tech 7/ 2004, str. 94).

Za preferentnu varijantu izabrani su sljedeći najnoviji materijali:

- |                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| – isparivač-pregrijač              | 7 CrMoVTiB1010            |
| – pregrijač 1                      | HCM 12                    |
| – pregrijač 2                      | super 304H ili TP 347 HFG |
| – pregrijač 3                      | HR3C ili AC66             |
| – visokotlačni izlazni sabirnik    | P92                       |
| – međupregrijač 1 – izlaz          | 7CrMoVTiB1010, HCM 12     |
| – međupregrijač 2                  | HR3C ili AC66             |
| – međupregrijač – izlazni sabirnik | P92                       |

## 10. POGONSKI KONCEPT ELEKTRANE

Zadani su sljedeći bitni okvirni uvjeti pogona proizvodne jedinice:

- životni vijek: 200 000 sati
- pogon u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja za prvih 15 godina sa 7 500 sati pogona nazivnom snagom godišnje, zatim pogon u srednjem dijelu dijagrama opterećenja s 5 500 sati pogona godišnje nazivnom snagom
- pogon s kliznim tlakom
- minimalno opterećenje 40 posto
- klizna temperatura međupregrijanja
- podrška frekvenciji prema Grid Code 2 000.

Na osnovi krivulja ulaska kotla i turbine u pogon i pretpostavljenog režima pogona referentne elektrane s 2 860 startova u životnom vijeku dobiju se sljedeća vremena ulaska u pogon:

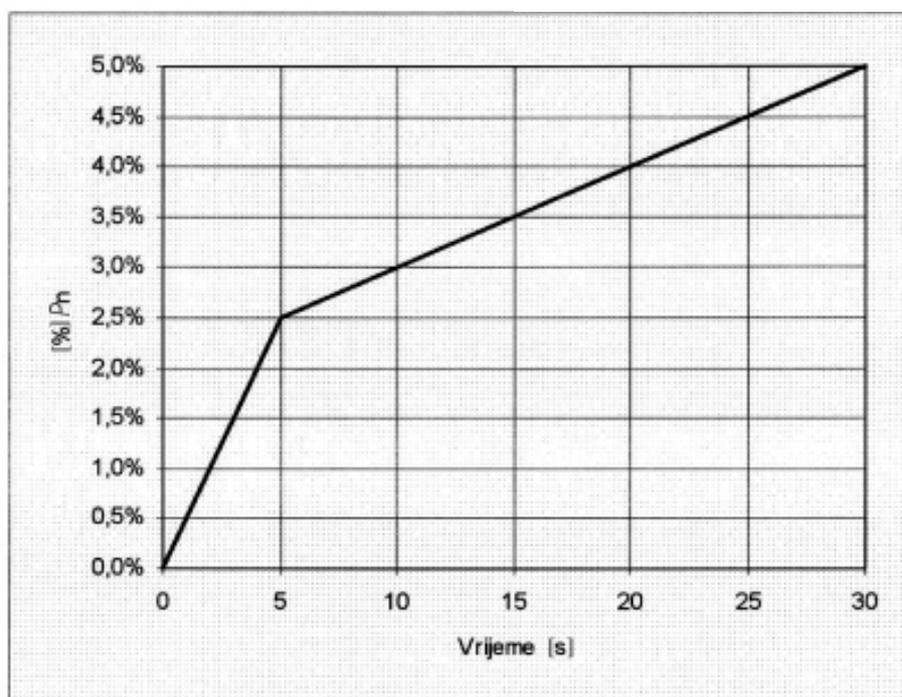
Vrsta starta	Vremena ulaska u pogon <sup>1</sup>	Broj startova
Hladni start nakon < 72 sata stajanja	400 min	120
Topli start nakon < 48 sata stajanja	280 min	430
Vrući start nakon < 8 sati stajanja	115 min	2 080
Ponovni start nakon < 2 sata stajanja		230

<sup>1</sup> Vremena ulaska u pogon vrijede od potpale goraa do 100% opterećenja

Pripreme mjere za startanje jedinice nisu uključene u vremena ulaska jedinice u pogon.

## 11. ZAHTJEVI NJEMAČKOG GRID CODE 2000 NA POGON REFERENTNE ELEKTRANE

Za referentnu elektranu, koja je koncipirana kao kondenzacijska za pogon u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, predviđen je regulacijski koncept, koji omogućuje pogon jedinice, koji može podržavati frekvenciju prema njemačkom Grid Code 2000 (slika 15).



Slika 15. Preporuka UCTE, VDN-a i NORDEL-a za osposobljenost elektrane na kameni ugljen za povećanje električne snage u prvih 30 sekundi nakon poremećaja frekvencije

## 12. SMJEŠTAJ OBJEKATA

Smještaj pojedinih objekata je bio uvjetovan zahtjevom da se dizajnira kompaktna i ekonomična elektrana na bazi dosadašnjih iskustava na izvedenim novijim elektranama na kameni ugljen. Izabranim rasporedom rashladnog sustava turbine i smještajem kotla, ostvareni su kratki cjevovodi. Povoljno je riješen i odvod električne energije u mrežu preko rasklopnog postrojenja. Postavljanjem rashladnog tornja bočno od elektrofiltra, omogućeno je ekonomično odvođenje otpadnih dimnih plinova preko rashladnog tornja. Ostvarena je i optimalna dužina cjevovoda glavnog rashladnog sustava. U studiji je prezentiran detaljan smještaj objekata i prometnica.

## 13. TERMINSKI PLAN

Izgradnja elektrane i njeno puštanje u probni pogon moglo bi se ostvariti u roku od 36 mjeseci. Nakon završetka izgradnje i puštanja u pogon planirana su dva mjeseca za primopredajna ispitivanja i probni pogon. Pregledni terminski plan je izrađen na temelju sljedećih pretpostavljenih okvirnih uvjeta:

Tip ugovora:	“ključ u ruke”
Početak izvedbe:	1. 1. 2005.
Potrebno vrijeme za izgradnju i probni pogon:	36 mjeseci + 2 mjeseca za probni pogon i ispitivanja
Početak komercijalnog pogona:	1. 3. 2008.

## 14. PROCJENA INVESTICIJSKIH ULAGANJA I TROŠKOVA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Pri proračunu troškova proizvodnje referentne elektrane pošlo se od troškova građenja nove elektrane. Za referentnu elektranu instalirane bruto snage 600 MW, procijenjeni su investicijski troškovi na oko 480 milijuna eura, a jedinična cijena iznosi 798 euro/kW. U toj broji nisu sadržani troškovi prethodnih i pripremnih radova, procijenjenih na 5 posto troškova opreme i montaže, te nepredviđeni troškovi, procijenjeni na 3 posto troškova opreme i montaže. Ukupna investicijska ulaganja od 517 milijuna eura su osnova za proračune cijene proizvodnje električne energije.

### 14.1. Osnovni podaci o investicijskim ulaganjima

Tablica 3. Osnovni podaci o investicijskim ulaganjima

Oznaka	Jedinica	Iznos
Jedinična cijena	euro/kW (bruto)	798
Instalirana bruto snaga	MW	600
Ukupno	milijuna eura	478.8
Trajanje pogona jedinice	godina	35
Troškovi investitora	milijuna eura	23.9
Nepredvidivi paušalni troškovi	milijuna eura	14.4
Ukupna investicija	milijuna eura	517.1
Specifične investicije	euro/kW	861.8

### 14.2. Osnovni podaci za određivanje pogonskih troškova referentne elektrane

Tablica 4. Osnovni podaci za određivanje pogonskih troškova referentne elektrane

Parametri/cijene/troškovi	Jedinica	Iznos
Instalirana bruto snaga	MW	600
Električna vlastita potrošnja	% bruto snage	7.4
Električna vlastita potrošnja	MW	44.4
Održavanje	%/godišnje	1.5
Osoblje	Broj zaposlenika	70
Troškovi osoblja po zaposleniku	euro/godišnje	70 000
Cijena goriva	euro/toni	41.00
Cijena goriva	euro/t SKE	48.00
Pomoćni i pogonski materijali	euro/MWh	1.00

### 14.3. Cijene ugljena i prirodnog plina

U studiji je pretpostavljeno da se cijena kamenog ugljena može održati nepromijenjena u tijeku cijelog životnog vijeka elektrane, na razini od 48 euro/t SKE (SKE – ekvivalentna jedinica kamenog ugljena), 1 tona SKE = 29 304 MJ. Budući da će se u referentnoj elektrani koristiti ugljen s prosječnom ogrjevnom vrijednosti od 25 000 kJ/kg, izvedena cijena ugljena za navedenu prosječnu ogrjevnu vrijednost je 41 euro/t ili 1.64 euro/GJ. Pretpostavljena je cijena prirodnog plina od 1.2 centa/kWh ili 3.33 euro /GJ (s uključenim porezima). Proračuni su izvedeni pod pretpostavkom godišnjeg rasta cijene prirodnog plina od 1.0 posto.

### 14.4. Potreban broj djelatnika

Za pogon elektrane planirano je 70 djelatnika. U tijeku pogonskog vijeka elektrane može se računati da je za obavljanje svih aktivnosti u elektrani potrebno oko 200 djelatnika.

## 15. REZULTATI PRORAČUNA TROŠKOVA PROIZVODNJE

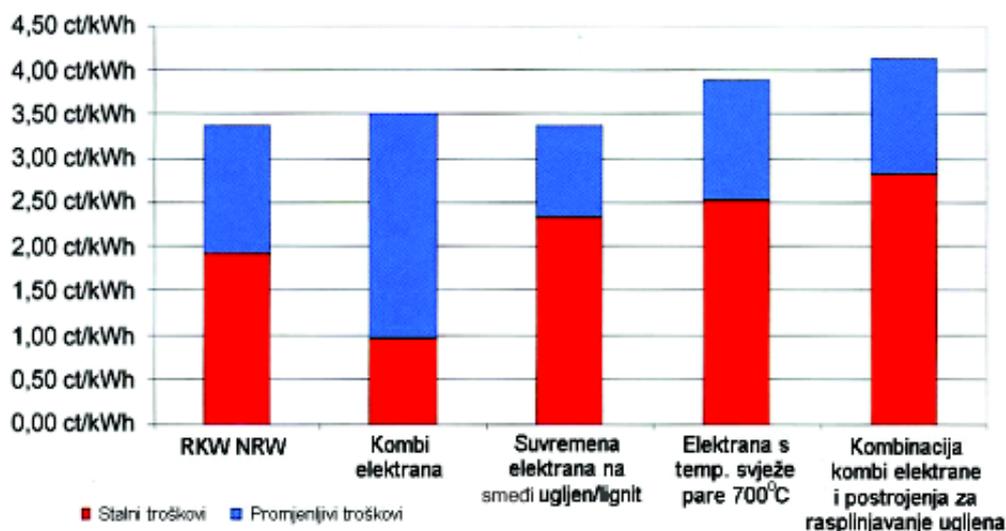
Na slici 16 predočeni su troškovi proizvodnje električne energije referentne elektrane i proizvodnih alternativa. Oni za referentnu elektranu, koja nakon prvih 17 godina pogona u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, prelazi u srednji dio dijagrama opterećenja, iznose između 3.3 i 3.5 euro/kWh. Njeni troškovi proizvodnje su niži od ostalih proizvodnih alternativa osim elektrane na smeđi ugljen (klasifikacija UN – ECE), za koju je pretpostavljen bazni pogon u cijelom životnom vijeku, što je rezultiralo nižim proizvodnim troškovima za 0.1 euro ct/kWh.

## 16. OSJETLJIVOST TROŠKOVA PROIZVODNJE NA PROMJENE ULAZNIH PARAMETARA

Zbog neizvjesnosti u pogledu kretanja cijena goriva, kao i CO<sub>2</sub> opterećenja elektrana na fosilna goriva, ekonomičnost relevantnih proizvodnih alternativa je razmotrena pri varijacijama ulaznih parametara (slike 17, 18, 19).

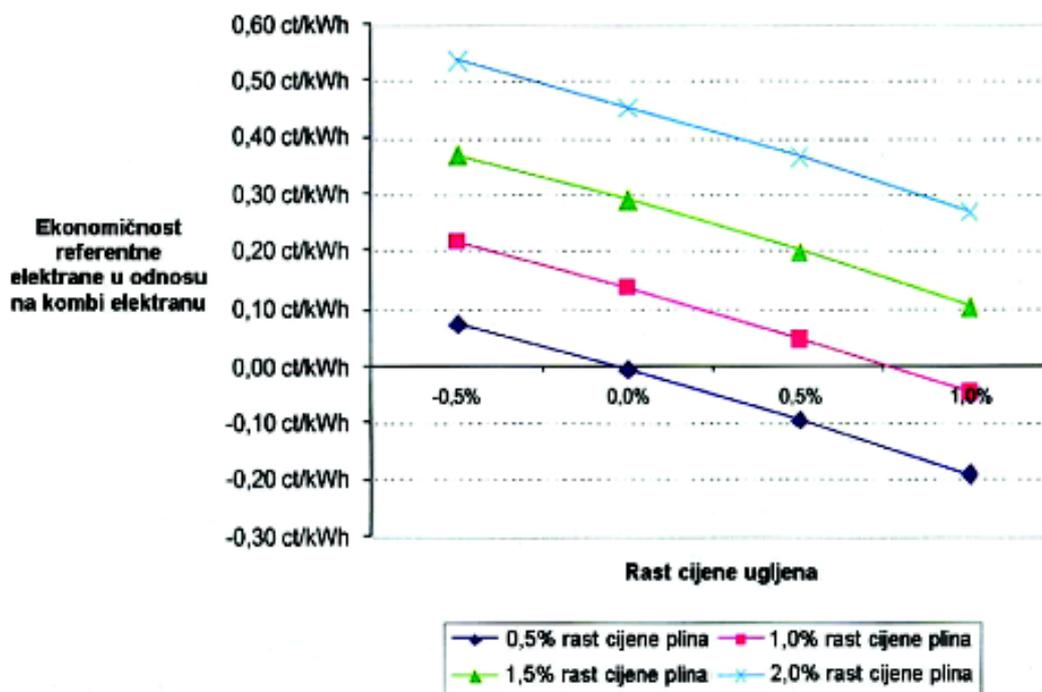
Provedene su sljedeće varijacije parametara:

CO<sub>2</sub> opterećenje (stvarno): 0 euro/t, 5 euro/t, 10 euro/t  
 Povećanje cijene plina: 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% godišnje  
 Povećanje cijena ugljena: -0.5%, 0%, 0.5%, 1.0% godišnje

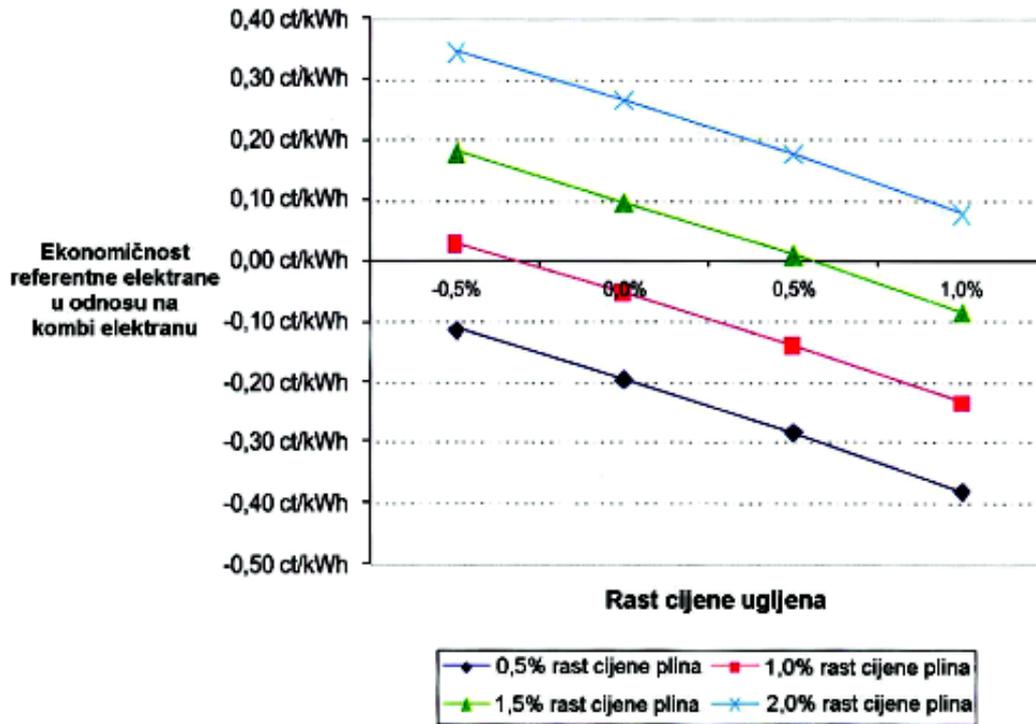


Bez CO<sub>2</sub> opterećenja i uz cijenu prirodnog plina od 1.2 euro ct/kWh (s porezima), te s realnim godišnjim povećanjem cijene plina za 1.0%, cijena kamenog ugljena 48 eura/t SKE ostaje nepromijenjena u životnom vijeku elektrane, cijena smeđeg ugljena je 31 eura/t SKE, nepromijenjena u životnom vijeku elektrane

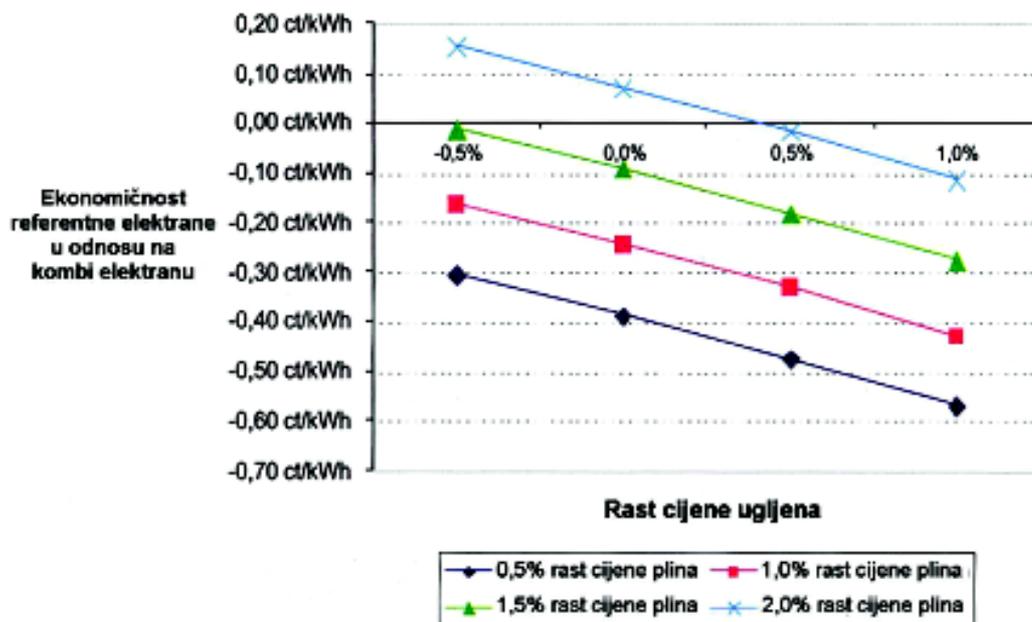
Slika 16. Troškovi proizvodnje – referentni slučaj



Slika 17. Usporedba ekonomičnosti referentne i kombi elektrane bez CO<sub>2</sub> opterećenja za obje proizvodne alternative



Slika 18. Usporedba ekonomičnosti referentne i kombi elektrane pri CO<sub>2</sub> opterećenju od 5 euro/t za obje proizvodne alternative



Slika 19. Usporedba ekonomičnosti referentne i kombi elektrane pri CO<sub>2</sub> opterećenju od 10 euro/t za obje proizvodne alternative

Nulta crta ordinate predstavlja kritičnu vrijednost promjene relativne ekonomičnosti proizvodnih alternativa, tj. pozitivne vrijednosti znače prednost referentne elektrane, a negativne vrijednosti, prednost kombi elektrane. Da bi se odredila ukupna prednost ili nedostatak pojedinog scenarija u milijunima eura, treba nanesene vrijednosti u dijagramu pomnožiti s faktorom 400. Tako se dobije za CO<sub>2</sub> opterećenje od 5 euro/t, pri porastu cijena plina za 1.0% i nepromijenjenoj cijeni ugljena, vrijednost od -0.05 euro ct/kWh, tj. troškovi proizvodnje kombi postrojenja su niži za 0.05 euro ct/kWh. Ako se u danom slučaju operator elektrane odluči za izgradnju referentne elektrane na kameni ugljen, on gubi 20 milijuna eura u životnom vijeku elektrane.

Kao što se može lako uočiti, već CO<sub>2</sub> opterećenje od 5 euro/t daje prednost kombi elektrani u odnosu na referentnu elektranu, uz pretpostavku rasta cijene plina od 1.0%/godišnje i pri smanjenju cijena ugljena za 0.5% godišnje. Tek pri godišnjem povećanju cijene prirodnog plina većem od 1.5%, situacija se popravlja u korist ugljena. Pri CO<sub>2</sub> opterećenju od 10 euro/t prednost je na strani kombi elektrane zbog manjeg sadržaja ugljika u prirodnom plinu i većeg stupnja korisnog učinka kombi elektrane.

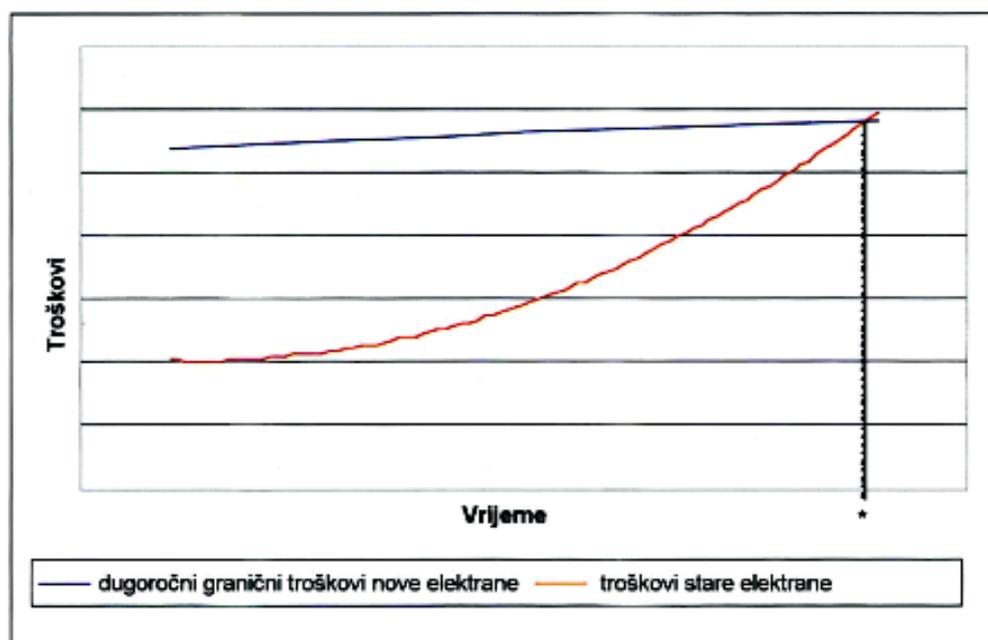
To znači da se potencijalni investitori ne bi smjeli odlučivati za izgradnju elektrane na kameni ugljen, ako u tijeku pogona elektrane moraju računati s CO<sub>2</sub> opterećenjem, osim u slučaju da ona iznose manje od 5 euro/t CO<sub>2</sub>. Veoma je nesigurno buduće kretanje CO<sub>2</sub> opterećenja fosilno loženih elektrana u uvjetima aktiviranja EU sustava trgovine emisijom. Ne može se isključiti mogućnost da srednjoročno CO<sub>2</sub> opterećenje premaši vrijednost od 10 euro/t.

U studiji je navedeno, da za pretpostavljeno investicijsko ulaganje u referentnu elektranu, pri CO<sub>2</sub> opterećenju od 5 euro/t treba ili smanjiti investicijsko ulaganje s 798 euro/kW bruto instalirane snage, na 774 euro/kW, ili povećati stupanj korisnog učinka referentne elektrane, da bi bila bolja relativna ekonomičnost referentne elektrane u odnosu na kombi elektranu. Ako se ne mijenjaju investicije i stupanj korisnog učinka, trebala bi pri realno nepromijenjenoj cijeni ugljena, godišnje porasti cijena prirodnog plina najmanje 1.2 posto, da bi referentna elektrana ostala u prednosti pri CO<sub>2</sub> opterećenju od 5 euro/t. Prema provedenim proračunima, CO<sub>2</sub> opterećenje od 3.8 euro/t je gornja granica ekonomičnosti referentne elektrane u odnosu na kombi elektranu.

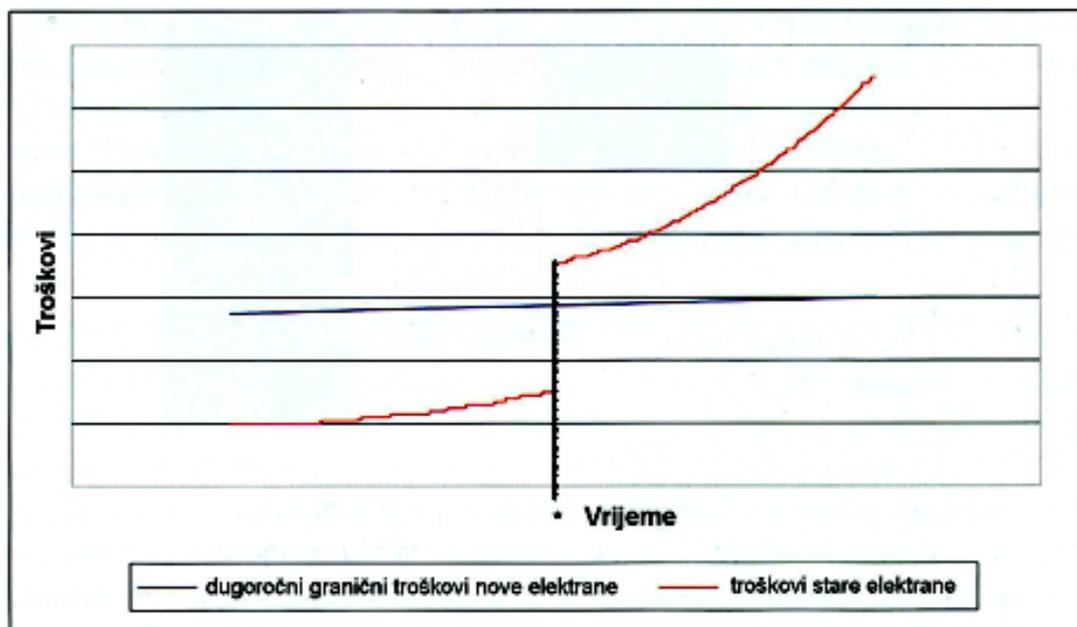
## 17. ODREĐIVANJE APSOLUTNE EKONOMIČNOSTI

Trenutačna prosječna razina cijena na tržištu električne energije ne osigurava prihod koji bi pokrio dugoročne granične troškove nove referentne elektrane. Nije moguće predvidjeti ekonomski opravdan trenutak ulaska nove elektrane u pogon.

Ekonomski je racionalno izgraditi novo proizvodno postrojenje tek tada kad je nova elektrana ekonomičnija od postojećih elektrana. Ukupni troškovi novog postrojenja se uspoređuju s troškovima postojećih elektrana, koji se praktički svode na troškove goriva i održavanja. Samo neproporcionalan porast troškova starih elektrana zbog ulaganja u povećanje njihovog stupnja korisnog učinka ili povećanih troškova za popravke, treba usporediti s graničnim troškovima nove elektrane. Optimalni trenutak za izgradnju nove elektrane je kad troškovi stare elektrane premaše granične troškove nove (slika 20).



Slika 20. Rastući tijekom troškova stare elektrane



Slika 21. Skok troškova stare elektrane

Kao što razni proračuni pokazuju za kratko- i srednjoročno razdoblje, prednost novih elektrana može se ostvariti samo u slučaju većih dodatnih investicija u postojeće proizvodne objekte, koje bi uvjetovale nagli skok njihovih troškova (slika 21).

Na trenutak ulaska nove elektrane u pogon utječu sljedeći faktori:

- razvoj potrošnje električne energije i krivulje opterećenja
- buduće kretanje uvoza i izvoza električne energije
- obustavljanje starih proizvodnih kapaciteta i strateški razvoj ponude iz posebnih izgradnja (obnovljivi izvori, industrijska i ostala decentralizirana proizvodna postrojenja)
- nacionalno ustrojstvo i razvoj europske trgovine emisijama (broj besplatnih certifikata i cijena certifikata).

Kao prvi indikator budućeg razvoja cijena električne energije mogle bi biti Forward cijene na burzi električne energije. Tek od listopada 2003, situacija s cijenom električne energije se mijenja. Očito je, da rastu izgledi, da se krajem desetljeća ostvari razina cijena električne energije, koja će pokrivati granične troškove novih elektrana.

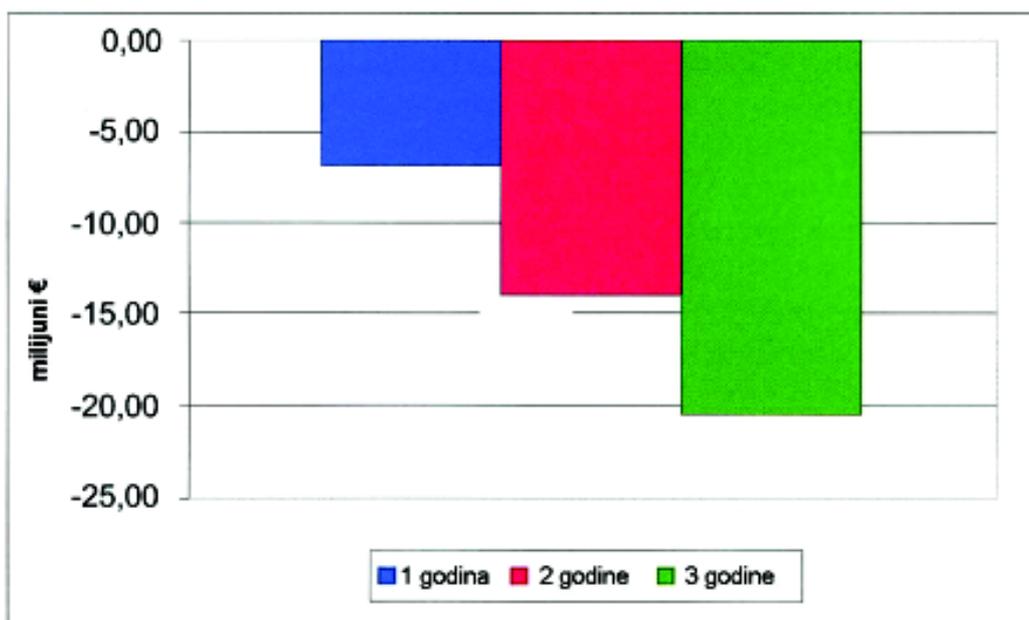
Za referentni slučaj su provedena tri proračuna ekonomičnosti, u okviru kojih je pretpostavljeno, da će ciljane razine prosječne cijene električne energije na tržištu linearno rasti od 30 euro/MWh, tako da će dostići granične troškove referentne elektrane u 2009, 2010 ili 2011. godini. Ako se pretpostavi da će realna cijena električne energije godišnje rasti po stopi od samo 1.5%, trebalo bi za dostizanje potrebne razine cijena čekati do 2016. godine.

Na slici 22 predočeni su gubici, koje bi referentna elektrana ostvarivala za slučaj prijevremenog donošenja odluke o izgradnji. Izgradnjom elektrane tri godine prije dostignute razine cijena kojom se pokrivaju granični troškovi referentne elektrane donijeli bi investitoru gubitke preko 20 milijuna eura.

## 18. BITNI REZULTATI KOMPARATIVNE ANALIZE

Referentna elektrana predstavlja izglednu, već danas ostvarivu alternativu, koja je pri optimalnom stupnju korisnog učinka od 46 posto (na lokaciji s rashladnim tornjem), za 20 posto većim od prosječnog stupnja elektrana na kameni ugljen u Njemačkoj, ekonomski atraktivno i klimatski prihvatljivo rješenje. Stvarne alternative u području fosilno loženih velikih elektrana predstavljaju samo napredni koncepti na bazi smeđeg ugljena (FBA), s jedne strane, i plinska elektrana bazirana na kombi procesu, s druge strane. U ekonomskoj usporedbi između tih alternativa, jedino je u prednosti elektrana na smeđi ugljen (FBA), zbog niskih i stabilnih cijena smeđeg ugljena. Referentna elektrana je pri pogonu u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja troškovno povoljnija od kombi elektrane, unatoč većem stupnju korisnog učinka i nižim investicijskim ulaganjima u kombi elektrane.

Treba istaknuti da se je u ekonomskim proračunima pošlo od cijene kamenog ugljena od 48 euro/t SKE (ekvivalentnog ugljena), koji će zbog svoje široko rasprostranjene resursne osnove u svijetu, nepostojanja barijera za pristup tržištu i konkurentski strukturiranom tržištu, imati u tijeku pogonskog vijeka elektrane, rela-



Slika 22. Gubici zbog prijevremene izgradnje elektrane

tivno zanemariv porast cijena. Samo ako bi protivno očekivanju cijena kamenog ugljena godišnje rasla za 1.0 posto, a cijena plina 0.5 posto, tada bi prednost bila na strani kombi elektrane.

Taj pozitivan rezultat, brzo se preokrene, ako se fosilno ložene elektrane, u tijeku pogona, opterete s troškovima CO<sub>2</sub> emisije. Već pri CO<sub>2</sub> opterećenju od 5 euro/t CO<sub>2</sub>, referentna elektrane na kameni i smeđi ugljen se pokazuju ekonomski inferiornim prema kombi elektrani. Ako bi se CO<sub>2</sub> opterećenje povećalo na 10 euro/t CO<sub>2</sub>, godišnji rast cijena plina bi trebao biti 1.8 %, da bi referentna elektrana bila ekonomski superiornija.

To znači da bi referentna elektrana mogla ostati ekonomski atraktivna i pri CO<sub>2</sub> opterećenju, samo pri značajnijem rastu cijena plina.

Suvremene referentne elektrane s visokim stupnjem korisnog učinka, kojim se štede fosilni resursi i štiti klima, realistički gledano, moći će se graditi samo ako to omoguće političke odluke, s ciljem da ugljen doprinese uravnoteženom miksu proizvodnje električne energije, a time i sigurnosti opskrbe.

Ako bi izgradnja takve elektrane bila politički podržana kao poželjna i pri tome bila rezultat čisto poduzetničke odluke o izgradnji, ona bi mogla ići na mrežu već 2008 godine ili nekoliko godina kasnije. S današnjeg gledišta, nije sigurno da bi se u navedenim rokovima ostvarila željena razina prihoda na veletržištu električne energije, koja bi opravdala jednu takvu investicijsku odluku. Već bi vremenska neusklađenost između stvarnog i optimalnog trenutka ulaska 600 MW elektrane u pogon od tri godine, mogla uzrokovati gubitke u dvoznamenkastim milijunima eura.

## 19. ZAKLJUČNO RAZMATRANJE

Potreba obnavljanja proizvodnog parka, uvjetovanog starošću postojećih elektrana, u razdoblju od 2010. do 2020. godine, (Njemačka 40 000 MW), Europa (300 000 MW) nalaže, pri rastućim zahtjevima na zaštitu klime, povećanju sigurnosti opskrbe, pravodobnu raspoloživost novih, još učinkovitijih i fleksibilnih elektrana na ugljen. U kojoj mjeri će one moći zamijeniti postojeće elektrane, ovisi o tome kako će izgledati odredbe o zaštiti klime. Ako se uspije riješiti ekonomski i ekološki prihvatljivo zbrinjavanje CO<sub>2</sub>, mogao bi se bitno povećati prostor za izgradnju elektrana na ugljen.

Na osnovi postojećih visokih zahtjeva za zaštitu klime, referentna elektrana može biti prvi korak u trajnom razvoju elektrana na bazi ugljena. Paralelno se treba usmjeriti i na razvoj naprednih elektrana na ugljen druge, odnosno treće generacije.

Sigurnost opskrbe, stavljanje na raspolaganje jeftine električne energije, čuvanje okoliša i štednja raspoloživih fosilnih resursa su središnji zahtjevi koji se postavljaju pred poduzeća koja se bave proizvodnjom električne energije. Cilj konceptijske studije je bio istražiti ostvarivost suvremene elektrane s bitno smanjenim emisijama, uvažavajući postojeće i buduće uvjete na liberaliziranom tržištu električne energije.

Na početku studije predočena je faza prikupljanja i vrednovanja inovacijskih ideja u područjima planiranja i projektiranja postrojenja, procesne tehnike, kotla, strojarke tehnike, elektrotehnike, vođenja, i generatora. Odluku o primjeni pojedine inovacije u fazi koncipiranja referentne elektrane donosili su zajednički

operatori elektrana i proizvođači energetske opreme. Za optimiranje koncepta elektrane utvrđeni su, na bazi postojećih okvirnih tržišnih uvjeta, vrijednosni faktori za povećanje stupnja korisnog učinka, smanjenje vlastite potrošnje i povećanje raspoloživosti elektrane. Pomoću tih vrijednosnih faktora temeljenih i na iskustvi-

ma operatora i proizvođača opreme izvršeno je optimiranje cijelog postrojenja.

Tehničko-ekonomski optimirani koncept elektrane nazvan u studiji kao “preferentna varijanta” karakteriziran je sljedećim podacima:

**Tablica 5. Osnovni tehnički podaci preferentne varijante referentne elektrane**

– Bruto snaga:	600.0 MW
– Neto snaga:	555.5 MW
– Neto stupanj korisnog učinka:	45.9%
– Parametri svježe pare:	285 bar/600 °C/620 °C
– Temperatura napojne vode:	303.4 °C:
– Tlak u kondenzatoru:	45 mbar, povratno hlađenje preko rashladnog tornja
– Ukupna ulaganja bez troškova investitora:	478.5 milijuna eura
– Specifična ulaganja:	798 euro/kWbruto
– Tip kotla:	Benson - toranjski s okomitim cijevnim sustavom
– Korištenje otpadne topline:	Korištenje suviška topline zraka mlina za sušenje, ovisno o kakvoći ugljena
– Pročišćavanje dimnih plinova:	SCR-DENOX, E-filtar, mokro odsumporavanje s vapnencem
– Odvođenje dimnih plinova:	preko rashladnog tornja
– Parna turbina:	trokucišna, s jednim međupregrijanjem
– Generator:	hlađen vodom i vodikom
– Broj zagrijača napojne vode:	8 + vanjski regulirani zagrijač
– Koncept napojnih crpki:	električne 3x50%, regulacijska spojka s planetnim prigonom

Optimalni koncept elektrane za trenutačne tržišne uvjete ima stupanj korisnog učinka od 45.9 posto. Cijena elektrane, manja od 800 euro/kW bruto instalirane snage, na razini je pri kojoj referentna elektrana može konkurirati drugim opcijama proizvodnje električne energije. Odlučujuće za visok stupanj korisnog učinka su parametri procesa, kao što su visoki tlak i temperatura od (285 bar/600 °C/620 °C).

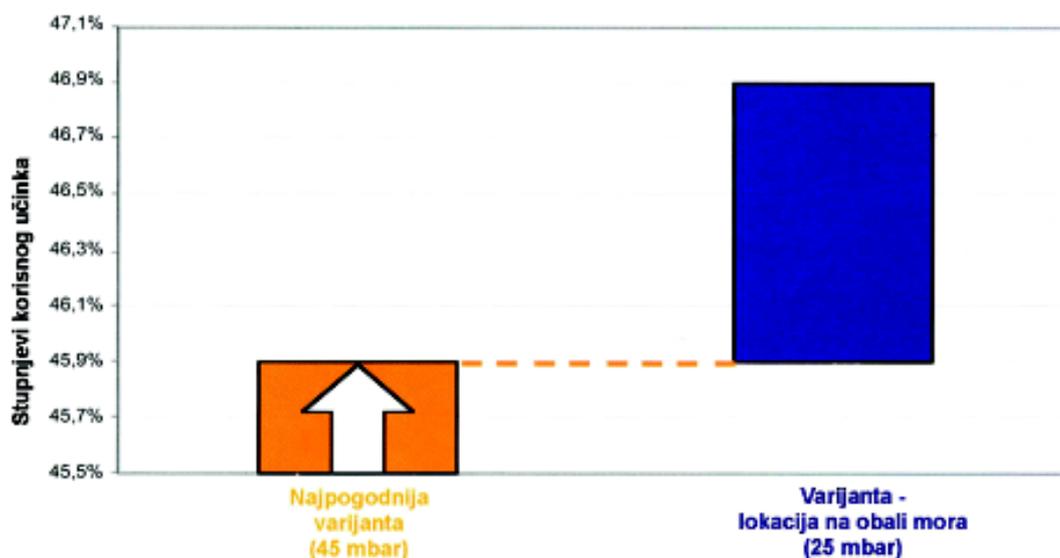
Budući da danas nije moguće u njemačkoj zemlji-državi Nordrhein-Westfalen, koja je naručila izradu ove studije, locirati elektranu s hlađenjem riječnom ili morskom vodom, za referentnu elektranu je predviđeno povratno hlađenje preko rashladnog tornja. Rashladni toranj istodobno služi i za odvođenje dimnih plinova u atmosferu, prethodno oslobođenih od krutih čestica, sumpornih i dušičnih oksida u skladu s najnovijim usvojenim zahtjevima o zaštiti okoliša EU.

Riječnim hlađenjem mogao bi se stupanj korisnog učinka povećati za 1 postotni poen, na oko 47 posto (slika 23).

Referentnom elektranom sa stupnjem korisnog učinka od 46 posto, mogla bi se prognozirana CO<sub>2</sub> emisija iz elektrane na ugljen smanjiti s 9.1 milijarde tona (prosječni stupanj korisnog učinka od 34 posto) na 6.8 milijardi tona CO<sub>2</sub>. Na taj način ne bi se povećala CO<sub>2</sub> emisija iz elektrane na kameni ugljen, u razdoblju od 2000. do 2020, za očekivanih 63 posto, već za 21 posto.

Provedena istraživanja pokazuju da je referentna elektrana na bazi kamenog ugljena u prednosti u odnosu na druge proizvodne opcije, ako ne dođe do značajnijeg opterećenja elektrane na fosilna goriva zbog CO<sub>2</sub> emisije.

Usporediva ekonomska rješenja u području velikih elektrane na fosilna goriva su elektrane na smeđi ugljen i kombi elektrane na prirodni plin. U ekonomskoj usporedbi proizvodnih alternativa jedino je elektrana na smeđi ugljen povoljnija od referentne elektrane zahvaljujući niskim i stabilnim cijenama smeđeg ugljena u tijeku cijelog životnog vijeka elektrane. Elektrane na smeđi ugljen su interesantne samo poduzećima kojima



Slika 23. Skok stupnja korisnog učinka – lokacija na obali mora

S određenim tehničkim mjerama mogao bi se stupanj korisnog učinka povećati na preko 48 posto, što zahtijeva druge uvjete, koji se trenutačno ne mogu ostvariti na tržištu električne energije. Učinak drugog međupregrijanja nije istraživao, jer se povećane investicije ne mogu ekonomski opravdati povećanim stupnjem korisnog učinka od 0.5 posto.

Sa stupnjem korisnog učinka od 45.9 posto referentna elektrana značajno premašuje trenutačni prosječni stupanj korisnog učinka elektrane na kameni ugljen u Njemačkoj i svijetu.

Ako bi se proizvodnja električne energije na bazi kamenog ugljena u svijetu u 2020. godini zamijenila re-

ferentno korištenje smeđeg ugljena ili lignita. Kada referentna elektrana, kao rezultat čisto poduzetničke odluke, može ići na mrežu, u najvećoj mjeri ovisi o očekivanim prihodima te elektrane na veletržištu električne energije, koji trenutačno nisu dovoljni da bi opravdali i pokrivali investicijska ulaganja.

U cjelini, na osnovi pretpostavljenih uvjeta, dobije se razina troškova proizvodnje električne energije za novoizgrađenu elektranu za pogon u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, koja nakon 17 godina pokriva srednji dio dijagrama opterećenja, reda veličine između 3.3 i 3.5 ct/kWh. Referentna elektrana je pri predviđenom načinu rada troškovno povoljnija od su-

vremene kombi elektrane na bazi prirodnog plina, unatoč znatno većem stupnju korisnog učinka i bitno nižim investicijskim troškovima kod kombi elektrana. Pri tome se pošlo od cijene kamenog ugljena od 41 euro/t (ogrjevna vrijednost garantnog ugljena od 25 MJ/t), nabavna cijena po toni ekvivalentnog ugljena je 48 eura. Zbog rasprostranjenosti ugljena diljem svijeta, bez pristupnih tržišnih barijera i snažne tržišne konkurencije, pretpostavljeno je, da će cijena ugljena neznatno rasti u tijeku životnog vijeka elektrane. Ako bi mimo očekivanja cijena kamenog ugljena realno rasla više od 1 posto/godišnje (cijena plina istodobno ne više od 0.5 posto godišnje, kombi elektrana bi bila povoljnija od referentne elektrane.

Te ekonomske prednosti postoje samo ako se zanemari moguće opterećenje elektrana na ugljen zbog provedbe mjera za smanjenje CO<sub>2</sub> emisije. Već pri realnom CO<sub>2</sub> opterećenju od 5 eura po ukupno emitiranoj toni CO<sub>2</sub>, referentna elektrana gubi ekonomsku prednost u odnosu na kombi elektranu. Najsvremenije elektrane na ugljen s visokim stupnjem korisnog učinka usmjerenog na štednju resursa i zaštitu klime, mogu se samo tada graditi kada se stvore prikladni politički okviri uvjeti. Zbog CO<sub>2</sub> opterećenja bi bilo otežano investiranje u daljnji razvoj te tehnologije i istodobno potaklo dodatnu izgradnju kombi elektrana s posljedicama trajnog smanjenja sigurnosti opskrbe i rastućom ovisnosti o cijenama plina.

## LITERATURA

- [1] "Konzeptstudie Referenzkraftwerk Nordrhein-Westfalen (RKW NRW)" – VGB Power Tech e.V. Stand: Februar 2004
- [2] H.-J. MEIER, VGB Power Tech, M. ALF, Siemens AG, M. FISCHEDICK, Wuppertal Institute for Climate Environment Energy, B. HILLEBRAND, Reinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, H. LICHTER, Mark – E AG, J. MEIER, Babcock Hitachi Europe, M. NEUBRONNER, E.ON Kraftwerke, D. SCHMITT, University Duisburg, W. VICTOR, STEAG AG, M. WAGNER, RWE Power AG: "Reference Power Plant North Rhine – Westphalia (RPP NRW)" – VGB Power Tech 5/2004
- [3] K. JOPP: "Referenzkraftwerk NRW: Höchste Effizienz bei Steinkohleverbrennung angestrebt – ew" Jg. 103 (2004), Heft 11

## CONCEPT STUDY ON REFERENT POWER PLANT RKW NRW

In the paper a concept study of referent thermal power plant of gross 600 MW and net efficiency degree of 46 is presented in short. Technically and economically optimised power plant for the conditions of the German Nordrhein-Westfalen region is given. The referent power plant is based on the development of electric energy consumption and energy resource prices.

## ABHANDLUNG ÜBER EINEM RKW-NRW REFERENZKRAFTWERK

Im Artikel ist die Abhandlung über einem RKW-NRW Referenzkraftwerk mit 600 MW Bruttoleistung und 46 % Wirkungsgrad in kurzer Fassung vorgeführt. Dargestellt ist ein -für die Umstände im deutschen Bundesland Rheinland Westfalen- technologisch und wirtschaftlich optimiertes Kraftwerk. Dieses Referenzkraftwerk wurde auf Grund der Entwicklung des Stromverbrauchs und der Energieträgerpreise verfasst.

Naslov pisca:

**Vladimir Dokmanović, dipl. ing.  
Nalješkovićeva 15  
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
2004 – 09 – 20.

# IRIS – NAPREDNI INTEGRALNI NUKLEARNI REAKTOR MODULARNE IZVEDBE

Prof. dr. sc. Nikola Čavlića, doc. dr. sc. Davor Grgić, prof. dr. sc. Dubravko Pevec – Zagreb  
dr. sc. Mario Carelli, dr. sc. Bojan Petrović, Pittsburgh, SAD

UDK 621.039.5  
PREGLEDNI ČLANAK

Glavne značajke reaktora IRIS (*International Reactor Innovative and Secure*) date su u ovom članku. IRIS je integralni, modularni, lakovodni reaktor srednje snage (335 MWe). Projekt reaktora IRIS razvija međunarodni konzorcij od dvadesetak organizacija iz deset zemalja predvođenih kompanijom Westinghouse. Primarni cilj projekta je razviti siguran, pouzdan i ekonomičan reaktor male do srednje snage. U članku je opisana integralna reaktorska posuda koja osim jezgre reaktora, moderatora, kontrolnih šipki i reflektora neutrona sadrži parogeneratore, reaktorske pumpe, mehanizme kontrolnih šipki i tlačnik. Jedinstvene sigurnosne karakteristike („safety-by-design“) omogućile su manje i jednostavnije pasivne sigurnosne sustave. Poboljšana sigurnost i pouzdanost, ekonomičnost, te mogućnost postupne izgradnje novih kapaciteta uz relativno male investicije čine IRIS naročito privlačnim za manje elektroenergetske sustave.

**Ključne riječi:** IRIS, modularnost, integralni nuklearni reaktor, poboljšana sigurnost, ekonomičnost.

## 1. UVOD

Tijekom pedesetak godina miroljubivog korištenja električne energije akumulirano je iskustvo veće od deset tisuća reaktorskih godina rada nuklearnih elektrana. Krajem 2003. u svijetu je bilo u pogonu 438 reaktora, u 31 zemlji, s ukupnom instaliranom snagom od 366 GWe, koji su proizvodili približno petinu ukupne svjetske proizvodnje električne energije. Više od 40 nuklearnih elektrana je u izgradnji ili je naručeno u više od deset zemalja [1].

Porast interesa za nuklearnom energijom uzrokovan je povećanom potražnjom energije, rastom cijena nafte [2], kao i svjetskom zabrinutošću zbog pretjerane emisije stakleničkih plinova čemu doprinose elektrane na fosilna goriva.

Zadnjih godina intenzivno se radi na razvoju novih reaktorskih sustava. Procijenjeno je da će nuklearna energija imati vrlo značajnu ulogu u zadovoljenju budućih svjetskih potreba za energijom te da nuklearne elektrane mogu osigurati dugoročnu i ekonomičnu opskrbu električne energije. Poštivanje sve strožih zahtjeva na sigurnost nuklearnih elektrana preduvjet je prihvata ove tehnologije.

U SAD-u, ustanova američke vlade *Department of Energy* (DOE) pokreće inicijativu za razvoj novih reaktora koji bi ušli u pogon iza 2030. godine. Te bi nuklearne elektrane trebale odgovoriti energetske izazovima 21. stoljeća i one su svrstane u četvrtu generaciju nuklearnih elektrana [3]. Na slici 1 vidi se podjela svih nuklearnih

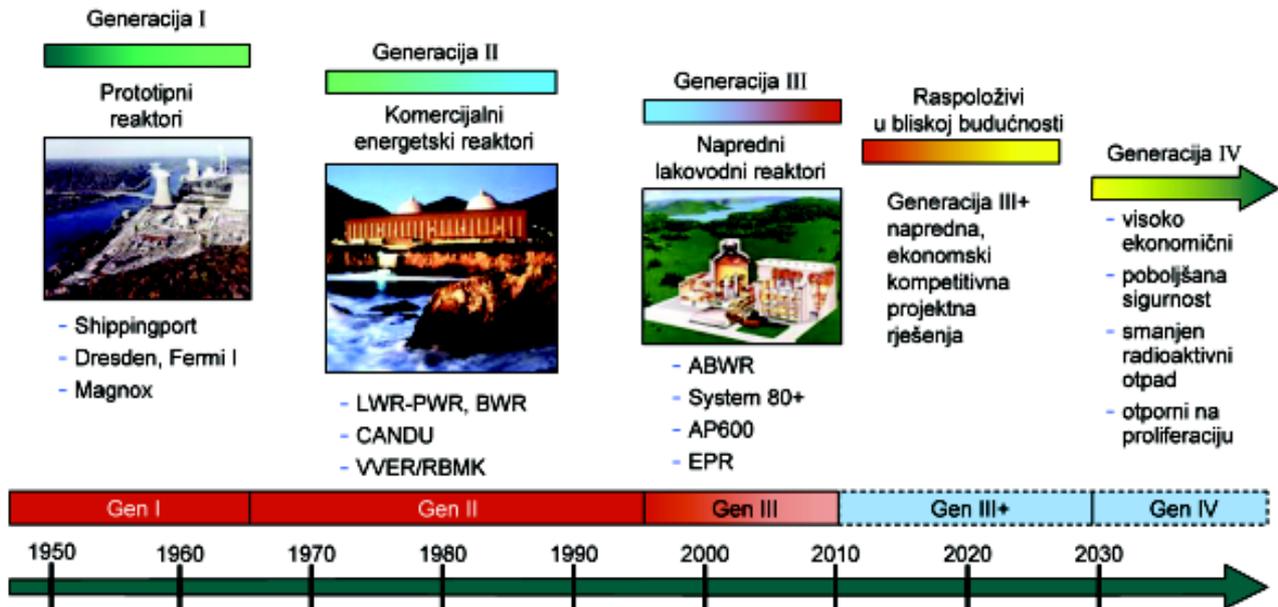
elektrana prema projektnim karakteristikama, odnosno prema vremenu ulaska u komercijalni pogon:

- prva generacija uključuje prototipna postrojenja koja su u pogon ulazila pedesetih godina 20. stoljeća;
- nuklearna energetska postrojenja u pogonu krajem 20. i početkom 21. stoljeća elektrane su druge generacije (tu pripada i NE Krško);
- treća generacija nuklearnih elektrana su postrojenja napredne izvedbe koja koriste poboljšanja postojeće tehnologije kojima se poboljšava sigurnost i ekonomičnost, kao što je npr. intenzivnija uporaba oblika pasivne sigurnosti;
- elektrane četvrte generacije ući će u pogon nakon 30-ih godina 21. stoljeća.

Inicijativa DOE za razvoj nuklearnih reaktora IV. generacije ubrzo je dobila međunarodnu potporu te je 2001. godine osnovan međunarodni forum pod imenom GIF (*Generation IV International Forum*). GIF čine Argentina, Brazil, Kanada, Francuska, Japan, Južna Koreja, Južnoafrička Republika, SAD, Švicarska i Velika Britanija.

Forum Generacije IV definirao je sljedeće ciljeve tehnološkog razvoja novih reaktora:

- elektrane moraju udovoljiti zahtjevima održivog razvoja uz zanemariv utjecaj na okoliš
- stvaranje nuklearnog otpada mora se minimizirati uz znatno smanjenje dugotrajnih utjecaja na okoliš
- proliferacija nuklearnih materijala mora biti praktično onemogućena na tehnološkom nivou



Slika 1. Četiri generacije nuklearnih elektrana [3]

- izvrsnost u sigurnosti i pouzdanosti
- zanemariva mogućnost oštećenja jezgre
- eliminirati potrebu za planiranjem zaštitnih akcija izvan kruga postrojenja
- ostvariti ekonomsku prednost cjelokupnog gorivog ciklusa u odnosu na ostale energetske tehnologije
- financijski rizik izjednačiti s ostalim tehnologijama.

U okviru GIF identificirana je grupa INTD (*International Near Term Deployment*). Njen cilj je premostiti vremenski raspon do 2030. godine ranijim uvođenjem u komercijalni pogon naprednih reaktora koji po svojim karakteristikama dizajna praktički zadovoljavaju zahtjeve četvrte generacije, no već ostvarenim stupnjem svog razvoja omogućavaju primjenu znatno prije 2030, počevši u idućem desetljeću.

U ovom članku opisan je razvoj novog reaktora IRIS (*International Reactor Innovative and Secure*) [4, 5], koji je jedan od projekata INTD grupe, započet krajem 1999. godine u okviru *Nuclear Energy Research Initiative* (NERI) američkog DOE. IRIS je od istraživačkog projekta ubrzo napredovao do tržišno orijentiranog pothvata i formiranja međunarodnog konzorcija, čiji je logo prikazan na slici 2. Konzorcijem upravlja kompanija Westinghouse/BNFL, a sastoji se od 21 organizacije iz 10 zemalja. Konzorcij uključuje širok spektar institucija (navedenih u listi koja slijedi) i na taj način dovodi projektu ekspertizu vrhunskih stručnjaka koji pokrivaju različite aspekte razvoja nuklearnih elektrana.

#### Industrija:

**Westinghouse**, SAD; **British Nuclear Fuels (BNFL)**, Velika Britanija; **Ansaldo Energia**, Italija; **Ansaldo**

**Camozzi**, Italija; **Equipos Nucleares S. A. (ENSA)**, Španjolska; **Nuclebras Equipamentos Pesados (NUCLEP)**, Brazil; **Bechtel, SAD**; **Experimental Design Bureau of Mechanical Engineering (OKBM)**, Rusija;

#### Znanstveno-istraživački instituti:

**Oak Ridge National Laboratory (ORNL)**, SAD; **Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)**, Brazil; **Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)**, Meksiko; **Lithuanian Energy Institute (LEI)**, Litva;

#### Sveučilišta:

**Politecnico di Milano**, Italija; **Massachusetts Institute of Technology (MIT)**, SAD; **Tokyo Institute of Technology**, Japan; **Sveučilište u Zagrebu**, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Hrvatska; **Università di Pisa**, Italija; **Politecnico di Torino**, Italija; **Università di Roma**, Italija;

#### Elektroprivrede:

**Tennessee Valley Authority (TVA)**, SAD; **Eletronuclear**, Brazil;

#### Sveučilišta (pridruženi članovi):

**University of California Berkeley**, SAD; **University of Tennessee**, SAD; **Ohio State University**, SAD; **Iowa State University** (and Ames National Laboratory), SAD; **University of Michigan** (and Sandia National Laboratories), SAD.

Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb rano se uključio u projekt IRIS kao punopravni član te sudjeluje



Slika 2. Logo IRIS konzorcija

je u radu s kompjutorskim modelima i analizi sigurnosti. Kako se projekt IRIS reaktora u mnogome bazira na provjerenoj tehnologiji tlakovodnih reaktora kakav je na primjer i reaktor u Krško, to su iskustva stečena u analizama sigurnosti NE Krško kvalificirala fakultetsku grupu za sudjelovanje u projektu IRIS. Ova suradnja se uspješno odvija uz značajnu obostranu korist, FER doprinosi razvoju projekta IRIS, a sudjelovanje u projektu omogućava stjecanje znanja i dragocjenog iskustva u radu na projektu svjetske razine.

Zajednički naponi ovog međunarodnog tima omogućili su brzi napredak projekta, preko početnih studija, zatim faze konceptualnog projekta, do faze preliminarnog projekta koja je pred dovršetkom. Tijekom 2002. godine pristupilo se fazi predlicenciranja IRIS reaktora gdje će projekt IRIS biti predan na ocjenu od strane Nuklearne regulatorne komisije (*Nuclear Regulatory Commission, NRC*) u SAD-u. S obzirom na međunarodni karakter kako konzorcija tako i potencijalnog tržišta za IRIS, suradnja na području sigurnosti us-

postavljena je i s Međunarodnom agencijom za atomsku energiju (*International Atomic Energy Agency, IAEA*) iz Beča. Također je vrijedno spomenuti da je IRIS jedan od reaktora koji je bio uključen od strane tri američke elektroprivrede (Dominion, Entergy i Exelon) u proces traženja preliminarnog lokacijske dozvole (*Early Site Permit*).

Vremenski plan razvoja projekta prikazan je u tablici 1. IRIS bi trebao biti spreman za izvedbu i uključivanje u komercijalni pogon 2012. – 2015. godine. Treba napomenuti da su do sada sve planirane faze izvršene u skladu s planom ili čak i prije njega.

## 2. GLAVNE KARAKTERISTIKE REAKTORA IRIS

### 2.1. Osnovni projektni parametri

IRIS je reaktor tipa PWR (*pressurized water reactor*), koji se zasniva na provjerenoj Westinghouse tehnologiji tlakovodnih reaktora, s inovativnim rješenjima kojima se želi ispuniti postavljene zahtjeve na nove reaktore: otpornost na proliferaciju, unaprjeđenje sigurnosti, poboljšanje ekonomije i smanjenje otpada. Zavisno o zahtjevima tržišta IRIS reaktor može biti izgrađen kao jedan ili više modula, svaki sa izlaznom snagom od 335 MWe.

Najvažnije karakteristike IRIS reaktora su [6]:

1. integralna konfiguracija primarnog kruga
2. produženi ciklus jezgre, te pogon bez zaustavljanja za remont u trajanju od četiri godine
3. pristup projektiranju na način da se isključi mogućnost pojave nekog akcidenta (projektom ostvarena sigurnost - "Safety-by-Design" pristup).

Glavni projektni parametri reaktora IRIS dani su u tablici 2.

### 2.2. Integralni primarni krug

Tipičan tlakovodni reaktor u uporabi karakteriziran je rashladnim krugom (uključujući pumpe, parogeneratore

Tablica 1. Vremenski plan razvoja IRIS-a

Sadržaj	Predviđeno
Tehnička i ekonomska ocjena izvedivosti IRIS projekta (izvršeno)	Do kraja 2000. g.
Izrada konceptualnog projekta i preliminarnog procjene (izvršeno)	Do kraja 2001. g.
Preliminarna procjena troškova izgradnje (izvršeno)	Do kraja 2001. g.
Iniciranje postupka preliminarnog licenciranja (izvršeno)	Jesen 2002. g.
Priprema plana licenciranja (izvršeno)	Jesen 2002. g.
Priprema plana tržišnog nastupa (izvršeno)	Proljeće 2003. g.
Projektiranje	2002.-2005.
Završetak postupka preliminarnog licenciranja	Do kraja 2005. g.
Pridobivanje licence	2008. (2010.)
Izvedba prvog postrojenja IRIS	2012. (2015.)

**Tablica 2. Glavni projektni parametri reaktora IRIS**

<b>Glavni projektni parametri</b>	
Toplinska snaga jezgre	1000 MWt
Električna snaga	335 MWe
<b>Sustav za proizvodnju pare</b>	
Primarni krug	Integralnog tipa
Temperatura i tlak pare	317°C, 5.8 MPa
Temperatura i tlak pojne vode	224°C, 6.4 MPa
<b>Sustav hlađenja reaktora</b>	
Protok primarnog hladioca	4700 kg/s
Radni tlak reaktora	15.5 MPa
Temperatura hladioca na ulazu i izlazu iz jezgre	292°C / 330°C
<b>Jezgra reaktora</b>	
Visina aktivne jezgre	4.267 m
Inventar goriva	48.5 tU
Prosječna linearna gustoća snage	10.0 kW/m
Gorivo	Sinter. UO <sub>2</sub>
Broj gorivih elemenata	89
Gorivi element	17x17
Broj gorivih šipki u gorivom elementu	264
Vanjski promjer gorive šipke	9.5 mm
Obogaćenje	Do 4.95 wt% U-235
Trajanje ravnotežnog gorivog ciklusa	30-48 mjeseci
Prosječni otpusni odgor	Do 60,000 MWd/tU
<b>Reaktorska posuda</b>	
Oblik i dimenzije	Cilindrična, unutrašnji promjer 6.21 m
Debljina stijenke posude	285 mm
Ukupna visina	21.3 m
<b>Parogeneratori</b>	
Tip parogeneratora	Protočni, s pregrijanom parom
Cijevi	Helikoidne, primarni hladioc izvana
Broj parogeneratora	8
Toplinska snaga (po parogeneratoru)	125 MWt
<b>Reaktorske pumpe</b>	
Tip	Pumpe s aksijalnim protokom (propelerske pumpe), potpuno uronjene
Broj	8
Porast tlaka	19.8 m (ekvivalent)
<b>Primarni kontejnment</b>	
Tip	Čelični
Oblik	Kuglasti, promjera 25 m
Maksimalno dopušteni tlak i temperatura	1300 kPa, 200 °C

i tlačnik izvan reaktorske posude (slika 3a). Na slici 3b prikazana je integralna konfiguracija reaktora (pri čemu su eliminirani vanjski cjevovodi primarnog rashladnog kruga). Reaktorska posuda je povećana, ali je kontejnment (slika 3c) i ukupna veličina postrojenja smanjena, što ima pozitivni utjecaj na sigurnost i ekonomičnost postrojenja.

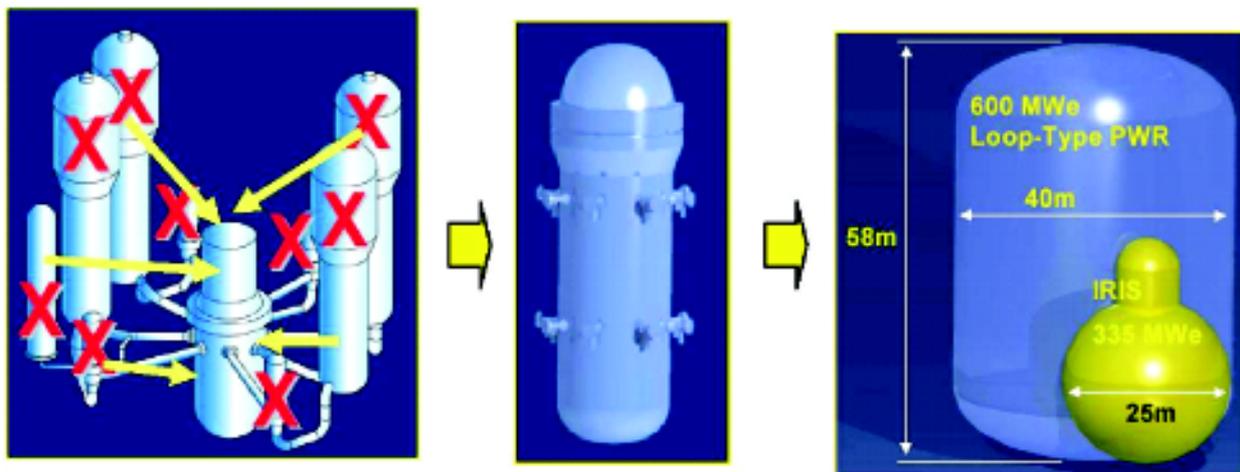
### 2.3. Integralna reaktorska posuda

Glavne komponente primarnog kruga IRIS-a smještene su unutar integralne reaktorske posude [7], slika 4. Kao

što je prikazano, reaktorska posuda sadrži jezgru reaktora s nuklearnim gorivom, regulacijske šipke s pogonskim mehanizmom, osam heliokoidalnih parogeneratora, osam primarnih pumpi, tlačnik smješten u vrhu (gornjoj kaloti) reaktorske posude. Protok rashladne vode unutar reaktorske posude shematski je prikazan na slici 4.

### 2.4. Jezgra reaktora i gorivo

Jezgra IRIS reaktora zasniva se na tehnološkim rješenjima koja se koriste i u današnjim tlakovodnim reak-



Slika 3a

Reaktorska posuda, četiri rashladna kruga i tlačnik

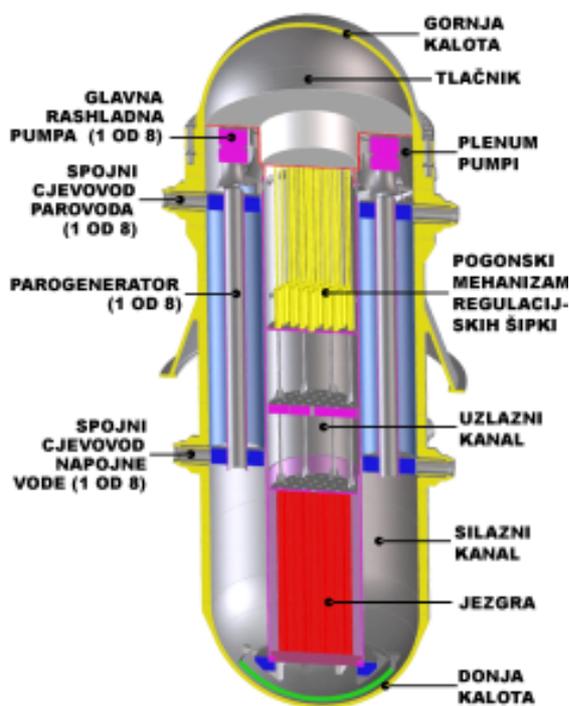
Slika 3b

Reaktorska posuda integralne konfiguracije

Slika 3c

Usporedba veličine kontejnmenta

Slika 3. Usporedba reaktora s vanjskim primarnim krugom i reaktora integralne konfiguracije



Slika 4. Integralna reaktorska posuda

torima. Ono što je čini različitom od standardne jezgre tlakovodnog reaktora proizlazi iz jednog od osnovnih projektnih ciljeva razvoja IRIS-a, a to je produljenje vremena između planiranih obustava reaktora. Osim optimiziranog održavanja, nužno je projektirati jezgru reaktora u skladu s tim zahtjevom, a da se pri tome praktično onemogućuje proliferacija fisionog materijala.

S tom svrhom napravljena je serija studija u kojima su se razmatrale razne opcije koje su uz  $\text{UO}_2$  uključivale i MOX gorivo, a kojima je bio cilj istražiti utjecaj ra-

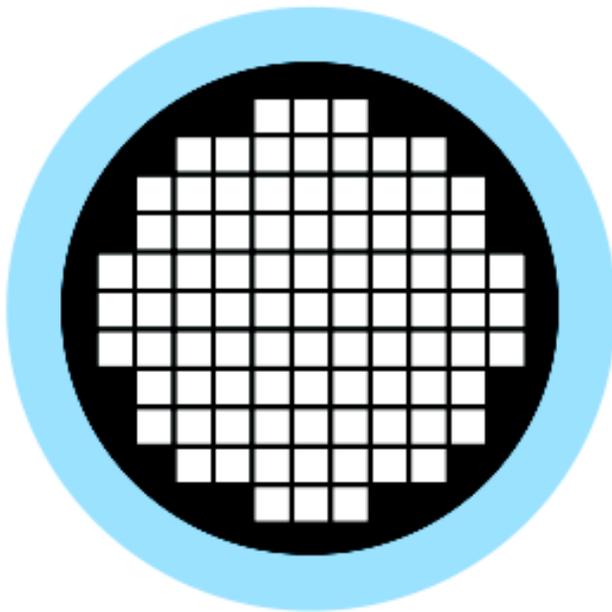
zličitih konfiguracija jezgre i obogaćenja goriva na otpusni odgor, odnosno ciklus izmjene goriva [8]. Pregled rezultata prikazan je u tablici 3. Tako su rezultati studija ukazali npr. da koncept "otvorene" rešetke povećanog omjera p/d (omjer koraka rešetke i promjera gorivne šipke) povećava odgor, a da je uz više početno obogaćenje (10%, dok se danas koristi 4 – 5% u tlakovodnim reaktorima) moguće postići i odgor od ~80.000 MWd/tHM što bi moglo produljiti vrijeme između dvije izmjene goriva na 8 – 10 godina. Projektni cilj je međutim postavljen na 4-godišnji ciklus izmjene goriva koji je moguće ostvariti 5%-tnim obogaćenjem koje je u potpunosti kompatibilno s postojećom, komercijalnom i licenciranom tehnologijom izrade goriva. Konfiguracija jezgre istodobno omogućava i produljenje ciklusa povećanjem početne koncentracije fisionog materijala, ali i variranjem omjera moderacije.

Jezgra reaktora IRIS sastoji se od 89 gorivih elemenata (slika 5), a nešto je duža od jezgre NE Krško. Zasnovana je na standardnom Westinghouseovom rješenju za rešetku gorivog elementa 17x17. Aktivna visina gorivog elementa je 4.27 m, a sastoji se od 264 gorive šipke vanjskog promjera 9.5 mm. Središnja pozicija unutar gorivog elementa rezervirana je za instrumentaciju, a 24 pozicije predstavljaju vodilice kontrolnih šipki. Niska gustoća snage znatno povećava margine za termalno opterećenje šipki, omogućuje veću pogonsku fleksibilnost i produljeni ciklus. Početna konfiguracija jezgre predviđa maksimalno 4.95% obogaćenje  $\text{UO}_2$ , uz korištenje manje obogaćenog  $\text{UO}_2$  na periferiji jezgre. Kontrola reaktivnosti tijekom ciklusa ostvaruje se korištenjem sagorivih absorbera na bazi  $\text{Er}_2\text{O}_3$ , kontrolnih šipki kao i uz minimalnu koncentraciju bora u hladiodu. Niska koncentracija bora čini moderatorski temperaturni koeficijent još negativnijim čime se unaprjeđuje inherentno svojstvo kontrole reaktivnosti koje od-

**Tablica 3. Različite opcije ciklusa jezgre reaktora IRIS**

	Referentna jezgra	Moguća poboljšanja $UO_2$	Moguće korištenje MOX
Vrsta goriva	$UO_2 < 5\%$	$UO_2 > 5\%$	MOX $> 5\%$
Koncentracija fisioh izotopa	4.95%	~7 – 8%	~9 – 10%
Duljina ciklusa jezgre	~4 god.	~8 god.	~8 god.
Odnos koraka rešetke gorivog elementa i promjera šipke	1.4	1.45	1.7
Odnos volumena moderatora i volumena goriva	2.0	2.2	3.7

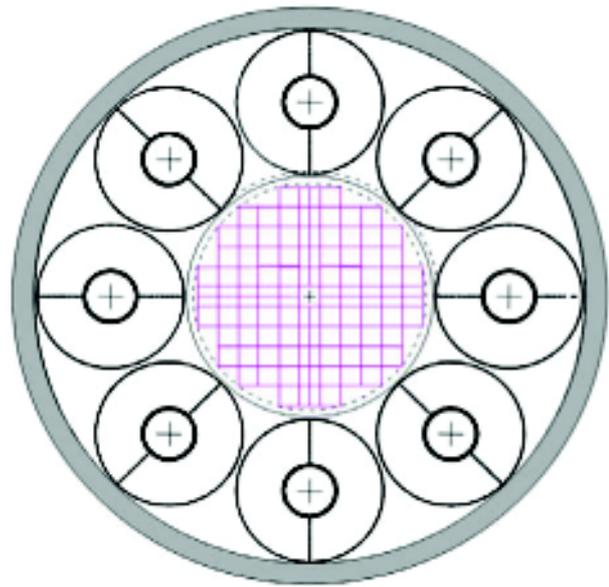
likuje jezgre tlakovodnih reaktora. Osim toga, novost u projektu jezgre je i korištenje čeličnog reflektora što poboljšava ekonomiju neutrona.

**Slika 5. Konfiguracije jezgre reaktora IRIS-a**

Početna jezgra predviđena je za 3 – 3,5 godišnji ciklus uz zamjenu polovice gorivih elemenata nakon tog perioda. Projektom je predviđena i mogućnost 4-godišnjeg ciklusa uz potpunu zamjenu svih gorivih elemenata, ali u tom slučaju bi ekonomija goriva bila nešto lošija.

## 2.5. Parogeneratori

IRIS koristi protočne parogeneratore s pregrijanom parom. Cjevi su helikoidalnog oblika [9] pri čemu je primarni hladioč izvan cijevi, a sekundarni u cijevima (za razliku od tipičnog tlakovodnog reaktora), pri čemu svaki modul ima 656 cijevi. Osam modula parogeneratora (125 MWt po modulu) smješteno je u prstenu između uzlaznog kanala (vanjskog promjera 2.85 m) i reaktorske posude (unutrašnjeg promjera 6.21 m), kao što je prikazano na slici 6.

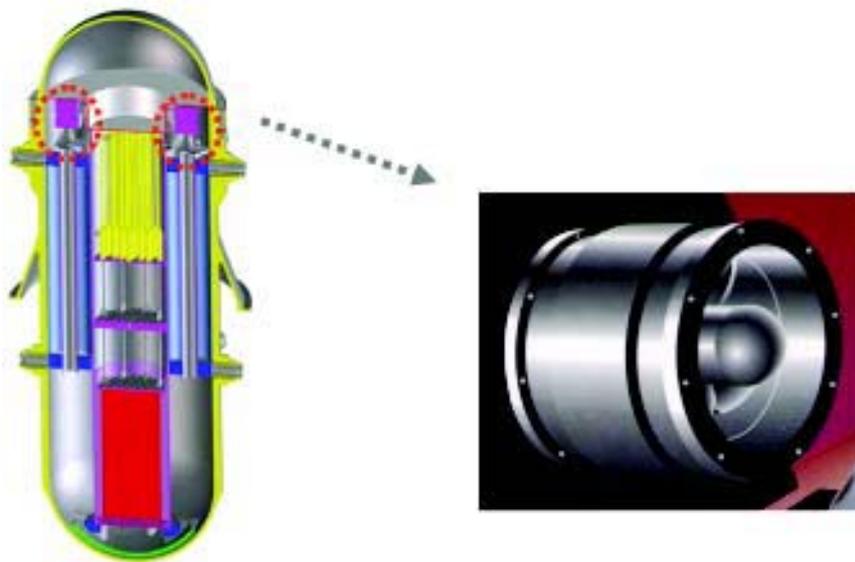
**Slika 6. Smještaj 8 parogeneratora**

## 2.6. Reaktorske pumpe

Pumpe reaktora IRIS su pumpe s aksijalnim protokom (pumpe propelerskog tipa) [10] kakve se koriste u kemijskim postrojenjima, na visokim temperaturama (do 500 °C), i imaju veliki protok ali mali porast tlaka. Motor i pumpa se sastoje od dva koncentrična cilindra, vanjski je stator a unutarnji rotor koji ima specifični imeler za pumpe velike brzine (slika 7). Pumpe su unutar posude reaktora potpuno potopljene u hladioč, jedino kablovi za napajanje pumpi ulaze kroz penetraciju na posudi. Ovakve pumpe nisu mogle biti korištene u nuklearnim postrojenjima s vanjskim cjevovodom rashladnog kruga zbog velikih padova tlaka u toj izvedbi, međutim integralna konfiguracija primarnog kruga IRIS-a predstavlja idealnu priliku za korištenje jedinstvenih karakteristika i prednosti ovih pumpi (jednostavnost, pouzdanost, minimalno održavanje).

## 2.7. Tlačnik

Smještaj tlačnika (slika 8) u gornju kalotu reaktorske posude IRIS-a [11] specifično je rješenje koje zna-



Slika 7. Reaktorske pumpe s aksijalnim protokom

čajno odstupa od standardnih rješenja za tlakovodne reaktore. Naime, u današnjim tlakovodnim reaktorima tlačnik je zasebna posuda spojena relativno dugačkim cjevovodom na toplu granu primarnog rashladnog kruga.

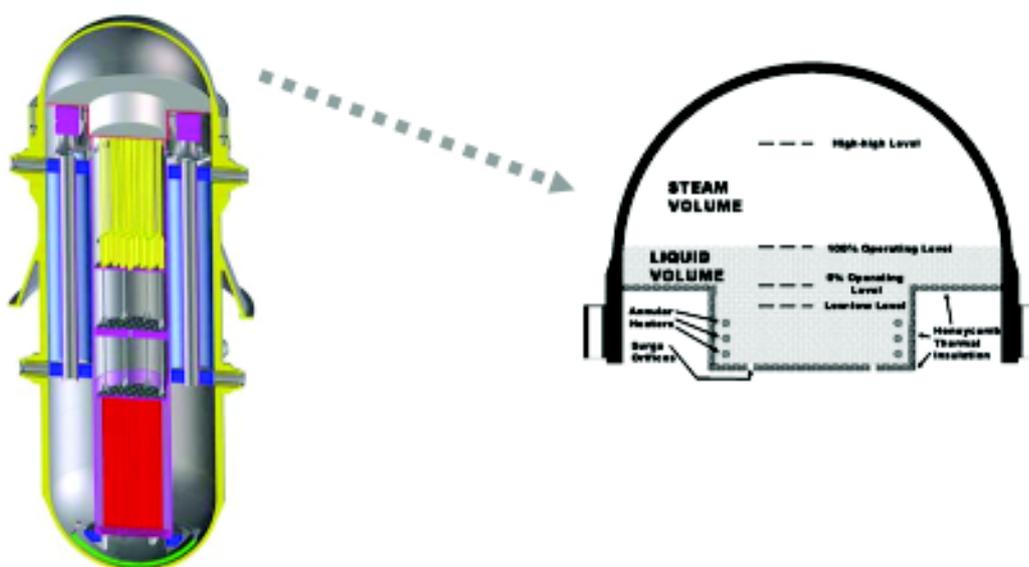
Korištenjem gornjeg prostora reaktorske posude za tlačnik dobiven je veliki volumen za vodu i paru tlačnika. Ukupni volumen tlačnika je 71 m<sup>3</sup>, od čega je parni dio 49 m<sup>3</sup>. Sposobnost ublažavanja tlačnih poremećaja razmjerna je odnosu volumena tlačnika i nominalne snage reaktora. Ovaj odnos je kod IRIS-a oko 4 puta “bolji” nego što je to slučaj za veće tlakovodne reaktore s vanjskim cjevovodom i tlačnikom. Pozitivna je strana inherentne regulacijske karakteristike i mo-

gućnost projektiranja sustava kontrole tlaka i bez potrebe za tuširanjem parnog prostora.

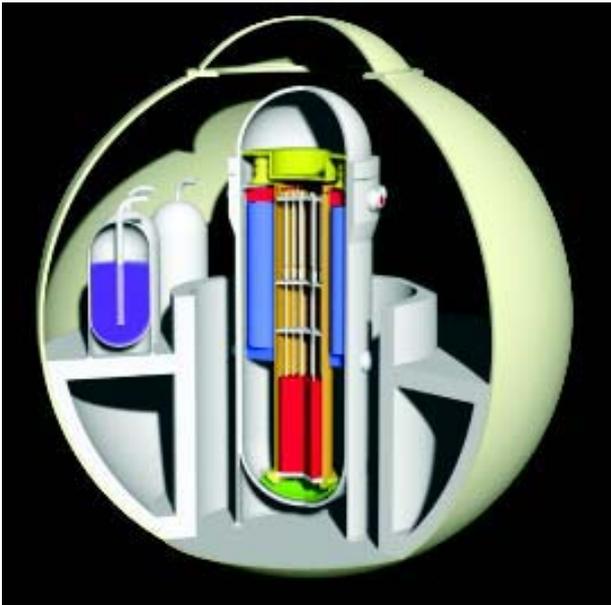
Smještaj tlačnika neposredno iznad usisa glavnih rashladnih pumpi zahtijeva dobru termičku izolaciju ove komponente od ostatka sustava budući da je prostor tlačnika na temperaturi zasićenja, dok je u ostatku reaktorske posude rashladni fluid podhlađen.

## 2.8. Kontejnment

IRIS koristi čelični kontejnment sferičnog oblika (slika 9) kompaktnih dimenzija (promjer 25 m). To omogućava izvedbu s relativno visokim dopuštenim maksimalnim tlakom (oko 1.3 MPa), što povoljno utječe na sigurnost.



Slika 8. Tlačnik



Slika 9. IRIS kontejnment

## 2.9. Optimizirano održavanje

Jedna od bitnih značajki IRIS reaktora je da može raditi s produženim gorivim ciklusom koji u referentnom projektu iznosi 3 do 4 godine. Da bi se ova prednost IRIS reaktora mogla iskoristiti potrebno je jednako produžiti i period redovnog održavanja, na 48 mjeseci, u usporedbi s uobičajenim ciklusom remonta svakih 18

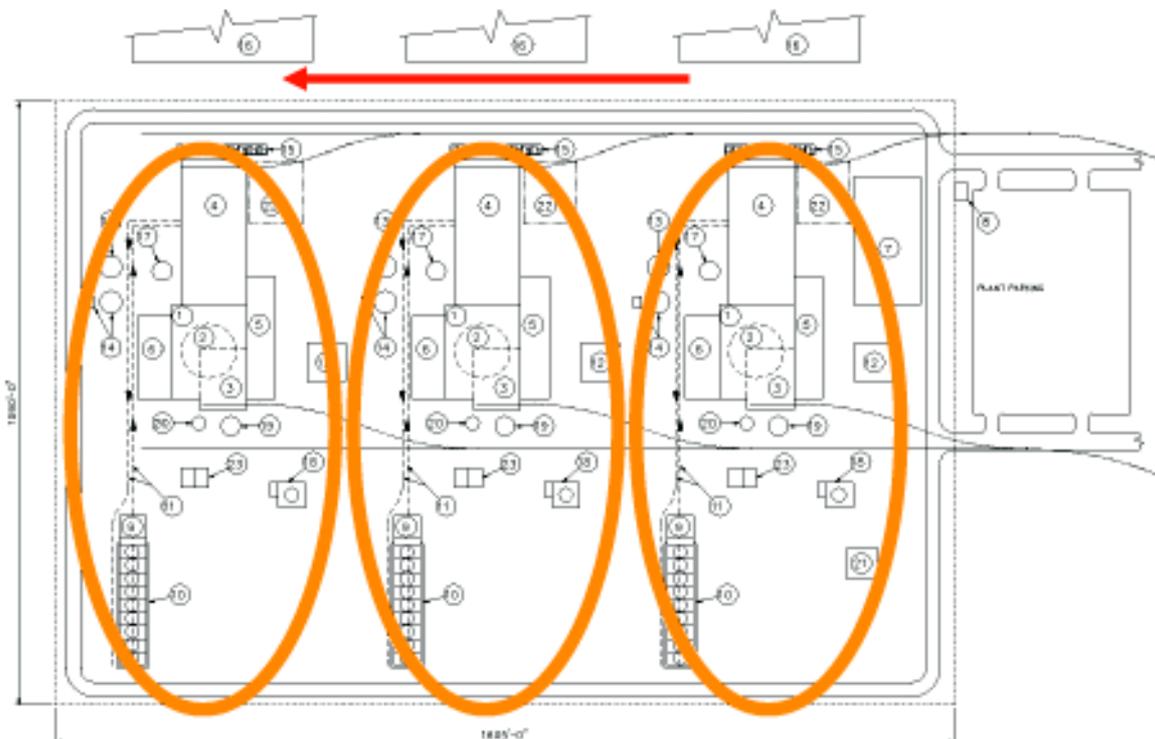
mjeseci. To će se postići komponentama koje ne zahtijevaju održavanje u periodu kraćem od 48 mjeseci ili će se testiranja i održavanja raditi tijekom pogona elektrane.

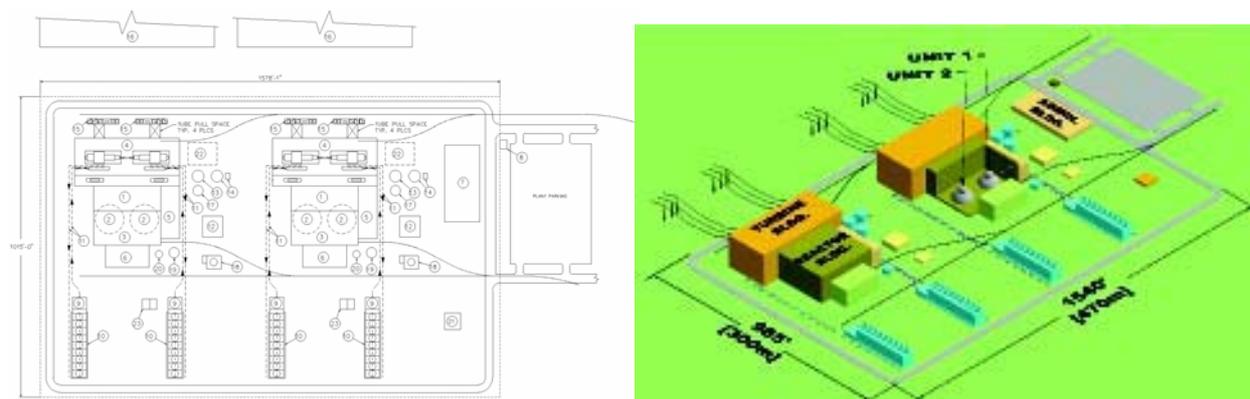
U prethodnoj studiji MIT-a za PWR reaktore [12] identificirane su i pojedinačno razmotrene 3743 stavke koje se moraju održavati, od toga 2537 tijekom remonta. Od ovih zadnjih 1858 mogu zadovoljiti zahtjev za ciklusom održavanja ne kraćim od 48 mjeseci, daljih 625 se može rekategorizirati za održavanje tijekom pogona (bez potrebe za zaustavljanjem), dok su ostale neriješene 54 stavke koje zahtijevaju period održavanja kraći od 48 mjeseci. Kod IRIS-a, zbog njegove pojednostavljene konstrukcije, većina od tih 54 stavki otpada, ali ipak preostaje 7 koje traže nova rješenja [13]. Ovdje se koriste velika iskustva u pogonu nuklearnih elektrana koje ima elektroprivreda *Tennessee Valley Authority* (članica IRIS konzorcijuma) te najnovije metode u dijagnosticiranju stanja opreme koje razvijaju drugi IRIS članovi, te su identificirana moguća rješenja za preostalih 7 stavki [14].

Uz četverogodišnji remontni period IRIS će osjetno smanjiti varijabilne troškove pogona te će ujedno zadovoljiti visoki zahtjev za prosječni faktor opterećenja elektrane od 95%.

## 2.10. Modularna izvedba i prostorni raspored objekata na lokaciji elektrane

Modularna izvedba IRIS-a omogućava postupno dodavanje pojedinih samostalnih ili višestrukih jedinica (sva-

Slika 10. Prostorni raspored objekata elektrane u izvedbi s više jednostrukih jedinica (prikazano ukupno  $3 \times 335 = 1005 \text{ MWe}$ )



**Slika 11. Prostorni raspored objekata elektrane u izvedbi s više dvostrukih jedinica (prikazano ukupno 2x2x335 MWe = 1340MWe)**

ka snage 335 MWe) na lokaciji elektrane. Da bi se zadovoljio raspon zahtjeva svjetskog tržišta, razvijene su dvije varijante rasporeda objekata na lokaciji elektrane, te identificirani odgovarajući zahtjevi. Prva opcija, prikazana na slici 10, sastoji se od više samostalnih jedinica, dok slika 11 ilustrira drugu opciju, raspored baziran na dvostrukim jedinicama.

U prvoj opciji, svaka je jedinica potpuno samostalna, tj. nema zajedničkih zgrada niti sustava. Izvedba se odvija u nizu, jedinicu po jedinicu, pri čemu svaka jedinica započinje proizvodnju električne energije (a time počinje i donositi prihod) odmah po dovršenju, nezavisno od sljedeće jedinice koja još može biti u izgradnji.

U drugoj opciji, dvostruke bi se jedinice sastojale od dva IRIS reaktora (2x335 MWe) s pripadnom turbinom i generatorom, kondezatorom i sustavom pojne vode u zajedničkoj turbinskoj zgradi. U ovakvoj kombinaciji dvostruke jedinice imale bi i mnogo zajedničkih sustava, funkcija i dijelova postrojenja kao na primjer: uređaji za izmjenu goriva, bazen za odgoreno gorivo, obrada radioaktivnog otpada, itd. Dvostruke jedinice dijele kontrolnu sobu, ali imaju odvojene sigurnosne i zaštitne sustave. Ovim se pristupom želi smanjiti troškove i vrijeme izgradnje, no on također zahtijeva da se novi kapaciteti grade i dodaju u koracima od 670 MWe. Dvostruke jedinice testiraju se zajednički te nakon toga idu u pogon dok se na istoj lokaciji mogu graditi nove jedinice.

Očekuje se da bi elektroenergetskom sustavu Hrvatske više pogodovalo postupno dodavanje pojedinih jedinica. Implikacije na financiranje dodatno su razmotrene u sekciji 4.

### 3. SIGURNOST REAKTORA IRIS

#### 3.1. IRIS pristup – projektom ostvarena sigurnost

Nuklearne elektrane koje su danas u pogonu (Generacija-II, slika 1) zasnivaju se na principu tzv. obrane po

dubini, koja aktivnim sigurnosnim sustavima štiti višestruke barijere koje su projektom uspostavljene kako bi se onemogućio ispušt radioaktivnosti u okoliš. Barijere su pri tome zaštićene nezavisnim aktivnim sigurnosnim sustavima.

Sigurnost IRIS reaktora [6] poboljšava obranu po dubini i uključuje tri glavna nivoa:

1. Prvi nivo je princip „projektom ostvarene sigurnosti“ („safety-by-design“™), kojem je cilj ukloniti mogućnost da dođe do akcidenta, umjesto potrebe razrješavanja posljedica.
2. Drugi nivo predstavljaju pasivni pojednostavljeni sigurnosni sustavi, koji osiguravaju zaštitu od preostalih akcidenata i uklanjaju ili ublažuju njihove posljedice.
3. Treći nivo čine aktivni sustavi, koji nisu sigurnosne kategorije i njihov doprinos se ne uzima u obzir u determinističkim sigurnosnim analizama, ali mogu doprinijeti smanjenju procijenjene učestalosti oštećenja jezgre (CDF, *Core Damage Frequency*).

#### *Prvi nivo sigurnosti*

Sve nuklearne elektrane razmatraju niz hipotetičnih akcidenata. Kod IRIS-a, projektom ostvarena sigurnost („safety-by-design“™) predstavlja princip projektiranja nuklearne elektrane pri čemu se:

- fizički eliminira mogućnost pojave niza akcidenata (pa time automatski otpada i potreba za onim sigurnosnim sustavima koji bi sprječavali posljedice tih akcidenata),
- umanjuje vjerojatnost pojave većine preostalih akcidentalnih scenarija karakterističnih za “standardne” tlakovodne reaktore, i
- značajno smanjuju posljedice vjerojatnih akcidentalnih scenarija.

Integralna konfiguracija pogoduje primjeni projektom ostvarene sigurnosti, npr. primarni rashladni krug unutar reaktorske posude eliminira mogućnost pojave velike izljevne nezgode jer su sve penetracije na posudi

znatno manjeg promjera od glavnih cjevovoda “standardnih” tlakovodnih elektrana. Velika količina vode koja se nalazi unutar posude IRIS reaktora ujedno ga čini i “toplinski” inertnim te je vrijeme potrebno da se zagrije ili ohladi hladio nakon pojave akcidenta znatno produženo u odnosu na današnje reaktore. Time je omogućeno da sigurnosni sustavi preuzmu svoju funkciju i prije nego što posljedice postanu ozbiljne. Također, integralnom izvedbom znatno je smanjen pad tlaka unutar primarnog cirkulacijskog kruga, te uz veliku razliku visina između izvora (jezgra) i ponora topline (parogenerator) omogućava razvoj snažne prirodne cirkulacije nakon ispada cirkulacijskih pumpi iz pogona. Smještanjem čak osam parogeneratorskih i cirkulacijskih pumpi unutar posude postignuta je visoka redundancija te značajno smanjene posljedice ispada bilo koje od tih komponenata. Time su umanjene posljedice svih akcidenata u kojima dolazi do gubitka prisilne cirkulacije, npr. gubitak ili zaglavljivanje rotora cirkulacijske pumpe. Helikoidna izvedba parogeneratora smješta primarno rashladno sredstvo u anulus parogeneratora, a sekundarno unutar cijevi, pa je time ostvaren pritisak na unutrašnjost cijevi (što znači da bi u slučaju pucaanja cijev “implodirala” i bitno reducirala gubitak kroz mjesto loma).

Primarni cjevovodi, vanjske pumpe i zasebne posude tlačnika i parogeneratora u potpunosti su eliminirani, čime je omogućen smještaj reaktora u mali, kompaktni kontejnment koji se zbog svoje veličine može uspješno projektirati za znatno viša post-akcidentalna tlačna opterećenja od posuda današnjih tlakovodnih reaktora.

Tablica 4 prikazuje najznačajnija poboljšanja IRIS reaktora slijedom pristupa projektom ostvarene sigurnosti i principa inherentne sigurnosti.

Ukoliko pojavu određenog akcidenta nije moguće u potpunosti eliminirati, projektom se nastoji njegove posljedice smanjiti inherentnim svojstvima reaktora, kao i korištenjem pasivnih sigurnosnih sustava. Pri tom se inherentno sigurnim reaktorskim postrojenjem smatra ono kod kojeg osiguranje zaštitnih barijera (jezgre i kontejnmenta prije svega) ne ovisi o električki pokretanim komponentama, nego o djelovanju uvijek prisutnih prirodnih sila (kao što je gravitacija, odnosno uzgon), uskladištenoj energiji (komprimirani plin, akumulatorske baterije) i pasivnim mehaničkim komponentama (nepovratni ventili). Kod standardne izvedbe tlakovodnog reaktora (Generacija II) također je moguće hlađenje jezgre prirodnom cirkulacijom. Međutim, kod današnjih nuklearnih elektrana nije moguće kroz dulji

**Tablica 4. Implementacija projektom uvjetovane sigurnosti IRIS reaktora**

Projektna osobitost	Utjecaj na sigurnost	Relevantni akcident	Posljedice
Integralna izvedba	Eliminacija vanjskih cjevovoda većeg promjera	velika izljevna nezgoda	Onemogućene
Visoka posuda s uzdignutim parogeneratorima	smještaj pogonskog mehanizma kontrolnih šipki unutar posude	Dodavanje reaktivnosti izbacivanjem šipki	Onemogućene
	Poboljšana prirodna cirkulacija	Svi akcidenti s gubitkom prisilne cirkulacije	Ublažene, eliminiran zahtjev za visokom inercijom pumpi
Nizak pad tlaka u rashladnom krugu, 8 cirkulacijskih pumpi	Protok kroz jezgru održava prijenos topline iznad krize ključanja u slučaju ispada cirkulacijske pumpe	Gubitak prisilne cirkulacije (npr., zaglavljivanje rotora ili lom osovine)	Onemogućen lom osovine, ublažene posljedice zaglavljivanja rotora
Velika masa vode unutar posude	Usporava prijelazne pojave i održava poplavljenost jezgre	Mala i srednja izljevna nezgoda	Jezgra poplavljena i bez ubrizgavanja sustava za zaštitno hlađenje
Kompaktni kontejnment visokog projektnog tlaka	Smanjen potencijal za gubitak rashladnog sredstva		
Prijenos topline unutar posude			
Parogenerator i pripadajući cjevovodi projektirani na primarni tlak	Primarno rashladno sredstvo ne ugrožava projektni tlak sekundarne strane	Lom cijevi parogeneratora	Ublažene, pojednostavljena procedura za saniranje akcidenta
	Eliminirana potreba za rasteretnim ventilima	Lomovi cjevovoda pojne vode i parovoda	Ublažene, smanjena vjerojatnost akcidenta
Protočni parogeneratori	Mali inventar sekundarne strane		
Produženi ciklus jezgre	Manipulacije gorivim elementima smanjene	Akcidenti zamjene goriva	Smanjena vjerojatnost akcidenta

vremenski period održati hlađenje jezgre prirodnom cirkulacijom fluida kao ni mogućnost odvođenja ostatne topline jezgre ako je izgubljena funkcija parogenerato-  
ra.

Kao rezultat tog sustavnog pristupa, od osam projek-  
tom predviđenih kvarova četvrte kategorije (“class IV  
design basis events”), tj. onih kvarova koji potencijal-  
no mogu dovesti do najtežih posljedica, samo jedan  
ostaje u četvrtoj kategoriji za IRIS, dok je drugih se-  
dam ili uklonjeno, ili su vjerojatnost i posljedice akci-  
denta smanjene do te mjere da se mogu premjestiti u  
“nižu” kategoriju.

#### *Drugi nivo sigurnosti*

Uklanjanje mogućnosti pojave dijela akcidenata omo-  
gućava pojednostavljenje sigurnosnih sustava i projek-  
ta IRIS-a, što istodobno rezultira poboljšanjem si-  
gurnosti, pouzdanosti i ekonomičnosti. Drugim riječi-  
ma, poboljšanje sigurnosti i ekonomičnosti nisu suprot-  
ni ciljevi kao kod elektrana s aktivnim sigurnosnim sus-  
tavima, nego naprotiv, idu zajedno i podržavaju jedan  
drugoga u IRIS-u.

#### *Treći nivo sigurnosti*

Već u ranoj fazi projektiranja korištene su PRA analize  
(probablističke analize sigurnosti) da bi se identifi-  
cirale potencijalno slabe točke i ukazalo na moguća  
poboljšanja sa stanovišta sigurnosti. PRA je rezultirao  
u modifikacijama nekih reaktorskih sustava i njihove  
povezanosti, što je dovelo do smanjenja procijenjene  
učestalosti oštećenja jezgre. Nakon tih modifikacija,  
preliminarna PRA analiza tzv. “level 1” (akcidenti  
uzrokovani unutrašnjim događajima) procijenila je  
smanjenje CDF na približno  $2 \times 10^{-8}$ /god [15], bar jedan  
red veličine niže nego u naprednim lakovodnim reak-  
torima. Uslijedila je analiza procjene učestalosti ispu-  
štanja radioaktivnosti brzo nakon hipotetičkog akciden-  
ta (LERF, Large Early Release Frequency) koja je tako-  
đer rezultirala u vrlo niskoj vrijednosti oko  $6 \times 10^{-10}$ /god  
[16], opet bar red veličine bolje od naprednih LWRs s

vanjskim primarnim krugom, a više redova veličine  
bolje nego u današnjim LWRs.

Treba napomenuti da su i današnje nuklearne elektrane  
izuzetno pouzdane i sigurna postrojenja, no impresivne  
sigurnosne karakteristike IRIS-a, sažete u tablici 5,  
mogu doprinijeti novom načinu licenciranja sa znatnim  
društveno-ekonomskim prednostima.

Naime, kao prvi korak, poboljšana obrana po dubini  
zahvaljujući projektom ostvarenoj sigurnosti te elimi-  
nacija ili smanjenje posljedica akcidenata četvrte kate-  
gorije (preostao svega jedan od osam) u kombinaciji sa  
poboljšanjem za jedan ili više redova veličine za CDF i  
LERF, te ocjena projekta na bazi procjene rizika («risk-  
informed licensing») mogu omogućiti IRIS-u licen-  
ciranje pri čemu bi potreba za planiranjem evakuacije  
izvan kruga elektrane bila uklonjena, čak i u slučaju  
veće nezgode.

Ovaj cilj postavljen je i od IAEA kao jedan od osnovnih  
zahtjeva za napredne reaktore [17], a imao bi značajan  
pozitivan socio-ekonomski učinak. Ekonomski, postao  
bi prihvatljiv širi izbor lokacija s obzirom na smanjene  
zahtjeve planiranja hitne evakuacije, smanjili bi se troš-  
kovi kako planiranja tako i fizičke pripreme lokacije.  
Elektrana bi mogla biti smještena bliže urbanim sredi-  
nima i tako smanjiti troškove transmisije i omogućiti  
efikasnu ko-generaciju (grijanje, topla voda, procesna  
para).

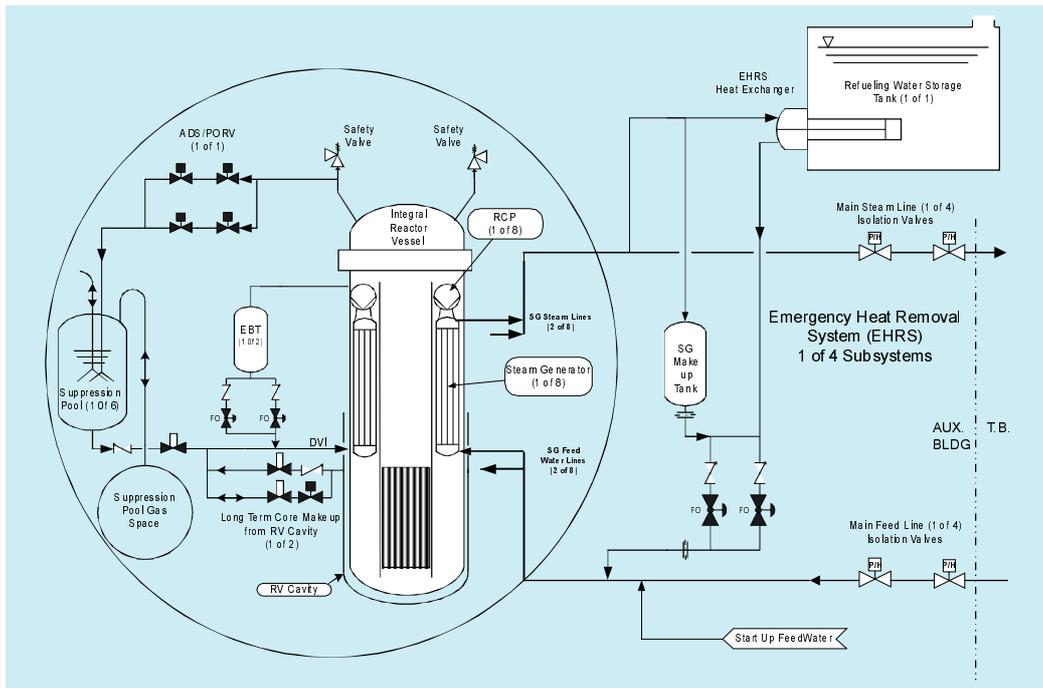
### **3.2. Sigurnosni sustavi**

Slika 12 prikazuje shematski sigurnosni sustav reakto-  
ra IRIS [6]. Visoki stupanj integriranosti zaštitne (kon-  
tejnmenta) i reaktorske posude bio je osnovica za pro-  
jektiranje sigurnosnih sustava.

S obzirom na zaštitne i sigurnosne funkcije, za sigu-  
ran je pogon reaktora najvažnije osigurati pravodobnu  
obustavu lančane reakcije te potom kontinuirano  
odvođenje ostatne topline u akcidentalnim uvjetima.  
Stoga su tradicionalno najvažniji sigurnosni sustavi:  
sustav za obustavu reaktora i sustav za hlađenje jezgre  
u nuždi.

**Tablica 5. Sigurnosne karakteristike IRIS**

Karakteristika – kriterij	Napredni lakovodni reaktori	IRIS
Obrana po dubini (Defense-in-Depth, DID)	Pasivni sustavi, aktivni sustavi	Dodan jedan nivo zaštite, eliminacija inicijatora akcidenata
Događaj (Design Basis Events) četvrte kategorije	Tipično se razmatra 8 ovakvih akcidenata	Svega jedan preostaje četvrte kategorije (akcident pri rukovanju gorivom)
Učestalost oštećenja jezgre (Core Damage Frequency, CDF)	$\sim 10^{-6}$ — $10^{-7}$ /year	$\sim 10^{-8}$ /year
Učestalost ranog ispuštanja veće količine radioaktivnosti (Large Early Release Frequency, LERF)	$\sim 10^{-6}$ — $10^{-8}$ /year	$\sim 10^{-9}$ /year



Slika 12. Sigurnosni sustavi reaktora IRIS

Sustav za hlađenje u nuždi reaktora IRIS bitno se razlikuje od rješenja koja su prisutna u "standardnim" tlakovodnim reaktorima. Naime, inherentna sigurnosna svojstva omogućila su projektiranje bitno pojednostavljenog pasivnog sustava za hlađenje jezgre u nuždi. Hlađenje reaktora IRIS u slučaju nužde predviđeno je posrednim putem korištenjem sekundarnog rashladnog kruga. Sustav za hlađenje u slučaju nužde (EHRS – Emergency Heat Removal System) spojen je na cjevovode sekundarnog rashladnog kruga, (slika 12). Na svaki par cjevovoda (pojne vode i parovoda) spojen je po jedan izmjenjivač topline, odnosno kondenzator, budući da se očekuje da će u njemu kondenzirati para stvorena na parogeneratorima. Sva 4 izmjenjivača topline smještena su u vanjski bazen koji se nalazi 10-ak m iznad izlaza parovoda iz parogeneratora. Takvim je smještajem stvoren rashladni krug u kojem je ponor topline (vanjski bazen) dovoljno uzdignut iznad izvora topline (u ovom slučaju parogeneratora koji posredno hladi jezgru) za održavanje prirodne cirkulacije te se sustav i stoga smatra "pasivnim".

Brza obustava reaktora odvija se u "standardnim" tlakovodnim reaktorima, ali i IRIS-u, uranjanjem kontrolnih i zaustavnih sklopova šipki u jezgru. Sustav za boriranje jezgre u nuždi neophodna je rezerva funkciji obustave lančane reakcije. Zadatak je sustava za boriranje jezgre u slučaju nužde sprječavanje posljedica tranzijenata prekomjernog hlađenja kod kojih bi moglo doći do povrata na snagu te kao rezervnog sustava u slučaju akcidenata u kojim dolazi do otkazivanja sustava za brzu obustavu. Projektom su predviđena dva nezavisna spremnika izvan reaktorske posude koji su odvojenim cjevovodima spojeni na kolektore za direkt-

no ubrizgavanje u reaktorsku posudu (DVI – Direct Vessel Injection). Kolektori su spojeni na silazni kanal reaktorske posude i dno anulusa za smještaj parogeneratora čime se omogućava injekcija borirane vode u jezgru. Spremnici su cjevovodima također spojeni s gornje strane na vrh uzlaznog kanala čime se omogućava konstantna recirkulacija tijekom faze ubrizgavanja. Naime, stupac vode u spremnicima silom gravitacije stvara dostatnu razliku tlaka za ubrizgavanje borirane vode u silazni kanal jer je dno spremnika otprilike 7 m iznad vrha silaznog kanala. Sustav je tijekom normalnog pogona izoliran ventilima koji se otvaraju na signal sigurnosnog sustava.

Bazeni za redukciju tlaka smanjuju ekscurzije tlaka unutar kontejnmenta nakon većih ispuštanja, ali također služe i kao rezervni izvori rashladnog sredstva za nadopunu reaktorske posude. Budući da se nalaze visoko iznad jezgre reaktora, u slučaju kada se kontejnment i primarni rashladni krug nađu na istom tlaku, npr. u slučaju izljevne nezgode, moguće je samo silom gravitacije iz njih slijevati rashladno sredstvo u jezgru.

Preliminarna razmatranja ukazuju da bi projektna rješenja IRIS-a praktično mogla eliminirati cijelu klasu hipotetičkih projektnih akcidenata koji za posljedicu mogu imati djelomično oštećenje gorivih elemenata. U slučaju, npr. male izljevne nezgode (Small Break LOCA) prema preliminarnim analizama provedenim na FER-u uopće ne dolazi do kratkotrajnog pregrijanja jezgre. Upravo na primjeru male izljevne nezgode moguće je iščitati sve prednosti inovativnog pristupa sigurnosti kakav je korišten prilikom projektiranja IRIS reaktora. Posuda IRIS reaktora termodinamički je vezana s kompaktnim visokotlačnim kontejnmentom. Izjednačava-

njem tlaka unutar posude i kontejnmenta prestaje gubitak hladioca, a kako se ostatna toplina uklanja putem EHRS-a, tlak reaktora se snižava i ispod tlaka kontejnmenta pa dolazi i do reverzije protoka, tj. popunjavanja posude iz kontejnmenta. Osim toga i hladioc koji se kondenzira u bazenima za redukciju tlaka kontejnmenta koristi se za poplavljanje bazena za smještaj reaktorske posude. Upravo tim karakteristikama omogućena je dugotrajna (nekoliko dana ili tjedana) poplavljenost jezgre (i samim time njezino hlađenje) bez potrebe za bilo kakvim korektivnim postupcima osoblja elektrane.

### 3.3. Licenciranje

Najvažniji prioritet projekta je postupak predlicenciranja koji je trenutačno u postupku pred U.S. NRC [18]. Ovaj postupak započet je krajem 2002. g. s planiranim trajanjem približno do kraja 2005. g., a usredotočen je na dva područja:

1. NRC ocjena plana testiranja, kojem je cilj da istraži specifične aspekte integralne konfiguracije IRIS-a, da potvrdi performanse novih komponenti (npr., aksijalnih pumpi i unutrašnjeg mehanizma kontrolnih

šipki), ispita njihovo međudjelovanje, te potvrdi valjanost analitičkih metoda i njihovu sposobnost da točno predvide odziv IRIS-a na očekivane tranzijente i akcidentne sekvence.

2. NRC ocjena IRIS-ovog pristupa s ciljem poboljšanog i proširenog licenciranja, npr. takvog koje bi omogućilo prethodno spomenuto eliminiranje zahtjeva za hitnu evakuaciju izvan kruga elektrane.

Licenciranje bez potrebe za planom evakuacije izvan kruga elektrane zahtijeva razradu i proširenje trenutačnog zakonodavstva. U SAD, IRIS istražuje moguće pristupe u okviru postupka predlicenciranja s U.S. NRC, koji je trenutačno u toku, s planiranim dovršenjem do kraja 2005. g. ili početka 2006. g., a također su uspostavljani kontakti s IAEA za suradnju na ovom području.

### 4. EKONOMIJA I PERSPEKTIVE PRIMJENE

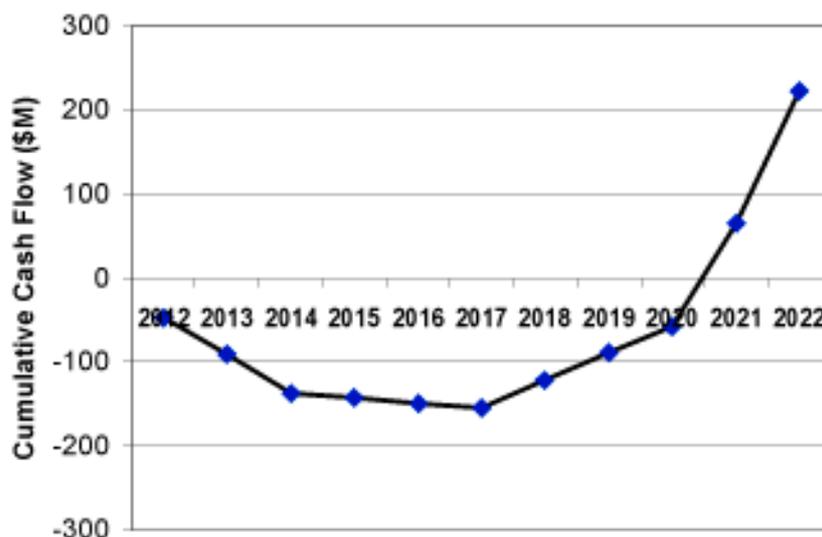
Ekonomija malih i srednjih modularnih reaktorskih sustava sadrži dosta neodređenosti s obzirom na ograničenu bazu podataka, odnosno prethodna iskustva iz prakse. Konvencionalno načelo da veća jedinica znači nižu jediničnu cijenu kada je riječ o modularnim jedinicama

Tablica 6. Vremenski plan izgradnje elektrane s 3 IRIS modula

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Modul 1	*			✓						
Modul 2				*			✓			
Modul 3							*			✓

\* početak gradnje

✓ prva godina pogona



Slika 13. Kumulativni protok kapitala za elektranu od 1000 MWe ukupne instalirane snage, s 3 IRIS modula. (Vrijeme izgradnje 3 godine, pomak između jedinica 3 godine, kamate za 100% financiranje duga uzete u obzir)

ne može se u potpunosti primijeniti. Cilj IRIS-a je da do maksimuma iskoristi prednosti modularnosti, uključujući serijsku proizvodnju komponenti, izgradnju identičnih modula, kratko vrijeme izgradnje (planirano vrijeme izgradnje za prvi IRIS reaktor je ispod 5 godina, a 36 mjeseci za iduće), optimizirano održavanje (smanjen broj osoblja), smanjenu potrebu za infrastrukturom, jednostavna konačna razgradnja, visoku pouzdanost, te smanjen financijski rizik.

Ocjena ekonomičnosti provedena "top-down" metodom rezultirala je u procjeni koštanja proizvedene električne energije od 3.2 – 3.4 ¢/kWh (uključujući troškove izgradnje i financiranja, odlaganja istrošenog goriva, kao i troškove konačne razgradnje), čime bi IRIS bio potpuno kompetitivan drugim izvorima električne energije u svim regijama svijeta [19].

Naročito za manje elektroenergetske sustave kao i za zemlje s ograničenim investicijskim kapitalom, modularnost odnosno manje pojedinačne jedinice imaju prednost u manjem finacijskom opterećenju. U tablici 6. dan je kao primjer vremenski plan modularne gradnje 3 IRIS reaktora ukupne instalirane snage 1005 MWe uz pretpostavku minimalnog zaduživanja. Izgradnja se provodi s pomakom od tri godine između jedinica, tako da svaka dovršena jedinica ulazi u pogon i počinje donošati prihod istodobno s početkom izgradnje (i financiranja) iduće jedinice. To znatno smanjuje potrebe za financiranjem i poboljšava protok kapitala, te smanjuje ukupni financijski rizik. Kao što je prikazano na slici 13, ukupni kumulativni protok kapitala (tj. maksimalna zaduženost) u ovom slučaju ne prelazi \$160M, iznos koji je prihvatljiv i dohvatljiv čak i za tržišta u razvoju s vrlo ograničenim sredstvima za investicije.

## 5. ZAKLJUČAK

IRIS je napredni modularni reaktor srednje snage i integralne konfiguracije, koji uvodi mnoga inovativna rješenja, no pritom ostaje čvrsto baziran na dokazanoj tehnologiji tlakovodnih reaktora. Njegove izvanredne sigurnosne karakteristike, ostvarene su dosljednom primjenom principa projektom ostvarene sigurnosti (safety-by-design™), što može omogućiti i poboljšano licenciranje sa znatnim socio-ekonomskim prednostima. Pojednostavljeni dizajn, optimizirano održavanje i pogon te modularna izvedba doprinose smanjenju troškova izgradnje, proizvodnje energije, kao i zahtjeva za infrastrukturu.

IRIS Konzorcij, kroz svoj oblik međunarodnog partnerstva, nudi jedinstvenu priliku zemljama zainteresiranim za uvođenje naprednih reaktora, da sudjeluju u razvoju IRIS-a i po potrebi prilagode projekt svojim specifičnim potrebama. On omogućava zajednički udio te smanjenje troškova razvoja, kao i troškova izvedbe kroz serijsku proizvodnju komponenti.

Plan IRIS-a da bude spreman za izgradnju u periodu od 2012. – 2015. god. poklapa se sa zahtjevima onih zema-

lja koje očekuje nedostatak energije u idućem desetljeću. Procijenjeni trošak proizvodnje električne energije čini IRIS potpuno kompetitivnim drugim izvorima energije, dok njegova modularnost omogućava postupno dodavanje novih kapaciteta uvođenjem bilo jednostrukih jedinica (335 MWe) ili dvostrukih jedinica (670 MWe). Postupno uvođenje novih jedinica povezano s kratkim vremenom izgradnje omogućava poboljšani protok kapitala i smanjuje ukupno zaduženje do nivoa prihvatljivog čak i za vrlo ograničena raspoloživa financijska sredstva (reda veličine \$ 160 M za elektranu instalirane snage 1000 MWe, kao što je prethodno ilustrirano).

Može se zaključiti da je IRIS idealan za zemlje-elektroprivrede s ograničenim mogućnostima financiranja, kao i za manje elektroenergetske sustave koji zahtijevaju postupno dodavanje novih kapaciteta tijekom idućeg desetljeća.

## LITERATURA

- [1] World list of nuclear power plants, *Nuclear News*, 47, No. 3 (March 2004), pp. 35-60
- [2] DOE, Annual Energy Review. DOE Energy Information Agency, DOE-EIA-0384, 2004
- [3] DOE, A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. U.S. Department of Energy, GIF-02-00, December 2002
- [4] M. D. CARELLI, IRIS: "A global approach to nuclear power renaissance", *Nuclear News*, 46, No. 10 (Sep. 2003), pp. 32-42
- [5] B. PETROVIC, M. D. CARELLI, "IRIS Project Update: Status of Design and Licensing Activities," *Proc 5<sup>th</sup> Intl. Conf. on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids*, Dubrovnik, Croatia, May 16-20, 2004.
- [6] M. D. CARELLI, et al., "The Design and Safety Features of the IRIS Reactor", *Nucl. Eng. Design*, 230, (2004), pp. 151-167
- [7] J. M. COLLADO, 2003. "Design of the Reactor Pressure Vessel and Internals of the IRIS Integrated Nuclear System", *Proc. Int. Congress on Advances in Nuclear Power Plants ICAPP '03*, Cordoba, Spain, May 4-7, 2003.
- [8] B. PETROVIC, F. FRANCESCHINI, Fuel Management Approach in IRIS Reactor, *Proc. LAS-ANS Intl. Conf.*, Cancun, Mexico, July 11-16, 2004. (Invited)
- [9] L. CINOTTI, M. BRUZZONE, N. MEDA, G. CORSINI, L. E. CONWAY, C. LOMBARDI and M. E. RICOTTI, 2002. "Steam Generator of the International Reactor Innovative and Secure," *Proc. 10th Int. Conf. on Nuclear Engineering ICONE-10*, Arlington, USA, April 14-18, 2002.
- [10] J. M. KUJAWSKI, D. M. KITCH and L. E. CONWAY, 2002. "The IRIS Spool-type Reactor Coolant Pump", *Proc. 10th Int. Conf. on Nuclear Engineering ICONE-10*, Arlington, USA, April 14-18, 2002.
- [11] A. C. O. BARROSO, B. D. BAPTISTA, F. I. D. ARONE, L. A. MACEDO, P. A. B. SAMPAIO and M. MORAES, 2003. "IRIS Pressurizer Design", *Proc. Int. Congress on Advances in Nuclear Power Plants ICAPP '03*, Cordoba, Spain, May 4-7, 2003.

- [12] R. S. McHENRY, T. J. MOORE, J. H. MAURER and N. E. TODREAS, 1997. "Surveillance Strategy for an Extended Operating Cycle in Commercial Nuclear Reactors", *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Topical Meeting on Nuclear Thermal Hydraulics, Operations and Safety NUTHOS-5*, Beijing, China, April 1997.
- [13] M. GALVIN, N. E. TODREAS and L. E. CONWAY, 2003. "Maintenance Cycle Extension in the IRIS Advanced Light Water Reactor Plant Design." *Nucl. Technol.*, Sep. 2003, to appear.
- [14] R. BOROUGHS, J. WILSON, W. EBERLY, J. McCLANAHAN and G. BOLES, 2003. "Enabling 48-Month Maintenance Intervals in IRIS", *Proc. GENES4/ANP2003*, Kyoto, Japan, Sep. 15-19, 2003.
- [15] D. FINNICUM, A. MAIOLI, Y. MIZUNO, J. VIAIS, G. MENDOZA, G. ALONSO, "IRIS Preliminary PRA Analysis", *Proc. GLOBAL 2003*, New Orleans, LA, USA, November 16-20, 2003
- [16] A. MAIOLI, D. J. FINNICUM, and Y. KUMUAGAI, "IRIS Simplified LERF Model", *Proc. of ANES 2004 Conference*, Miami, FL, October 3-6, 2004
- [17] International Atomic Energy Agency (IAEA), Guidance for the Evaluation of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles. Report of Phase 1A of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO), IAEA-TECDOC-1362, June 2003
- [18] NRC, 2002. Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants. Regulatory Guide *NUREG-0800*, Rev. 02/2002.
- [19] K. MILLER, "IRIS Economics: A Sensitivity Review", *Proc. GLOBAL 2003*, New Orleans, LA, USA, November 16-20, 2003

### **IRIS – ADVANCED INTEGRAL NUCLEAR REACTOR WITH MODULAR CONSTRUCTION**

Main characteristics of the IRIS reactor (International Reactor Innovative and Secure) are presented in this paper. IRIS is an integral, modular, medium power (335 MWe) light water reactor. The IRIS design is being developed by an international consortium led by Westinghouse Electric Co. that includes over twenty organizations from ten countries. The primary objective of this project is to develop a safe, reliable and economical small-to-medium-power reactor. The paper describes the integral reactor vessel that beside the reactor core, moderator, control rods and neutron reflector also incorporates steam generators, reactor coolant pumps, control rod drive mechanisms and the pressurizer. The unique IRIS safety characteristics, achieved through its "safety-by-design" approach, have made it possible to employ simpler and smaller passive safety systems.

The improved safety and reliability, combined with the possibility of sequential construction of new units and incremental addition of new generating capacity, requiring relatively modest financial resources, make IRIS particularly attractive for smaller electricity grids.

### **IRIS – DER FORTGESCHRITTENE INTEGRALE ATOMKERNREAKTOR IN MODULARAUSFÜHRUNG**

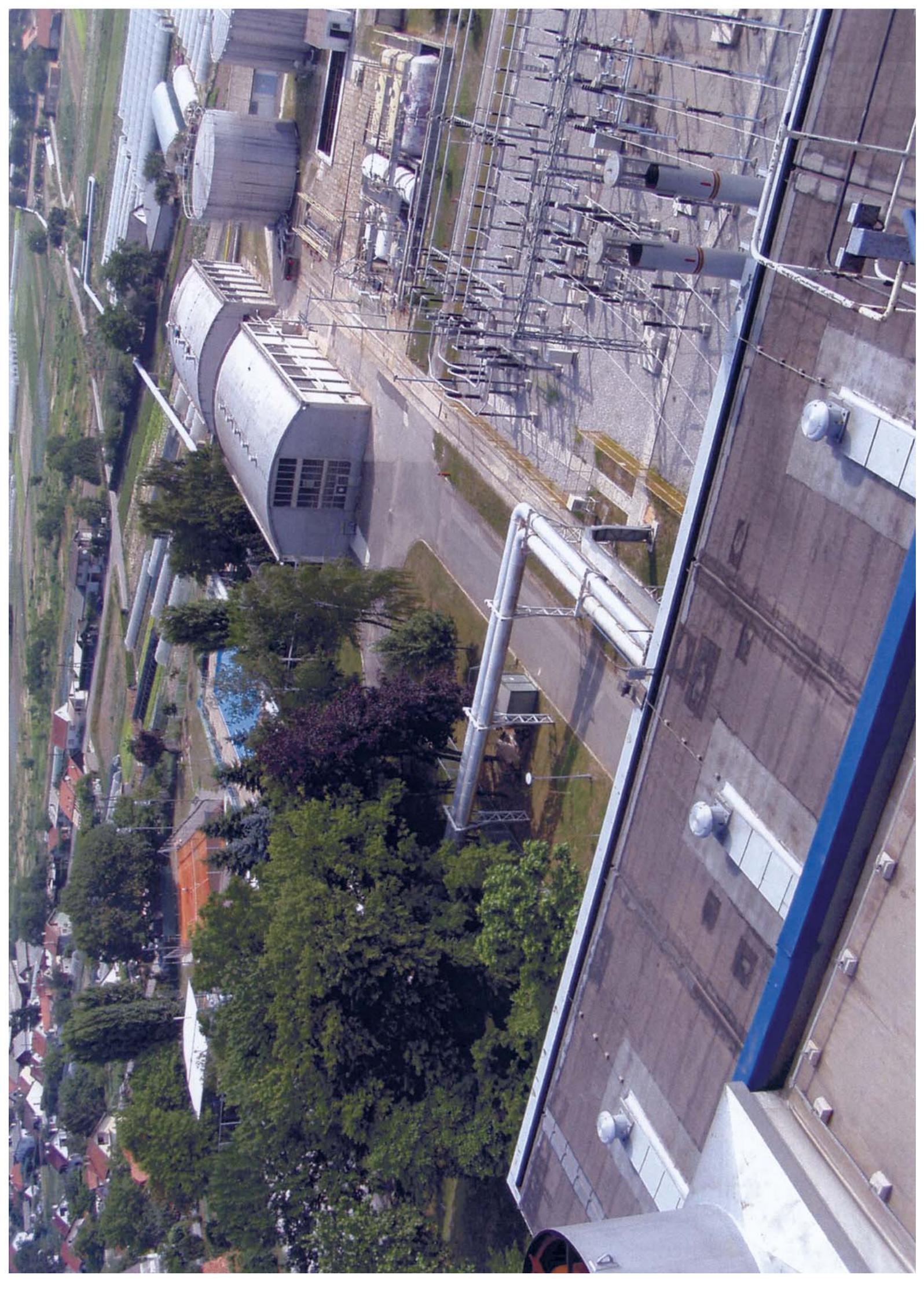
In diesem Artikel sind Hauptmerkmale des Reaktors IRIS (englische Abkürzung: International Ractor Innovative and Secure) dargestellt. IRIS ist ein fortgeschrittener, integraler, modular ausgeführter Leichtwasser-Kernreaktor mittlerer Leistung (335 MWe). Das Projekt des IRIS-Reaktors wurde von einem internationaler Bund von zwanzig Unternehmen aus zehn Ländern unter Führung der Westinghouse-Gesellschaft entwickelt. Vorrangiges Bestreben des Projektes ist die Schaffung eines sicheren, zuverlässigen und wirtschaftlich günstigen Reaktors kleiner bis mittlerer Leistung. Beschrieben im Artikel ist ein integrales Reaktorgefäß, welches neben dem Reaktorkern, dem Moderator, den Kontrollstäben und dem Abschirmschild auch Dampferzeuger, Pumpen und Druckbehälter beinhaltet. Einheitliche Sicherheitsmerkmale (englischer Termin: "safety-by-design") haben kleinere und einfachere passive Sicherheitssysteme möglich gemacht. Wegen der verbesserten Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit sowie wegen der Möglichkeit des schrittweisen Ausbaus neuer Erzeugungseinheiten bei verhältnismässig niedrigen Kapitalanlagen, ist IRIS für kleinere elektroenergetische Systeme besonders verlockend.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. sc. Nikola Čavlina, dipl. ing.**  
**docent dr. sc. Davor Grgić, dipl. ing.**  
**prof. dr. sc. Dubravko Pevec, dipl. ing.**  
**Fakultet elektrotehnike i računarstva,**  
**Unska 3,**  
**10000 Zagreb, Hrvatska**

**dr. sc. Mario Carelli, dipl. ing.**  
**dr. sc. Bojan Petrović, dipl. ing.**  
**Pittsburgh, SAD**

Uredništvo primilo rukopis:  
 2004 – 09 – 28.



# UTJECAJ DISTRIBUIRANIH IZVORA NA PLANIRANJE RAZDJELNE MREŽE

Prof. dr. sc. Davor Škrlec, prof. dr. sc. Slavko Krajačar, Zagreb – Alen Katić, Karlovac

UDK 621.316.1  
PREGLEDNI ČLANAK

U članku su opisane najvažnije tehnologije koje se koriste kod distribuiranih izvora kao i njihov utjecaj na planiranje razdjelnih mreža. Otvaranjem tržišta električne energije, distribuirana proizvodnja bilježi sve veći porast u broju instaliranih jedinica. Iako je trenutačno njihov udio na tržištu električne energije zanemariv, distribuirani izvori već imaju važnu ulogu u razdjelnim mrežama: u slučajevima gdje se zahtijeva povećanje raspoloživosti mreže, kao pričuvni izvori napajanja ili kao alternativa ulaganja u proširenje razdjelne mreže. Razdjelna mreža zbog toga prestaje biti pasivni element sustava, nego postaje aktivna mreža, pa su razmatrani aspekti koji imaju najveći utjecaj, kao npr. standardi za priključivanje distribuiranih izvora, troškovi priključivanja, tehnički uvjeti i ograničenja, zaštita, predviđanja, vođenje i planiranje razdjelne mreže.

**Ključne riječi:** aktivna razdjelna mreža, distribuirani izvori, tržište električne energije, planiranje razdjelne mreže.

## 1. UVOD

U tehnici, jednako kao i u modnom svijetu, određeni trendovi koji su u nekim prošlim vremenima bili „in” to ponovno postaju i danas. Ne radi se tada o preslikavanju prošlosti jer tehnološki razvoj omogućava moderniji, učinkovitiji, jeftiniji i zbog toga pristupačniji proizvod širem tržištu. Upravo se to dogodilo i u proizvodnji električne energije. Sad već tako daleko, u drugoj polovici 19. stoljeća, upravo je T. A. Edison i njegova *Edison Electric Light Company* kao prva kompanija za proizvodnju i distribuciju električne energije istisnula uporabu plina za rasvjetu i grijanje kao „prljave energije”. Električna se energija proizvodila blizu mjesta potrošnje i u nekom je smislu predstavljala primjer distribuirane proizvodnje. Međutim, primijenjeni istosmjerni sustav, stalno povećanje potražnje za električnom energijom, skupi ili tehnološki neostvariv transport primarnog energenta, Edisonovo „bahato” odbacivanje Teslinog izuma višefaznog sustava izmjeničnih struja i pripadajućih strojeva doveo je do odumiranja tog sustava. Kraj devetnaestog i gotovo cijelo dvadeseto stoljeće obilježeno je centraliziranom proizvodnjom električne energije u velikim termoelektranama blizu nalazišta fosilnih goriva i/ili u hidroelektranama na prikladnim mjestima na vodotocima. Blizina nalazišta fosilnog goriva eliminirala je troškove njegovog prijevoza i proizvodnju električne energije učinila ekonomičnom. Iako je prijenos električne energije na velike udaljenosti tehnološki riješen, ipak, kako bi se smanjili gubici u prijenosu, termoelektrane koje rabe naftu ili plin kao pogonsko gorivo kao i nuklearne elektrane, grade se

sve bliže centrima potrošnje električne energije. I baš u trenutku kada su konačno i laici shvatili funkcioniranje elektroenergetskog sustava – kao: „električna se energije proizvodi u velikim elektranama koje se nalaze daleko od gradova koja se onda dalekovodima prenosi do gradova i naselja i transformira na niži napon te se razdjelnim mrežama dovodi do krajnjeg korisnika” – ponovo se pojavljuje distribuirana proizvodnja električne energije, dakle, mogućnost da „bilo tko” može proizvoditi električnu energiju, priključiti se „bilo gdje” na elektroenergetsku mrežu i tu energiju prodavati „bilo kome”. Je li se sustav koji su jedva spoznali dok je bio „jednosmjernan” uvođenjem distribuirane proizvodnje zakomplicirao? Što je uzrokovalo ponovnu pojavu distribuirane proizvodnje? Koji su preduvjeti trebali da se ona pojavi? Koje se tehnologije koriste? Je li distribuirana proizvodnja postala „noćna mora” distribucije? Kakvi su utjecaji distribuirane proizvodnje na razdjelnu mrežu i na njezino planiranje? Koliko i zaostajemo li za razvijenim svijetom? To su samo neka od pitanja na koja će se u ovom radu pokušati naći odgovor.

## 2. DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

### 2.1. Definicija distribuirane proizvodnje

Distribuirana proizvodnja (DP), (eng. *Distributed generation* (DG)) je pojam koji obuhvaća znatno više od svog doslovnog značenja. Definicije koje se pojavljuju u literaturi nisu ujednačene, odnosno pokazuje se da nema neke općeprihvaćene [1, 2, 3, 40, 42, 69].

Tako se npr. u [40] pod distribuiranim izvorima smatraju svi izvori koji se pojedinačno, na lokaciji potrošača, priključuju isključivo na razdjelnu mrežu. Vjetrene se elektrane u nekim slučajevima ne smatraju distribuiranim izvorom. Npr. više samostalnih jedinica tehnički ujedinjenih u “farmu vjetrovne elektrane” odmaknute od lokacije potrošnje, ne priključenih na razdjelnu mrežu, ne spadaju u distribuirane izvore. U [40] smatraju da vjetrene elektrane pripadaju grupi “*dispersed generation*”, kao i ostali distribuirani izvori ako se ne nalaze blizu lokacije potrošnje. Kako u ovom stručnom području još uvijek traje terminološki razvoj, reference [40, 42] se mogu smatrati kao izvor najnovijih definicija i terminologije.

Iako je najčešći, izraz *distributed generation* samo je jedan od naziva za distribuiranu proizvodnju. Tako se na primjer u SAD koristi i izraz *dispersed generation* [3] dok je u Europi i dijelovima Azije popularan izraz *decentralised generation* [74]. U engleskoj i anglosaksonske literaturi koristi se najčešće izraz *embedded generation* [2, 11, 12, 14, 41].

Osim u stručnoj literaturi, problem se pojavljuje i u zakonodavstvu pa u zakonima i preporukama različitih država postoje različite definicije distribuiranih izvora energije.

Distribuirana proizvodnja se u literaturi pokušava definirati pomoću različitih karakteristika proizvodnje električne energije. Najčešće od tih karakteristika su:

- namjena,
- mjesto priključka izvora,
- snaga,
- tehnologija,
- utjecaj na okoliš i
- vlasnička pitanja (vlasništvo).

Sva ova pitanja nisu jednako važna za problem definiranja distribuirane proizvodnje.

Većina autora smatra da je namjena distribuirane proizvodnje osigurati pouzdan izvor radne snage.

Distribuiranu proizvodnju čine izvori priključeni na razdjelnu mrežu, odnosno priključeni na potrošačevom brojiću. Definiranje distribuiranog izvora pomoću mjesta priključka ima i svoje nedostatke. Naime, ako je razdjelna mreža „slaba“, izvor se mora priključiti na prijenosnu mrežu što ga diskvalificira kao distribuirani izvor.

Snaga distribuirane proizvodnje (odnosno distribuiranog izvora) kreće se u različitim granicama, ovisno o autoru. Gornja granica u većini slučajeva iznosi 10 – 50MW. Gotovo nigdje se distribuirani izvor ne definira kao izvor snage iznad 100MW. S obzirom na snagu distribuirani izvori se najčešće klasificiraju na sljedeći način:

- mikro                    < 5 kW
- mali                     5 kW < 1 MW
- srednji                1 MW < 10 MW
- veliki                  10 MW < 50 MW

Snaga distribuiranog izvora definira naponsku razinu razdjelne mreže na koju će se izvor priključiti. Više o tim uvjetima nalazi se u poglavlju o tehničkim utjecajima na razdjelnu mrežu.

Pojam distribuirane proizvodnje se vrlo često veže uz određene tehnologije proizvodnje električne energije, posebno uz obnovljive izvore energije. Obnovljivi izvori najčešće jesu distribuirani izvori (ne računajući velike HE), ali DP obuhvaća znatno šire područje. Trenutačno najrašireniji način proizvodnje tipičan za DP je kombinirana proizvodnja električne i toplinske energije (kogeneracija, eng. *CHP*). Na taj način podiže se učinkovitost procesa jer se toplinski gubici proizvodnje električne energije koriste u proizvodnji topline, koja se najčešće lokalno i potroši. Količina energije (električne i toplinske) proizvedene kogeneracijom veća je uz isti utrošak goriva nego kod odvojene proizvodnje toplinske i električne energije (učinkovitost može dostići i do 90%). Problem kod kogeneracije je usklađivanje proizvodnje toplinske, odnosno električne energije. Naime, potražnja za toplinskom energijom najčešće ne odgovara potražnji za električnom, a proizvodnja jedne usko je povezana za proizvodnju druge. Moglo bi se reći da postoje tri osnovne kategorije proizvođača kod DP:

- obnovljivi izvori,
- male proizvodne jedinice i
- kombinirana proizvodnja električne i toplinske energije.

Nijedna od navedenih tehnologija nije vezana isključivo za distribuiranu proizvodnju. Tipičan primjer toga je proizvodnja u hidroelektranama i kogeneracija koja postoji u centraliziranim sustavima i vrlo je popularna.

DP tehnologije se vrlo često opisuju kao prijateljske za okoliš. Emisija CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub> je bitno niža kod tipičnih DP tehnologija u usporedbi s klasičnom termoelektranom, no ipak postoje neki ekološki problemi. Ornitolozi tvrde da su područja pogodna za vjetrene elektrane vrlo često prolazi kojima se koriste ptice pri svojim seobama. Mnogima vjetroturbine smetaju zbog buke ili zato što vizualno “onečišćuju” okoliš. Iskorištavanje malih vodotokova ima bitan utjecaj na ekologiju mikrolokacije izgradnje zahvata. Itd.

Do nedavno su velike energetske kompanije bile manje ili više nezainteresirane za DP pa se počelo podrazumijevati da je DP uvijek u rukama malih, privatnih, poduzetnika. Ta situacija se mijenja i ne postoji razlog zbog kojeg bi distribuirani izvori bili ograničeni za “velike” (npr. RWE, EDF, E.ON Energie AG, Detroit Edison ili sl.) osim ako zakonima nije drugačije propisano (npr. u Italiji i Velikoj Britaniji distribucijsko poduzeće ne smije biti vlasnik DP, osim ako su mobilnog karaktera za rješavanje interventnih problema u mreži).

Na kraju, dat ćemo definiciju distribuirane proizvodnje, odnosno distribuiranih izvora: **Distribuirana proizvodnja (DP) jest proizvodnja električne energije unutar razdjelne mreže blizu mjesta potrošnje. Sukladno tome jest distribuirani izvor svaki onaj priključen na razdjelnu mrežu.**

## 2.2. Pregled tehnologija za distribuiranu proizvodnju

Tehnologije koje se koriste u distribuiranoj proizvodnji električne energije su dobro opisane u literaturi. Zbog toga će se u ovom tekstu opisati samo njihove osnovne karakteristike, a težište će biti na njihovoj usporedbi i komercijalnoj uporabi.

### 2.2.1. Pretvorba Sunčeve energije u električnu energiju

Postoje dvije vrste tehnologija za pretvorbu Sunčeve energije u električnu: toplinske i fotonaponske. Kod toplinskih se tehnologija Sunčevo zračenje najprije pretvara u toplinsku energiju, a zatim u električnu dok fotonaponski moduli vrše izravnu pretvorbu.

#### 2.2.1.1. Toplinska pretvorba Sunčeve energije u električnu energiju

Sunčana elektrana s toplinskom pretvorbom slična je "klasičnoj" termoelektrani. Razlika je jedino što se kao toplinski izvor koristi Sunčeva energija umjesto unutarnje energije fosilnih goriva. Sunčeva energija se koncentrira i pretvara u toplinsku koja pogoni toplinski stroj. U toplinskom stroju se radni medij grije i tijekom ekspanzije pogoni lopatice turbine ili klipove motora. Termodinamički procesi u toplinskim sunčanim elektranama su *Rankineov*, *Stirlingov* i *Braytonov*.

Budući da postoji velika sličnost s običnom termoelektranom postoji i mogućnost dvojnog pogona (hibridizacije). Mogućnost jednostavne hibridizacije s fosilnim gorivima prednost je sunčanih elektrana pred ostalim obnovljivim izvorima energije. Takva elektrana ima iste karakteristike kao i svaka druga termoelektrana. Postoji više izvedbi hibridizacije, ali samo dva osnovna principa. Toplina dobivena od fosilnog goriva se u prvom slučaju miješa s toplinom dobivenom od Sunca i pokreće toplinski stroj. U drugom slučaju se rade dvije odvojene elektrane koje se nadopunjuju. Drugi slučaj omogućava bolje iskorištenje toplinske energije, ali je znatno skuplji.

Vrste toplinskih sunčanih elektrana su:

- sunčana elektrana s centralnim prihvatnikom i poljem heliostata,
- sunčana elektrana s paraboličnim, koritastim kolektorima,
- tanjuraste sunčane elektrane i
- sunčani dimnjak.

Osim elektrane sa sunčanim dimnjakom sve ostale koriste koncentrirano Sunčevo zračenje pa se prema tome može iskoristiti samo izravna komponenta Sunčevog zračenja. Ovaj način korištenja Sunčevog zračenja je naročito interesantan za zemlje u području Mediterana i sjeverne Afrike. Prema [30], stupanj učinkovitosti ovakvih postrojenja danas iznosi 35%, a pretpostavlja se da bi mogao doseći 69% kad bi se instalirala u ko-

generacijskom postrojenju. Interesantan je i prijedlog da se elektrana koristi za proizvodnju vodika.

#### 2.2.1.2. Izravna pretvorba Sunčeve energije u električnu energiju

Drugi tip malih elektrana koje iskorištavaju energiju sunca upotrebljavaju poluvodičke ćelije, obično veličine nekoliko kvadratnih centimetara. Ćelija transformira Sunčevu svjetlost u istosmjernu struju. Veći broj ćelija se slaže i zatim spaja u modul tako da zajedno proizvode željenu snagu. Tehnologija izrade fotonaponskih ćelija potrebnih za „fotonaponske“ male elektrane je relativno skupa. Ipak, zadnjih 20-ak godina cijena ove proizvodnje pada zbog napretka tehnologije (od 1 \$/kWh 1980. do 0,20 \$/kWh 1996. da bi danas bila otprilike 0,15 \$/kWh). Postoji više tehnologija proizvodnje fotonaponskih ćelija: s mono-kristalnim silicijem, polikristalnim i semikristalnim silicijem, tankim filmovima (izvedenim od CdTe, GaAs) itd. Struja koja se dobiva iz fotonaponske ćelije je istosmjerna te je, da bi se fotonaponska ćelija mogla priključiti na mrežu, potrebno istosmjernu struju, izmjenjivačem, pretvoriti u struju mrežne frekvencije.

Fotonaponski moduli mogu raditi u otočnom radu kod udaljenih instalacija koje nemaju ili imaju slabu povezanost s elektroenergetskom mrežom. Snaga sustava koji su priključeni na mrežu se posljednjih godina povećala zbog značajnih programa potpore u Japanu, Njemačkoj i SAD. Prema izvješću [77] fotonaponski sustavi, koji su apsolutnim brojkama zanemarivi, doživjeli su najveći globalni porast između svih obnovljivih izvora u razdoblju od 1990. – 2000. uz godišnji prosječni porast od 32% i porastom godišnje proizvodnje od 16 GWh u 1990. god. do 339 GWh u 2001. godini. Prednost fotonaponskih sustava, osim što su gotovo bez održavanja i tihog su rada, jest i u njihovoj skalabilnosti, snage su u rasponu od kW do MW, a učinkovitost sustava je neovisna o veličini instalacije. Fotonaponski sustavi su zato prikladni za primjene kako u malim instalacijama privatnih kuća, tako i u većim industrijskim instalacijama. Cijena instalacije koja je uvjetovana proizvodnom cijenom fotonaponskih modula je još uvijek previsoka da bi bili konkurentni na tržištu energije.

#### 2.2.2. Vjetrene elektrane

Iako transformacija energije vjetra u mehaničku energiju ima dugu tradiciju literatura jasno ukazuje na značajan porast broja instaliranih jedinica, snage i godišnje proizvodnje, nakon naftne krize 70-ih godina prošlog stoljeća. U pojedinim zemljama, kao što je npr. Danska, instalirani kapaciteti vjetrovni elektrana dosežu vrijednosti baznog opeterećenja u elektroenergetskom sustavu [34]. Zbog iznimno povoljnih vjetrova konstantnih brzina određeni broj zemalja smješten uz more ima dobre uvjete za iskorištavanje energije vjetra. Zbog rečenog, ali i "izdašnih" potpora države, Njemačka je dostigla

nevjerojatnih 13500 MW instalirane snage u vjetrorenim elektranama.

S obzirom na brzinu vrtnje rotora današnje vjetrore elektrane se dijele u dvije skupine: prva, elektrane s konstantnom brzinom vrtnje i druga, elektrane s promjenjivom brzinom vrtnje. Vjetrore elektrane s konstantnom brzinom vrtnje izravno su priključene na elektroenergetsku mrežu i sinkronizirane s frekvencijom mreže (tzv. Danski koncept). Brzina vrtnje je predefinirana i zbog toga je maksimalna učinkovitost tih turbina samo kod projektirane brzine vjetra. Vjetrore elektrane s promjenjivom brzinom vrtnje za svoj rad zahtijevaju sklopove energetske elektronike. Najčešće su ugrađeni asinkroni generator s mjenjačkom kutijom, a samo rjeđe sinkroni generator. Elektronički pretvarač se koristi za pretvaranje izmjenične struje promjenjive frekvencije u istosmjernu struju i zatim izmjenjivač za pretvaranje u izmjeničnu struju mrežne frekvencije. Detaljniji podaci o konstrukciji i pogonu vjetrorenih elektranama mogu se pronaći u [2, 43, 50, 59, 81].

### 2.2.3. Male hidroelektrane

Male hidroelektrane se prema tipu postrojenja dijele na:

- pribranske male hidroelektrane, kod kojih se pad ostvaruje branom,
- derivacijske, kod kojih se pad postiže derivacijom i
- mješovite, kod kojih se pad postiže derivacijom i usporavanjem.

Pribranske male hidroelektrane se grade na mjestima gdje je pad moguće ostvariti samo izgradnjom brane. Ovaj slučaj se obično koristi kod nizinskih voda ili u slučajevima kada rijeka prolazi kroz usijek, te je moguće stvoriti akumulaciju. Sama hidroelektrana se tada obično smješta u branu, te je ulazni cjevovod vrlo kratak.

Derivacijske male hidroelektrane imaju daljnju podjelu na one s otvorenim i zatvorenim kanalom. Derivacijske male hidroelektrane s otvorenim derivacijskim kanalom se koriste u slučajevima kada rijeka pravi okuku, te se prokopom derivacijskog kanala dobiva veći pad. Otvoreni derivacijski kanali se obično koriste kod nizinskih voda. U slučajevima kada je derivacijski kanal izveden kao zatvoren obično se radi o malim hidroelektranama s većim padovima. Ovaj slučaj je pogodniji za male elektrane koje se grade na planinskim rijekama. Često se ova dva slučaja međusobno kombiniraju tako da se voda vodi u otvorenom kanalu po vodoravnijem terenu, dok se u zatvorenom vodi po vertikalnijem terenu.

Mješovite male hidroelektrane su s tlačnim cjevovodom. Ovaj se slučaj koristi kada postrojenje nije moguće izgraditi u brani ili uz nju, već se voda dovodi do postrojenja tlačnim cjevovodom, bez promjene geodetske visine.

Sve ove navedene podjele moguće je i kombinirati. Primjerice da se izgradi brana, ali se pad još dodatno poveća zatvorenim derivacijskim kanalom. Za izgrad-

nju malih hidroelektrana potrebno je iskoristavati i postojeća postrojenja koja više nisu u funkciji, ali su nekada služila za dobivanje energije (stari mlinovi i pilane). U tom slučaju već postoji brana ili derivacija, te ju je potrebno samo ponovo osposobiti. Općenito, male hidroelektrane je potrebno graditi tako da se što više poveća pad vode ili protok, te se time dobije i veće iskorištenje zahvata.

Druga podjela kod malih hidroelektrana se pravi na osnovi izvedbe turbine potrebne za pogonjenje generatora. Kod malih hidroelektrana obično se postavlja samo jedan generator. U tom slučaju najbolje iskorištenje raspoloživog protoka moguće je postići pravilnim izborom turbine. Turbine koje se koriste u malim hidroelektranama su sljedećih tipova:

- Francis turbine – područje padova od 16 m do 100 m i protoka od 0,1 do 2 m<sup>3</sup>/s,
- Banki turbina – upotrebljiva u širokom području, može proizvoditi el.energiju pri manjim protocima od Francis turbine, jednostavna za izradu i održavanje,
- Cijevna turbina – primjerena za korištenje kod malih padova od 3 do 20 m,
- Peltonova turbina – za padove od 50 do 100 m i protoke od 0,2 do 2 m<sup>3</sup>/s, odlikuje se jednostavnošću konstrukcije i održavanja.

Izbor turbine ovisi isključivo o karakteristikama vodotoka na kojem se mala hidroelektrana nalazi, te o reljefu kuda rijeka prolazi (pitanje pada). Turbina male hidroelektrane mora biti jednostavna pri radu, održavanju i montaži, prilagodljiva promjenjivom dotoku (osobito važno kod vodotoka kod kojih protok puno varira) i brzina vrtnje mora biti prilagođena brzini vrtnje generatora.

Izbor generatora male hidroelektrane ovisi o tome postavljaju li se zahtjevi da elektrana radi u otočnom režimu rada ili ne. Naime, ako se ne predviđa otočni rad, izabire se asinkroni generator zbog jednostavnosti izvedbe i manjih zahtjeva na regulaciju. Ako se za malu hidroelektranu predviđa da radi u otočnom radu, onda se odabire sinkroni generator. Izborom i jednog i drugog generatora dobivaju se određene prednosti i mane. Ugradnjom asinkronog generatora dobivaju se sljedeće prednosti: manje investicije, jednostavnost izvedbe, pogonska sigurnost, manji troškovi održavanja, nije potrebna regulacija napona niti uređaj za regulaciju brzine vrtnje turbine. Nedostaci su pak u tome što nije moguć otočni režim rada i to što asinkroni generator opterećuje mrežu dodatnom jalovom strujom (zbog toga što nema vlastite uzbude). Sinkroni generator ima pak prednost u tome što može raditi u oba režima rada (paralelnom i otočnom) i ima jednostavniju regulaciju jalove snage. Nedostaci su: složenija izvedba, veća cijena generatora, veći troškovi održavanja i to što je potrebna regulacija brzine vrtnje turbine.

#### 2.2.4. Gorive ćelije

Gorive ćelije su u osnovi spremnici akumulirane energije. U osnovi gorivo u gorivim ćelijama čini vodik.

Goriva ćelija se sastoji od dvije elektrode između kojih je postavljen elektrolit. Goriva ćelija funkcionira tako da kisik prolazi oko jedne, a vodik oko druge elektrode i tako proizvodi električnu energiju oslobađajući i toplinu. Točnije, vodik se uvodi u anodu gorive ćelije dok kisik (iz zraka) ulazi u ćeliju kroz katodu. Potaknut katalizatorom, atom vodika se dijeli na proton i elektron koji prema katodi odlaze različitim putevima. Protoni prolaze kroz elektrolit dok elektroni stvaraju drugu struju koja izlazi iz ćelije i prolazi kroz trošila spojena na gorivo ćeliju. U katodi se protoni i elektroni nazad spajaju u atom vodika te se nadalje spajaju s kisikom tvoreći tako molekule vode.

Goriva ćelija koja sadržava reformer (eng. *fuel reformer*) može odijeliti vodik iz svakog goriva koje se sastoji od vodika i ugljika, od prirodnog plina do metanola pa čak i benzina. Budući da princip rada gorive ćelije počiva na kemijskom procesu, a ne sagorijevanju, emisija štetnih plinova puno je niža od emisije iz najčišćih procesa u kojem sagorijeva gorivo.

su ćelije idealne za korištenje kao izvori električne energije. Razloga za ovakvu tvrdnju je više. Kao prvo, gorive ćelije su vrlo pouzdan izvor električne energije te se mogu koristiti i za paralelan rad s mrežom i za otočni rad. Isto tako, mogu se koristiti kao rezervni izvor napajanja u slučaju kada nestane električne energije u javnoj mreži. Nadalje, gorive ćelije u potpunosti zadovoljavaju uvjete rada što se tiče buke zbog toga što su u potpunosti tihe. Osim toga, kao nusprodukt kemijske reakcije u gorivoj ćeliji nastaje čista voda te i time goriva ćelija zadovoljava sve uvjete zaštite okoliša. Osim proizvodnje električne energije, gorive ćelije proizvode i toplinu koja se može iskoristiti za grijanje. Karakteristična cijena gorivih ćelija je 3000 – 4000 \$/kW. Priključak gorive ćelije na elektroenergetsku mrežu mora se izvesti preko izmjenjivača.

#### 2.2.5. Plinske turbine, mikroturbine, CHP

Plinske turbine pokreću plinovi nastali sagorijevanjem. Sagorijevanje zemnog plina, bioplina ili benzina odvija se u posebnoj komori iz koje se plinovi nastali sagorijevanjem vode na turbinu koja pak pokreće generator. Plinske turbine se dijele na energetske, mini i mikro turbine. Tablica 1 prikazuje osnovne karakteristike.

**Tablica 1. Usporedba plinskih turbina**

Karakteristika	Mikro turbina	Mini turbina	Energetska turbina
snage – kVA	20 - 500	650 - 10000	12500 - 265000
približna veličina	hladnjak	poveći kamion	zgrada
pogonsko gorivo	zemni plin, dizel	zemni plin, dizel	zemni plin, mazut
razina buke kao ...	automobil pri 50 km/h	kamion pri 60 km/h	mlazni avion
brzina okretanja r/min	70000	15000	1500
turbina se okreće na	varijabilnoj brzini	konstantnoj brzini	konstantnoj brzini
najbolja učinkovitost	32 %	30 %	37 %
tipična cijena	700 \$/kW	450 \$/kW	300 \$/kW

Postoji više medija koji se koriste u gorivim ćelijama za elektrokemijsku reakciju. S obzirom na te medije postoji više tipova gorivih ćelija:

1. gorive ćelije s fosfornom kiselinom
2. gorive ćelije s otopljenim ugljikom
3. gorive ćelije s krutim oksidima,
4. gorive ćelije s polimernom membranom,
5. gorive ćelije s metanolom,
6. regenerativne gorive ćelije,
7. gorive ćelije s cinkom,
8. protonska keramička goriva ćelija.

Trenutačno su komercijalno dostupne samo gorive ćelije s fosfornom kiselinom (PAFC) koje imaju učinkovitost 35%-60% i maksimalnu snagu 200kW. Gorive

Tablica 1 pokazuje da se brzina okretanja turbina uvelike razlikuje od tipa do tipa turbine. Razlog je tome obodna brzina lopatica turbine. Sve tri vrste turbina dobivaju pogonsku energiju iz istog goriva, te su time i brzine plinova koji nastaju pri izgaranju iste. Da bi energija koju prihvaća turbina od plinova bila što veća obodna brzina lopatica mora biti odgovarajuća. Kako su kod mikro-turbine lopatice puno manje to se ona mora okretati puno brže, nego npr. energetska turbina.

Kod energetske turbina, brzina okretanja turbine je 1500 ili 3000 okr/min jer ta brzina upravo odgovara brzini vrtnje četveropolnog odnosno dvopolnog sinkronog generatora. Kod mini turbina, gdje je brzina okretanja osjetno veća koristi se isto sinkroni generator (dvopolni ili četveropolni), ali s mjenjačkom kutijom koja smanjuje brzinu okretanja turbine i prilagođava je genera-

toru. Kod mikro-turbina situacija je u potpunosti drugačija. Budući da je brzina okretanja i do 100 000 okr/min gotovo je nemoguće napraviti takvu mjenjačku kutiju koja bi smanjivala brzinu okretanja na brzinu pogodnu za sinkroni generator (3000 r/min). Zbog toga se kao generator uz mikro turbinu koristi istosmjerni generator. Tada se struja iz generatora vodi izravno na izmjenjivač, koji je pretvara u izmjeničnu struju frekvencije 50 Hz.

Elektrane s ugrađenom energetsom plinskom turbinom se zbog svoje veličine u ovom radu neće posebno obrađivati. Kod plinskih elektrana mini izvedbe (od 650 kVA do 10000 kVA) može se izabrati asinkroni ili sinkroni generator. Asinkroni generator je moguće instalirati samo u slučajevima kada snaga nije veća od 7 MVA, jer su to već granične vrijednosti do kojih se asinkroni generatori proizvode.

Popularnost mikroturbina porasla je i zbog činjenice da je emisija štetnih plinova znatno manje nego kod motora s unutarnjim izgaranjem. Mnogi upravo u mikroturbinama vide učinkovit i čist izvor energije budućnosti. Još jedan razlog za to je korištenje bioplina. Plinske turbine su pogodne za kombinirani proces proizvodnje toplinske i električne energije (CHP). Učinkovitost takvog procesa je visokih 70-90%.

S ekološkog gledišta plinske su turbine znatno povoljnije od motora s unutarnjim izgaranjem iako postoji emisija NOx i SOx. Prema trenutačnim procjenama, cijena instalacije mikroturbine kreće se oko 1000 – 1500 \$/kW.

#### 2.2.6. Motori s unutarnjim izgaranjem

Motori s unutarnjim izgaranjem su vrlo raširena i dobro poznata tehnologija. Motor je spojen s generatorom i oni čine proizvodnu jedinicu. Gledajući prema pogonskom gorivu, postoje dva osnovna tipa motora s unutarnjim izgaranjem:

- dizel motor i
- plinski Otto motor (u ovom slučaju podrazumijeva se pogon na zemni plin).

Prednost se daje pogonu na plin, ali se često konstruiraju tako da mogu koristiti i dizel gorivo. U slučaju motora s dvojnim gorivom (*dual fuel engine*), omjer goriva je 80/20 u korist plina, s tim da takvi motori zadržavaju mogućnost rada na 100% dizel gorivu.

Motori s unutarnjim izgaranjem uobičajeno imaju snagu od 50 do 5000 kW i relativno su lako dobavljeni. Broj prodanih motora s unutarnjim izgaranjem (dizelskih i plinskih zajedno) porastao je šest puta u periodu od 1988. do 1998. Prednosti motora s unutarnjim izgaranjem su:

- niski početni troškovi (oko 200-800 \$/kW, ovisno o veličini),
- jednostavno i brzo pokretanje,
- dokazana pouzdanost,
- relativno visok stupanj učinkovitosti (45-50%) i

- niska emisija štetnih plinova (posebno NOx), ako je pogonsko gorivo plin.

Emisija štetnih plinova bila je kod starijih modela veliki problem, no zahvaljujući boljem dizajnu motora, boljoj kontroli procesa te uporabi katalizatora, taj je problem umanjen. Motori s unutarnjim izgaranjem pogodni su za kombinirani proces proizvodnje topline i električne energije.

Korištenje plina kao goriva postaje sve popularnije, većinom zbog unaprjeđenja plinske verzije motora. Zastupljenost plinskih verzija motora poraslo je od 4% 1990. na 14% 1998. godine.

#### 2.2.7. Iskorištavanje biogoriva

Biogoriva su goriva nastala od organskih tvari. Postoje tri vrste biogoriva: biomasa, bioplina i biodizel.

##### 2.2.7.1. Iskorištavanje biomase

Uporaba biomase za proizvodnju energije poznata je još od 1920-ih. Tada se radilo o drvnom otpadu i poljoprivrednom otpadu (kukuruzovina, slama, koštice voća i sl.). i najčešće se koristilo samo za proizvodnju pare u industriji. Proces nije bio osobito učinkovit.

Tehnologija za uporabu biomase zasniva se na principu parnog kotla. U parni kotao dovodi se pojna voda, gorivo i zrak za izgaranje, a kao rezultat nastaje para. Ako se radi o proizvodnji električne energije tada je proces sličan „klasičnoj“ termoelektrani. Za korištenje biomase, bitna su tri tipa kotlova koja se razlikuju po načinu loženja.

- loženje na rešetki,
- loženje u fluidiziranom sloju i
- loženje injektiranjem.

Prvi su bili kotlovi s loženjem na rešetki. Iako danas rijetko zastupljen kod nekih otpada (npr. pileći otpad) ima posebno dobre karakteristike. Tijekom osamdesetih dominaciju je preuzela tehnologija fluidiziranog sloja zbog veće učinkovitosti i manje emisije štetnih plinova. To je i danas najčešća tehnologija kod iskorištavanja biomase. Za pojedine se otpade koristi i loženje injektiranjem.

Zastupljenost biomase još uvijek je malo u oprabi iz nekoliko razloga. Prvo, ako se radi o industrijskom otpadu dostupnost ovisi o sezoni. Drugo, specifična energetska vrijednost biomase (gustoća energije) nije visoka pa su potrebne velike količine pa je učešće cijene transporta visoko. Iz navedenih razloga se ne rade elektrane u kojima je jedini energent biomasa. Uobičajno se ona miješa s ugljenom ili loživim uljem. Iz istih su razloga elektrane s biomasom tipično malih snaga.

Organski otpad sadrži relativno visoku koncentraciju alkalnih soli i klorida. To uzrokuje pojačano trošenje i koroziju metalnih površina kotla, što predstavlja dodatni problem kod održavanja takvih elektrana. Također dovodi do SOx i NOx spojeva u ispušnim plinovima.

Zbog neujednačenog sastava goriva pojavio se i problem s izradom adekvatnih uređaja za pročišćavanje.

Biomasa ne omogućuje visoku učinkovitost procesa (ispod 20%) jer ne dozvoljava postizanje visoke temperature. Ako se temperatura uspije podići javlja se već spomenuti problem pojačane korozije. To je jedan od razloga za kombiniranu proizvodnju električne i toplinske energije. Tada se učinkovitost procesa podiže do 36%.

#### 2.2.7.2. Iskorištavanje bioplina

Bioplin nastaje prirodnim raspadanjem organske tvari. Najbolji način iskorištavanja otpada u stočarstvu je dobivanje bioplina biološkom pretvorbom. U rijetko naseljenim zemljama stočne farme nisu priključene na elektroenergetsku mrežu. Takve farme koriste bioplin za pogon hladnjaka i zamrzivača, ali i za dobivanje električne energije. Za postizanje velike količine plina najbolji je izmet svinja i goveda dok je za kvalitetu (udio metana) najbolji izmet kokoši i pataka.

Za distribuiranu proizvodnju interesantan je deponijski plin. To je plin koji se razvija raspadanjem gradskog otpada. Sastoji se većinom od metana i CO<sub>2</sub> koji su izraziti staklenični plinovi pa je deponijski plin s ekološkog stajališta vrlo opasan. Zemlje kao što su SAD, Njemačka, Velika Britanija i sl. koriste deponijski plin za proizvodnju električne energije. Odlagalište se može početi iskorištavati već godinu do dvije nakon osnutka (tada već stvara dovoljnu količinu plina). Plin se skuplja u zdencima za otplinjavanje, sabire u plinovode, čisti i tlači u kompresoru i hladnjaku te dovodi do elektrane.

Najčešća primjena bioplina je u plinskim motorima (motori s unutarnjim sagorijevanjem) i plinskim turbinama, ali ima i drugih mogućnosti (npr. gorive ćelije). Energetska vrijednost deponijskog plina je u razini gradskog plina, a za podizanje učinkovitosti cijelog procesa može se koristiti kogeneracija. Svjetska iskustva pokazuju da se ovakve elektrane isplate već nakon nekoliko godina.

#### 2.2.7.3. Iskorištavanje biodizela

Biodizel je komercijalni naziv za motorno gorivo koje se proizvodi iz biljnih ulja, recikliranog otpadnog jestivog ulja ili životinjske masti procesom transesterifikacije, pri čemu kao sporedni proizvod nastaje glicerol. Ima svojstva jednaka onima koja ima klasični dizel dobiven iz mineralnih ulja, a koristi se kao zamjena mineralnog dizela ili u određenoj smjesi s njim. Istraživanja su pokazala da primjena biodizela u motorima s unutarnjim sagorijevanjem znatno smanjuje proizvodnju stakleničkih plinova. Osim što je po energetske karakteristika identičan dizelu iz mineralnih ulja ima bolja mazivna svojstva nego moderna dizelska goriva (Eurodizel) sa smanjenim udjelom sumpora, što utječe na pouzdanost rada motora. Značajna povoljnost biodizela je u tome da je biorazgradiv pa je njegov transport i skladištenje manje opasno po okoliš, a toksičnost za

čovjeka je značajno manja nego neke svakodnevne namirnice koje imaju maksimalno dozvoljene doze konzumacije, npr. kuhinjska sol.

Primjena biodizela je značajno porasla u SAD i Njemačkoj zbog državnih poticaja u njegovoj proizvodnji te porezne i zakonodavne politike u njegovoj primjeni. Mogućnosti biodizela su prepoznate i u Hrvatskoj (Strategija energetskeg razvitka RH, Program-BIOEN) međutim, izostali su državni mehanizmi koji se uspješno primijenjeni u prethodno navedenim zemljama. Više informacija o biodizelu može se pročitati u [83].

### 3. TEHNIČKI UTJECAJ NA RAZDJELNU MREŽU

#### 3.1. Kriteriji za priključak distribuiranih izvora na razdjelnu mrežu

Liberalizacija tržišta električnom energijom poticaj je pojavi distribuiranih izvora. Naročito su na području EU i SAD politička motiviranost i ekonomske subvencije znatno povećali udjel električne energije proizvedene iz distribuiranih izvora (uključeni u obnovljivi i neobnovljivi izvori energije) s planovima da se taj udjel do 2010. godine poveća na 20% ukupne snage, odnosno 23.5% ukupne proizvodnje električne energije u zemljama EU [55, 56]. Najveći porast proizvodnje po tehnologijama se očekuje od vjetro, solarne energije (fotonaponski moduli i termalne elektrane) i biomase.

Može se reći da tradicionalna razdjelna mreža koja je samo na svojoj najvišoj naponskoj razini 35 kV imala priključene industrijske energane više ne postoji i da se uvodi novi pojam aktivne mreže koja na svim naponskim razinama (0.4 – 35 kV) ima priključene kupce koji svoju potrošnju mogu namiriti vlastitom lokalnom proizvodnjom, a višak prodavati na tržištu, odnosno predavati u mrežu [30]. Aktivna mreža zahtijeva drugačiju organizaciju upravljanja i vođenja. Prema europskoj direktivi 2003/54EC Operator distribucijske mreže – ODM (eng. *DSO-Distribution System Operator ili DNO-Distribution Network Operator*) odgovoran je za vođenje, planiranje, izgradnju i održavanje distribucijske mreže. U Hrvatskoj je uloga ODM-a dodijeljena HEP Distribuciji. Njegove nadležnosti i obveze opisane su u [85] koje će se ovdje samo ukratko navesti:

- jamči pouzdan rad razdjelne mreže i održava parametre kvalitete električne energije;
- osigurava usklađeno djelovanje razdjelne mreže s prijenosnom mrežom te priključenim mrežama i postrojenjima korisnika mreže;
- daje informacije o budućim potrebama za električnom energijom operatoru sustava i operatoru tržišta;
- uz prethodnu suglasnost regulatornog tijela donosi plan razvoja i izgradnje razdjelne mreže za razdoblje od tri godine;

Tablica 2. Distribuirana proizvodnja – tehnologije i karakteristike

	Opće karakteristike	Instalirane snage	Učinkovitost električne pretvorbe	Primjena	Pogonsko gorivo	Komentar
Motori s unutarnjim izgaranjem		<ul style="list-style-type: none"> <li>dizel: 20kW<sub>e</sub> - 10+MW<sub>e</sub>(IEA)</li> <li>Plin: 5kW<sub>e</sub>-5+MW<sub>e</sub>(IEA)</li> <li>najčešće korištena tehnologija do 1 MW<sub>e</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>dizel: 36%-43% (IEA)</li> <li>plin: 28%-42% (IEA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pričuvni ili besprekadni izvori napajanja</li> <li>CHP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>dizel, teška ulja i biodizel</li> <li>plin, uglavnom zemni, bioplín ili otpadni plin (metan)</li> </ul>	
Plinske turbine		<ul style="list-style-type: none"> <li>1-20MW<sub>e</sub>(IEA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>21%-40%(IEA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CHP</li> <li>vršna opterećenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>plin, kerozin</li> </ul>	
Mikro turbine		<ul style="list-style-type: none"> <li>30kW<sub>e</sub> - 200kW<sub>e</sub>(IEA)</li> <li>35kW<sub>e</sub> - 1 MW<sub>e</sub>(A)</li> <li>Small-scale applications upto &lt;1 kW<sub>e</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>25%-30%(IEA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>proizvodnja el. energije uz mogućnost CHP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>uglavnom se koristi zemni plin, ali mogu i ostale vrste plina</li> </ul>	
Gorive ćelije	<ul style="list-style-type: none"> <li>Otopljeni ugljik: MCFC</li> <li>S polimerom membranom: PEMFC</li> <li>S krutim oksidom: SOFC</li> <li>S fosforom kiselinom: PAFC</li> <li>S metanolom: DMFC</li> </ul> <p>Samo je PAFC komercijalno raspoloživ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>50kW<sub>e</sub> 1+MW<sub>e</sub>(IEA)</li> <li>PAFC: 200kW<sub>e</sub>-2MW<sub>e</sub></li> <li>MCFC: 250kW<sub>e</sub>-2MW<sub>e</sub>(A)</li> <li>PEMFC: 1kW<sub>e</sub>-250kW<sub>e</sub>(A)</li> <li>SOFC: 1kW<sub>e</sub>-5 MW<sub>e</sub>(A)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>35%-60%(IEA)</li> <li>MCFC: ± 50-55% (IEA)</li> <li>PAFC: ± 35% (IEA)</li> <li>PEMFC: ± 35% (IEA)</li> <li>SOFC: ± 50-55% (IEA)</li> <li>Električna učinkovitost kod manjih instalacija: ~ 25%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>proizvodnja energije</li> <li>CHP, UPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>metanol</li> <li>vodik ili zemni plin koji zahtijeva postupak reformacije</li> </ul>	
Fotonaponski moduli	<ul style="list-style-type: none"> <li>ne proizvodi toplinsku energiju</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1+kW(IEA)</li> <li>20+kW(A);</li> <li>primjena ovisi samo o broju modula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nije jedinstveno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kućna i manja komercijalna primjena</li> <li>primjena kod izostanka priključka na mrežu</li> <li>manje instalacije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stunce</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>proizvodnja se ne može predviđeti</li> </ul>
Vjetroelektrane	<ul style="list-style-type: none"> <li>priobalne i na kopnu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>200W-3MW(A)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nije jedinstveno</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>vjetar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>proizvodnja se ne može predviđeti</li> </ul>
Ostali obnovljivi izvori	<ul style="list-style-type: none"> <li>uključena toplinska sunčeva, male HE, geotermalna, ocean...</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>nije jedinstveno</li> </ul>			

Tablica 3. Distribuirana proizvodnja – tehnologije i njihove potencijalne prednosti

	Pričuva	Rezanje vršnih opterećenja	Pouzdanost napajanja	Osigurana kvaliteta energije	Umanjuje potrebu za izgrad. mreže	Podrška mreži (pomoćni izvori)	Mogućnost kogeneracije	"Zelena energija"	Jeftino gorivo
Motori s unutarnjim izgaranjem	Da	Da	Da, uz dispečiranje		Da, uz dispečiranje	Da, uz dispečiranje	Da	Ne-Da <sup>1)</sup>	Ne-Da <sup>1)</sup>
Plinske turbine	Da	Da	Da, uz dispečiranje		Da, uz dispečiranje	Da, uz dispečiranje	Da	Ne-Da <sup>1)</sup>	Ne-Da <sup>1)</sup>
Micro turbine	Da	Da	Da, uz dispečiranje		Da, uz dispečiranje	Da, uz dispečiranje	Da	Ne-Da <sup>1)</sup>	Ne-Da <sup>1)</sup>
Gorive ćelije	Da	Ne	Da, uz dispečiranje		Da, uz dispečiranje	Da, uz dispečiranje	Da	Ne-Da <sup>2)</sup>	Ne
Fotonaponski moduli	Ne	Ne	Ne	Ne	teško	teško	Ne	Da	Da
Vjetroelektrane	Ne	Ne	Ne	Ne	teško	teško	Ne	Da	Da
Ostali obnovljivi izvori	Ne	Ne	Ne, osim mHE		teško	teško	Ne, osim ako je gorivo biomasa	Da	Da

Da: tehnologija doprinosi ...;

Ne: tehnologija ne doprinosi ...;

teško: zahtjev značajno korištenje dodatnih tehnologija, npr. za pohranu energije

(1): "Zelena energija" je moguća uz korištenje bioplina ili biodizela

(2): "Zelena energija" je moguća uz proizvodnju vodika elektrolizom koristeći el. e. iz solarnih ili vjetroelektrana

Tablica 4. Distribuirana proizvodnja – tehnologije i utjecaji

	Investicije u €/kWe	Povećanje tržišta plinom	Mogućnost doprinosa boljoj ekonomskoj učinkovitosti u otvorenom tržištu	CO <sub>2</sub> emisija u (g/kWh) bez CHP načina rada	NO <sub>x</sub> emisija (g/kWh)	SO <sub>2</sub> emisija (g/kWh)	Mogućnost daljinskog vođenja (dispečiranje)
Motori s unutarnjim izgaranjem	1500 – 2500	Da	Da, ali ovisi o terminam, učinkovitosti	Dizel: 650 (IEA) Plin: 500-620 (IEA)	Dizel: 10 (IEA) Plin: 0,2-1 (IEA)		Moguće, ali se ne primjenjuje
Plinske turbine	1000 – 1250	Da	Da	580-680 (IEA)	0,3-0,5 (IEA)		Moguće, ali se ne primjenjuje
Micro turbine	1500 – 2000	Da	Da, ali ovisi o terminam, učinkovitosti	720 (IEA)	0,1 (IEA)		Moguće, ali se ne primjenjuje
Gorive ćelije	4500 – 20000 (IEA)	moguće	Da, ali ovisi o terminam, učinkovitosti	0,005-0,01 (IEA)	0,005-0,01 (IEA)		Moguće, ali se ne primjenjuje
Fotonaponski moduli	5000 – 7000 (IEA)	Ne	Ne	0 (IEA) Neizravna emisija: proizvedena el.en. se akumulira/koristi za proizvodnju drugog energenta	0 (IEA) Neizravna emisija: proizvedena el.en. se akumulira/koristi za proizvodnju drugog energenta	0 (IEA) Neizravna emisija: proizvedena el.en. se akumulira/koristi za proizvodnju drugog energenta	Ne
Vjetroelektrane	800 – 1000 priobalne 2000 u moru	Ne	Ne	0 (IEA) Neizravna emisija: proizvedena el.en. se akumulira/koristi za proizvodnju drugog energenta	0 (IEA) Neizravna emisija: proizvedena el.en. se akumulira/koristi za proizvodnju drugog energenta	0 (IEA) Neizravna emisija: proizvedena el.en. se akumulira/koristi za proizvodnju drugog energenta	Ne
Ostali obnovljivi izvori		Ne	Ne				

Tablica je napravljena iz informacija koje se nalaze u [40, 69]

- osigurava nepristran pristup razdjelnoj mreži za treće osobe, osim ako može dokazati da to nije opravdano zbog tehničkih i/ili pogonskih ograničenja;
- dužan je na svoju mrežu priključiti sve potencijalne korisnike, osim ako za takvo priključenje postoje važni ekonomski i/ili tehnički razlozi koji ne dopuštaju priključenje.

Raznolikost načina proizvodnje električne energije, priključka na mrežu, upravljanja i vođenja zahtijeva reviziju ili pisanje novih kriterija i standarda za priključak distribuiranih izvora. U postojećim Tehničkim uvjetima [84] može se reći da su tehnički kriteriji priključka malih hidroelektrana i kogeneracija sa sinkronim i asinkronim generatorima u skladu sa svjetskim iskustvima i standardima [10, 11, 36, 37, 41] međutim zbog novih definicija i terminologije, novih vrsta distribuiranih izvora te tržišta električnom energijom, koje u to doba nije postojalo, nužno je provesti njihovu reviziju. Kao dobar predložak što sve nova inačica Tehničkih uvjeta treba obuhvaćati kako bi ODM, Distribucija i kupac/proizvođač imali jednoznačnu proceduru, mogu poslužiti [10, 13, 14, 15, 16, 36, 37, 40, 41].

Sa stajališta razdjelne mreže, na koju se priključuju, distribuirane izvore možemo podijeliti u tri osnovne kategorije:

- namijenjeni prvenstveno proizvodnji za pokrivanje vlastitih potreba (cjelokupna potrošnja električne energije je na mjestu proizvodnje),
- namijenjeni za prodaju cjelokupne proizvedene električne energije i
- kombinacija prve dvije varijante.

Priključak distribuiranih izvora (DI) na razdjelnu mrežu može biti na niskonaponskoj (0.4 kV) ili srednjonaponskoj (10 kV, 20 kV, 35 kV) razini, na sabirnicama ili u mreži, ovisno o ukupnoj snazi distribuiranog izvora, okolnostima mreže i drugim faktorima. Pri donošenju konačne prosudbe o mogućnosti i načinu priključka treba voditi računa o sljedećem :

- snaga i planirana godišnja proizvodnja DI,
- vršna snaga i potrošnja na lokaciji DI,
- vrsta i osobine pogona na lokaciji DI i
- snaga kratkog spoja mreže na priključnom mjestu.

Tehnički uvjeti određuju minimalne tehničke zahtjeve za projektiranje DI prema kojima bi postrojenje bilo sposobno za paralelni pogon s distribucijskom mrežom. Sastavni dio suglasnosti za priključak DI na razdjelnu mrežu mora biti analiza utjecaja DI koja sadrži proračun tokova snaga, proračun kratkog spoja, a kod DI većih snaga priključenih na 10, 20 ili 35 kV razini i proračun stabilnosti.

Distribuirani izvori utječu na kvalitetu napajanja, struje kratkog spoja i sustav zaštite. Što se tiče kvalitete napajanja najčešće se tehnički uvjeti oslanjaju na europsku normu EN 50160 čime se postupak priključenja čini znatno jednostavnijim, ali postoje odstupanja u raznim zemljama EU što se tiče restriktivnosti prihvatljivih vrijednosti napona u stacionarnim stanjima. Za analizu

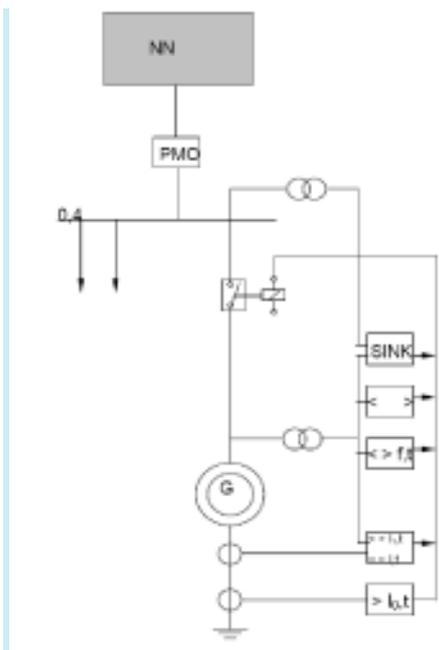
naponskih prilika potrebno je napraviti proračun tokova snaga za normalno pogonsko stanje razdjelne mreže koji uz zadane snage proizvodnje i opterećenja daje napon u svim čvorištima mreže. Ukoliko je DI priključen na kraj radijalnog kraka mreže može doći do promjene tokova snaga i naponskog profila ovisno o opterećenju u čvorištu priključenja. U slučajevima malog opterećenja tokovi snaga su suprotni od onih u tradicionalnoj mreži – izlazna snaga DI teče prema pojnoj točki – transformatoru. Proračun na taj način ukazuje na režim rada DI ili mjesto priključka kompenzacije kako bi se proizvodnjom jalove snage regulirao iznos napona.

Proračun kratkog spoja ovisno o lokacijama kvara kao rezultat daje iznose struje kvara i koristi se za dimenzioniranje elemenata mreže, ali i za udešenje relejne zaštite. Zaštita DI od unutarnjih kvarova ne predstavlja problem niti kod jedne vrste DI. Problem nastaje ako do kvara dođe u mreži. Asinkroni generatori, u pravilu, ne napajaju niti kod jedne vrste kvara mjesto kvara dovoljno dugo i s dovoljnim iznosom struje kvara da bi se na taj način mogla izvršiti selektivnost odvajanja mreže. Sinkroni generatori manjih snaga također zbog problema s uzbuđom ne mogu napajati mjesto kvara s dovoljno velikom strujom kvara. Izmjenjivači pak predstavljaju problem jer ih je zbog nelinearnosti elemenata vrlo teško modelirati klasičnim računalnim programima pa se naj-češće do rezultata dolazi mjerenjima ili posebnim računalnim programima za proračuna prijelaznih stanja. Za izoliranje DI ili dijela mreže gdje se DI nalazi od dijela mreže gdje je nastao kvar, najčešće se prema svjetskim iskustvima koriste pasivne metode za otkrivanje otočnog rada koje se zasnivaju na mjerenju određenih parametara kao što su napon i frekvencija i/ili njihovih karakteristika. To je nad/podnaponska, nad/podfrekvencijska, i promjena frekvencije (*ROCOF – Rate of change of frequency*). DI se ne smiju priključivati u raz-djelne mreže s ugrađenim automatskim ponovnim uklopom.

Prema tehničkim uvjetima za priključak malih elektrana na elektroenergetsku mrežu [84] kod male elektrane ukupne snage do 100 kW sustav zaštite obvezno čine:

- nadstrujna zaštita statorskog namotaja generatora,
- nadstrujna zaštita od zemljospoja,
- zaštita od previsokog napona,
- zaštita od preniskog napona,
- zaštita od porasta frekvencije,
- zaštita od sniženja frekvencije i
- zaštita od izravnog i neizravnog dodira.

Slika 1 prikazuje principijelna shema spajanja zaštite. Uređaj označen s oznakom “*S/NK*” odnosi se na uređaj za sinkronizaciju. Svi ovi zaštitni uređaji prilikom prerade bezuvjetno isključuju DI sa elektroenergetskog sustava. Valja napomenuti da za DI iznad 100 kW do 1000 kW tehnički uvjeti propisuju još i zaštitu od nesimetričnog opterećenja i zaštitu od povratne snage. DI iznad 1000 kW moraju uza svu nabrojenu zaštitu



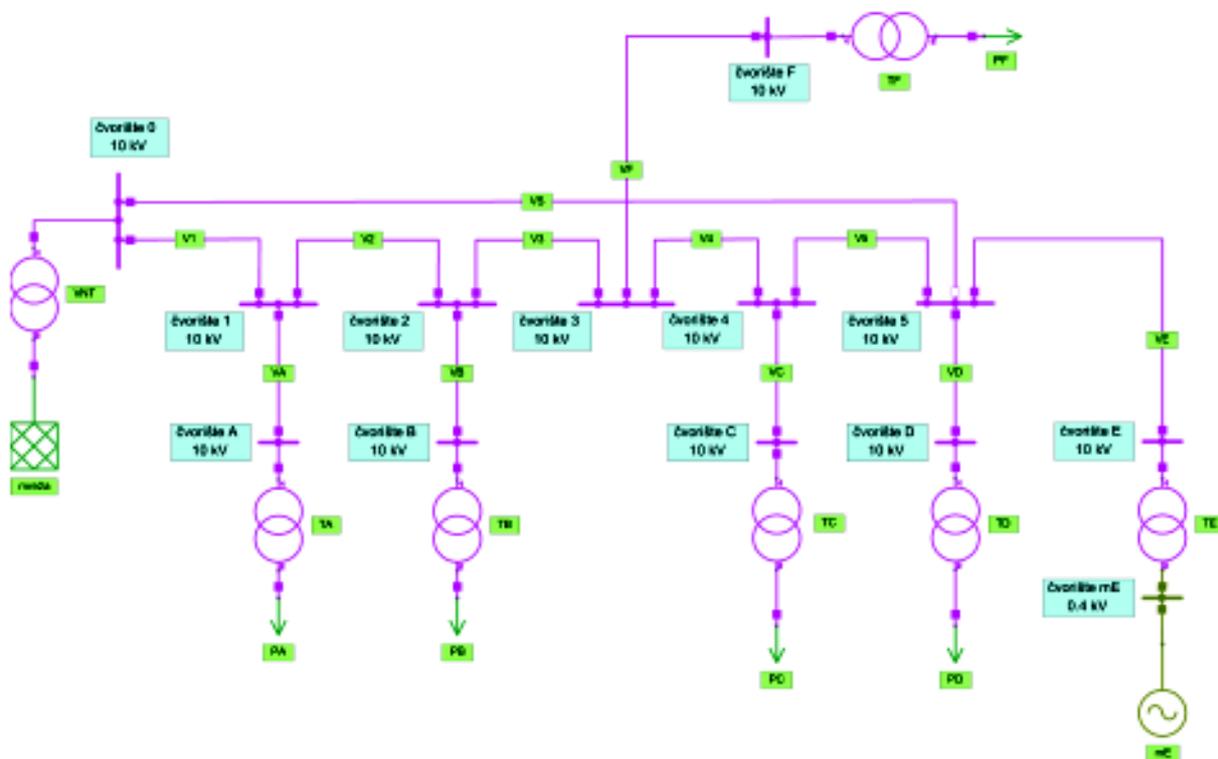
Slika 1. Priključak distribuiranog izvora (mHE) na razdjelnu mrežu 0.4kV prema [84]

sadržavati i diferencijalnu zaštitu. Nabrojena zaštita generatora male elektrane odnosi se na elektrane koje su predviđene samo za paralelni rad s razdjelnom mrežom. Slika 1 prikazuje slučaj DI sa sinkronim generatorom. Zaštita u slučaju sa asinkronim generatorom bitno se ne

razlikuje od prikazane sheme na slici. U tom slučaju nije potreban uređaj za sinkronizaciju jer se asinkroni generator ne sinkronizira prilikom upuštanja. Upuštanje asinkronog generatora rješava se otporima ili zasitljivim prigušnicama spojenim u seriju s generatorom, s time da se upuštači nakon zaleta kratko spoje i više nisu u funkciji. Ovaj slučaj s upuštačima je nužan kod većih jedinica zbog toga što je početna struja generatora pet do šest puta veća od nazivne. Kod asinkronih generatora nije potrebna uzbuda međutim potrebno je spojiti kompenzaciju uz generator tako da se faktor snage održava u dopuštenim granicama.

### 3.2. Primjer proračuna za DI – malu hidroelektranu

Primjer koji je ovdje obrađen dio je tradicionalne razdjelne mreže koja ugradnjom distribuiranog izvora postaje aktivna mreža pa se trebaju provjeriti svi njegovi mogući utjecaji na razdjelnu mrežu. Razdjelne mreže uvijek imaju radijalno napajanje neovisno o izgrađenoj strukturi mreže, bez obzira radi li se o ruralnoj ili gradskoj mreži. Ako dođe do kvara jednog dijela voda, početno će cijeli vod biti isključen jer je prva zaštita voda obično u pojnoj transformatorskoj stanici. Vrijeme popravka voda ili drugog elementa mreže je zasebni problem. Ako je struktura razdjelne mreže zatvorena tada se dio mreže u kvaru može izolirati i napajanje osigurati iz drugog smjera ili iz druge pojne transformatorske stanice. Složeniji je slučaj ako se u radijalnoj mreži kvar dogodi na otcjepu voda. Ako postoji mogućnost odva-



Slika 2. Primjer razdjelne mreže s priključenim distribuiranim izvorom/alternativnim poveznim vodom VS

janja otcjepa u kvaru tada su jedino kupci električne energije na tom otcjepu bez napajanja. Najlošiji slučaj je naravno kvar na magistralnom vodu. Tada su svi kupci električne energije iza kvara bez napajanja svo vrijeme dok se kvar ne otkloni. U tom slučaju postoji mogućnost da distribuirani izvor bude projektiran i izveden tako da u slučaju kvara na dijelu magistralnog voda preuzme napajanje dijela kupaca. To je jedini slučaj kada distribuirani izvori utječu na povećanje raspoloživosti razdjelne mreže.

### 3.2.1. Utjecaj na padove napona i tokove snaga

Proračun tokova snaga i padova napona može se izvršiti na više načina. Ovdje je primijenjen iterativni postupak. Ulazni podaci za ovaj postupak su sljedeći:

- iznos napona referentnog čvorišta,
- iznos predviđenog vršnog opterećenja (prividne snage) pojedinih točaka opterećenja u horizontnoj godini perioda planiranja i
- iznos radnih i induktivnih otpora pojedinih grana.

Za napon referentnog čvorišta postavlja se nazivni napon mreže. Iterativnim postupkom dobiva se pravi napon čvorišta.

Iznos predviđenog vršnog opterećenja neke točke u mreži dobiva se na više načina. Prvi i najtočniji rezultat dobiva se mjerenjem opterećenja (najčešće se radi o mjerenju ukupnog opterećenja transformatorske stanice) u određenom vremenskom periodu. Posebno su povoljne transformatorske stanice koje imaju svoje mjerne terminale za registraciju maksimalnih opterećenja. Drugi način je da se na osnovi broja kupaca električne energije procijeni opterećenje transformatorske stanice matematičkim postupkom.

Iznos radnih i induktivnih otpora pojedinih grana se izračunava iz poznate duljine grane i jediničnih vrijednosti otpora voda.

U proračunu se uzimaju vršna opterećenja karakterističnih točaka opterećenja. Razlog tomu je dobivanje tokova snaga i padova napona za “najgori slučaj”, tj. slučaj kada je sustav najopterećeniji.

### 3.2.2. Utjecaj na struje kratkog spoja

Struje trolnog kratkog spoja se izračunavaju, ovisno o mjestu kvara, izravno iz jednopolne sheme sa slike 3. Za struje dvopolnog i jednopolnog kratkog spoja moraju se koristiti nadomjesne sheme, koje uzimaju u obzir i inverznu i nultu komponentu struje kratkog spoja. U sredjonaponskim razdjelnim mrežama nul-točka napojnog transformatora u transformatorskoj stanici  $x/10$ ,  $x/20$  ili  $x/35$  kV se uzemljuje preko otpora. Otpor se dimenzionira tako da ograniči struju jednopolnog kratkog spoja na 150, 300, 600 ili 1000 A, te je izrazito radnog karaktera (omski otpor).

Za slučaj priključivanja distribuiranog izvora razmatrani su utjecaji ako se priključuje asinkroni ili sinkroni generator. Asinkroni generator se u početnoj fazi kratkog spoja (nekoliko perioda) ponaša kao aktivni izvor. Međutim, budući da generator nema vlastitu uzbudu, nakon nekoliko perioda, generator gubi svojstva izvora te predstavlja pasivni element mreže (u nadomjesnoj shemi kao otpor). Ovaj slučaj vrijedi samo kod trolnog kratkog spoja. Kod jednopolnog i dvopolnog kratkog spoja asinkroni generator ima uzbudu preko jedne ili dvije faze, a pošto mu je nul-točka uzemljena, struja se može zatvoriti u oba slučaja. Sinkroni se pak generator ponaša kao aktivni element cijelo vrijeme kratkog spoja. Sinkroni ge-

Tablica 5. Iznosi napona u čvorištima za različite slučajeve proračuna

čvorište	bez mE	s mE 200 kVA ind	s mE 200 kVA kap	s mE 400 kVA ind	s mE 400 kVA kap	s mE 600 kVA ind	s mE 600 kVA kap	s mE 800 kVA ind	s mE 800 kVA kap	s poveznim vodom umjesto mE
A	10,14	10,28	10,22	10,42	10,30	10,55	10,37	10,68	10,44	10,27
B	10,03	10,24	10,14	10,45	10,24	10,65	10,35	10,84	10,46	10,21
C	9,92	10,24	10,07	10,54	10,22	10,83	10,37	11,12	10,53	10,18
D	9,89	10,26	10,05	10,61	10,23	10,96	10,41	11,29	10,61	10,18
F	9,90	10,20	10,03	10,48	10,17	10,76	10,32	11,02	10,46	10,13
0	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	10,50
1	10,14	10,29	10,22	10,42	10,30	10,56	10,38	10,69	10,45	10,28
2	10,03	10,24	10,14	10,45	10,25	10,65	10,35	10,84	10,46	10,21
3	9,94	10,23	10,08	10,52	10,22	10,79	10,36	11,06	10,51	10,17
4	9,93	10,24	10,07	10,54	10,22	10,84	10,38	11,12	10,54	10,18
5	9,90	10,27	10,06	10,62	10,24	10,96	10,43	11,30	10,62	10,18
E	9,90	10,31	10,07	10,70	10,26	11,08	10,47	11,45	10,69	10,18

**Tablica 6. Gubici snage u granama za različite slučajeve proračuna**

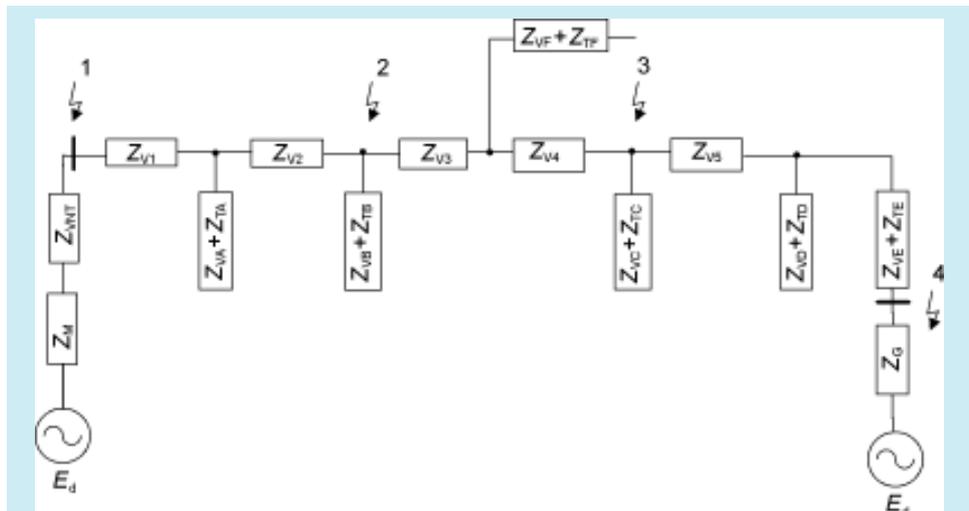
	bez mE	s mE 200 kVA ind	s mE 200 kVA kap	s mE 400 kVA ind	s mE 400 kVA kap	s mE 600 kVA ind	s mE 600 kVA kap	s mE 800 kVA ind	s mE 800 kVA kap	s poveznim vodom umjesto mE
snaga [kW]	88,29	66,04	48,58	58,43	24,65	63,06	14,22	78,09	15,42	31,59

nerator promatra se kroz tri stanja: početno, prijelazno i trajno. Za svaki od tih stanja, sinkroni generator ima drugu vrijednost unutrašnje impedancije.

Proračuni su izvršeni za početne, prijelazne i trajne struje kratkog spoja na svim mjestima označenim na slici 3 (na mjestima 1, 2, i 3 u 10kV mreži, a na mjestu 4 na 0.4 kV sabirnicama). Za svaki promatrani slučaj izvršen je proračun s asinkronim generatorom, sinkronim generatorom i bez priključene male hidroelektrane. Sve vrijednosti struja i impedancija u proračunima su preračunate na vrijednost napona referentnog čvorišta

(10.5kV), tako i struja na sabirnici 4. Zbog pojednostavljenja proračuna vrijednosti reaktancija generatora preuzete su iz [86]. Pretpostavljene nazivne snage generatora za sve proračune kratkog spoja iznosile su 400 kVA.

U svim promatranim slučajevima može se primijetiti da struja kratkog spoja pada kako simuliramo kvar dalje od glavne pojne transformatorske stanice (tablica 7). Tijekom kratkog spoja vidi se stalan doprinos sinkronog generatora struji kratkog spoja. Asinkroni generator daje svoju komponentu struje kratkog spoja samo u početnoj struji kratkog spoja.

**Slika 3. Jednopolna shema mreže na kojoj se vrši proračun kratkog spoja****Tablica 7. Početna<sup>(1)</sup>/prijelazna<sup>(2)</sup>/trajna<sup>(3)</sup> struja trolejnog kratkog spoja u ovisnosti o mjestu kvara**

mjesto KS	1	2	3	4
struja bez mE [kA]	<sup>(1)</sup> 2,60 ∠ -79,7°	1,46 ∠ -55,6°	1,17 ∠ -50,3°	0,34 ∠ -70,8°
	<sup>(2)</sup> 2,60 ∠ -79,7°	1,46 ∠ -55,6°	1,17 ∠ -50,3°	0,34 ∠ -70,8°
	<sup>(3)</sup> 2,60 ∠ -79,7°	1,46 ∠ -55,6°	1,17 ∠ -50,3°	0,34 ∠ -70,8°
struja s asinkronim generatorom [kA]	<sup>(1)</sup> 2,69 ∠ -79,9°	1,55 ∠ -57,5°	1,25 ∠ -53,1°	0,46 ∠ -76,0°
	<sup>(2)</sup> 2,60 ∠ -79,7°	1,46 ∠ -55,6°	1,17 ∠ -50,3°	0,34 ∠ -70,8°
	<sup>(3)</sup> 2,60 ∠ -79,7°	1,46 ∠ -55,6°	1,17 ∠ -50,3°	0,34 ∠ -70,8°
struja sa sinkronim generatorom [kA]	<sup>(1)</sup> 2,67 ∠ -79,9°	1,53 ∠ -57,1°	1,23 ∠ -52,4°	0,43 ∠ -74,7°
	<sup>(2)</sup> 2,64 ∠ -80,0°	1,51 ∠ -56,6°	1,21 ∠ -51,8°	0,40 ∠ -73,5°
	<sup>(3)</sup> 2,61 ∠ -79,8°	1,48 ∠ -56,0°	1,19 ∠ -50,8°	0,36 ∠ -71,8°

**Tablica 8. Početna<sup>(1)</sup>/prijelazna<sup>(2)</sup>/trajna<sup>(3)</sup> struja jednopolnog kratkog spoja u ovisnosti o mjestu kvara**

mjesto KS	1	2	3	4
struja bez mE [kA]	<sup>(1)</sup> 0,16 ∠ -2,9°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,39 ∠ -75,5°
	<sup>(2)</sup> 0,16 ∠ -2,9°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,39 ∠ -75,5°
	<sup>(3)</sup> 0,16 ∠ -2,9°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,39 ∠ -75,5°
struja s asinkronim generatorom [kA]	<sup>(1)</sup> 0,16 ∠ -2,8°	0,15 ∠ -6,3°	0,15 ∠ -8,0°	0,56 ∠ -84,0°
	<sup>(2)</sup> 0,16 ∠ -2,9°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,39 ∠ -75,5°
	<sup>(3)</sup> 0,16 ∠ -2,9°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,39 ∠ -75,5°
struja sa sinkronim generatorom [kA]	<sup>(1)</sup> 0,16 ∠ -2,8°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,48 ∠ -78,5°
	<sup>(2)</sup> 0,16 ∠ -2,8°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,47 ∠ -77,9°
	<sup>(3)</sup> 0,16 ∠ -2,9°	0,15 ∠ -6,4°	0,15 ∠ -8,0°	0,45 ∠ -77,1°

Kod jednopolnog kratkog spoja može se primijetiti skok struje kratkog spoja pri proračunu na mjestu "4" u odnosu na mjestima "1", "2" i "3" (tablica 8). Struja jednopolnog kratkog spoja u SN mreži je ograničena otporom od 35 Ω tako da za mjesta "1", "2" i "3" struja kratkog spoja ne može biti veća od 160 A.

### 3.2.3. Utjecaj na raspoloživost razdjelne mreže

Kod proračuna raspoloživosti razdjelne mreže bez i s priključenim distribuiranim izvorom razmatrani su slučajevi kada je razdjelna mreža napajana radijalno sa zaštitom u pojnoj transformatorskoj stanici, ako se u mreži ugradi rastavljač za automatsko odvajanje voda u kvaru te povezni vod kao alternativa izgradnji distribuiranog izvora. Mreža na kojoj su izračunati indeksi raspoloživosti, SAIDI i SAIFI, prikazana je na slici 2. Kako bi se mogao uzeti utjecaj DI na povećanje raspoloživosti razdjelne mreže moralo se pretpostaviti da DI može preuzeti na sebe teret  $P_c$  i  $P_d$  u otočnom radu. Prvi uvjet podrazumijeva instaliranu snagu DI veću od one koju angažiraju kupci električne energije spojeni na transformatorske stanice "e" i "d". Drugi uvjet podrazumijeva izvedbu DI s agregatom koji u otočnom radu može zadržavati zadovoljavajući napon i frekvenciju. U slučaju povećanja vršne snage kupaca električne energije u "otoku" iznad nazivne snage generatora mora se predvidjeti mogućnost iskapčanja dijela „otoka“ radi zadržavanja propisane frekvencije i napona. Isto tako, prilikom prijelaza DI iz paralelnog režima rada u otočni, potrebno je predvidjeti da generator DI podnese naglu promjenu opterećenja.

U razdjelnoj mreži potrebno je predvidjeti mjesto za prekidač koji će rastavljati napojnu mrežu od dijela koji se napaja u „otoku“.

Povećanje raspoloživosti razdjelne mreže ugradnjom DI ovisi o mjestu ugradnje DI, instaliranoj snazi, te o tome koliko iznose vršne snage kupaca električne energije u promatranoj mreži. Ovaj zadnji uvjet proizlazi iz uvjeta da raspoloživost ovisi o broju kupaca električne energije koji ostaju bez napajanja. DI će moći preuzeti toliko

više kupaca koliko mu je veća instalirana snaga i koliko je vršna snaga svakog pojedinačnog kupca manja.

Za izračunavanje indeksa raspoloživosti za uzeti primjer razdjelne mreže definirane su veličine potrebne za proračun.

Intenzitet kvarova "λ" se izražava kao broj kvarova u godini, a može se računati na više načina. U ovom će se radu koristiti jednostavniji način uzimanjem prosječnog broja kvara po duljini voda (0,15 kvarova po kilometru duljine za nadzemni vod godišnje i 0,1 za kabelski) te da se prema tome računa faktor "λ" [7].

Za prosječno trajanje popravka kvara je u proračunu pretpostavljen period od 9 sati za kabele (1 sat za lociranje kvara i 8 sati za popravak) i 6 sati za nadzemne vodove (1 sat za lociranje kvara i 5 sati za popravak).

Pretpostavljeni broj kupaca spojen na transformatorsku stanicu "a"  $N_a = 60$ , na "b"  $N_b = 40$  i tako dalje analogno  $N_c = 20$ ,  $N_d = 150$ ,  $N_e = 70$  i  $N_f = 100$ .

Duljine dionica i intenzitet kvarova navedene su u tablici 9.

Indeksi pouzdanosti i raspoloživosti mreže SAIFI i SAIDI (tablica 10) najviše su se smanjili u slučaju izgradnje spojnog voda radijalne mreže te razdvajanjem mreže na dva izlaza. Međutim, može se primijetiti da se i ugradnjom DI raspoloživost mreže znatno povećava. Zaključak je da se prstenasta mreža (ovdje izvedena s poveznim vodom) povećava raspoloživost mreže. U slučajevima kada prstenastu mrežu nije moguće izvesti, te kada je potrebno na radijalnom izlazu napajati kupca električne energije izuzetno osjetljivog na prekid napajanja, onda se ugradnja DI sposobnog za otočni rad postavlja kao opcija kojom je moguće zadovoljiti uvjete isporuke električne energije.

## 4. EKONOMSKI UTJECAJ NA RAZDJELNU MREŽU

Ekonomski utjecaj na razdjelnu mrežu sadrži više gledišta od kojih je jedan od važnijih planiranje razdjelne

**Tablica 9. Intenzitet kvarova po dionicama**

ime dionice	duljina dionice [km]	intenzitet kvara $\lambda$ [kvarova godišnje]
V1	2,0	0,30000
V2	1,0	0,15000
V3	1,2	0,18000
V4	0,3	0,04500
V5	0,8	0,12000
VA	0,5	0,07500
VB	0,2	0,03000
VC	1,0	0,15000
VD	1,3	0,19500
VE	2,2	0,33000
VF	4,0	0,60000

**Tablica 10. Izračunati indeksi raspoloživosti**

	slučaj 1)*	slučaj 2)**	slučaj 3)***	slučaj 4)****
$U_{m,Pa}$	5,805	5,205	5,280	4,860
$U_{m,Pb}$	5,580	4,980	5,055	4,635
$U_{m,Pc}$	6,180	5,580	5,655	2,415
$U_{m,Pd}$	6,405	5,805	2,175	2,640
$U_{m,Pe}$	7,080	6,480	3,150	3,315
$U_{m,Pr}$	8,430	8,430	7,905	7,485
<b>SAIDI</b>	<b>6,806</b>	<b>6,342</b>	<b>4,476</b>	<b>4,322</b>
$\lambda_{m,Pa}$	2,175	1,575	1,650	1,335
$\lambda_{m,Pb}$	2,175	1,575	1,650	1,335
$\lambda_{m,Pc}$	2,175	1,575	1,650	0,840
$\lambda_{m,Pd}$	2,175	1,575	0,525	0,840
$\lambda_{m,Pe}$	2,175	1,575	0,525	0,840
$\lambda_{m,Pr}$	2,175	2,175	1,650	1,335
<b>SAIFI</b>	<b>2,175</b>	<b>1,711</b>	<b>1,088</b>	<b>1,065</b>

\* prvi slučaj se odnosi na radialnu mrežu

\*\* drugi slučaj se odnosi na radialnu mrežu s prekidačem za automatsko odvajanje voda u kvaru u otcjepu "f"

\*\*\* treći slučaj se odnosi na slučaj s DI koja je sposobna u otočnom radu preuzeti točke opterećenja Pd i Pe

\*\*\*\* četvrti slučaj se odnosi na slučaj s povezanim vodom umjesto DI

mreže. Kako je opisano u [85] obveza je ODM-a planiranje pogona, ali i planiranje razvoja razdjelne mreže uz uvjet da se s tim jamči siguran i pouzdan pogon mreže. Pri tomu se trebaju primjenjivati važeći zakonski i podzakonski akti, odluke regulatornog tijela i gran-ske norme ODM-a. Prema organizacijskoj strukturi HEP Distribucije operativna razina planiranja se spušta na postojeća distribucijska područja, odnosno na regionalna distribucijska područja nakon njihovog formiranja.

Praćenje opterećenja mreže i iskorištenost kapaciteta mreže postaju jedan od nužnih uvjeta za uspješno

planiranje razdjelne mreže kad ona iz tradicionalne konfiguracije prelazi u aktivnu mrežu. Planiranjem opterećenja mreže trebaju se osim dosadašnjih planiranja opterećenja u točkama opterećenja (najčešće transformatorske stanice x/0.4 kV) planirati i moguća mjesta u mreži gdje se mogu pojaviti distribuirani izvori i to na svim naponskim razinama te analizirati njihov utjecaj na razdjelnu mrežu. To je nužan preduvjet za optimalno strukturiranje mreže i kratkoročno planiranje dinamike njezine izgradnje. Optimiranjem investicijskih ulaganja tako se može izbjeći predimenzioniranje elemenata.

Već je kod razmatranja tehničkog utjecaja na razdjelnu mrežu pokazano da određenim slučajevima pogona distribuirani izvori mogu povećati raspoloživost razdjelne mreže, a isto tako da utječu na smanjenje gubitaka snage i energije u razdjelnoj mreži. Trenutačno još ne postoje analize koliki je financijski efekt tih utjecaja, pogotovo kod povećanja raspoloživosti zbog još neodređenih cijena neisporučene električne energije ili nekog drugog „malusa“ neisporučene električne energije. Međutim, priključivanje distribuiranih izvora na razdjelnu mrežu svakako ima ekonomski utjecaj koji se može sagledati kroz nekoliko vrsta troškova.

Prvo, to su inicijalni troškovi priključenja distribuiranog izvora na razdjelnu mrežu koji ne mogu biti identični za svaku naponsku razinu. Inicijalni troškovi se mogu sastojati iz dva dijela tzv. *shallow cost*, odnosno troška izgradnje priključnog voda od distribuiranog izvora do priključnog mjesta u razdjelnoj mreži i tzv. *deep cost*, odnosno troška koji nastaje u razdjelnoj mreži zbog utjecaja distribuiranog izvora na razdjelnu mrežu, a zahtijeva njezinu rekonstrukciju (npr. ugradnju relejne zaštite, ugradnju prekidača veće prekidne moći, izgradnju voda, itd.). Dosadašnja praksa je bila da sve inicijalne troškove snosi distribuirani izvor koji se priključuje na razdjelnu mrežu. Tako su se događale situacije da je prvi distribuirani izvor koji se priključivao na razdjelnu mrežu platio njezinu rekonstrukciju, dok je nekolicina sljedećih priključaka zbog dovoljne zalihosti u rekonstruiranoj mreži bilo oslobođeno tih troškova. Zbog otvorenog tržišta električnom energijom i saznanja da se s jedne strane subvencionira izgradnja distribuiranih izvora (pogotovo obnovljivih), a zatim nestimulativno dodatnim troškovima opterećuje njihovo priključivanje, već se primjenjuju ili se predlažu novi, stimulirajući i tržišno raspodijeljeni troškovi [30, 40]. Ukoliko se npr. analizom pokaže da je zbog priključenja distribuiranog izvora u razdjelnu mrežu nužna njezina rekonstrukcija, troškove rekonstrukcije snosi distribuirani izvor, ali proporcionalno udjelu njegovog utjecaja na tu rekonstrukciju (npr. ugradnje prekidača veće prekidne moći).

Drugo, u praksi se pokazalo da priključivanjem distribuiranih izvora za distribuciju može nastati još jedna vrsta troška, tzv. *stranded cost*, odnosno trošak koji nastaje investicijskim ulaganjem u izgradnju razdjelne mreže koja se zbog naknadne izgradnje distribuiranog

izvora ne može vratiti. Primjer naveden u [30] vrlo dobro opisuje situaciju nastanka takvog troška. Distribucijsko poduzeće investira u izgradnju voda koji napaja industrijsko postrojenje. Naknadno se u industrijskom postrojenju izgradi distribuirani izvor koji uzrokuje smanjenje iznosa kupljene električne energije od distribucijskog poduzeća te izgrađeni vod učini nerentabilnim. U svjetskoj praksi postoje dva načina na koji distribucijsko poduzeće zahtijeva povrat uloženih investicijskih sredstava zbog nerentabilnog voda: jednokratni iznos troška koji se vraća kroz određeni period vremena ili tzv. *standby cost*, odnosno trošak koji distribuirani izvor, odnosno industrijsko postrojenje plaća zbog osiguranja pričuve napajanja električnom energijom iz razdjelne mreže zbog planiranih ili neplaniranih ispada distribuiranog izvora. Svi ovi troškovi utječu na atraktivnost izgradnje distribuiranih izvora tako da moraju biti regulirani i definirani zakonskim aktima kako bi se osiguralo pozitivno tržišno natjecanje.

Nakon što je većina država ukinula subvenciju na cijenu proizvedene električne energije iz distribuiranih izvora (obnovljivi izvori se još uvijek subvencioniraju) trebalo je osigurati njihov tržišni opstanak, a isto tako i dalje učiniti atraktivnim za ulaganje u njihovu izgradnju. Danas su najraširenija dva pristupa. Prvi pristup je da se stimulira proizvodnja električne energije iz distribuiranih izvora u onim periodima dana (vršna opterećenja) kad je cijena električne energije na tržištu dovoljno visoka da distribuirani izvori s cijenom svoje energije budu konkurentni na tržištu. Drugi pristup koji se predlaže je koncept virtualnih elektrana (VE) eng. *Virtual Power Plants (VPP) ili samo Virtual Plants (VP)* [40]. Virtualna elektrana je zapravo udruženje malih proizvođača električne energije, odnosno distribuiranih izvora koji koriste istu ili najčešće različite tehnologije za proizvodnju električne energije. Oni nastupaju prema ODM-u kao jedna elektrana, iako su prostorno dislocirani, odnosno priključeni u raznim dijelovima razdjelne mreže. To zahtijeva od ODM-a vrlo sofisticirani informacijski sustav koji se zove DEMS (*Decentralised Energy Management System*) – Decentralizirani sustav upravljanja energijom. DEMS se sastoji od tri dijela: prognoze, planiranja resursa i *on-line* optimizacije. Prognoza se sastoji od prognoze opterećenja i prognoze proizvodnje pojedinih DI za sljedeći dan. Planiranje resursa uključuje sve ugovore o isporuci, kupovini i transferu energije, proizvodnji i skladištenju energije, uvjeti pogona i planirani ispadi i održavanje. *On-line* optimizacija je potrebna za dispečiranje, odnosno upravljanje i vođenje razdjelne mreže u realnom vremenu te su za nju potrebni podaci o opterećenju i proizvodnji u realnom vremenu te meteorološka situacija kako bi se planirana proizvodnja i potrošnja uskladila sa stvarnom. Tako dobiveni podaci se onda koriste za upravljanje virtualnom elektranom bez obzira radi li se o upravljivim ili neupravljivim distribuiranim izvorima.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu se pokušalo ukazati na utjecaj koji distribuirani izvori imaju na planiranje izgradnje, ali i na planiranje pogona aktivne razdjelne mreže. Hrvatska trenutno zaostaje u primjeni ovih tehnologija. Kako je Hrvatska ujedno potpisnik *Kyoto* protokola te niza regionalnih ugovora o energetske suradnji i osnivanju regionalnog tržišta energijom [51, 52, 57] može se očekivati da će i prije članstva u EU imati obvezu subvencioniranja i stimuliranja izgradnje i priključivanja distribuiranih izvora, pogotovo obnovljivih izvora. To znači da se vrlo brzo moraju pravila tržišta i mrežnog poslovanja uskladiti i konstantno usklađivati s pravilima EU, moraju se definirati standardi priključenja na razdjelnu mrežu, ODM mora razviti kriterije i metode planiranja izgradnje i pogona aktivnih razdjelnih mreža, nužna je modernizacija upravljanja i vođenja razdjelnih mreža, modernizacija zaštite te uvođenje modernih informacijskih tehnologija (GIS) u poslovanje distribucija. To naravno zahtijeva velika ulaganja, ali je to jedini način uspješne integracije obnovljivih i distribuiranih izvora električne energije u razdjelne mreže pri ispunjavanju EU ciljeva [55, 56, 53]. Uvijek se naravno postavlja pitanje koje od navedenih tehnologija su interesantne i primjenjive u Hrvatskoj. Prema dosadašnjim istraživanjima i stanju tehnologije to su sljedeće tehnologije: male hidro-elektre (cca. 350 prema Studiji energetskeg razvitka Hrvatske), biomasa (bioplin, biodizel), komunalni otpad (spalionice ili proizvodnja metana) i korištenje solarne energije (izravna i termalna pretvorba u električnu energiju). Za korištenje energije vjetra, zbog novih zakonskih uvjeta, nedovoljno jake domaće industrije, nedovoljne istraženosti lokacija ne može se pouzdano procijeniti njihova budućnost. Razmatrajući povećanje energetske učinkovitosti, s porastom standarda može se očekivati pojava kogeneracijskih postrojenja (*micro-CHP*) koji će zamijeniti postojeće kotlovnice ili sustave centralnog grijanja, zatim sustavi s fotonaponskim modulima, koji će sa pojavljivati u niskonaponskoj mreži. Prema [40] sve veća raširenost distribuirane proizvodnje možda predstavlja treću generaciju reforme elektroenergetskog sektora (prva generacija je bila nastanak neovisnih proizvođača, druga je stvaranje otvorenog tržišta). Ta treća generacija reformi bi se sastojala iz tri faze. Prvu čini prilagodba DI tržišnim uvjetima uz centralizirano upravljanje sustavom. Druga je faza decentralizacija koju karakterizira značajan udio DI u proizvodnji i pojava virtualnih elektrana dok je upravljanje i vođenje zadržano samo na razini lokalnih distribucija. Treća je faza obilježena prevladavajućim udjelom DI u proizvodnji električne energije, organiziranim u mikromreže (*mini ili micro-grids*) i energetske parkove koji osiguravaju vlastitu potrošnju, a mrežu koriste samo za razmjenu energije. U tom slučaju ODM postaje više agent-posrednik između zainteresiranih strana nego kontrolor sustava.

U svakom slučaju planiranje, pogon i upravljanje budućim aktivnim razdjelnim mrežama s uključenim distribuiranim izvorima u skoroj budućnosti predstavljat će jedan od najvećih stručnih i znanstvenih izazova od dana kada je uspostavljen prvi elektroenergetski sustav. Ne zaboravimo – to je bilo u Hrvatskoj 28. kolovoza davne 1895. godine.

## 6. LITERATURA

- [1] A. M. BORBELY, J. F. KREIDER: "Distributed Generation: The Power Paradigm for The New Millenium", CRC Press 2001.
- [2] N. JENKINS, R. ALLAN, P. CROSSLEY, D. KIRSCHEN, G. STRBAC: "Embedded Generation", IEE Power and Energy Series 31, 2000.
- [3] H. L. WILLIS, W. G. SCOTT: "Distributed Power Generation: Planning and Evaluation", Marcel Dekker, Inc., 2000.
- [4] H. L. WILLIS: "Power Distribution Planning Reference Book", Marcel Dekker, Inc., 1997.
- [5] J. C. DAS: "Power System Analysis: Short-Circuit Load Flow and Harmonics", Marcel Dekker, Inc., 2002.
- [6] R. E. BROWN: "Electric Power Distribution Reliability", Marcel Dekker, Inc., 2002.
- [7] R. BILLINTON, R. N. ALLAN: "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1996.
- [8] G. GRANIĆ, B. JELAVIĆ: "Potrošači energije u uvjetima otvorenog tržišta", 12. Forum: Dan energije u Hrvatskoj, Zbornik radova Zagreb, 28.11.2003.
- [9] K. OTT: "Pridruživanje Hrvatske Europskoj Uniji: Izazovi ekonomske i pravne prilagodbe", Institut za javne financije, Zagreb, 2003.
- [10] 1547-IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System, IEEE, 2003.
- [11] G. STRBAC, J. MUTALE, T. BOPP: "Business Models in a World Characterised by Distributed Generation", interni dokument-UMIST, 2002.
- [12] Powercor: Customer Guidelines for Embedded Generation of Rating Up to 1 MW, Powercor Australia, Ltd., 2002.
- [13] K. JARRET, et al.: "Technical Guide to the Connection of Generation to the Distribution Network", DTI Report 2003.
- [14] P. WILLIAMS, S. ANDREWS: "Embedded Generation Connection Incentives for Distribution Network Operators", DTI Report 2002.
- [15] S. INGRAM, S. PROBERT, K. JACKSON: "The Impact of Small Scale Embedded Generation on the Operating Parameters of Distribution Networks", DTI Report 2003.
- [16] COLLINSON, et al.: "Solutions for the Connection and Operation of Distributed Generation", DTI 2003.
- [17] Distributed Energy Resources in Europe-Destinations 2004, EU dokument 2003.
- [18] R. WISER, et al.: "The Impact of Market Rules on Emerging «Green» Energy Markets", Berkeley National Lab. USA, 1998.
- [19] C. MARNAY, et al.: "Integrated Assesment of Dispersed Energy Resources Deployment", Berkeley National Lab. USA, 2000.
- [20] C. MARNAY, et al.: "Customer Adoption of Small-Scale On-Site Power Generation", Berkeley National Lab. USA, 2001.
- [21] C. MARNAY, et al.: "Evaluation Framework and Tools for Distributed Energy Resources", Berkeley National Lab. USA, 2003.
- [22] C. MARNAY, et al.: "Distributed Generation Capabilities of the National Energy Modelling System", Berkeley National Lab. USA, 2003.
- [23] C. MARNAY, et al.: "Distributed Energy Resources with Combined Heat and Power Applications", Berkeley National Lab. USA, 2003.
- [24] C. MARNAY, et al.: "Distributed Energy Resources in Practice: A Case Study Analysis and Validation of LBNL's Customer Adoption Model", Berkeley National Lab. USA, 2003.
- [25] C. MARNAY, et al.: "A Business Case for On-Site Generation: The BD Biosciences Pharmingen Project", Berkeley National Lab. USA, 2003.
- [26] J. ETO, et al.: "A Framework and Review of Customer Outage Costs: Integration and Analysis of Electric Utility Outage Cost Surveys", Berkeley National Lab. USA, 2003.
- [27] M. BEGOVIĆ, A. PREGELJ, A. ROHATGI, D. NOVOSSEL: "Impact of Renewable Distributed Generation on Power Systems", Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences, 2001.
- [28] M. BEGOVIĆ, A. PREGELJ, A. ROHATGI, D. NOVOSSEL: "On Optimization of Reliability of Distributed Generation-Enhanced Feeders", Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, 2003.
- [29] H. OUTHRED, E. SPOONER: "Network Issues Associated with Distributed Generation", Proceedings of Solar 2002 - Australian and New Zealand Solar Energy Society, 2002.
- [30] G. KOEPEL: "Distributed Generation – Literature Review and Outline of the Swiss Situation", ETH-EEH Power Systems Laboratory, Internal Report 2003.
- [31] E. van SAMBEEK: "Distributed Generation in Competitive Electricity Markets", CEEP Working Paper, 2000.
- [32] Competition in Electricity Markets, OECD/IEA, Paris 2001.
- [33] Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation in Energy Supply Systems, European Commission- Programme "Energy, Environment and Sustainable Development", 2001.
- [34] Energy Policies of IEA Countries-Denmark 2002, OECD/IEA, Paris 2002.
- [35] Energy Policies of IEA Countries-Austria 2002, OECD/IEA, Paris 2002.
- [36] H. MANSIR: "Distributed Generation Comparison of the American and European Interconnection Standards", IEE 2002.
- [37] Application Guide for Distributed Generation Interconnection: 2003 Update The NRECA Guide to IEEE 1547, National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), 2003.
- [38] "Distributed Generation Interconnection Manual-Public Utility Commission of Texas", U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2002.

- [39] "White Paper on Distributed Generation", National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), 2002.
- [40] "Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets", OECD/IEA, Paris 2002.
- [41] "Networks for Embedded Generation-Summary Report", Electricity Engineer's Association of NZ, 2002.
- [42] G. PEPERMANS, J. DRIESEN, D. HAESSEL DONCKX, W. D'HAESELEER, R. BELMANS: "Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues", K.U.Leuven Energy Institute, 2003.
- [43] G. GIEBEL: "On the Benefits of Distributed Generation of Wind Energy in Europe", doktorska disertacija, Univerzitet Oldenburg, 2000.
- [44] C. MARNAY, et al.: "Assessment of  $\mu$ Grid Distributed Energy Resource potential using DER-CAM and GIS", Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2002.
- [45] C. MARNAY, et al.: "Modeling of Customer Adoption of Distributed Energy Resources", Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003.
- [46] C. MARNAY, et al.: "White Paper on Integration of Distributed Energy Resources - The CERTS MicroGrid Concept", Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2002.
- [47] N. J. KELLY, I. BEAUSOLEIL-MORRISON: "Modeling and Simulation of Small Scale Embedded Generation Systems".
- [48] D. W. SALTER, S. A. CASTELAZ: "Distributed Generation – A case study", PowerGen, 1997.
- [49] L. L. GRIGSBY: "The Electric Power Engineering Book", CRC Press, 2001.
- [50] M. R. PATEL: "Wind and Solar Power Systems", CRC Press, 1999.
- [51] "Energy Policy in South East Europe, European Commission", Directorate General for Energy and Transport
- [52] Memorandum of Understanding on the Regional Energy Market in South East Europe and its Integration into the European Community Internal Energy Market – The Athens Memorandum 2003, 2003.
- [53] Energy: Let us overcome our dependence, European Commission 2002.
- [54] Implementation of the Community Strategy and Action Plan on Renewable Energy Sources (1998 – 2000), European Commission, 2001.
- [55] *Energy for the Future*: "Renewable Sources of Energy, White Paper for a Community Strategy and Action Plan", European Commission, 1997.
- [56] Green Paper – Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, European Commission
- [57] Strategy Paper on the Regional Electricity Market in South East Europe And Its Integration Into the European Union Internal Electricity Market, European Commission, 2002
- [58] D. DASA, S. K. ADITYAA, D.P. KOTHARIB: "Dynamics of Diesel and Wind Turbine Generators on an Isolated Power System", Electrical Power and Energy Systems 21 (1999)
- [59] V. AKHMATOVA, H. KNUDSENA, A. H. NIELSEN: "Advanced simulation of windmills in the electric power supply", Electrical Power and Energy Systems 22 (2000)
- [60] E. MARTINOT: "Renewable energy investment by the World Bank", Energy Policy 29 (2001)
- [61] B. K. DATTA, G. VELAYUTHAMB, A. PRASAD GOUD: "Fuel cell power source for a cold region", Journal of Power Sources 106 (2002)
- [62] R. PETER, B. RAMASESHAN, C. V. NAYAR: "Conceptual model for marketing solar based technology to developing countries", Renewable Energy 25 (2002)
- [63] E. M. MEYERS, M. G. HU: "Clean Distributed Generation: Policy Options to Promote Clean Air and Reliability, The Electricity Journal", January/February 2001
- [64] R. A. LAURIE: "Distributed Generation: Reaching the Market Just in Time", The Electricity Journal, March 2001
- [65] P. DONDIA, D. BAYOUMIB, C. HAEDERLIC, D. JULIANB, M. SUTER: "Network integration of distributed power generation", Journal of Power Sources 106 (2002)
- [66] N. STRACHAN, H. DOWLATABADI: "Distributed generation and distribution utilities", Energy Policy 30 (2002)
- [67] J. E. ALLISONA, J. LENTS: "Encouraging distributed generation of power that improves air quality: can we have our cake and eat it too?", Energy Policy 30 (2002)
- [68] A. GROSS, J. BOGENSPERGER, D. THYR: "Impacts of Large Scale Photovoltaic Systems on the Low Voltage Network", Solar Energy Vol. 59, 1997.
- [69] T. ACKERMANN, G. ANDERSSON, L. SODER: "Distributed generation: a definition", Electric Power Systems Research 57 (2001)
- [70] N. G. BOULAXIS, S. A. PAPATHANASSIOU, M. P. PAPADOPOULOS: "Wind turbine effect on the voltage profile of distribution networks", Renewable Energy 25 (2002)
- [71] K. RO, S. RAHMAN: "Control of grid-connected fuel cell plants for enhancement of power system stability", Renewable Energy (2002)
- [72] "Technical Guideline For Interconnection of Generators To The Distribution System", EPCOR Distribution Inc, 2002.
- [73] A. D. LITTLE: "Reliability and Distributed Generation- An Arthur D. Little White Paper", Copyright A.D. Little, 2000.
- [74] "Decentralised Generation: Development of EU Policy", Report in the framework of the DECENT Project, 2002.
- [75] D. R. EICHER, D. R. LARSON: "Developing Rates for Distributed Generation", National Rural Electric Cooperative Association, 2001.
- [76] E. M. PETRIE, H. L. WILLIS, M. TAKAHASHI: "Distributed Generation in Developing Countries", World Bank 2002.
- [77] *Renewables Information 2003*, IEA 2003.
- [78] F. MUŽINIĆ, D. ŠKRLEC: "Distribuirana proizvodnja", Zbornik radova - 6. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat 2003.
- [79] D. PEČVARAC: "Distribucijski generatori – proizvodnja električne energije u distribucijskom sustavu: poteškoće, pregled pristupa u svijetu, budućnost", Zbornik radova - 6. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat 2003.
- [80] N. DIZDAREVIĆ, M. MAJSTROVIĆ, S. ŽUTOBRADIĆ: "Distribuirana proizvodnja električne energije", Zbornik radova - 6. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat 2003.
- [81] N. DIZDAREVIĆ, M. MAJSTROVIĆ, S. ŽUTOBRADIĆ: "Pogon vjetroelektrana", Zbornik radova - 6. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat 2003.

- [82] A. KATIĆ, D. ŠKRLEC: “Isplativost priključivanja malih hidroelektrana na mrežu sa stanovišta smanjenja gubitaka i povećanja pouzdanosti i raspoloživosti mreže”, Zbornik radova - 6. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat 2003.
- [83] Projekt-Biodizel, [http://www.biodizel.hr\\_posljednji\\_pristup\\_veljača\\_2004](http://www.biodizel.hr_posljednji_pristup_veljača_2004).
- [84] HEP “Bilten br.66: Tehnički uvjeti za priključak malih elektrana na elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede i Komentar tehničkih uvjeta za priključak malih elektrana na elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede”, Zagreb, 4.veljače 1998.
- [85] S. KRAJCAR et al.: “Oblikovanje korporacijskih odnosa u HEP Grupi”, FER-ZVNE, Zagreb, srpanj 2003.
- [86] H. POŽAR: “Visokonaponska rasklopna postrojenja – 5. izdanje”, Tehnička knjiga Zagreb, 1990.

### DISTRIBUTED SOURCES' INFLUENCE ON DISTRIBUTION NETWORK PLANNING

Distributed sources (DS) of electric energy are defined and a review of present day technologies is given, technical criteria for connection to the distribution grid are worked out as well as technical-economic influence on future planning of its development and operation.

### EINFLUSS DER ENERGIEERZEUGER IM VERTEILUNGSNETZ AUF DIE NETZPLANUNG

In diesem Artikel wird der Begriff der Energieerzeuger für Verteilungsnetze (kroatische Abkürzung: DI) auseinandergesetzt, die Übersicht der diesbezüglich neuesten bekannten Technologien gegeben und technische Bedingungen für die Koppelung derartiger Energieerzeuger an das Verteilungsnetz sowie der technisch-wirtschaftliche Einfluss auf künftige Planung der Entwicklung und des Betriebes eines solchen besprochen.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. sc. Davor Škrlec, dipl. ing.**  
**prof. dr. sc. Slavko Krajcar, dipl. ing.**  
 Fakultet elektrotehnike i računarstva,  
 Unska 3,  
 10000 Zagreb, Hrvatska

**Alen Katić, dipl. ing.**  
 Elektra Karlovac  
 V. Mačeka 44,  
 47000 Karlovac, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:  
 2004 – 10 – 12.

## VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE I OKRUŽENJA

### PROMJENE U DRŽAVNOM ZAVODU ZA NORMIZACIJU I MJERITELJSTVO

Sklapanjem Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju Republika Hrvatska preuzela je obvezu usklađivanja svoga zakonodavstva sa zakonodavstvom Europske unije. Obveza usklađivanja u području tehničkih propisa, normizacije, ocjenjivanja sukladnosti, akreditacije i mjeriteljstva odnosi se na cijeli niz zakonskih propisa, upravnih i tehničkih postupaka iz različitih djelatnosti i zbog svoje je složenosti jedno od najzahtjevnijih područja usklađivanja. Republika Hrvatska je dužna, osim usklađivanja zakonodavstva, uspostaviti odgovarajuću upravnu strukturu i institucijski okvir. Zato je u prvom redu potrebno odvajanje funkcija propisivanja od funkcija normizacije, akreditacije i potvrđivanja.

U skladu s Nacionalnim programom za pridruživanje Europskoj uniji doneseni su osnovni zakoni:

- Zakon o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenu sukladnosti (NN 158/2003)
- Zakon o općoj sigurnosti proizvoda (NN 158/2003)
- Zakon o akreditaciji (NN 158/2003)
- Zakon o normizaciji (NN 163/2003)
- Zakon o mjeriteljstvu (NN 163/2003).

Tim se zakonima u hrvatsko zakonodavstvo **prenose načela europskoga novog i općeg pristupa tehničkom usklađivanju** te oni predstavljaju zakonski okvir za uređenje područja slobodnoga kretanja roba i sigurnosti proizvoda na novi način i omogućuju implementaciju europskih direktiva **novoga pristupa**.

Prema prijedlogu za institucijske promjene poslovi sadašnjeg DZNM-a i nove aktivnosti po usklađenom pristupu sa EU raspoređeni su unutar institucija i nastavljaju se obavljati u novim nezavisnim javnim ustanovama, kako je na slici 1. prikazano. Razdvojena je funkcija propisivanja od funkcija normizacije, akreditacije i potvrđivanja u sljedeće nezavisne organizacijske jedinice:

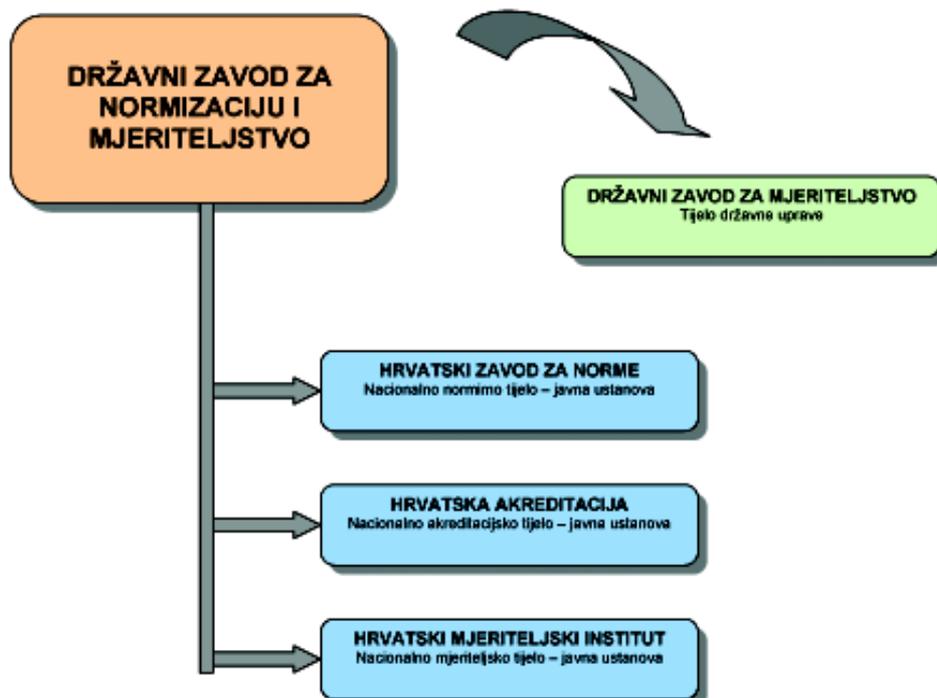
- **Tijelo državne uprave:** Državni zavod za mjeriteljstvo
- **Javne ustanove:**
  - Hrvatski zavod za norme (nacionalno normirno tijelo)
  - Hrvatska akreditacija (nacionalno akreditacijsko tijelo)
  - Hrvatski mjeriteljski institut (nacionalno mjeriteljsko tijelo).

SBK

### UREDBA O OSNIVANJU HRVATSKOG ZAVODA ZA NORME

Vlada Republike Hrvatske donijela je 27. listopada 2004. godine Uredbu o osnivanju Hrvatskog zavoda za norme. Ova Uredba objavljena je u Narodnim novinama broj 154 od 5. studenog 2004. godine.

Ovom Uredbom Republika Hrvatska osniva javnu ustanovu za ostvarivanje ciljeva normizacije i obavljanje poslova i zadataka nacionalne normizacije pod nazivom **Hrvatski zavod za norme**. Naziv zavoda na engleskom jeziku je **Croatian Standards Institute**. Skraćeni naziv ustanove je **HZN**.



Slika 1. Djelatnosti u području normizacije, akreditacije i mjeriteljstva

Ovom Uredbom utvrđuje se:

- djelatnost
- članstvo u Hrvatskom zavodu za norme
- ustroj i tijela
- imovina
- opći akt
- javnost rada
- početak rada.

Djelatnost HZN-a (članak 4.) obuhvaća poslove koji su utvrđeni Zakonom o normizaciji i ovom Uredbom, i to:

1. priprema, prihvaća i izdaje hrvatske norme i druge dokumente iz područja normizacije
2. predstavlja hrvatsku normizaciju u međunarodnim i europskim normizacijskim organizacijama
3. održava zbirku hrvatskih norma i vodi registar hrvatskih norma
4. uređuje, izdaje i raspućava hrvatske norme, druge dokumente i publikacije iz područja normizacije
5. uspostavlja i održava baze podataka o normama i drugim dokumentima iz područja normizacije te daje obavijesti o normama i drugim dokumentima
6. u službenom glasilu objavljuje obavijesti o hrvatskim normama te obavijesti o drugim dokumentima iz područja normizacije
7. osigurava informacije o nacionalnim, europskim i međunarodnim normama cjelokupnoj javnosti, a posebno gospodarstvu
8. promiče uporabu hrvatskih norma
9. nabavlja i održava zbirke europskih, međunarodnih te važnijih nacionalnih i granskih normativnih dokumenata
10. uspostavlja infrastrukturu savjetodavnih (programski odbori) i tehničkih tijela (tehnički odbori/pododbori i radne skupine) za obavljanje poslova hrvatske normizacije
11. osigurava i koordinira sudjelovanje hrvatskih predstavnika u radu međunarodnih i europskih organizacija za normizaciju
12. surađuje s nacionalnim normiranim tijelima drugih država
13. obavlja poslove informativne središnjice za WTO TBT
14. obavlja poslove kontaktne točke za Codex Alimentarius
15. obavlja poslove vezane uz obavješćivanje u području tehničkih norma i propisa
16. priprema, prihvaća i izdaje hrvatske norme za primjenu tehničkog zakonodavstva
17. uspostavlja i održava bazu podataka o hrvatskim normama povezanim s tehničkim zakonodavstvom
18. može pripremati popise hrvatskih norma uz pojedine tehničke propise za objavu u Narodnim novinama
19. izdaje službeno glasilo u kojem objavljuje obavijesti o javnoj raspravi o nacrtima hrvatskih norma, obavijesti o javnoj raspravi o nacrtima europskih norma, obavijesti o novim hrvatskim normama, te obavijesti o povlačenju hrvatskih norma, kao i druge obavijesti iz područja normizacije
20. provodi potvrđivanje sukladnosti s hrvatskim normama
21. uspostavlja, razvija i održava hrvatsko tehničko nazivlje
22. provodi stručnu izobrazbu u području normizacije i srodnih djelatnosti

23. surađuje s tijelima državne uprave vezano uz područja svoje djelatnosti, posebno radi podrške provedbi tehničkoga zakonodavstva
24. surađuje s gospodarskim i sličnim strukovnim udruženjima, visokim učilištima i slično, vezano uz područja svoje djelatnosti
25. surađuje u razvojnim i istraživačkim projektima vezanim uz normizaciju.

Poslovi HZN-a iz točke 1. do 7. ovog članka od interesa su za Republiku Hrvatsku i obavlja ih isključivo HZN.

Djelatnost HZN-a obavlja se u skladu s pravilima europskih normiranih tijela.

Radi ostvarivanja svojih interesa u vezi s hrvatskom normizacijom (članak 5.), svaka pravna ili fizička osoba sa sjedištem, odnosno prebivalištem u Republici Hrvatskoj može biti član Hrvatskog zavoda za norme.

Što se tiče ustroja i tijela hrvatskog zavoda za norme (članci 6. do 12.), tijela HZN-a su Upravno vijeće, Stručno vijeće i ravnatelj.

Imovinu Hrvatskog zavoda za norme (članci 13. do 16.) čine sredstva rada koja obuhvaćaju:

- sredstva iz državnog proračuna
- sredstva ostvarena obavljanjem usluga
- članarine
- sredstva iz drugih izvora
- nekretnine i pokretnine preuzete od Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo.

HZN odgovara za svoje obveze cijelom svojom imovinom (članak 15.).

Republika Hrvatska solidarno i neograničeno odgovara za obveze HZN-a.

HZN svoju djelatnost ne obavlja radi stjecanja dobiti.

Opći akti Hrvatskog Zavoda za norme (članak 17.) jesu statut i drugi opći akti. Statut HZN-a donosi Upravno vijeće uz suglasnost Vlade Republike Hrvatske. Statutom HZN-a pobliže će se urediti unutarnji ustroj, ovlasti, način rada i odlučivanja pojedinih tijela HZN-a, međusobna prava i obveze osnivača i HZN-a, te druga pitanja od značenja za obavljanje poslova HZN-a.

Rad je HZN-a javan (članak 18.). O javnosti rada HZN-a skrbi ravnatelj. Upravno vijeće HZN-a jedanput godišnje podnosi izvješće Vladi Republike Hrvatske o svome radu.

Do imenovanja ravnatelja HZN-a (članak 19.), pripreme za početak rada ustanove te podnošenje prijave za upis u sudski registar obavit će privremeni ravnatelj HZN-a.

Privremeni ravnatelj će nakon donošenja ove uredbe na primjeren način javno pozvati fizičke i pravne osobe koje mogu postati članovi HZN-a da se u roku od tri mjeseca prijave za članstvo u HZN-u.

HZN-u osiguravaju se prostori za rad u Zagrebu, u Ulici grada Vukovara 78 (članak 20.). Hrvatski zavod za norme preuzima od Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo materijalna sredstva i opremu koja je namijenjena za obavljanje poslova u području normizacije. Raspodjela prostorija za rad, materijalnih sredstava i opreme obavit će se u skladu s posebno izrađenim elaboratom o diobi. Elaborat o diobi izradit će se do 31. prosinca 2004. godine.

Hrvatski zavod za norme preuzima od Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (članak 21.) djelatnike koji su zatečeni u obavljanju poslova u području normizacije.

SBK

## SERVISI ZA PRIPREMU OVJERAVANJA ZA BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ravnatelj Državnog zavoda normizaciju i mjeriteljstvo donio je novi Pravilnik o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima za ovlašćivanje servisa za pripremu brojila električne energije za ovjeravanje. Novi Pravilnik je objavljen u Narodnim novinama broj 155. od 8. studenog 2004. godine.

Danom stupanja na snagu ovoga pravilnika prestaje vrijediti stari Pravilnik o uvjetima ovlašćivanja pravnih osoba i servisa, o postupku ispitivanja i ovjeravanja i o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima za brojila električne energije (NN 149/04).

Ovim se pravilnikom (članak 2.) propisuju tehnički i mjeriteljski zahtjevi za ovlašćivanje servisa za pripremu brojila električne energije za ovjeravanje.

Ovlašteni servis pregledava, servisira i ispituje brojila radi pripreme za ovjeravanje, a Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo ovjerava brojila.

Priprema brojila za ovjeravanje (članak 3.) podrazumijeva pregled i po potrebi popravak brojila, pripremu brojila, postavljanje brojila na uređaj za ispitivanje, pripremu uređaja za ispitivanje brojila, ispitivanje brojila, tj. provjeru mjeriteljskih značajka brojila te pisanje izvješća o ispitivanju brojila.

U drugom dijelu, u člancima 4. do 19., navedeni su tehnički i mjeriteljski zahtjevi koje mora ispuniti pravna osoba ili servis, a odnose se na opremu i prostorije za ispitivanje brojila, radnike i propisanu dokumentaciju.

Tabelarno su prikazane granice dopuštenih pogriješaka uređaja i etalonskih brojila za jednofazne i trofazne uređaje (članak 9.). Također je dana i formula za standardno odstupanje niza ponovljenih mjerenja.

Utvrđena je o i obveza opremanja servisa s PC-om, internetom i povezanošću s bazom podataka Zavoda (članak 15.).

Također je utvrđen najmanji broj radnika i stručna sprema te minimalne godine radnog staža (članak 18.).

SBK

## SERVISI ZA PRIPREMU OVLAŠĆIVANJA ZA MJERNE TRANSFORMATORE

Donesen je novi **Pravilnik o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima za ovlašćivanje servisa za pripremu mjernih transformatora za ovjeravanje**. Objavljen je u Narodnim novinama broj 154. od 5. studenog 2004. godine. Danom stupanja na snagu ovog Pravilnika prestaje vrijediti Pravilnik za potvrđene mjeriteljske laboratorije za ovjeravanje mjernih transformatora (NN 22/03).

Ovim se Pravilnikom propisuju tehnički i mjeriteljski zahtjevi za ovlašćivanje servisa za pripremu mjernih transformatora (strujnih i naponskih) za ovjeravanje.

Ovlašteni servis pregledava, popravlja i ispituje mjerne transformatore radi pripreme za ovjeravanje, a Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo ovjerava mjerne transformatore (članak 2.).

Pod pripremom mjernih transformatora za ovjeravanje podrazumijeva pregled i, po potrebi, popravak mjernih transformatora (servisiranje), pripremu mjernih transformatora, pripremu opreme za ispitivanje mjernih transformatora, ispitivanje mjernih transformatora, tj. provjeru mjeriteljskih značajka mjernih transformatora te pisanje izvješća o ispitivanju mjernih transformatora (članak 3.).

Servis mora ispunjavati tehničke i mjeriteljske zahtjeve, odnosno zahtjeve propisane zakonom i zahtjeve koji se odnose na opremu i prostoriju za ispitivanje mjernih transformatora, radnike i propisanu dokumentaciju (članci 5. do 39.).

Oprema za ispitivanje mjernih transformatora (članak 5.) sastoji se od:

- uređaja za generiranje struja, odnosno napona
- uređaja za postavljanje struja, odnosno napona
- uređaja za mjerenje pogriješaka
- etalonskih transformatora, etalonskih otpornika i djelila napona
- tereta
- mjerila za mjerenje struje, napona i frekvencije
- kontrolnog termometra za mjerenje temperature zraka radnog okoliša, mjernog područja od 0 °C do +35 °C, kojemu najmanji podjeljak pokazuje najviše 1 °C
- kontrolnog higrometra za mjerenje relativne vlažnosti zraka radnog okoliša, kojemu najmanji podjeljak pokazuje najviše 5 %.

Nadalje, utvrđeni su izvori struje, krivulja napona, frekvencija, uređaji za mjerenje pogriješaka, najveće strujne i naponske te fazne pogriješke i njihova odstupanja, najveće odstupanje otpornika, karakteristike strujnih i naponskih transformatora koji služe za ispitivanje, temperatura, dokumentacija (članci 6. do 39.).

Servisu koji ispunjava uvjete iz ovog Pravilnika izdaje se rješenje koje vrijedi najdulje 3 godine.

SBK

## SERVISI ZA PRIPREMU OVLAŠĆIVANJA ZA MJERILA VREMENA ZA PERIODIČKO REGISTRIRANJE SREDNJE VRIJEDNOSTI VRŠNE ELEKTRIČNE SNAGE

**Pravilnik o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima za ovlašćivanje servisa za pripremu mjerila vremena za periodično registriranje srednje vrijednosti vršne električne snage za ovjeravanje** objavljen je u Narodnim novinama broj 154. od 5. studenog 2004. godine. Danom stupanja na snagu ovoga Pravilnika prestaje vrijediti Pravilnik o uvjetima kojima moraju udovoljavati potvrđeni mjeriteljski laboratoriji za ovjeravanje uklopnih satova (NN 9/02.).

Ovim se pravilnikom propisuju tehnički i mjeriteljski zahtjevi za ovlašćivanje servisa za pripremu mjerila vremena za periodično registriranje srednje vrijednosti vršne električne snage za ovjeravanje.

Ovlašteni servis pregledava, popravlja i ispituje mjerila vremena radi pripreme za ovjeravanje, a Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo ovjerava mjerila vremena.

Priprema mjerila vremena za ovjeravanje podrazumijeva pregled i, po potrebi, popravak mjerila vremena (servisiranje), pripremu mjerila vremena, pripremu opreme za ispitivanje mjerila vremena, ispitivanje mjerila vremena, tj. provjeru mjeriteljskih značajka mjerila vremena te pisanje izvješća o ispitivanju mjerila vremena.

Tehnički i mjeriteljski zahtjevi koje mora ispunjavati servis prikazani su u člancima 4. do 22.

Servis mora ispunjavati zahtjeve propisane zakonom i zahtjeve koji se odnose na:

- opremu za ispitivanje mjerila vremena
- prostoriju za ispitivanje mjerila vremena
- radnike
- propisanu dokumentaciju.

Nadalje se utvrđuju metode za ispitivanje (metoda usporedbe s osnovnim satom, određivanja razlika dnevnog hoda mjerila vremena, metodom automatskog registriranja trenutka otvaranja i trenutka zatvaranja uklopnika mjerila vremena) kao i potrebna oprema za ispitivanje mjerila vremena (etalonski uređaj koji može biti osnovni kvarcni sat sa satnim komparatorom i/ili automatski uređaj za ispitivanje mjerila vremena, sekundomjer, voltmeter, sklop za ispitivanje uklopnika najviše vrijednosti snage, sklop za promjenu napona navijanja pogonskog motora mjerila vremena, sinkroni sat, stalak ili ploča za postavljanje mjerila vremena na kojima su signalne svjetiljke, kontrolni termometar za mjerenje temperature zraka radnog okoliša, mjernog područja od 0 °C do +35 °C, najmanje podjele najviše 1 °C te kontrolni higrometar za mjerenje relativne vlažnosti zraka radnog okoliša, kojemu najmanji podjeljak pokazuje najviše 5 %.) (članci 4. do 7.).

Osim toga utvrđuje se pogrješka i karakteristike etalona (etalonski uređaj za ispitivanje mjerila, osnovni kvarcni sat te satni komparator).

Servis treba biti opremljen elektroničkim računalom (PC) s mogućnošću povezivanja s bazom podataka Zavoda.

Servis mora imati prostoriju za ispitivanje mjerila vremena koja mora biti odvojena od prostorija za pripremu, koje moraju biti opremljene i gdje će vladati mikroklima sukladna ovom Pravilniku.

Što se tiče radnika, utvrđeni su broj, stručna sprema i radni staž radnika.

Servis mora imati najmanje dva radnika koji obavljaju poslove pripreme mjerila vremena za ovjeravanje. Propisana je i dokumentaciju koju servis mora imati.

SBK

## SERVISI ZA ISPITIVANJE I OVJERAVANJE BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Novi **Pravilnik o uvjetima ovlašćivanja pravnih osoba i servisa, o postupku ispitivanja i ovjeravanja i o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima za brojila električne energije** objavljen je u Narodnim novinama broj 149. od 26. listopada 2004. godine.

Danom stupanja na snagu novog pravilnika prestaje vrijediti:

- Pravilnik o uvjetima za potvrđene mjeriteljske laboratorije za ovjeravanje brojila električne energije i načinu njihovog rada (NN 11/03)
- Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za statička brojila djelatne električne energije razreda točnosti 1 i 2 (NN 42/95)
- Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za statička brojila aktivne električne energije razreda točnosti 0,2 S i 0,5 S (NN 55/02)
- Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za indukcijska brojila za električnu energiju (NN 55/02)
- Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za radne etalone – uređaje kojima se ispituju brojila električne energije (NN 85/02)
- Naputak za ispitivanje statističkom metodom neservisiranih brojila (NN 44/00).

Ovim se pravilnikom propisuju tehnički i mjeriteljski zahtjevi za ovlašćivanje servisa za pripremu za ovjeravanje brojila električne energije i propisuju se uvjeti koje moraju ispunjavati ovlaštene pravne osobe za ovjeravanje ovih mjerila. Propisuju se tehnički i mjeriteljski zahtjevi za brojila, postupak ispitivanja, ovjeravanja i označivanja brojila, te sadržaj ispitnog izvješća i druge dokumentacije.

Prema ovom Pravilniku pravna osoba ili servis mora ispunjavati zahtjeve propisane zakonom i zahtjeve koji se odnose na opremu za ispitivanje brojila, prostorije za ispitivanje brojila, radnike i propisanu dokumentaciju.

Osim toga pravna osoba, odnosno servis, treba biti opremljen s elektroničkim računalom (PC) s mogućnošću spajanja na Internet i povezivanja na bazu podataka Zavoda.

Karakteristike prostorije, uključujući i mikroklimu utvrđene su u člancima 8. do 9., broj i kvalifikacija radnika u člancima 10. i 11., dok je u članku 12. utvrđena dokumentacija koju mora imati pravna osoba ili servis.

Pravna osoba ili servis tijekom svog rada može (članak 13.):

- ovjeravati brojila koja imaju valjano rješenje o odobrenju tipa brojila, u skladu s odobrenim postupkom ispitivanja brojila (za pravne osobe),
- pripremati za ovjeravanje brojila koja imaju valjano rješenje o odobrenju tipa brojila, u skladu s odobrenim postupkom ispitivanja brojila (za servise),
- obavijestiti Zavod o svakoj promjeni koja bi mogla utjecati na osposobljenost u ispunjavanju uvjeta propisanih ovim pravilnikom te upotrebljavati samo opremu za ispitivanje brojila s valjanom ovjernicom ili potvrdom o umjeravanju,
- najmanje dva puta godišnje obavještavati Zavod o obavljenim ispitivanjima odnosno ovjeravanjima brojila,
- najmanje jednom godišnje obavještavati Zavod o obavljenim ovjeravanjima odnosno umjeravanjima svojih etalona,
- najmanje jednom godišnje sudjelovati u usporedbenim ispitivanjima na zahtjev Zavoda.

Tehnički i mjeriteljski zahtjevi, postupci ispitivanja i ovjeravanja brojila, te način označivanja brojila pripremljenih za ovjeravanje, sadržaj ispitnog izvješća i druge potrebne dokumentacije nalaze se u prilogu 1. ovog pravilnika.

Metode ispitivanja pogrješke mjerenja brojila nalaze se u prilogu broj 2., zahtjevi koje mora zadovoljavati oprema za ispitivanje brojila nalaze se u prilogu broj 3., prikaz zahtjeva za ovjeravanje je u prilogu broj 4. i prikaz izvješća o ispitivanju je u prilogu broj 5. ovoga Pravilnika.

Pravnoj osobi ili servisu koji ispunjava uvjete propisane ovim pravilnikom izdaje se rješenje o ovlaštenju koje vrijedi 3 (tri) godine od dana njegove pravomoćnosti.

**Prilog 1.** sadrži definicije svih termina koji se ovdje koriste. Granice dopuštenih pogrješaka prikazane su tabelarno (tablica 1. do 8.).

Za napone i struje kod trofaznih brojila koji moraju biti uravnoteženi odstupanja su dana u tablici 9., dok su referencijski uvjeti za statička i indukcijska brojila dani u tablicama 10. i 11. Sve ostale karakterističke veličine, kako za radnu energiju, tako i za jalovu energiju, prikazane su u tablicama 12. do 29.

Brojila, u ovisnosti o vrsti, izvedbi i razredu točnosti, moraju, ako drugačije nije propisano ovim pravilnikom, zadovoljiti zahtjeve navedene u sljedećim normama:

- HRN EN 60521:1999 »Izmjenična električna brojila djelatne energije razreda 0,5, 1 i 2«
- HRN EN 60687:1999 »Izmjenična statička električna brojila djelatne energije (razreda 0,2 S i 0,5 S)«
- HRN EN 61036:1999 »Izmjenična statička električna brojila djelatne energije (razreda 1 i 2)«
- HRN EN 61268:2000 »Izmjenična statička električna brojila jalove energije (razreda 2 i 3)«
- EN 60145:1995 »Indukcijska brojila jalove energije razreda točnosti 3«
- IEC 60211: 1966 »Pokazivala najveće vrijednosti snage razreda točnosti 1,0«

Ispitivanja novoprodučenih i servisiranih brojila tijekom ovjeravanja obavljaju se prema metodama navedenima u normama:

- HRN EN 60514:1997 »Pregled za prihvaćanje brojila djelatne električne energije izmjenične struje razreda točnosti 2«
- HRN IEC 1358:1997 »Pregled za prihvaćanje statičkih brojila djelatne električne energije izmjenične struje s izravnim priključkom na mrežu (razreda točnosti 1 i 2)«.

Pri ispitivanju servisiranih brojila statističkom metodom, za odabir uzoraka primjenjuje se norma HRN 2859-1:1997 »Postupci uzorkovanja za pregled prema atributima« uz AQL= 2,5.

**Prilog 2.** utvrđuje metode ispitivanja pogreške mjerenja brojila:

- metoda mjerenja vremena i snage (metoda vrijeme-snaga, vatmeterska metoda) samo za brojila razreda točnosti 2 i 3) i/ili
- metoda mjerenja rada – usporedba s etalonskim brojiлом (metoda etalonskog brojila) za sve razrede točnosti brojila.

Svaka od ovih metoda detaljno je opisana s adekvatnim formulama. Također su tabelarno prikazani u tablicama 1. i 2. potrebni iznos dozirane energije, uzimajući u obzir razred točnosti brojila, broj kotura iza decimalnog zareza na mehaničkom (analognom) brojaču ili broj decimalnih mjesta iza decimalnog zareza na digitalnom brojaču i uzimajući u obzir zahtjev da mjerna nesigurnost očitavanja registrirane energije (izražena u postocima) bude 4 do 5 puta manja od razreda točnosti brojila.

Osim toga opisan je postupak i utvrđene karakteristične veličine usporedbe s etalonskim brojiлом i brojenjem okretaja rotora ili impulsa ispitivanog brojila kao postupak usporedbe s etalonskim brojiлом i očitavanjem brojčanika (postupak trajnog opterećenja).

U **Prilogu 3.** prikazani su zahtjevi koje mora ispunjavati oprema za ispitivanje brojila. Oprema za ispitivanje brojila, ovisno o vrsti i razredu točnosti brojila, mora zadovoljiti zahtjeve navedene u normi: IEC 60736 »Oprema za ispitivanje brojila električne energije«. Tabelarno su u tablicama 1. do 3. utvrđene granice dopuštenih pogrešaka.

U **Prilogu 4.** prikazan je obrazac – Zahtjev za ovjeravanje brojila električne energije, a u **Prilogu 5.** obrazac – Izvješće o ispitivanju brojila električne energije.

SBK

## SUSTAV PRIPRAVNOSTI ZA SLUČAJ NUKLEARNE NESREĆE

U prvoj polovici studenog održan je seminar za javnost na temu **Sustav pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće**. Organizatori seminara su Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva (Uprava za energetiku i rudarstvo), Ministarstvo unutarnjih poslova (Uprava za zaštitu i spašavanje), Mreža mlade generacije Hrvatskog nuklearnog društva i Enconet Int. Na seminaru su prisustvovali učenici odabranih škola iz Zaprešića, Samobora i Osijeka.

Također je u to vrijeme održana i druga ovogodišnja dvodnevna vježba **Tehničkog potpornog centra** (TPC) u Dvorcu Bežanec kraj Pregrade. Uvježbavanje je organizirano za članove TPC-a. Osnovni cilj seminara sastojao se u tome da svaki član TPC-a prezentira svoje radno mjesto (zadaci, obveze, radni i organizacijski postupci, metode, alati, oprema itd.), upozori na nedosljednosti i predloži unaprjeđenja. Pored toga, u okviru seminara raspravljalo se o trenutnom statusu Sustava pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće kao i smjernice njegovog budućeg unaprjeđenja posebice s aspekta njegove harmonizacije s takvim sustavima u državama članicama EU.

Ministarstvo gospodarstva osnovalo je Tehnički potporni centar (TPC) potkraj 1998. godine. TPC predstavlja vodeću tehničku agenciju u slučaju nuklearne nesreće, odnosno moguće radiološke opasnosti iz nuklearnih postrojenja, osobito iz NE Krško (Slovenija) i NE Paks (Mađarska). Osnovne zadaće TPC-a sastoje se u:

- prikupljanju podataka i informacija o nuklearnoj nesreći
- analizi i procjeni potencijalnih posljedica
- izradi stručnih podloga nužnih u postupku donošenja odluka o poduzimanju mjera zaštite i spašavanja stanovništva
- pripremi podloga nužnih za točno i pravodobno informiranje javnosti.

TPC je organiziran u tri stručne grupe, čiji rad podupiru vanjske stručne institucije. Sadašnji sastav čine stručnjaci Ministarstva gospodarstva, Ministarstva unutarnjih poslova, Državnog hidrometeorološkog zavoda, Instituta Ruđer Bošković, Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Agencije za posebni otpad i poduzeća Enconet Int. Sjedište TPC-a nalazi se u prostorijama Ministarstva gospodarstva, Ul. grada Vukovara 78.

Na udaljenosti do 1.000 km od teritorija Republike Hrvatske, odnosno od njenih najvećih populacijskih centara (Zagreb, Osijek, Split i Rijeka) u pogonu se nalazi ukupno 40 nuklearnih elektrana. Na lokacijama tih nuklearnih elektrana smještena su 92 energetska reaktora (1 do 6 reaktorskih jedinica po elektrani). Reaktori se razlikuju po snazi, pogonskom iskustvu i tehnologiji.

Električna snaga reaktora kreće se u rasponu od 250 MW (NE Phenix, FBR, Francuska) do 1.520 MW (NE Chooz, B1 i B2, PWR, Francuska). Najstariji reaktori nalaze se u pogonu više od 30 godina (NE Beznau, PWR, Švicarska i NE Obrigheim, PWR, Njemačka), dok su najmlađi u komercijalni pogon pušteni tijekom 1999. godine (NE Chooz B1 i B2, PWR, Francuska).

Od ukupnog broja reaktora 66 je proizvedeno u zapadnoeuropskim državama, SAD-u ili Kanadi, a preostalih 26 u zemljama bivšeg Istočnog bloka.

Najbliže teritoriju Hrvatske locirane su NE Krško (PWR, 707 MWe, Slovenija) i NE Paks (VVER, 3x460 +1x470

=1850 MWe, Mađarska). NE Krško je smještena 10,6 km od državne granice, dok za NE Paks ta udaljenost iznosi 74,1 km. Samobor je udaljen 22 km, Zaprešić 24 km, a Zagreb 38 km zračne linije od NE Krško u smjeru jugoistoka. Beli Manastir i Osijek udaljeni su 90, odnosno 120 km zračne linije od NE Paks u smjeru juga.

U okviru našeg Sustava pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće razlikuju se tri zone potencijalne ugroženosti:

- zona I ili UPZ – zona poduzimanja preventivnih i hitnih mjera zaštite (područje obuhvaćeno kružnicom 25 km oko nuklearne elektrane);
- zona II ili LPZ – zona poduzimanja preventivnih i dugoročnih mjera zaštite (područje obuhvaćeno kružnicom 100 km oko nuklearne elektrane);
- zona III ili CPZ – zona poduzimanja preventivnih mjera zaštite (preostali teritorij Republike Hrvatske).

Radi minimiziranja radioloških posljedica od eventualne nuklearne nesreće, propisana je međunarodna obveza (Konvencija o nuklearnoj sigurnosti) prema kojoj svaka država mora izgraditi vlastiti sustav pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće.

Naš sustav pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće uključuje:

- Državni centar za obavješćivanje (DCO)
- Tehnički potporni centar (TPC)
- Krizni stožer civilne zaštite (KSCZ)
- Krizni stožer vlade Republike Hrvatske (KSV).

Ukoliko dođe do nesreće u nekoj nuklearnoj elektrani, ispuštanja radioaktivnosti u atmosferu i prelaska radioaktivnog oblaka preko područja Republike Hrvatske, od presudne će važnosti biti podaci o radiološkoj kontaminaciji okoliša. Ti će se podaci prikupljati uz pomoć dva neovisna sustava: sustava pravodobnog radiološkog upozoravanja te pokretnih mjernih timova.

Sustav pravodobnog radiološkog upozoravanja sastoji se od 15 automatskih radioloških mjernih postaja, centralnog računala s programom za očitavanje rezultata radioloških mjerenja te komunikacijske opreme.

U sastav pokretnih mjernih timova spadaju Pokretni mjerni laboratorij (PML) i Pokretne mjerne postaje (PMP). Pokretni mjerni laboratorij je organiziran unutar Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada Sveučilišta u Zagrebu (IMI). Pokretne mjerne postaje (trenutačno dvije) djeluju u sklopu Civilne zaštite.

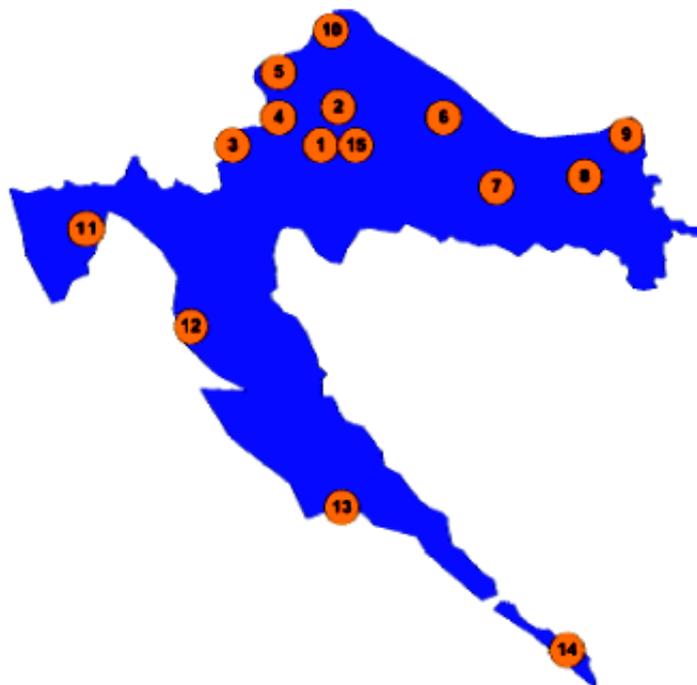
Zadaci pokretnih radioloških timova u slučaju nuklearne nesreće, i to u ranoj fazi njenog potencijalnog razvoja, sastoje se u izlasku na teren i provedbi mjerenja brzine doze, in-situ gamaspektrometrijske analize i prikupljanju uzoraka zraka, hrane, vode, mlijeka i tla potrebnih za detaljne laboratorijske analize.

Štetne učinke nuklearne nesreće moguće je umanjiti pravodobnom primjenom zaštitnih mjera. Te se mjere mogu podijeliti na hitne (primjenjuju se u ranim fazama nesreće) i dugotrajne (primjenjuju se u kasnijim fazama, kada je neposredan utjecaj radioaktivnog oblaka prošao). U najvažnije hitne zaštitne mjere spadaju:

- zaklanjanje (upućivanje stanovništva da se skloni u zatvorene prostore)
- evakuacija (hitno preseljenje stanovništava iz ugroženog područja)
- jodna profilaksa (zasićenje štitne žlijezde stabilnim jodom da bi se spriječio unos radioaktivnog joda).

U najznačajnije dugotrajne zaštitne mjere ubrajaju se:

- privremeno preseljenje (preseljenje stanovništava iz ugroženog područja u trajanju do dvije godine)
- trajno preseljenje
- mjere vezane uz prehrambene proizvode
- mjere u poljoprivredi.



Automatske radiološke postaje su locirane kako slijedi:

- 1 Zagreb-IRB
- 2 Sljeme
- 3 Stojdraga
- 4 Sv. Križ
- 5 Klanjec
- 6 Bilogora
- 7 Kapovac
- 8 Osijek
- 9 Batina
- 10 Štrigova
- 11 Učka
- 12 Velebit
- 13 Marjan
- 14 Dubrovnik
- 15 Zagreb-Maksimir

Slika 1. Lokacije automatskih radioloških postaja

**Zaklanjanje** je mjera zaštite koja se postiže zadržavanjem stanovništva u zatvorenim prostorima. Ti zatvoreni prostori mogu biti stanovi i prostorije u stambenim zgradama i obiteljskim kućama, podrumski prostori ili pak prostori u posebno izgrađenim objektima za tu svrhu – skloništa sa sustavima za ventilaciju i pročišćavanje zraka. Ova mjera pruža zaštitu od zračenja koje dolazi od radioaktivnog oblaka, deponiranog radioaktivnog materijala, te od unošenje radionuklida u organizam inhalacijom. Uobičajeno, zaklanjanje se provodi u trajanju do 2 dana.

**Evakuacija** spada u preventivne ili hitna mjera zaštite i spašavanja, što ovisi o trenutku njenog objavljivanja. Evakuacija predstavlja premještanje stanovništva iz ugroženog područja kako bi se izbjegla kratkotrajna izloženost visokim dozama zračenja. Prema našem Sustavu pripravnosti za slučaj nuklearne nesreće evakuacija je predviđena samo iz područja koja se nalaze u polumjeru od 25 km od NE Krško.

**Jodna profilaksa**, odnosno profilaksa štitnjače (tiroide) stabilnim jodom jedna je od dodatnih hitnih mjera zaštite. Svrha ove zaštitne mjere sastoji se u zasićenju štitnjače stabilnim jodom čime se sprječava taloženje radioaktivnog joda koji u štitnjaču može dospjeti inhalacijom onečišćenog zraka ili ingestijom kontaminirane hrane. Sama mjera zaštite provodi se na jednostavan način, konzumiranjem odgovarajuće doze, odnosno tablete stabilnog joda koja može biti u formi kalijeveg jodida (KI) ili kalijeveg jodata (KIO<sub>3</sub>).

**Privremeno preseljenje** je mjera zaštite koja podrazumijeva premještanje stanovništva iz ugroženog područja u privremene prihvatne centre na vremensko razdoblje od nekoliko mjeseci do nekoliko godina. Ova mjera zaštite i spašavanja poduzima se u uvjetima kada je na ugroženom području došlo do visoke depozicije radionuklida. Mjera privremenog preseljenja provodi se unutar prvog tjedna ili prvog mjeseca poslije nuklearne nesreće.

**Trajno preseljenje** je mjera zaštite koja se primjenjuje u uvjetima kada je neko područje kontaminirano u tolikoj mjeri da obavljanje njegove dekontaminacije tehnički i financijski nije opravdano.

**Mjere vezane uz prehrambene proizvode** posljedica su depozicije radionuklida. Količina radionuklida koji će se deponirati ovisi o njihovom sastavu u radioaktivnom oblaku i vremenskim prilikama za vrijeme nuklearne nesreće. Deponiranjem iz oblaka radionuklidi ulaze u prehrambeni lanac čovjeka. Također, oni dospijevaju u površinske i podzemne vode. Zbog toga se restrikcija, odnosno zabrana korištenja određenih prehrambenih proizvoda poduzima odmah nakon što se procijeni očekivana razina kontaminacije određenog područja. Restrikcijom korištenja prehrambenih proizvoda (svježeg voća i povrća, naročito salate, zatim mesa i mlijeka koje dolazi s kontaminiranog područja, te korištenja vode za piće) bitno se reducira unos radionuklida u organizam čovjeka čime se umanjuju zdravstveni rizici. Najizloženija poljoprivredna kultura kontaminaciji je salata zbog velike površine njenih listova koji su pogodni za deponiranje radionuklida iz zraka.

**Mjere u poljoprivredi** – Nakon nuklearne nesreće moguće je očekivati kontaminaciju velikih poljoprivrednih površina. U tom slučaju poduzimaju se raznovrsne mjere zaštite. U prvome redu one podrazumijevaju zabranu korištenja hrane s tog područja. Zatim, tu spada promjena prakse u obrađivanju zemljišta, promjena načina skladištenja, obrade i prerade poljoprivrednih proizvoda. Mjere u poljoprivredi spadaju u dugoročne mjere, što znači da se provode u periodu od

nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci nakon nuklearne nesreće.

Do danas se dogodilo nekoliko manjih ili većih nesreća u nuklearnim postrojenjima, a najpoznatije su:

**1957.** Windscale, Engleska (reaktor za proizvodnju plutonija)

**1957.** Kyshtym, Rusija (prerada nuklearnog goriva)

**1973.** Windscale, Engleska (prerada nuklearnog goriva)

**1979.** Three Mile Island, SAD (nuklearna elektrana)

**1980.** Sain-Laurent, Francuska (nuklearna elektrana)

**1986.** Chernobyl, Ukrajina (nuklearna elektrana)

**1989.** Vandellos, Španjolska (nuklearna elektrana)

**1999.** Tokaimura, Japan (postrojenje za preradu urana)

SBK

## IZMJENE I DOPUNE ENERGETSKIH ZAKONA

U razdoblju od 2001. godine do danas donesen je:

- **Zakon o energiji** (NN 68/01) te zakoni kojima se uređuje obavljanje pojedinih energetskih djelatnosti:
- **Zakon o tržištu energije** (NN 68/01)
- **Zakon o tržištu nafte i naftnih derivata** (NN 68/01)
- **Zakon o tržištu plina** (NN 68/01) i
- **Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti** (NN 68/01).

Osim navedenih zakona doneseni su i zakoni ili propisi kojima se uređuje oblast energetike iz predmeta regulacije Zakona o energiji:

- Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o regulaciji energetskih djelatnosti (NN 109/01)
- Uredba o razdoblju na koje se izdaje dozvola za obavljanje energetskih djelatnosti (NN 116/02)
- Strategija energetskog razvitka RH (NN 38/02)
- Zakon o fondu za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost (NN 107/03)
- Pravilnik o uvjetima za obavljanje energetskih djelatnosti (NN 6/03)
- Pravilnik o energetskoj bilanci (NN 33/03)
- Pravilnik o podacima koje su energetski subjekti dužni dostaviti Vijeću za regulaciju energetskih djelatnosti (NN 97/03)
- Pravilnik o načinu i kriterijima za utvrđivanje iznosa naknade za korištenje prijenosne i distribucijske mreže (NN 109/03).

Osim toga na snazi su danas i podzakonski akti, doneseni radi provedbe zakona kojima se uređuju pojedine energetske djelatnosti:

- Odluka o davanju suglasnosti HEP-u d.d. za osnivanje trgovačkog društva "Hrvatski nezavisni operator sustava i tržišta" (NN 1/02)
- Uredba o obveznim zalihama nafte i naftnih derivata (NN 27/03)
- Pravilnik o općim uvjetima i tarifi za skladištenje obveznih zaliha nafte i naftnih derivata (NN 68/03)
- Pravilnik o utvrđivanju cijena naftnih derivata (NN 112/03)
- Uredba o državnim potporama (NN 121/03)
- Pravila djelovanja tržišta električne energije (NN 193/03 i 198/03)

- Tarifni sustav za usluge elektrenergetskih djelatnosti koje se obavljaju kao javne usluge (NN 101/02, 120/02 i 129/02)
- Pravilnik o distribuciji plina (NN 104/02 i 97/03)
- Tarifni sustav za dobavu prirodnog plina za tarifne kupce (NN 99/02)
- Tarifni sustav za transport plina za dobavljače plina i povlaštene kupce plina (NN99/02 i 135/03)
- Mrežna pravila za pristup transportnom sustavu plinovoda (NN 126/03).

Kako su 2003. godine usvojene nove Direktive Europske unije, Zakon o energiji iz 2001. godine nije u skladu s tim direktivama te nije više dovoljan okvir za sve ostale zakone u energetsom sektoru. Postoji niz razloga da se donese njegova izmjena i dopuna, usklađivanje s direktivama i dokumentima Europske unije, prilagođavanje novim saznanjima i dokumentima, kvalitetnije uređenje i preglednost postupaka i procedura i stvarnje sveobuhvatnog i kvalitetnijeg zakonskog okvira.

Od 2001. godine do danas, doneseno je niz dokumenata koji uređuju područje energetike i u kojima se pojavljuje niz novih zahtjeva i uputa. Među najvažnijim su sljedeći dokumenti:

- Direktiva 2003/54/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o zajedničkim pravilima za tržište električne energije
- Direktiva 2003/55/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o zajedničkim pravilima unutrašnjeg tržišta prirodnog plina
- Direktiva 2001/77/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju uporabe električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije na unutrašnjem tržištu električne energije
- Direktiva 2004/8/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju kogeneracije na temelju potrošnje korisne topline na unutrašnjem tržištu energijom i koja dopunjuje Direktivu 92/42/EEZ
- Direktiva 2003/42/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju korištenja biogoriva te ostalih obnovljivih goriva u transportu.

Osnovni cilj Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o energiji je kvalitetnije utvrđivanje i reguliranje svih energetske djelatnosti u Republici Hrvatskoj i uspostavljanje sveobuhvatnijih zakonskih okvira za ostale zakone energetske

sektora. Time će se dobiti pouzdanija i učinkovitija organizacija proizvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe energijom svih kupaca. Treba napomenuti da je u svim dokumentima naglašena pozornost u odnosu na mjere zaštite okoliša, obnovljive izvore energije, kogeneraciju i energetske učinkovitost. Provedba ovog zakona i svih pratećih zakona rezultirat će snažnom liberalizacijom tržišta u energetici prema svim uputama i normativima Europske unije te racionalnoj organizaciji energetske subjekata u Republici Hrvatskoj.

Hrvatski sabor je na 11. sjednici održanoj 3. prosinca 2004. godine prihvatio Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o energiji, Zakon o tržištu električne energije i Zakon o regulaciji energetske djelatnosti. Do predaje ovog teksta navedeni zakoni nisu objavljeni u Narodnim novinama.

SBK

## **PROGRAM RAZGRADNJE NE KRŠKO I ODLAGANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA**

U prosincu 2004. godine, na temelju Zakona o potvrđivanju Ugovora između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju NE Krško (NN 9/02) (Vidjeti: Energija, god. 53(2004), br. 3., str. 233. i br. 5., str. 440.), Hrvatski sabor je donio Odluku o davanju prethodne suglasnosti za potvrđivanje Programa razgradnje NE Krško i odlaganja radioaktivnog otpada i istrošenog nuklearnog goriva. Odluka je objavljena u Narodnim novinama broj 175. od 13. prosinca 2004. godine.

Program je načinjen u skladu s Ugovorom između Vlade Republike Hrvatske i Vlade Republike Slovenije o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa vezanih uz ulaganje, iskorištavanje i razgradnju NE Krško.

Prema riječima predlagatelja (Odbor za gospodarstvo, razvoj i obnovu Hrvatskog sabora), predloženi program razgradnje NE Krško ima za cilj utvrditi visinu sredstava potrebnih za zbrinjavanje nuklearnog otpada te ne sadrži mjere po kojima bi trebalo pristupiti njegovu zbrinjavanju. NE Krško bi trebala raditi do 2023. godine. Prema planu Hrvatske elektroprivrede prikupljanje sredstava za ovu namjenu neće povećati cijene električne energije u Republici Hrvatskoj.

SBK

## IZ INOZEMNE STRUČNE LITERATURE

### OCJENA SAVEZNOG MINISTARSTVA NJEMAČKE: KONFERENCIJA “RENEWABLES 2004” S PUNIM USPJEHOM

Međunarodna konferencija pod gornjim naslovom održana je od 1. do 4. lipnja u Bonnu. Od svijeta je delegata zaključeno da je došlo do globalne energetske promjene i velike izgradnje uređaja za iskorištenje obnovljivih energetskih izvora i kako se boriti s neimaštinom i zaštititi klimu.

Delegati su izjavili, da im je zajednička vizija, da oko godine 2015. opskrbe ukupno milijardu ljudi energijom iz obnovljivih izvora. Ukupno je prihvaćeno 165 dobrovoljnih akcija i obveza za provedbu programa. Naročito su ambiciozni ciljevi Kine i Filipina. Kina predviđa da do godine 2010. poveća udio snage elektrana na obnovljivim izvorima za 10 %, tj. instalirane snage od 60 GW.

Ta bi se snaga prema vrsti elektarna razdjelila na 50 GW u malim hidroelektranama, 4 GW u vjetroelektranama, a 6 GW u elektranama koje koriste biomasu, a 450 MW u solarnim elektranama.

Filipini su uzeli za cilj povećati snagu svojih elektrana na 4700 MW, naročito uporabom topline zemlje i snagom vjetera.

Na konferenciji se i mnogo diskutiralo o financijskim pitanjima.

*EW*, god. 103(2004), br. 14

Mrk

### TESTIRANJE VISOKOTEMPERATURNIH SUPRAVODIČA

Proizvođač visokotemperaturnih supravodiča Trithor Rheinbach izvijestio je da je njihov proizvod za energetske primjene testirao Nacionalni laboratorij visokih magnetskih polja na Floridi (SAD). Pri magnetskim poljima od 45 T, žica presjeka najmanjeg od 1 mm<sup>2</sup> podnijela je, bez poteškoća, 260 A jakosti struje.

Ovo je ispitivanje daljnji korak na putu za energetski štedljive električne strojeve, na bazi visokotemperaturnih supravodiča.

*EW*, god. 103(2004), br. 14

Mrk

### KABLIRANJE ELEKTRIČNE MREŽE U NJEMAČKOJ

Udruga za elektroprivredu u Berlinu (VDEW) izvještava, da je sve više njemačke električne mreže kablirano, što se vidi iz pregleda:

Godina	1993.	2003.
Dužina mreže (km)	1,510.000	130,641.500
Udio u kabelu	64 %	71 %
Broj transformatora	557.000	566.000

Većim su dijelom kablirane niskonaponske i srednjonaponske električne mreže, dok se za više napone grade nadzemni vodovi.

*EW*, god. 103(2004), br. 15

Mrk

### UTJECAJ ZAKONA O OBNOVLJIVOJ ENERGIJI NA BROJ RADNIH MJESTA U NJEMAČKOJ

Rajnsko-vesfalski institut za unaprjeđenje gospodarstva (RW) izradio je studiju o utjecaju zakona o obnovljivoj energiji (EEG) na broj radnih mjesta. U studiji se dolazi do zaključka, da će zbog dinamike razvoja uređaja za iskorištenje obnovljive energije, najprije broj zaposlenika rasti. Tako bi prema predviđanjima u godini 2004. broj radnih mjesta narastao okruglo na 33.000, a zatim padao, pa godine 2010. pao na 6.000 radnih mjesta.

Financijsko poticanje korištenja obnovljive energije postat će nerentabilno, jer će previše opterećivati cijenu struje za kućanstva i industriju.

*EW*, god. 103(2004), br. 14

Mrk

### VIŠE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ VJETROELEKTRANA U NJEMAČKOJ

Država je potpora povećala parkove vjetroelektrana-elektrana. Od godine 1998. do 2003. povećana je instalirana snaga od 2.800 MW na 14.600 MW, dakle više nego pet puta, ali proizvodnja je struje iz ovakvih elektrana samo 4 puta. Porasla je i suma izdataka kojom država podupire ovakvu proizvodnju. Ona je 2003. godine iznosila oko 1,2 milijarde eura.

*EW*, god. 103(2004), br. 14

Mrk

### PERMANENTNO-MAGNETSKA TEHNIKA ZA MULTIMEGAVAT-VJETROELEKTRANE

Tvrtka Siemens razvila je generatorski sustav s uzbuđenim permanentnim magnetima, bez prigona (spremnika). Ova je tehnika primijenjena u svjetski najvećoj vjetroelektrani u Norveškoj, na jedinici od 3 MW. Budući da nema prigona, uređaj za uljenje je nepotreban.

Elektrana se odlikuje visokom učinkovitošću i malim održavanjem.

*EW*, god. 103(2004), br. 14

Mrk

### MIJENJANJE UDJELA POJEDINI ENERGENATA U NJEMAČKOJ

Nekad je u Njemačkoj cijela potrošnja energije bila pokrivena ugljenom. Zatim je povećana uporaba nafte i njenih deriva-

ta. U godini 1973. naftom je pokrivena polovica energetske potrebe Njemačke, a udio ugljena pao je na 30 %. Tada je došla energetska kriza, koja je tražila, u prvom redu štednju nafte, pa su pojačano upotrebljavani drugi energenti, kao nuklearna energija, zemni plin i obnovljiva energija.

Promjene udjela pojedinih energenata u Njemačkoj, u vremenu od godine 1973. do godine 2003. vide se iz priloženog pregleda.

Godina	1973.	2003.
Ukupno milijuna tona SKE	379	492
Od toga udio u %		
Nafta	55,2	36,7
Zemni plin	10,2	22,2
Kameni ugljen	22,2	13,6
Smeđi ugljen	8,7	11,4
Nuklearna energija	1,0	12,5
Obnovljiva energija	2,7	3,6

*EW*, god. 103(2004), br. 15

Mrk

## 50 GODINA PRVOG PRIJENOSA ELEKTRIČNE ENERGIJE ISTOSMJERNOM STRUJOM VISOKOG NAPONA

Ove, 2004. godine, proslavila je tvrtka ABB 50 godišnjicu, stavljanja u pogon (1954.), prvog u svijetu, istosmjernog visokonaponskog prijenosa električne energije, kabelom od švedskog kopna na otok Gotland. Napon prijenosa bio je 100 kV, a prenosila se snaga od 20 MW. Ovakva istosmjerna tehnologija primjenjivala se svugdje u svijetu, pa je polovicu takovih istosmjernih postrojenja dobavila tvrtka ABB.

Kao primjer mogu poslužiti veliki i značajni istosmjerni prijenosi. Najviši prijenosni istosmjerni napon, od 600 kV, izgrađen je u Brazilu, ali najdulji su prijenosi istosmjernom tehnikom izgrađeni u Kini. Najdulji istosmjerni kabelski prijenos u svijetu, izveden je u Australiji (Murray link), a najdulji podmorski kabelski prijenos na Baktiku (Baltic kabel link).

U postrojenje prvog visokonaponskog istosmjernog prijenosa ugrađeni su živini ispravljači, uz prijenosni napon od 100 kV. U godini 1970. ugrađeni su, kao prvi u svijetu, tiristor-ski ispravljači. Oni su stavljeni u seriju s postojećim živinim ispravljačima, čime je dobiven prijenosni napon od 150 kV i prijenosna snaga od 30 MW.

U godini 1989. položen je i drugi kabel na otok Gotland. Novi je prijenosni sustav imao tiristor-ske ispravljače, a radio je s prijenosnim naponom od 150 kV, neovisno o prvom postrojenju. Snaga prijenosa bila je 130 MW.

Povećanje potrošnje električne energije na otoku i dotrajalo rezervne elektrane, tražila je povećanje prijenosne snage, pa je 1985. godine izgrađen i treći prijenosni sustav. Treći je sustav normalno radio s drugim sustavom kao bipolarna veza i time se moglo prenijeti 260 MW ili maksimalno 320 MW.

Prvo je prijenosno postrojenje iz 1954. godine stavljeno izvan pogona i demontirano.

*EW*, god. 103(2004), br. 15

Mrk

## 5 GODINA VODIKOVE POSTAJE U MÜNCHENU

Prošlo je 5 godina otkad je u zračnoj luci u Münchenu izgrađena vodikova postaja, za napajanje vozila, kao gorivom. Prema općem sudu ova je postaja dala pozitivne rezultate.

Do sada su se postajom služila tri autobusa i više vozila. Oni su ukupno prošli, bez problema, oko 500 000 km.

Planira se proširenje postaje, spremnicima za plinoviti vodik. Da se poveća kapacitet spremnika, tlak će biti 350 bara umjesto uobičajenih 250 bara. Time će se kapacitet spremnika povećati 140 %.

*EW*, god. 103(2004), br. 15

Mrk

## TRANSFORMATORSKA STANICA ZA "OSMO ČUDO SVIJETA"

Osmo čudo svijeta izgradit će se na obali Dubaia u Arapskom zaljevu. U godini 2005. nasut će se uz obalu dva umjetna otoka, na kojima će se izgraditi 50 luksuznih hotela sa svim zabavnim sadržajima za 5.000 ljudi.

Za opskrbu električnom energijom ovog kompleksa, sklopilo je tamošnje elektro poduzeće Dubai Electricity s njemačkom tvrtkom ABB ugovor od 24 milijuna eura.

Isporučit će transformatorsku stanicu, s posebnim plinom izoliranim rasklopnim postrojenjem 132 kV.

Ugovorom su obuhvaćene sve radnje do "ključa u ruke".

*EW*, god. 103(2004), br. 15

Mrk

## BIOLOŠKE SOLARNE ČELIJE

Znanstvenici Tehnološkog instituta Massachusetts (SAD) izradili su, na bazi biljnih proteina, ekstrahiranih iz špinata, ćeliju koja svjetlost pretvara u električnu energiju.

U sadašnjem razvoju ćelija radi s učinkovitošću od 12%.

Međutim, danas je poteškoća u tome, što ćelija propada za 21 dan, no to bi se moglo produljiti daljnjim istraživanjem.

*EW*, god. 103(2004), br. 16

Mrk

## ESTONIJA GRADI VJETROELEKTRANE

Na poluotoku Paldiski, u Finskom zaljevu, koji je bio do godine 1994. zauzet od tadašnje vojske SSSR-a, Estonija će garditi park vjetroelektrana. Estonska tvrtka Taulepark naručila je od njemačke tvrtke Nordex osam vjetrenjača, pojedinačne snage 2,3 MW. Prema ugovoru, krajem prosinca 2004. vjetroelektrane bi morale biti priključene na električnu mrežu.

Park će imati specijalni uređaj "Power crane" mobilnu dizalicu, kojom će se lako servisirati cijeli uređaji parka.

Pretpostavlja se, da će cijeli park proizvoditi godišnje 50.000 MWh električne energije.

*EW*, god. 103(2004), br. 16

Mrk

## STUDIJA O ISKORIŠTENJU ENERGIJE

Prema traženju njemačkih saveznih ministarstava instituti su izradili studiju "Ekološko optimiranje izgradnje i korištenja obnovljivih energetske izvora". Studija je došla do zaključka da bez znatnog povećanja korisnosti svijet energenata nije moguća trajna opskrba električnom energijom. Studija je, nadalje, zaključila, da problem energije nije zahvatio dovoljno duboko. Treba obuhvatiti toplinu i promet.

*EW*, god. 103(2004), br. 16

Mrk

## 1,9 MILIJARDI EURA VIŠE TROŠKOVA ZA POTROŠAČE

Prema podacima njemačke elektroprivredne udruge VDEW – Berlin, proizvođači su dali u javnu električnu mrežu oko 29 milijardi kWh električne energije, iz obnovljivih energetske izvora (2002. godine 25 milijardi kWh), a prema zakonu o korištenju obnovljivih izvora energije. S tim u vezi povećanje troškova naraslo je za 19 %, tj. 1,9 milijardi eura. Od stupanja na snagu EEG zakona, financijska su se opterećenja potrošača podvostručila. U godini 2000., morali su potrošači platiti za unaprjeđivanje dobivanja električne energije iz obnovljivih izvora 0,9 milijardi eura.

*EW*, god. 103(2004), br. 17/18

Mrk

## PROMJENE CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ NAKON OTVARANJA TRŽIŠTA

Cijena električne energije naglo je pala nakon liberalizacije, ali nakon nekog vremena ona je opet u porastu. Danas ipak industrija plaća manje nego je plaćala godine 1998.

Cijena električne energije za kućanstvo na jednakoj je visini kao prije liberalizacije, no da se izuzmu državna i gradska davanja ona bi bila mnogo niža.

*EW*, god. 103(2004), br. 17

Mrk

## ZUJANJE TRANSFORMATORA

Zujanje transformatora može smanjiti i ograničiti kvaliteta stanovanja i života, pa ga treba smanjiti. Žadnjih se godina nivo takve buke smanjio. Zujanje se ne može smanjiti klasičnom izgradnjom transformatora, već treba poduzeti posebne mjere. Tvrtka Siemens uspjela je konstruirati transformatore smanjene buke. Današnji transformator, istih parametara kao onaj iz 1991. godine ima nivo buke smanjen za 9 dB.

*EW*, god. 103(2004), br. 17/18

Mrk

## EMISIJA ŠTETNIH PLINOVA U EU (15)

Emisija štetnih plinova, koji pospješuju efekt staklenika, u 15 zemalja EU (prije priključivanja novih 10 članica) nakon dvogodišnjeg rasta, lagano je pala. Time je u EU učinila

maleni korak cilju, da idućih 8 godina emisiju smanji za 8 %.

Emisija štetnih plinova porasla je od godine 2000. na 2001. za 1,3 %, ali u godini 2002. ona je ukupno pala za 2,9 % prema usporednoj godini 1990. To je poboljšanje prema godini 2001., kad je pad prema usporednoj godini iznosio 2,1 %.

Polazeći od linearnog pada emisije između usporedne godine i godina 2001. i 2002., morala je emisija do godine 2002. pasti za 4,8 % i time da se dođe do pada prema obvezi iz Kyota.

*EW*, god. 103(2004), br. 19/20

Mrk

## PLANOVI O GRADNJI PARKA VJETROELEKTRANA

Prema podacima njemačkog Saveznog ureda za promet morem i hidrografiju, koji izdaje odobrenje za gradnju vjetroelektrana u moru (Offshore – Windparks), u Sjevernom i Istočnom moru, izvan njemačkih teritorijalnih voda, ali u gospodarskoj zoni, planira se izgradnja 34 parkova vjetroelektrana s nekoliko stotina postrojenja. Nakon punog završetka izgradnje, ukupna bi snaga tih elektrana iznosila okruglo 42.000 MW.

Kako još danas u svijetu nema veće od 200 MW, nema još sigurnih i prokušanih uzora za planove takvih velikih i snažnih uređaja. Planiranje takvih postrojenja treba još razviti. Osobito je veliki problem toliko veliku električnu snagu prenijeti do javne električne mreže na kopnu. Ovdje su potrebni naponi 400 kV, što kod kabela trofazne struje stvara poteškoće, zbog kapacitivnih struja, pa se pomišlja na visokonaponski istosmjerni prijenos.

Svakako za ovaj projekt treba još riješiti mnoge probleme.

*EW*, god. 103(2004), br. 19/20

Mrk

## MOGUĆNOST POKRIVANJA BIOMASOM NJEMAČKE ENERGETSKE POTREBE

Biomasaom bi se u Njemačkoj u godini 2030. moglo zadovoljiti 17 % energetske potreba struje, topline i prometa. Ta je konstatacija rezultat studije koju su izradili znanstvenici Njemačkog centra za zračni i svemirski let.

Ne samo drvo i bioplin, već najviše planski izgrađeno bilje. Na 4,3 milijuna hektara može se saditi raslinje za energetske svrhe. Od toga bi se moglo dobiti 1300 PJ energije. Sveukupna bioenergija mogla bi 2030. godine iznositi 2.200 PJ. Prema drugim alternativnim energijama bioenergija ima velike prednosti. Između ostalog, ona se može akumulirati.

*EW*, god. 103(2004), br. 21/22

Mrk

## AUTOMATIKA VOĐENJA U TERMOELEKTRANI

Kao primjer što doprinosi automatika vođenja u termoelektrani, neka služi modernizacija u najvećoj austrijskoj termoelektrani Simmering kraj Beča. Ona raspolaže s tri proizvodna bloka. Prvi je blok električne snage 859 MW i ter-

mičke 630 MW. Drugi je blok nešto manje električne snage 433 MW i termičke 230 MW. Ti su blokovi ugrađeni od 1977. do 1979. godine. 1992. ugrađen je i treći blok, električne snage od 426 MW i toplinske 95 MW. Za pogon elektrane trebalo je 40 ljudi, tj. 10 po smjeni uz rezervu. Modernizacijom elektrane i ugradnjom automatskog vođenja, ljudstvo je reducirano na 4 čovjeka po smjeni, umjesto 10. Osim smanjenja posade, automatikom postignute su i druge prednosti, u prvom redu optimizacija i sniženje troškova pogona.

*EW*, god. 103(2004), br. 21/22

Mrk

## MODERNIZACIJA RASKLOPNIH STANICA

Njemačka tvrtka Siemens sklopila je s rumunjskom elektroprivrednom, državnom tvrtkom Transelectrica SA, ugovor o modernizaciji najveće rumunjske rasklopne stanice 400/220 kV Bukurešt Jug. Ugovor je vrijedan 47 milijuna eura. Predviđena je modernizacija 8 polja 400 kV, 19 polja 220 kV i 21 polje 110 kV. Siemens će ugraditi novu zaštitu i tehniku vođenja, prema novim standardima IEC 61850.

*EW*, god. 103(2004), br. 21/22

Mrk

## IRSKA ŽELI MODERNIZIRATI SVOJU SREDNJONAPONSKU ELEKTRIČNU MREŽU

Irska će elektroprivreda ESB (Electricity Supply Board), unutar 5 godina investirati u svoju električnu mrežu ukupno 5,5 milijardi eura. Već je učinjen ugovor od 20 milijuna eura za rekonstrukciju srednjonaponske električne mreže. Elektroprivreda ESB posebnu je pažnju posvetila 80.000 km dugoj mreži 10 kV i 20 kV. Ova će se električna mreža pojačati i sanirati do konca godine 2005. Drveni će se stupovi izmijeniti i izmijeniti vodiči i armature u električne mreže 20 kV, a transformatori će se mijenjati prema potrebi.

ESB želi da električna mreža bude toliko jaka i pouzdana da potrošači ne ostanu bez električne energije više od ukupno 5 dana u godini samo jednom u dva tjedna.

*EW*, god. 103(2004), br. 21/22

Mrk

## NAŠA JE OBVEZA OSIGURATI SIGURNU I ZDRAVU BUDUĆNOST NOVIM GENERACIJAMA – NE UČINITI NIŠTA NAJGORA JE OPCIJA

Danas se veliki broj zemalja opskrbljuje električnom energijom iz nuklearnih elektrana. Činjenica je da se i dalje u programima razvoja mnogih od njih nalazi i daljnja izgradnja novih nuklearnih elektrana. Uvažavajući zahtjeve zaštite okoliša, mnogi smatraju da nuklearne elektrane udovoljavaju tim zahtjevima. No, tu ostaje problem sigurnog i trajnog odlaganja istrošenog goriva i visoko radioaktivnog otpada, naslijeđen iz dvadesetog stoljeća. Isto tako je naslijeđena opasnost od radioloških sabotaza i terorističkih napada. Stoga ne iznenađuju političari najvišeg ranga kada politiku vežu uz ove probleme. Jedni su za izgradnju posebnih trajnih odlagališta, drugi su za privremena rješenja. No,

najmanje žele da se odlagalište smjesti u njihovoj blizini, u njihovoj zemlji. Ipak, većina je svjesna da je potrebno nešto učiniti, jer ne učiniti ništa najgora je opcija. Osigurati sigurnu i zdravu budućnost novim generacijama obveza je koju treba ispuniti što prije.

Rješavanje tog problema dugotrajno je i iziskuje mnogo novaca. Treba se podsjetiti da je Hrvatska tek nedavno prihvatila program razgradnje NE Krško kao financijsku obvezu za prikupljanje potrebnih novčanih sredstava. Svaka zemlja to rješava prema svojim mogućnostima i razini svjesnosti.

SAD akumulira radioaktivni otpad od sredine 1940-ih godina. Danas ima 47.500 metričkih tona (1 metrička tona = 2,832 m<sup>3</sup>) istrošenog nuklearnog goriva (45.000 od reaktora za proizvodnju električne energije i 2.500 od reaktora za obranu). U tijeku je odlaganje oko 100 milijuna galona tekućeg visoko radioaktivnog otpada iz obrambenih aktivnosti. Do 2040. godine skupit će oko 108.000 metričkih tona od istrošenog nuklearnog goriva, a povećat će se i količina visokoradioaktivnog otpada iz obrambenih aktivnosti.

Sav ovaj nuklearni otpad sada je smješten u privremena odlagališta na 131 lokaciji u 39 država. Ta privremena odlagališta su većinom smještena uz nuklearna postrojenja, blizu vodotokova i blizu velikih konzuma. Zbog lošeg održavanja ili nekih drugih razloga moguće je da njihov sadržaj proдре u podzemne vode iz kojih se opskrbljuje vodoopskrba. Više od 30 milijuna Amerikanaca može biti ugroženo, jer 161 milijun stanuje unutar 120 kilometara od tih odlagališta, odnosno privremenih skladišta.

Još 1982. godine Kongres je utvrdio nacionalnu politiku za rješavanje problema smještaja istrošenog goriva i visoko radioaktivnog otpada. Donio je akt pod nazivom Nuclear Waste Policy Act (NWPA), utemeljen na tadašnjim saznanjima znanstvenika širom svijeta. Prema njemu za pronalaženje lokacije, i ugradnju i rad odlagališta duboko pod zemljom, tzv. geološki repozitorij, odgovoran je Sektor za energetiku (DOE).

Godine 1983. DOE izdvojio je devet potencijalnih lokacija na temelju desetgodišnjeg prikupljanja podataka, te je 1987. godine Kongres donio dopunu akta NWPA i zadužio DOE da se daljnja istraživanja i studije izvode samo za lokaciju Yucca Mountain. U srpnju 2002. godine Senat je izglasao odobrenje da se istražuje Yucca Mountain kao potencijalna lokacija za trajno odlagalište. Istodobno je i predsjednik Bush potpisao Rezoluciju 8 (House Joint Resolution 8), kojom se dozvoljava DOE da poduzme sljedeći korak na osnivanju sigurnog odlagališta.

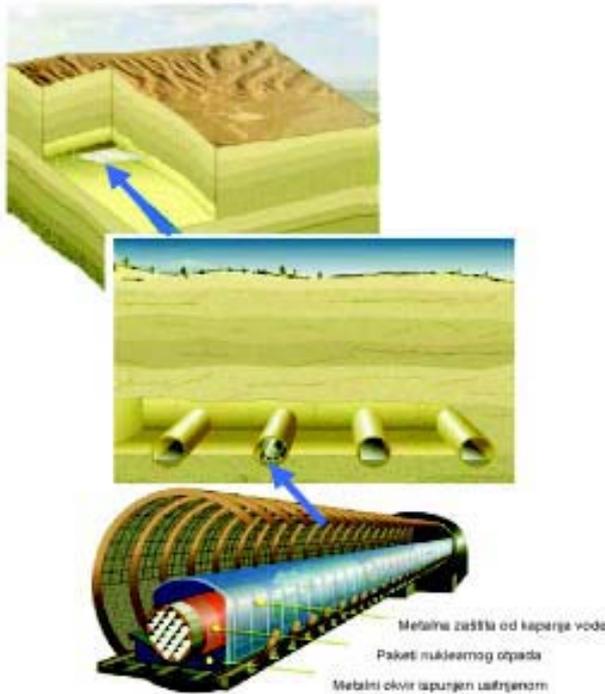
Koncept odlagališta temelji se na zahtjevu da nuklearni otpad bude nedostupan ljudima i da ne zagađuje okoliš u sljedećih 10 000 godina.

Buduće trajno odlagalište Yucca Mountain bit će smješteno oko 160 km sjeverozapadno od Las Vegasa, u Nye County, u Nevadi, zapadno od vojnog poligona za testiranje nuklearnih projekata.

Zašto Yucca Mountain? Stoga što ima mnoge prirodne prednosti. Površina terena i stijene iznad i ispod potencijalnog odlagališta dovoljno su debele, a i takvog su sastava da sprječavaju prodiranje vode, odnosno odnošenje radioaktivnog materijala u okoliš.

Presjek budućeg odlagališta prikazan je na slici 1. Odlagalište će biti smješteno duboko pod zemljom. Slojevi stijena i zemlje sprječavat će radijaciju.

Gornji dio slike prikazuje presjek kroz planinu i mjesto gdje će biti smješteno trajno odlagalište.



Slika 1. Yucca Mountain odlagalište (repozirorij)

Srednji dio slike prikazuje detalj s raspodjelom tunela za smještaj radioaktivnog otpada.

Donji dio slike prikazuje presjek tunela. Radioaktivni otpad slagat će se u pakete. Ovi paketi će biti smješteni u ekstremno trajne kontejnere od antikoroziivnog materijala, koji će biti smješteni u tunel i zaštićeni antikoroziivnom metalnom zaštitom, koja će štiti od kapajuće vode, padajućih stijena i krhotina.

Daljnje aktivnosti Yucca Mountain projekta usmjerene su na pripremu aplikacije za dobivanje licence od Nuklearne regulatorne komisije (Nuclear regulatory Commission) za izgradnju odlagališta.

www.energycentral.com, December 2004;  
www.ocrwm.doe.gov, December 2004.

SBK

## NJEMAČKI SAVEZNI KANCELAR GERHARD SCHRÖDER I TURSKI PREMIJER REÇEP TAYYIP ERDOGAN NAZOČILI PUŠTANJU U POGON TE ISKENDERUN U TURSKOJ

Njemački savezni kancelar Schröder i turski premijer Erdogan nazočili su 24. veljače 2004. godine puštanju u pogon elektrane na kameni ugljen Iskenderun u Turskoj, njemačke tvrtke ISKEN, u vlasništvu dioničkog društva STEAG AG. Termoelektrana Iskenderun, neto snage 1210 MW, locirana je na jugoistoku Turske i izgrađena je u rekordnih 39 mjeseci. Elektrana s uloženi 1.5 milijardi USD, nije samo najveća pojedinačna investicija njemačkog gospodarstva u Tursku, već je trenutno i najveća neposredna strana investicija u tu zemlju. TE Iskenderun pokriva 8% turske potrošnje električne energije.

“Ugljen će kao primarni energent još mnoge godine biti potreban, jer raspoloživ širom svijeta u velikim količinama”, rekao je na prigodnoj svečanosti kancelar Schröder. “Sigurna opskrba energijom je temelj dinamičnog gospodarskog rasta” rekao je premijer Erdogan. “Predsjednik Nadzornog odbora tvrtke STEAG AG, Dr. Müller je tom prigodom izjavio, da je TE Iskenderun kamen temeljac tursko-njemačkih gospodarskih odnosa.

Elektranu su projektirali i izgradili stručnjaci njemačke tvrtke STEAG AG, uz financijsku potporu međunarodnog konzorcija banaka. Kćerka firma STEAG-a tvrtka ISKEN vodi pogon elektrane u kojoj su postavljene dvije proizvodne jedinice neto snage po 605 MW. U elektrani će se trošiti godišnje 3.3 milijuna tona uvoznog ugljena. Veliki preoceanski brod (Transshiper) dovozi ugljen u uvalu Iskenderun, gdje se ugljen pretovaruje u manje brodove koji mogu pristati uz obalu. Transshiper je trenutno najveći u svijetu ploveći objekt za pretovar ugljena.

Oko 4 000 ljudi bilo je u protekle tri godine zaposleno na gradilištu. Oko 250 kvalificiranih ljudi našlo je trajno zaposlenje u elektrani.

Zahvaljujući ugrađenoj opremi za zaštitu okoliša, elektrana Iskenderun ispunjava sve propisane granične vrijednosti zaštite, koje zahtijeva Svjetska banka. Elektrana je opremljena ekološkim monitoringom za trajno praćenje emisija. Primjenom najsuvremenije tehnike i unaprijeđenim vođenjem procesa postiže se visoka učinkovitost elektrane. Otpadni materijali u tijeku proizvodnog procesa kao što je leteći pepeo i gips se prodaju građevinskoj industriji.

TE Iskenderun u brojkama:

Investicija:	1.5 milijardi USD
Trajanje izgradnje:	39 mjeseci
Komercijalni pogon:	od 22 studenog 2003
Snaga:	1320 MW bruto 1210 MW neto
Visina kotla toranjske izvedbe:	100 m
Kapacitet skladišta ugljena:	800 000 t
Godišnja potrošnja ugljena:	3.3 milijuna tona

VGB Power Tech 3/2004 (www.steag.de)

doc

## STEAG: POSTAVLJEN TEMELJNI KAMEN ZA ELEKTRANU NA UGLJEN MINDANAO

Na filipinskom otoku Mindanao položen je 30 siječnja 2003. godine kamen temeljac za ambiciozni projekt izgradnje suvremene elektrane na kameni ugljen. To je treća elektrana u vlasništvu njemačke tvrtke STEAG AG, koja kao IPP proizvođač električne energije gradi u inozemstvu. Elektrana treba biti izgrađena za 36 mjeseci. Investicijska ulaganja iznose 355 milijuna USD. Tvrtka STEAG State Power Inc. razvija, financira, gradi i namjerava voditi pogon elektrane. Elektrana je smještena u industrijskom području u blizini glavnog grada provincije Cagayan de Oro na sjevernoj obali otoka Mindanao. Elektrana će imati dvije proizvodne jedinice snage po 232 MW, koje će koristiti uvozni ugljen. Postrojenje će biti opremljeno najsuvremenijim uređajima za zaštitu okoliša, čime će u potpunosti biti zadovoljena filipinska zakonska regulativa za zaštitu okoliša, kao i zahtjevi Svjetske banke. To je prva njemačka investicija na Filipinima. Mindanao je područje Filipina s najbržim gospodarskim rastom.

To je prva elektrana na ugljen na otoku Mindanao. Ukupna instalirana snaga proizvodnog parka otoka iznosi 1500 MW. Dvije trećine proizvodne snage otpada na hidroelektrane, ostatak su geotermalne elektrane i elektrane na tekuće gorivo. Prema studiji koju je izradilo poduzeće za opskrbu električnom energijom "National Power Corporation" (NPC), potrošnja električne energije na otoku će u idućih desetak godina rasti po stopi od 8% godišnje. Razlog je tome što trenutačno samo 60% filipinskih kućanstava ima pristup javnoj električnoj mreži. Vlada želi omogućiti svim kućanstvima pristup javnoj mreži i korištenje električne energije. Nakon ulaska u komercijalni pogon u prosincu 2006. godine elektrana će isporučivati NPC-u električnu energiju u idućih 25 godina.

VGB Power Tech 3/2004 (www.steag.com)

doc

### USPJEŠNA 2003. GODINA ZA NJEMAČKE NUKLEARNE ELEKTRANE

Devetnaest njemačkih nuklearnih elektrana koje su bile 2003. godine u pogonu proizvele su ukupno 165.1 milijardu kWh električne energije. Reaktor Isar 2 snagom od 1475 MW bio je u protekloj godini po peti put najuspješniji proizvođač električne energije s 12.3 milijardi kWh. To je dvije trećine proizvodnje svih 15 000 vjetroelektrana u Njemačkoj.

Nuklearna energija je i u 2003. godini značajno pridonijela ekonomičnoj i ekološki prihvatljivoj (bez CO<sub>2</sub> emisije) proizvodnji električne energije i sigurnosti opskrbe njemačkih potrošača električne energije. Proizvodnja nuklearnih elektrana je naročito došla do izražaja u tijeku prošlogodišnjih neuobičajenih ljetnih vrućina, kada su njemački reaktori proizveli 10% više električne energije u odnosu na prethodnu godinu. Također je vremenska raspoloživost nuklearnih elektrana prošle godine porasla u odnosu na prethodnu (2002.) godinu. Nuklearne elektrane su prosječno ostvarile 7 679 sati pogona od godišnjih 8760 sati. To je 87.7% godišnjeg vremena. Većina reaktora je ostvarila vremensku raspoloživost preko 90%.

Za njemački Atomforum e.V., te brojke jasno odražavaju prednosti nuklearne energije: ekonomičnost, sigurnost opskrbe i ekološku prihvatljivost. S aspekta sigurnosti opskrbe električnom energijom je bitno da proizvodnja električne energije iz nuklearnih elektrana u Njemačkoj potraje što duže.

VGB Power Tech 3/2004 (www.kernenergie.de)

doc

### MODERNIZACIJA NJEMAČKE TE NA KAMENI UGLJEN MEHRUM

Zajedno s mnogim drugim zemljama svijeta Njemačka je potpisnik Kyoto protokola iz 1997. godine o zaštiti klime, kojim se zemlje potpisnice obvezuju značajno smanjiti emisiju stakleničkih plinova do 2012. godine. Ta se zadaća posebno tiče operatora termoelektrana na ugljen, koje su među najvećim proizvođačima ugljičnog dioksida.

Njemačka termoelektrana Mehrum, koja koristi kameni ugljen za proizvodnju električne energije, je u skladu sa zahtjevima Kyoto protokola provela modernizaciju jednog svog

bloka, ugradnjom suvremene opreme koncerna Siemens. Ugrađena je nova parna turbina s optimiranim rotorskim lopaticama u trodimenzionalnom design-u, što je doprinijelo povećanju stupnja korisnog učinka bloka za 2%, (na 40,5%). Modernizacijom bloka povećana je snaga bloka za 38 MW i ostvarena ušteda od 76 200 tone ugljena, čime je smanjena CO<sub>2</sub> emisija za 200 000 tona.

Power Tech 3/2004 (www.siemens.de)

doc

### RASPOLOŽIVOST NUKLEARNIH ELEKTRANA U 2002. GODINI

Već godinama VGB vodi statistiku karakterističnih podataka o raspoloživosti i pogonu nuklearnih elektrana u Njemačkoj, Finskoj, Nizozemskoj, Švicarskoj i Španjolskoj. Pored VGB-a postoje međunarodne organizacije WANO, IAEO, koje surađuju s vlasnicima svih nuklearnih elektrana u svijetu.

Podaci o raspoloživosti i pogonu 28 blokova su važan dokaz o visokoj pouzdanosti nuklearnih elektrana. U 2002. godini nuklearni blokovi navedenih zemalja su proizveli 219 milijardi kWh električne energije. Mnogi blokovi su postigli rekordne pogonske rezultate u pogledu vremenske i pogonske raspoloživosti. Te elektrane su bile prosječno raspoložive za pogon 7739 od 8760 sati, odnosno 88% godišnjeg vremena. Dvadeset od 28 blokova imalo je pogonsku raspoloživost preko 90%. Usporedba između radne raspoloživosti i pogonskog korištenja jasno pokazuje konkurentnost nuklearne energije na liberaliziranom konkurentskom tržištu električne energije.

VGB Power Tech Zahlen und Fakten zur Stromerzeugung 2003.

doc

### AREVA ISPORUČUJE DVA PAROGENERATORA U USA

AREVA je 26. veljače 2004. godine, prvi put isporučila dva zamjenska parogeneratora u USA za nuklearnu elektranu Prairie Island u Minesoti, za Nuclear Management Company, Hudson (Winsconsin).

Oba parogeneratora su proizvedena u francuskoj tvornici za izradu teških komponenti u Chalon Saint Marcel (Saone et Loire). Isporuka parogeneratora je rezultat prvog ugovora o isporuci zamjenskih parogeneratora za američko tržište, zaključenog 2000. godine.

Od 2000. godine AREVA se uspješno dokazuje izradom teških komponenti u Chalonu, kao vodeći ponuđač na tržištu zamjenskih komponenti za modernizaciju američkog nuklearnog proizvodnog parka. Poduzeće pokriva 40% proizvodnje parogeneratora i 50% proizvodnje poklopaca za reaktorske tlačne spremnike. U 2003. godini 60% proizvodnje tvornice Chalon Saint Marcel je izvezeno na američko tržište.

Oba bloka u elektrani Prairie Island, ukupne snage 1060 MW, su u pogonu od 1973., odnosno 1974. godine.

VGB Power Tech 4/2004 (www.arewagroup.com)

doc

### RUĐER BOŠKOVIĆ I NAUKA O ELEKTRICITETU

Jean Antoine NOLLET (1700. – 1770.) je započeo svoj rad na području fizike. Nakon što je načinio jedan dobar istraživački rad njemu je ostavio na raspolaganje svoj laboratorij fizičar René Antonine Ferchault DE RÉAMUR (1683. – 1757.) član Academie des Sciences od 1708. J.A. NOLLET je u tom laboratoriju izvršio razne pokuse s električnom strujom, a između ostalog je i proučavao utjecaj električnosti na životinje. Kao izvrstan eksperimentator obavljao je poslije i pokuse s električnom iskom na ljudima, u zajednici s fizičarom Charles Francois DE CISTERNAY DU FAY (Paris, 1698. – 1739.) koji je opazio dvije vrste električnosti. J.A. NOLLET je u fiziku uveo naziv "Lajdenska boca" za napravu koju je slučajno 1746. god. otkrio u Leydenu ugledni privatnik CUNÄUS. O tome je fizičar Pieter van MUSCHENBROEK (1692. – 1761.) profesor u Leydenu pisao R.A. RÉAMURU u Parizu, a od ovog je to tamo doznao J.A. NOLLET.

J.A. NOLLET je u vremenu od 1743. do 1748. god. objavio u Parizu šest svezaka «Lecons de physique experimentale», ovo djelo objavljeno je i u Amsterdamu 1754. god.. On je 1747. god. objavio "Essai sur l'électricité des corp", a 1752. god. rad "On extracting electricity from the clouds". Njemu se pripisuje otkriće difuzije tekućina. Na poziv vojvode od SAVOYA predavao je 1753. god. fiziku u Torinu, a poslije je bio profesor fizike na Collège de Navarre u Parizu.

Ruđer BOŠKOVIĆ je poznao J.A. NOLLETA još iz Rima, pa ga je ovaj u vrijeme Ruđerovog boravka u Parizu 1759./60. god. češće pozivao k sebi na ručkove kojima su prisustvovali razni astronomi, matematičari i fizičari. Iz pisama iz Pariza, koje je R. BOŠKOVIĆ, od sredine prosinca 1759. god. pa do proljeća 1760. god. pisao svom bratu Baru, vidi se da se on kod J.A. NOLLETA sastao s fizičarom i astronomom Jean Jacques D'ortous de MAIRAN (1678. – 1771.) članom francuske Akademije i autorom djela "Traité physique et historique de l'aurore Boréale" objavljenog u Parizu 1731. god. i 1754. god. Za J.J. MARIANA veli R. BOŠKOVIĆ da ima nevjerovatnu erudiciju, oštromnost i eleganciju. Na tim su ručkovima bili arheolog i književnik abbé Jean Jacques BARTHÉLEMY (1716. – 1795.), te abbé Nicolas Louis DE LA CAILLE (1713. – 1762.) astronom i matematičar koji je astronomska opažanja obavljao na rtu Dobre nade u Africi. Na ručkovima je također bio i astronom, profesor na Collège de France i član Akademija Joseph-Nicolas DE L'ISLE (1688. – 1768.), koji je uočio već prve BOŠKOVIĆEVE rasprave. Taj je astronom, na poziv ruske carice KATARINE I (1725. – 1727.) boravio od 1727. do 1747. god. u St. Petersburgu.

Na ručku 2. veljače 1760. god. , u Collège de Navarre kojemu je pripadao i abbé J.A. NOLLET, bio je i abbé Guillaume MAZEAS (1712. – 1776.) profesor tog Colléga i član Académie Royal des Sciences u Parizu i Royal Society u Londonu. Ovo je za R. Boškovića moglo biti zanimljivo zbog njegovog puta u London. Prije ovog ručka Ruđer je bio na vrlo posjećenom predavanju iz eksperimentalne fizike koje je održao J.A. NOLLET, a poslije tog je razgledao njegove instrumente.

U pismu bratu Baru od 11. ožujka 1760. god. R. BOŠKOVIĆ piše da mu abbé J.A. NOLLET i ostali znanstvenici

ukazuju veliko prijateljstvo. U vrijeme ovog boravka u Parizu R. BOŠKOVIĆ je bio i u audijenciji kod kralja LOUISA XV (1715. – 1774.), a u tome je posredovao Etienne Francois duc DE CHOISEUL (1719. – 1785.) tadašnji državni tajnik vanjskih poslova, kod kojega je Ruđer bio i na ručku.

Sredinom XVIII. stoljeća mnogi su se u Francuskoj zanimali za pokuse s električnom strujom. Među ove se dakako u prvom redu ubraja abbé J.A. NOLLET. On je tako u Versaillesu, u prisutnosti kralja LOUISA XV sastavio "živi lanac" od 180 gardista (prema nekim podacima bilo ih je 240), te je prvog i posljednjeg iz ovog lanca doveo u dodir s elektrostatskim strojem, pri čemu su svi tada istodobno zadobili strujni udar. Njegov elektrostatski stroj sastojao se od velike staklene kugle na kojoj se je pri okretanju s velikim kotačem trenjem dobivao električni naboj. J.A. NOLLET je pokušao električnim udarom ubiti male životinje. Tako je jednom omamio, a u drugom pokušaju ubio jednog vrapca.

Tadašnja stručna mišljenja u medicini i fizici smatrala su da električnost može pružiti pomoć pri liječenju uzetosti, reumatičnih bolova i zubobolje.

J.A. Nollet je već 1744. god. davao satove fizike sinu kralja LOUISA XV i kraljice MARIJE LESZCZYNSKE (1703. – 1768.), Dauphinu LOUISU (1729. – 1765.), ocu budućeg kralja LOUISA XVI. Iduće je godine dobivala satove iz fizike od abbé J.A. NOLLETA i kraljeva kćerka. On je predavao fiziku i mladom vojvodi od CHARTRESA, tj. LOUIS PHILIPPE-JOSEPHU (1747. – 1793.), a preko ovog je fizika ušla i na dvor u Versaillesu.

Tadašnja znanost o električnosti zauzimala je jedno od prvih mjesta u otmjenom društvu i salonima Pariza i Francuske. Tako je i abbé J.A. NOLLET bio tada toliko popularan u Parizu, pa se kao što je to 1759. god. napisao R. BOŠKOVIĆ: "Na njegovim vratima vide samo kočije vojvotkinja, parova i lijepih žena. Evo, dakle, dobre filozofije koja će zavladati Parizom. Dao Bog da to potraje".

Razlog ovakvoj popularnosti J.A. NOLLETA bio je svakako i u tome što se je on bavio primjenom električnosti u liječničke svrhe. On je 1761. god. podučavao i djecu kralja LOUISA XV. Krajem 1770. god. objavljeno je njegovo djelo "L'art des expériences" u tri sveska.

Neposrednim sljedbenikom opata J.A. NOLLETA na području elektroterapije može se smatrati Josip Franjo DOMIN (Zagreb, 1754. – 1819.), koji je kao isusovac studirao u Beču fiziku i teologiju, a poslije bio profesor fizike u Pešti.

On je u primjeni električnosti u medicini slijedio tada suvremenu teoriju J.A. NOLLETA, a vjerojatno su mu bili poznati takvi pokusi uglednog ženevskog fizičara i matematičara L. JALLABERTA, koje je ovaj objavio pod naslovom "Expériences sur l'électricité, avec quelques conjectures sur la cause de ses effets" (Genève, 1748.). On je 1748. god. uz pomoć elektrostatskog stroja izazvao kontrakciju mišića u čovjeka.

J.F. DOMIN je kao profesor fizike na Sveučilištu u Pešti objavio 1795. god. rad iz područja elektromedicine pod naslovom "Ars electricitatem aegris tuto adhibendi" popraćen slikama koje prikazuju postupke liječenja električnom strujom.

O medicinskoj primjeni električnosti već je 1745 god. Ch. G. KRATZENSTEIN liječnik u Halleu u Njemačkoj objavio kratak članak. Njega su na tom području slijedili Johann

Baptist BOHADASCH (1724. – 1768.) svojim radom "Disertario de utilitate electricitatis in curandis morbis", objavljen u Pragu 1751. god., zatim Louis (Jean) JALLABERT (Geneve, 1712. – 1768.) u Genevi, sa svojim "Experimenta electrica" te u Francuskoj J.A. NOLLET i SAUVAGES.

Od 1755. god. primjena elektriciteta u liječenju bila je sve češća. T. CAVALLO je o tome dao vrlo realnu ocjenu: "Nesumnjivo je da elektricitet dobro služi u mnogim slučajevima, u kojim je primjena drugih sredstava bila uzaludna. U nekim slučajevima njegova nedjelotvornost može pripisati u stvari njegovoj nespretnoj primjeni, nego bilo kojem drugom uzroku. Obično naime elektricitet primjenjuju njegovi poznavaoči koji nisu bili liječnici, ili ga primjenjuju liječnici, koji su o elektricitetu znali malo ili baš ništa. Nesoporna su djelovanja elektriciteta: poticanje nezamjetivog isparavanja i ubrzanje optoka krvi."

U proljeće 1760. R. BOŠKOVIĆ u dopisivanju s bratom Barom spominje i vojvodu DE CHAULNESA. On u jednom od tih pisama govori da je u LA CONDAMINA upoznao i markizu DU PLESSIS BELIER, sestru spomenutog vojvode. Michel-Ferdinand D'Albert D'Ailly duc de Piquigny DE CHAULNES (1714. – 1769.), autor djela "Observations du passage de Venus sur le Soleil", bio je francuski pair i počasni član "Academie Royal des Sciences" u Parizu, bavio se praktičnom astronomijom i fizikom, konstruirao je elektrostatski stroj s rotirajućom pločom, promjera 1.6 m, koji je proizvodio iskrnu duljine pola metra.

Vrlo je vjerojatno stoga da je R. BOŠKOVIĆ pri svojem susretu sa vojvodom DE CHAULNES poveo i razgovor i o tome, tada novom i rijetkom izvoru elektriciteta.

R. BOŠKOVIĆ se je u vrijeme svog boravka u Parizu početkom 1760. god. sastajao i s Louis Gullamume LE MONNIEROM (1717. – 1799.) astronomom i kraljevim liječnikom, koji se bavio elektrostatskim pokusima. Za ovoga Ruđer kaže da ima najbolje instrumente – astronomske – nabavljene od kralja.

Krajem svibnja 1760. god. R. BOŠKOVIĆ je došao u London. U zvjezdarnici u Greenwichu, osnovanoj 1675. god., sastao se sa znamenitim astronomom James BRADLEY-om (1693. – 1762.), koji je 1728. god. otkrio i protumačio pojavu aberacije svjetla, a 1748. god. pojavu nutacije. R. BOŠKOVIĆ je posjetio i učeno društvo "Royal Society". U to je vrijeme boravio u Londonu i Benjamin FRANKLIN (1706. – 1790.) kao predstavnik Skupštine Pennsylvanije (1757. – 1762.).

B. FRANKLIN je već 1749. god. predložio postavljanje munjovoda, a taj je prijedlog obnovio i 1753. god. Svoja gledišta o atmosferskom elektricitetu iznio je u djelu "New Experiments and Observations on Electricity in several letters to Mr. Collinson", objavljenom u Londonu 1751. god. U stručnoj se literaturi navode donekle različiti nazivi za ovo djelo. Njemački prijevod ovih pisama, pod naslovom "Franklins Briefe von der Elektizität" objavljen je u Leipzigu 1758. god.

Prijedlog B. FRANKLINA da se željeznim štapom nastoji uhvatiti munja nije isprva dobro prihvaćen u Royal Society. U Francuskoj je međutim ovaj prijedlog prihvatio poznati prirodoslovac i pisac Georges Louis LECLERC comte DE BUFON (1707. – 1788.), autor djela "L'Histoire naturelle" i "Epoques de la nature" objavljivane 1749. do 1789. god.

G.L. BUFFONU je bio pozivan R. BOŠKOVIĆ za kojega kaže: "da je čovjek prekrasnih crta", a s njime se je upoznao na ručku kod A.C. CLAIRAUTA.

G.L. BUFFON je potakao svog prijatelja prirodoslovca Francois DALIBARDA (1709. – 1779.), s kojim je studirao u Engleskoj, gdje su se i upoznali, da se i sam osvjedoči o FRANKLINOVOM pokusu s atmosferskim elektricitetom. Ovaj je u vrtu svoje kuće u Marlyu blizu Pariza, podigao visoki željezni stup.

Za vrijeme oluje 10. svibnja 1752. god. ovdje je DALIBARDOV suradnik COIFFER ustanovio da iz željeznog štapa iskaču električne iskre, kad mu se približi mali željezni štap izoliran staklom. DALIBARDOV je izvješće o tome primila i francuska Akademija s odbrojanjem. Sam G.L. BUFFON je već 19. svibnja 1752. god. ponovio ovaj pokus u svom dvorcu Moutbart.

Gotovo istodobno je i B. FRANKLIN uspješno ponovio svoj pokus na jednoj njivi u blizini Philadelphije, u lipnju 1752. god. primjenivši zmaja, kojega je, zajedno sa svojim sinom Williamom pustio u zrak za vrijeme kišne oluje.

U Francuskoj je 1753. god. pokuse s atmosferskim elektricitetom uspješno izvodio Louis Guillaume LE MONNIER u St. Germainu en-Laya, o kojemu je u prosincu 1759. god. pisao R. BOŠKOVIĆ bratu Baru.

Pokuse je također obavljao abbé Guillaume MAZÉAS (1712. – 1776.), profesor fizike na Collège de Navarre u Parizu, a to je bilo na dvoru Maintenon, o čemu je napisao rad "Observations on the electricity of the air made at the chateau de Maintenon during June, July and October 1753", objavljenom u "Philosophical Transactions" 1753. god. Time se je 1753. god. bavio i član Akademije u Bordeauxu i dopisni član Akademije u Parizu DE ROMAS (– 1776.), on je svoje pokuse zmajem ponovio i 1775. god., pa je o ovima objavio i izvješće.

Najtemeljitije se je time bavio fizičar Giovanni Batista (1716. – 1781.) BECCARIA u Italiji, a za njegove je pokuse znao i R. BOŠKOVIĆ.

U Leipzigu je već 1753. god. profesor fizike na Univerzitetu u tom gradu Johann Heinrich WINKLER (1703. – 1770.) preporučio da se u Njemačkoj što prije pristupi primjeni munjovoda. Nesretan završetak imao je sličan pokus kojega je 6. kolovoza 1753. god. izveo u Petrogradu, za vrijeme velike oluje prirodoslovac Georg Wilhelm RICHMANN (1711. – 1753.). Njega je u prisutnosti slikara akvarelnih portreta SOKOLOVA (1711. – 1791.) koji je prisustvovao ovom pokusu, ubila električna iskra, koja je preskočila iz, u vis postavljenog željeznog štapa. O tom je slučaju petrogradska Akademija odaslala iscrpno izvješće i opis u publikaciju "Philosophical Transaction" za 1753. god. u Londonu.

Prvi munjovod u Europi postavio je već 1754. god. župnik Prokop DIVIŠ (1696. – 1765.) u Moravskoj prema vlastitoj konstrukciji, za koju nikada nije dobio priznanje, već naprotiv, bio je i optuživan za sušu koju je "izazvao ovaj munjovod".

Prema FRANKLINOVIM uputama prvi je munjovod bio postavljen 1760. god. na kuću trgovca WESTA u Philadelphiji. Uskoro se ovaj munjovod pokazao i opravdanim, jer udar munje u njega nije na zgradi učinio nikakove štete.

Amerika je ubrzo zatim prihvatila ovaj novi izum, za razliku od Engleske koja je na ovu tehničku novinu gledala s određenom sumnjom. Ipak, nastojanjem Sir Williama WATSONA (1715. – 1787.) ljekarnika i liječnika, članom Royal Society i autorom djela "Experiments and observations on electricity" (1748.), munjovod je postavljen 1762. god. u Payneshillu.

U Njemačkoj je prvi munjovod postavljen 1769. god. u Hamburgu na Jakobsturm, a zatim 1776. god. i u Osterwaldu na zgradi Vijećnice.

U Italiji, u kojoj se je za munjovod zalagao G.B. BECCARIA i stvorio za ove teorijsku podlogu postavljen je prvi munjovod 1777. god. na katedrali u Sieni.

U Francuskoj je, uvaženi fizičar abbé J.A. NOLLET bio protiv FRANKLINOVIH munjovoda. Francuzi su se pridržavali njegovog mišljenja, jer su ga smatrali najvećim poznavaoцем elektriciteta na svijetu, pa su munjovod smatrali vrlo opasnom napravom. Tako je ondje istom 1782. god. postavljen prvi munjovod u Francuskoj, odakle se potpuno proširila njegova primjena po cijeloj Francuskoj. Tada je B. FRANKLIN rekao: "Gospodin abbé NOLLET tako je dugo živio, da je mogao biti posljednji protivnik munjovoda".

U vrijeme boravka R. BOŠKOVIĆA u Londonu, njemu je bilo obećano u lipnju 1760. god. da će tih dana vidjeti i upoznati B. FRANKLINA "koji ima lijepih pokusa o elektricitetu". Ovaj je već 1756. god. postao članom Royal Society.

R. BOŠKOVIĆ je, dakako, prije svog boravka u Engleskoj znao za B. FRANKLINA i njegove doprinose znanosti o elektricitetu što je vidljivo i po tome što on u svojem glavnom djelu "Philosophiae Naturalis Theoria..." objavljenom 1758. god. u Beču, a ponovno 1768. god. u Veneciji, u paragrafu 511. govori o električnim pojavama. On ovdje u samom početku kaže: "Jasno je pak da iz tih principa možemo tražiti obješnjenje glavnih pojava elektriciteta. Teoriju o tim pojavama koju je tako sjajno iznio u Americi FRANKLIN, veoma ukrasio, potvrdio i proširio u Torinu otac Beccaria...". BOŠKOVIĆEV prijatelj fizičar BECCARIA (1716. – 1781.) je od 1748. god. imao je katedru na Sveučilištu u Torinu gdje je predavao fiziku. On je proučavao elektricitet, magnetizam i pojave atmosferskog elektriciteta, te je postavio svoju teoriju o nastanku munje. On je između ostalih važnih radova na tim područjima postavio i hipotezu o tjesnoj vezi između električnih i magnetskih pojava. R. BOŠKOVIĆ u spomenutom paragrafu 511. svoje knjige govori o FRANKLINOVIM pločama u vezi s Leydenskom bocom, odnosno pojavama elektriciteta. Ovim svojim osvrtom na teoriju o električnim pojavama R. BOŠKOVIĆ je mislio na FRANKLINOVU teoriju o tim pojavama, koju je ovaj razradio i izložio u svojim pismima (od 1747. do 1751.) prijatelju Peter COLLINSONU (1694. – 1768.) članu Royal Society, londonskom kvekeru i veletrgovcu, zastupniku nekih ustanova u Philadelphiji. P. COLLINSON je pisma objavio 1751. god. pod naslovom "Experiments and Observations on Electricity, made at Philadelphia in America". Ovo je djelo imalo veliki publicitet i utjecaj na fiziku u Europi. Na taj se je način i R. BOŠKOVIĆ upoznao s FRANKLINOVOM teorijom o elektricitetu. S druge strane, o BOŠKOVIĆEVOJ knjizi "Sopra il Turbine che la notte tra gli XI e XII Giorno del MDC-CXLIX damagio gran parte di Roma" tiskanom u Rimu 1749. god. saznao je B. FRANKLIN iz prikaza objavljenog u "Monthly Review", koji prikaz ga je potakao da i on razvije svoju teoriju o olujama.

Izvor dragocjenih podataka o R. BOŠKOVIĆU predstavljaju mnogobrojna pisma koja je on pisao svom bratu Bartolomeju, Ignaciju BOŠKOVIĆ, zvanom Baro (Dubrovnik, 1699. – 1770.) isusovcu i nastavniku matematike ina isusovskim školama. R. BOŠKOVIĆ u pismu od 27. lipnja 1760. god., bratu Baru u Rim, gdje ga je ovaj tada zamjenjivao u održavanju nastave iz matematike na Collegium Romanum, opisuje svoj prvi susret s B. FRANKLINOM na koji se uputio u pratnji arheologa James STUARTA. Za B. FRANKLINA u ovom pismu R. BOŠKOVIĆ kaže: "Glava mu je kao za medalje, ali s lica, a način postupanja mu je vrlo ljubazan". R. BOŠKOVIĆ se je činilo da B. FRANKLIN ima između 40 i 50 godina. Ovaj je već tada imao 54. godine i

vjerojatno je bio čio i dobro je izgledao kada se je R. BOŠKOVIĆU činio toliko mlađim.

R. BOŠKOVIĆ nadalje kaže za B. FRANKLINA, da razumije kada čita talijanski i francuski. Oni za vrijeme ovog posjeta nisu eksperimentirali, ali je R. BOŠKOVIĆ u razgovoru spomenuo jedan FRANKLINOV pokus, za kojega je nedavno saznao, a B. FRANKLIN je potvrdio BOŠKOVIĆEVO shvaćanje tog pokusa. Za B. FRANKLINA kaže da nije kvaker nego da je predstavnik američkih kvakera, te da je ravnatelj pošta u Pennsylvaniji.

R. BOŠKOVIĆ se je u Londonu i Engleskoj kretao u krugu znamenitih učenjaka članova Royal Society. On je posjetio Oxford i Cambridge, a upoznao je i neke druge ličnosti, kao npr. tada još mladog ali već poznatog slikara portretista Joshua REYNOLDSA (1723. – 1792.), za kojega kaže da je "mladić vrlo uljudan, koji je bio više godina u Italiji, pa dobro govori talijanski".

R. BOŠKOVIĆ se je sredinom 1760. god. upoznao u Londonu s liječnikom i knjižničarom British Museuma Godwin KNIGHTOM (? – 1772.) koji je usavršio izradu umjetnih magneta i o tome 1758. god. objavio raspravu "Dr. Knight's magnetical bars". Zadivljen njegovim velikim magnetima, liječnik i član Royal Society John FOTHERGILL (1712. – 1780.) objavio je rad "Account of the magnetical machine contrived by the late Dr.G. Knight", objavljen u Phil. Tr. (1776.). Tada je R. BOŠKOVIĆU saopćio Edward Hussey DELAVALL (1729. – 1814.) član Royal Society da je B. FRANKLIN sagradio stroj u kome nabijena "Franklinova ploča" neprekidno podržava električnom silom u gibanju jedan kotač. E.H.DELAVALL je smatrao da bi se tako moglo pokušati ostvariti "perpetuum mobile" svoje vrste. R. BOŠKOVIĆU bilo je poznato da je "perpetuum mobile" neizvediv kad se radi u spuštanju utega ili rastezanju elastičnog pera. On smatra međutim da se predloženi slučaj mnogo razlikuje od običnih, jer bi se ovdje mogla upotrijebiti, kako on veli "beskonačna količina električne tvari koji posjeduje Zemlja kao neprekinuti agens". E.H. DELAVALL mu je tada saopćio da se tanka mramorna pozlaćena ploča, dobro ugrišana, električki nabija kao staklena "Franklinova ploča". R. BOŠKOVIĆ je smatrao da je to lijepo otkriće. Ovdje se dakako radilo o jednom kondenzatoru, koji je za dielektrikum imao tanku mramornu ploču, a elektrode su mu bile pozlaćene plohe ove ploče.

Oni su tada razgovarali i o utjecaju Zemljine kamene kore na električne pojave, a govora je bilo i o teoriji munje koju je postavio BOŠKOVIĆEV prijatelj G.B. BECCARIA. On je u svrhu zaštite zgrada od udara munje preporučio da se na zgrade postave metalni vodiči. S područja znanosti o elektricitetu G.B. BECCARIA je objavio 1753. god. djelo "Dell' elettricismo naturale et artificiale".

U pismu od 4. kolovoza 1760. god. bratu Baru javlja R. BOŠKOVIĆ da je posjetio filozofa i slikara Richarda WILSONA (1714. – 1782.) s kojim je dugo razgovarao o elektricitetu. Ovaj je o elektricitetu objavio tri djela, a o nekim stvarima ima dosta različito mišljenje od B. FRANKLINA, iako i R. WILSON polazi od pozitivne i negativne elektricitete.

U sljedećem pismu od 10. kolovoza 1760. god. Ruđer javlja bratu Baru da je ponovno bio kod R. WILSONA, te da je u miru razgledao njegove električne pokuse i čuo njegovu cijelu teoriju. R. WILSON kao i W. WATSON, pokusom su ustanovili da elektrostatski stroj daje jači elektricitet ako se određeni njegov dio uzemlji, R. WILSON je također ustanovio, da je elektricitet na nekoj plohi upravno proporcionalan površini vodljivog tijela, a obrnuto proporcionalan

debljini stakla. Slikar R. WILSON se je kasnije bavio i munjovodima pa je u studenom 1777. god. u prisutnosti kralja GEORGA III (1760. – 1820.) izvršio pokuse na modelu munjovoda.

R. WILSON se je kao slikar isprva bavio slikanjem portreta. Od 1752. god. pa do 1755. god. boravio je u Italiji gdje je prešao na slikanje pejzaža, pa ga od tada smatraju ocem engleskog pejzažnog slikarstva. Slikao je motive iz okolice Rima, Napulja i Coma i predjele s rijekama i šumama u Engleskoj. On je znatno utjecao na slikare pejzažiste u Engleskoj, pa tako i Johna CONSTABLEA (1776. – 1837.) začetnika modernog pejzaža, te Williama TURNERA (1775. – 1851.) vjesnika impresionizma.

Tijekom svog boravka u Londonu R. BOŠKOVIĆ je posjetio i G. KNIGHTA i razgledao njegove pokuse s umjetnim magnetima. On o tome u pismu bratu Baru od 28. srpnja 1760. god. kaže: "Ima tamo stvari doista čudnih, kao na primjer kada je gotovo uništio magnetsku silu magneta te je zatim povratio, pa mijenjanje magnetski polova po volji, tako da je sjeverni pol došao na mjesto prijašnjeg južnog i obrnuto ili na primjer da je mali željezni valjak imao u središtu jedne osnovke sjeverni pol a u svima točkama opsega južni, dok je suprotnoj osnovici bilo obrnuto".

U pismu bratu Baru od 12. rujna 1760. god. R. BOŠKOVIĆ javlja da je posjetio slikara R. WILSONA "onoga od električnih pokusa". Tamo je sastao i B. FRANKLINA i njegovog sina, za kojeg kaže da je vrlo zgodan mladić. To je bio William FRANKLIN koji je tada imao 29. godina.

Kod R. WILSONA je tada bio i E.H. DELAVALL. Ovaj je, kako to u i u ovom pismu R. BOŠKOVIĆ kaže našao "lijepih otkrića u elektriciteti, među njima i elektrizirane ploče od mramora i svake vrste kamenja ugrijavanjem. Dovoljna je toplina što je izvodi sunce ljeti". R. BOŠKOVIĆ smatra da je to možda uzrok da su munje češće ljeti poslije velikih vrućina. Ruđer u ovom pismu moli da Bare ovo saopći isusovcu Carlu BENVENUTIJU koji mu je bio dobar prijatelj i sljedbenik.

C. BENVENUTI je još 1754. god. kao lektor fizike u Collegium Romanum, prema uputama i na nagovor R. BOŠKOVIĆA objavio u Rimu djelo: "Synopsis Physicae Generalis" koje je nastalo kao odraz BOŠKOVIĆEVIH predavanja u Rimskom Kolegiju. U ovom se djelu opširno izlaže teorija Isaaca NEWTONA (1642. – 1727.), koje je i C. BENVENUTI bio pristalica, a također i teorija R. BOŠKOVIĆA.

R. BOŠKOVIĆ je 16. prosinca 1760. god. napustio London, a u Doveru je četiri dana čekao brod koji ga je prevezao do Vlissingena u Flandriji. Tako on nije u Londonu, tj. dan kada je dočekao 15. siječnja 1761. god. bio izabran za člana Royal Society, nakon što je za ovu čast bio predložen 12. lipnja 1760. god., a na deset sjednica društva bila pročitana njegova kandidatura.

Od vremena svog odlaska iz Engleske R. BOŠKOVIĆ je mnogo putovao. U jesen 1761. god. pa do svibnja 1762. god. bio je u Carigradu gdje mu je mnogo usluga načinio tadašnji francuski poslanik Charles Gravies comte de VERGENNES (1717. – 1787.)

U Varšavi je boravio tokom 1762. god. gdje je prijateljevao s poljskim plemićkim obiteljima PONIATOWSKI i CZARTORYSKI, posebno s poljskim kraljem STANISLAVOM AUGUSTOM II PONIATOWSKI koji je sudjelovao pri

njegovim astronomskim opažanjima. Nakon toga odlazi u Beč, pa zatim u Veneciju, a krajem 1763. god. dolazi u Rim nakon izbivanja duljeg od četiri godine.

U proljeće 1764. god. nastupa mjesto profesora matematike na Sveučilištu u Paviji, a 1770. god. boravio je kraće vrijeme u Parizu gdje se je sastao sa svojim prijateljima J. LA LANDOM i Ch. LA CONDAMINE. Od 1770. pa do 1772. god. boravio je u Milanu, odnosno na zvjezdarnici u Breri, zajedno s P. LAGRANGEOM s kojim se nije slagao.

Iz Brere R. BOŠKOVIĆ odlazi polovicom 1772. god. u Veneciju odakle, nakon ukidanja isusovačkog reda u Italiji, odlazi koncem 1773. god. ponovno u Pariz.

On 6. ožujka 1774. god. dobiva imenovanje za nadzornika optičkog odjela u Ministarstvu mornarice ("Inspecteur de l'optique de la Marine") i prima francusko podanstvo, zauzimanjem svojih prijatelja u Versaillesu, a to je u prvom redu bio njegov prijatelj iz Carigradske francuske ambasade Ch. G. comte de VERGENNES, koji je 1754. god. bio francuski opunomoćeni ministar u Carigradu. Ovaj je nakon što je u Poljskoj 1764. god. izabran za kralja STANISLAV AUGUST II favorit ruske carice KATARINE II (1729. – 1796.) utjecao na Portu da obajvi rat Rusiji.

Još jedna veza između R. BOŠKOVIĆA i B. FRANKLINA očituje se u sljedećem zbivanju; u rujnu 1773. god. B. FRANKLIN je poslao pismo Janu INGENHOUSSU (1730. – 1799.) u Beč liječniku austrijske carske obitelji, u kojem stoji: "G. Fromont dao mi je mali dalekozor koji je sam načinio prema načelima oca Boškovića, u kome je leća u okularu, umjesto u objektivu, sastavljena od raznih elemenata. Uistinu je vrlo dobar".

Spomenuti Francesko FROMOND (? – 1786.), kustos fizikalnog kabineta u Breri i član "Gesellschaft für Naturforschung" u Berlinu, tada još mlad čovjek, bavio se fizikom.

R. BOŠKOVIĆ mu je davao upute o teoriji i praksi akromatičkih dalekozora i posvetio svoje djelo od stotinjak stranica "Memorie sulli cannocchiali diottrici" objavljeno u Milanu 1771. god. G.F. FROMOND je potkraj 1772. i početkom 1773. god. boravio u Londonu i posjetio B. FRANKLINA, vjerojatno s preporučnim pismom R. BOŠKOVIĆA. Kasnije je G.F. FROMOND postao profesorom optike na kraljevskoj gimnaziji u Breri.

B. FRANKLIN je kao izaslanik sjevernoameričkih država boravio u Parizu od 1776. do 1785. god. dakle djelomično u vrijeme kad je tamo boravio i R. BOŠKOVIĆ. Kao česti gost tadašnjeg francuskog ministra vanjskih poslova Ch. G. comte de VERGENNESA, u prosincu 1778. god. R. BOŠKOVIĆ se sastao s B. FRANKLINOM na ručku kod ovog ministra u Versaillesu. R. BOŠKOVIĆ je o tom susretu izvijestio 7. prosinca 1778. god. Senat u Dubrovniku ovako: "Reći ću vam da sam se neki dan našao na ručku kod comte de Vergennesa sa znamenitim doktorom Franklinom, zastupnikom Ujedinjene Amerike, koji je moj stari znanac. Pitao sam ga da li ima zanimljivih vijesti koje se mogu saopćiti, a rekao mi je da nema".

B. FRANKLIN postao je 1789. god. članom Akademije nauka u Petrogradu. Kada je umro 1798. god. u SAD je proglašena velika žalost u trajanju od mjesec dana, a u Francuskoj od mjesec dana.

Vladimir Muljević

## Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava:  
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37  
Godišnja pretplata 480,00 kn

	<p>ENERGIJA 1495 <span style="float: right;">UDK 621:621.31 PREGLEDNI ČLANAK</span></p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/1, 5 – 16</p> <p style="text-align: center;"><b>TEHNOLOŠKI IZAZOVI NA POČETKU TREĆEG TISUĆLJEĆA</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Prof. dr. sc. Zijad Haznadar, dipl. ing.</i></p> <p style="text-align: center;"><small>FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska</small></p> <p>Opisano je stanje u znanosti i tehnologiji koncem XX. stoljeća. Navedena su tehnološka dostignuća i iskoraci u elektrotehnici. Posebno je analizirana elektroenergetika. Osim proizvodnje i prijenosa električne energije razmatrani su integrirani elektroenergetski sustavi i velika zamračenja u njima. Kratko su navedene novosti u elektronici, komunikacijama i računalima. Opisani su rezultati ankete IEEE o stanju i tehnološkom razvoju, koja je provedena u 2003. godini. Dane su tehnološke prognoze za elektroenergetiku i transport. Na kraju je analizirana mogućnost primjene vodika kao energenta u bliskoj budućnosti.</p> <p>(Lit.11, sl. 12 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;"><small>Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/5 – 16/2005.</small></p>
	<p>ENERGIJA 1496 <span style="float: right;">UDK 621.311.22 PREGLEDNI ČLANAK</span></p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/1, 17 – 36</p> <p style="text-align: center;"><b>KONCEPCIJSKA STUDIJA O REFERENTNOJ ELEKTRANI RKW NRW</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Vladimir Dokmanović, dipl. ing.</i></p> <p style="text-align: center;"><small>Nalješkovićeve 15, 10000 Zagreb, Hrvatska</small></p> <p>U članku je sažeto prikazana konceptijska studija referentne termoelektre bruto snage 600 MW, neto stupnja djelovanja oko 46 %. Prikazana je tehničko-ekonomski optimirana elektrana za uvjete njemačke zemlje Nordheim-Westfalen. Referentna elektrana je koncipirana na temelju razvoja potrošnje električne energije i cijena energenata.</p> <p>(Lit. 3, sl. 23 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;"><small>Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/17 – 36/2005.</small></p>
	<p>ENERGIJA 1497 <span style="float: right;">UDK 621.039.5 PREGLEDNI ČLANAK</span></p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/1, 37 – 51</p> <p style="text-align: center;"><b>IRIS - NAPREDNI INTEGRALNI NUKLEARNI REAKTOR MODULARNE IZVEDBE</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Prof. dr. sc. Nikola Čavlina, dipl. ing. – docent dr. sc. Davor Grgić, dipl. ing. – prof. dr. sc. Dubravko Pevec, dipl. ing.</i></p> <p style="text-align: center;"><small>FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska dr. sc. Mario Carelli – dr. sc. Bojan Petrović Pittsburgh, SAD</small></p> <p>Glavne značajke reaktora IRIS (<i>International Reactor Innovative and Secure</i>) date su u ovom članku. IRIS je integralni, modularni, lakovodni reaktor srednje snage (335 MWe). Projekt reaktora IRIS razvija međunarodni konzorcij od dvadesetak organizacija iz deset zemalja predvođeni kompanijom Westinghouse. Primarni zahtjevi projekta su razviti siguran, pouzdan i ekonomičan reaktor male do srednje snage. U članku je opisana integralna reaktorska posuda koja osim jezgre reaktora, moderatora, kontrolnih šipki i reflektora sadrži parogeneratore, pumpe i tlačnik. Jedinstve sigurnosne karakteristike („safety-by-design“) omogućile su manje i jednostavnije pasivne sigurnosne sustave. Poboljšana sigurnost i pouzdanost, ekonomičnost, te mogućnost postupne izgradnje novih kapaciteta uz relativno male investicije čine IRIS naročito privlačnim za manje elektroenergetske sustave.</p> <p>(Lit. 19, sl. 13 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;"><small>Autori ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/37 – 51/2005.</small></p>

UDK 621.621.31

*Tehnološki izazovi na početku trećeg  
tisućljeća  
I. Haznadar, Z.  
FER – Fakultet elektrotehnike i  
računarstva, Ulnska 3, 10000 Zagreb,  
Hrvatska*

*Tehnološki razvoj  
Elektrounergetika  
Integrirani elektroenergetski sustav  
Velika zamračenja  
Fuzioni reaktor  
Hibridni automobili  
Gorivne stanice  
Vodik*

ENERGIJA 1495

1. Tehnološki izazovi na početku trećeg  
tisućljeća  
I. Haznadar, Z.  
FER – Fakultet elektrotehnike i  
računarstva, Ulnska 3, 10000 Zagreb,  
Hrvatska

UDK 621.311.22

*Potrošnja električne energije  
Čijena energenata  
Stupanj djelovanja  
Vrijeme izgradnje  
Novi materijali  
Tehnička rješenja  
Okoliš  
Zaštita klime  
Ekonomičnost i pogonska prihvatljivost  
Investicije*

ENERGIJA 1496

1. Konceptijska studija o referentnoj  
elektrani RKW NRW  
I. Dokmanović, V.  
Najteskovičeva 15, 10000 Zagreb,  
Hrvatska

UDK 621.039.5

*IRIS  
Modularnost  
Integralni nuklearni reaktor  
Poboljšana sigurnost  
Ekonomičnost*

ENERGIJA 1497

1. IRIS - Napredni integrirani nuklearni  
reaktor modularne izvedbe  
djelatnosti s Direktivom 2003/54/EZ  
I. Cavlina, N. – Grčić, D. – Pevec, D. –  
Carelli, M. – Petrović, B.  
FER – Fakultet elektrotehnike i  
računarstva, Ulnska 3, 10000 Zagreb,  
Hrvatska  
Pittsburgh, SAD

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava  
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37  
Godišnja pretplata 480,00 kn

	<p>ENERGIJA 1498</p> <p style="text-align: right;">UDK 621.316.1 PREGLEDNI ČLANAK</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/6, 53 – 72</p> <p style="text-align: center;"><b>UTJECAJ DISTRIBUIRANIH IZVORA NA PLANIRANJE RAZDJELNE MREŽE</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Prof. dr. sc. Davor Škrlec, dipl. ing. – prof. dr. sc. Slavko Krajcar, dipl. ing.</i> FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska</p> <p style="text-align: center;"><i>Alen Katić, dipl. ing.</i> HEP Distribucija d.o.o. Elektra Karlovac, V. Mačeka 44, 47000 Karlovac, Hrvatska</p> <p>Definiraju se distribuirani izvori (DI) električne energije i daje pregled do danas poznatih tehnologija, obrađuju se tehnički kriteriji za priključak DI na razdjelnu mrežu i tehničko-ekonomski utjecaj na buduće planiranje njezina razvoja i pogona.</p> <p>(Lit. 86, sl. 3 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;">Autori ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/53 – 72/2005.</p>

- I. Utjecaj distribuiranih izvora na planiranje razdjelne mreže  
*Škrlec, D. – Krjavec, S. – Katić, A.*  
FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska  
HEP Distribucija d.o.o. Elektra  
Karlovac, V. Maćeka 44, 47000 Karlovac, Hrvatska
- II. FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

*Distribuirani izvori električne energije (DI)  
Aktivna razdjelna mreža  
Planiranje*

## Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:  
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37  
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

	<p>ENERGIJA 1495 <span style="float: right;">UDK 621:621.31 SUBJECT REVIEW</span></p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/1, 5 – 16</p> <p style="text-align: center;"><b>TECHNOLOGICAL CHALLENGES AT THE BEGINNING OF THE THIRD MILLENNIUM</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Zijad Haznadar, Prof. D. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia</p> <p>State of art in science and technology at the end of the twentieth century is described. Technological results and further steps in electric energy sciences are given. Electric energy supply is specially analysed. Beside electric energy production and transmission reviewed are integrated electric power systems and huge blackouts. News from electronic, communication and computer sciences are given in short. Questionnaire results made by the IEEE in 2003, on the current status and technological development are described. Technological forecasts are given for electric energy supply and transport. Finally, the possibility of hydrogen usage as an energy source in the near future is analysed.</p> <p>(No. of References: 11, Fig.: 12 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;">Author ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/5 – 16/2005.</p>
	<p>ENERGIJA 1496 <span style="float: right;">UDK 621.311.22 SUBJECT REVIEW</span></p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/1, 17 – 36</p> <p style="text-align: center;"><b>CONCEPT STUDY ON REFERENT POWER PLANT RKW NRW</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Vladimir Dokmanović, B. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">Nalješkovićeva 15, 10000 Zagreb, Croatia</p> <p>In the paper a concept study of referent thermal power plant of gross 600 MW and net efficiency degree of 46 is presented in short. Technically and economically optimised power plant for the conditions of the German Nordrhein-Westfallen region is given. The referent power plant is based on the development of electric energy consumption and energy resource prices.</p> <p>(No. of References: 3, Fig.: 23 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;">Author ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/17 – 36/2005.</p>
	<p>ENERGIJA 1497 <span style="float: right;">UDK 621.039.5 SUBJECT REVIEW</span></p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/1, 37 – 51</p> <p style="text-align: center;"><b>IRIS – ADVANCED INTEGRAL NUCLEAR REACTOR WITH MODULAR CONSTRUCTION</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Nikola Čavlina, Prof. D. Sc. – Davor Grgić, Senior Assistant, D. Sc. – Dubravko Pevec, Prof. D. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia <i>Mario Carelli, D. Sc. – Bojan Petrović, D. Sc.</i> Pittsburgh, SAD</p> <p>Basic characteristics of IRIS reactor (International Reactor Innovative and Secure) are given in this paper. IRIS is an integrated, modular, pressurised reactor of middle range power (335 MWe). IRIS reactor project is being developed by an international consortium made of twenty organisations from ten countries led by the Westinghouse Company. Primary goals of the project are to develop a safe, reliable and economically feasible reactor of small to medium power. In the paper the integral reactor vessel is described, which apart from the reactor core, moderator, control rods and a reflector has steam generators, pumps and a pressuriser. Unique safety characteristics ("safety-by-design") enable smaller and simpler passive safety systems. Better safety and availability, economic feasibility, as well as the possibility of modular construction of new capacities with relatively small investments make IRIS particularly attractive to smaller electric power systems.</p> <p>(No. of References: 19, Fig.: 13 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;">Authors ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/37 – 51/2005.</p>

ENERGIJA 1495 UDK 621.621.31

I. Technological Challenges at the Beginning of the Third Millennium  
 I. Haznadar, Z.  
 FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia

II. Fuel Cells  
 Hybrid Vehicle  
 Fusion Reactor  
 Huge Blackouts  
 Integrated Electric Power System  
 Electric Energy Supply  
 Technological Development

ENERGIJA 1496 UDK 621.311.22

I. Concept Study on Referent Power Plant  
 I. Dokmanović, V.  
 RKW NRW  
 II. Nalješkoviceva 15, 10000 Zagreb, Croatia

Electric Energy Consumption  
 Energy Resource Price  
 Efficiency Degree  
 Construction Period  
 New Materials  
 Technical Solutions  
 Environment  
 Climate Protection  
 Economic and Operation Acceptability  
 Investments

ENERGIJA 1497 UDK 621.039.5

I. IRIS – Advanced Integral Nuclear Reactor with Modular Construction  
 I. Cavlina, N. – Grčić, D. – Pevac, D.  
 Carelli, M. – Petrović, B.  
 II. FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia  
 Pitsburgh, SAD

IRIS  
 Modularity  
 Integral Nuclear Reactor  
 Better Safety  
 Economic Feasibility

## Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:  
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37  
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

	<p>ENERGIJA 1498 <span style="float: right;">UDK 621.316.1 SUBJECT REVIEW</span></p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 54/2005/1, 53 – 72</p> <p style="text-align: center;"><b>DISTRIBUTED SOURCES' INFLUENCE ON DISTRIBUTION NETWORK PLANNING</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Davor Škrlec, Prof. D. Sc. – Slavko Krajcar, Prof. D. Sc.</i> FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia</p> <p style="text-align: center;"><i>Alen Katić, B. Sc.</i> HEP Distribucija d.o.o., Elektra Karlovac, V. Mačeka 44, 47000 Karlovac, Croatia</p> <p>Distributed sources (DS) of electric energy are defined and a review of present day technologies is given, technical criteria for connection to the distribution grid are worked out as well as technical-economic influence on future planning of its development and operation.</p> <p>(No. of References: 86, Fig.: 3 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;">Authors ISSN 0013-7448 ENJAAC 54/1/53 – 72/2005.</p>

- I. Distributed Sources' Influence on Distribution Network Planning  
*Skrlac, D. – Krstić, S. – Katić, A.*  
FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia  
HEP Distribucija d.o.o., Elektra Karlovac, V. Maćeka 44, 47000 Karlovac, Croatia
- II. FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia  
HEP Distribucija d.o.o., Elektra Karlovac, V. Maćeka 44, 47000 Karlovac, Croatia

*Distributed Electric Energy Sources  
Active Distribution Network  
Planning*

