



Prof. dr. sc. Vladimir Mikuličić, dipl. ing.  
Mr. sc. Zdenko Šimić, dipl. ing.  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
Zagreb, Hrvatska

## NUKLEARNA ENERGIJA - DIO RJEŠENJA OPSKRBE HRVATSKE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM?

### Sažetak

Porast potražnje za energijom u Hrvatskoj, posebice za električnom energijom zajedno s rastućom svijesti o potrebi očuvanja okoliša, zahtijevat će kao prilagodljiv odgovor mogućnost uporabe nuklearne energije. Referat se bavi nuklearnom energijom kao opcijom održivog razvitka Hrvatske i proturječjima nuklearne energetike. Zaključak je da će postojati potreba za nuklearnom energijom, budući da ona može osigurati energiju potrebnu za održivi razvitak, te da Hrvatska, siromašna ugljenom, treba podržavati uporabu nuklearne energije kao najjeftinijeg rješenja za proizvodnju temeljne električne energije.

## NUCLEAR ENERGY - A PART OF A SOLUTION TO GENERATE ELECTRIC POWER IN CROATIA?

### Summary

The growth in Croatian energy, particularly electricity, demand together with growing environmental considerations is such that Croatia needs to have flexibility to respond, by having the option of expanding the nuclear sector. This paper deals with nuclear energy as an option for sustainable Croatian economic development, and with the nuclear power controversy. The conclusion is that there is a necessity for extended use of nuclear energy in Croatia. Most certainly the nuclear technology can provide the energy necessary to sustain progress and, as a country without coal, Croatia should favour nuclear power utilisation as the lowest cost option for base-load electricity generation.

### 1. UVOD

U rastuće natjecajućem i internacionaliziranom globalnom tržištu energijom brojni će čimbenici utjecati ne samo na izbor opskrbe Hrvatske energijom, već, također, i na opseg i načine uporabe različitih energenata: *sigurnost opskrbe, smanjenje troškova opskrbe, optimalna uporaba (domaćih) raspoloživih energetske resursa, smanjenje utjecaja na okoliš (zahtjevi Kyoto protokola), nenarušavanje sigurnosti okoliša zbog energetske pretvorbi, prihvaćanje odabranih energetske tehnologija i pretvorbi od javnosti i ispunjenje nacionalnih, gospodarskih i političkih zahtjeva i ciljeva*. Opskrba Hrvatske temeljnom električnom energijom će se, više negoli ikad dosad, morati zasnivati na nekoliko nezaobilaznih zahtjeva: *povećanju djelotvornosti uporabe energije, racionalnom gospodarenju (domaćim) energetske resursima, smanjenju ovisnosti o*

energiji koja bi se dobavljala iz (politički) nestabilnih područja svijeta, poduzimanju mjera koje će umanjiti negativne posljedice poremećaja na svjetskom energetskom tržištu, nužnosti uporabe što većeg broja primarnih oblika energije, sprečavanju onečišćenja okoliša povezanog s proizvodnjom električne energije, te ulaganjima u znanstveni i tehnološki napredak prigodom mirenja dviju, u osnovi suprotstavljenih težnji: gospodarskog razvitka i zaštite okoliša. Ispunjenje je tih zahtjeva, uvažavajući trenutačne domete znanosti, tehnike i tehnologije, moguće jedino uporabom nuklearne energije budući da je to danas jedina dokazana energetska tehnologija koja proizvodi električnu energiju ne onečišćujući (značajnije) okoliš i pri tome omogućujući i osiguravajući: *energetsku i gospodarsku nezavisnost, potrebne količine temeljne električne energije, pouzdan izvor električne energije, njenu nižu i stabilnu cijenu, izvor radnih mjesta, visoko kvalificirana radna mjesta, tehnološki naprednu industriju, očuvanje okoliša, sigurno odlaganje otpada i najviše sigurnosne standarde.* Budućnost nuklearne energetike treba stoga procijeniti u kontekstu povećane potražnje za električnom energijom i rastuće svijesti o ekološkoj zbilji. Međutim, da bi doprinos nuklearne energije u strategijama održive opskrbe električnom energijom postao značajan, nuklearna energetika mora jasno i neprestano odgovarati na pitanja javnosti povezana sa sigurnošću nuklearnih elektrana, nuklearnim otpadom, preradom (recikliranjem, reprocesiranjem) istrošenog goriva i brigom oko širenja nuklearnog oružja. Tako bi se prepreke većoj primjeni nuklearne energije umanjile stalnim dokazivanjem da se nuklearna postrojenja mogu voditi pouzdano i sigurno i da je pitanje odlaganja radioaktivnog otpada znanstveno, tehnički i tehnološki riješeno, i primijenjivo gdje god je to i kad god je to potrebno. Takvi odgovori i briga za okoliš jamstvo su budućnosti nuklearne energetike, pod uvjetom da se javnosti dokazuje i njena ekonomska poželjnost.

Referat se bavi proturječijima povezanim s nuklearnom energetikom i ulogom koju ona ima u dvjema međusobno suprotstavljenim težnjama održivog razvitka Hrvatske: gospodarskom napretku i zaštiti okoliša.

## 2. ENERGETSKE POTREBE I TRENDOVI

U razdoblju od 1960. do 1995. godine svjetska potrošnja energije povećala se 3 puta s bitno većim porastom potrošnje električne energije. Većina je povećanja, međutim, zabilježena u razvijenim zemljama. Iako zemlje u razvoju predstavljaju tri četvrtine čovječanstva, one troše samo jednu četvrtinu od ukupno iskorištene svjetske energije i samo jednu desetinu od ukupne električne energije. Skrivena od statistike ostaje činjenica da je približno dvjema milijardama ljudi u nerazvijenim zemljama nedostupna električna energija. Prema očekivanjima "International Energy Agency" (OECD), u razdoblju do 2010. godine, u razvijenim će zemljama potrošnja primarnih oblika energije porasti 1.9-2.1 puta, a električne energije 2.4-2.5 puta. U zemljama u razvoju, odgovarajući će porasti biti: 1.1-1.2 i 1.2-1.4 puta. Dugoročnijim predviđanjima bavi se "International Institute for Applied System Analysis" Svjetskog energetskog savjeta (vijeća). Prema tim predviđanjima u razvijenim će zemljama ovisno o gospodarskom razvoju, te brojnijim drugim okolnostima do 2050. godine potrošnja primarnih oblika energije porasti od 3 do 5 puta, a električne energije od 5 do 7 puta. (*Naime, u ovom se trenutku broj stanovnika na Zemlji povećava za 90 milijuna godišnje. Dodamo li tome procjene (skromnog) razvoja nerazvijenih zemalja, predviđanja nisu pretjerivanja.*) Udio će tada razvijenih zemalja u svjetskoj potrošnji energije i električne energije biti 58-68 posto, odnosno 43-53 posto. U pretvorbi u električnu energiju, kako u razvijenim tako i u zemljama u razvoju, još uvijek prevladava fosilno gorivo: od 62 do 69 posto. Slično, oko 86 posto ukupne komercijalne energije u svijetu dobiva se iz fosilnih goriva, dok se ostatak podmiruje nuklearnom energijom (6 posto) i hidroenergijom (7 posto), a

obnovljivi izvori sudjeluju s manje od 1 posto. Pri tome se godišnje emitira otprilike 20 milijardi tona ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>). *(Tako, primjerice, termoelektrana, električne snage tisuću megavata, ložena najkvalitetnijim kamenim ugljenom, emitira dnevno više od 17 750 tona CO<sub>2</sub>.)* Na globalnoj skali, nuklearna energija trenutno reducira emisije CO<sub>2</sub> za nekih 1.8-2.0 milijuna tona godišnje u usporedbi s glavnom alternativom - izgaranjem ugljena (izgaranjem prirodnog plina proizvela bi se otprilike polovina tog iznosa). Međutim, dok nuklearna energija u razvijenim zemljama sudjeluje s 22 posto u proizvodnji električne energije, u zemljama u razvoju taj je udio manji od 4 posto. Predvidljive mogućnosti opskrbe energijom do 2050. godine neće se mijenjati, i dalje će to ostati fosilna goriva, hidro i nuklearna energija. Obnovljivi će oblici energije, budući da se izdvaja energija vodotoka, vrlo malo doprinosti opskrbi energijom. Kontinuirano će oslanjanje, međutim kao i dosad, u velikom opsegu na fosilna goriva, uzrokovati (neriješive) probleme počevši od preostalih rezervi fosilnog goriva do ispunjenja obveza preuzetih u Kyotu. Međudržavno vijeće za klimatske promjene pri Ujedinjenim narodima zaključilo je naime, konsenzusom, da povećano oslobađanje CO<sub>2</sub> predstavlja opasnost čak i ukoliko potrošnja fosilnih goriva ostane na današnjoj razini. *(Još nije poznato do kolikog će zagrijavanja doći nastavi li se povećavati uporaba goriva koja sadrže ugljik. Također se ne zna hoće li to biti sveukupno štetno. Međutim, na energetske budućnost svakako već utječe zahtjev da se smanji izgaranje fosilnih goriva.)* Izgaranjem ugljena, prirodnog plina i nafte oslobođeni CO<sub>2</sub> ne priznaje međunarodne granice; izgaranje fosilnih goriva bilo gdje može ugroziti budućnost čitavog planeta. *Kina već sada izgara preko milijarde tona ugljena godišnje - za trećinu više nego prije samo deset godina. Uporaba ugljena u Indiji narasla je za 66 posto tijekom osamdesetih, a Južna Koreja troši danas, usprkos uporabi i žurnoj gradnji nuklearnih elektrana, dvostruko više ugljena negoli prije deset godina.* Prema nalazu Vijeća da bi se koncentracija CO<sub>2</sub> stabilizirala u atmosferi na današnjoj razini bit će nužno smanjiti emisije CO<sub>2</sub> između 50 i 80 posto. U Francuskoj su npr. između 1980. i 1987. godine dok je povećavala nuklearne kapacitete, emisije CO<sub>2</sub> smanjene za 80 posto, a njemački nuklearni program je od svog početka 1961. godine uštedio preko dvije milijarde tona emitiranog CO<sub>2</sub>. *(U vrijeme naftne krize Francuska je bila ovisna o inozemnim energentima. U međuvremenu je izgradila 59 nuklearnih reaktora koji sada osiguravaju 82 posto električne energije, te postala i veliki izvoznik električne energije zarađujući oko 4 milijarde US\$ godišnje. Osim što je postignuta visoka razina energetske nezavisnosti, i cijena je električne energije u Francuskoj vidljivo pala. S druge strane, jedna od susjednih zemalja - Italija, jedina je industrijalizirana europska zemlja koja se ne koristi nuklearnom energijom, ali je istodobno veliki uvoznik električne energije, uglavnom iz Francuske.)* Nuklearna je energija kao alternativa fosilnom gorivu, prvenstveno u proizvodnji (temeljne) električne energije vrlo vjerojatno u dogleđnom vremenu, veliki dio rješenja problema opskrbe energijom, prvenstveno električnom.

### 3. EKONOMIKA NUKLEARNE ELEKTRANE

Cijena goriva za nuklearnu elektranu je toliko manja od one za ekvivalentnu elektranu na ugljen da (gotovo) pokriva veće investicijske troškove izgradnje nuklearne elektrane. Posljedično, i električna energija proizvedena u nuklearnim elektranama konkurentna je dobivenoj izgaranjem ugljena. Konkurentna je i uz pokrivanje troškova gospodarenja i odlaganja nuklearnog otpada i uz dekomisije elektrane, a za razliku od termoelektrana na ugljen koje još uvijek ne pokrivaju tzv. eksterne troškove, budući da cijena električne energije proizvedene u nuklearnim elektranama kontinuirano pada. Primjerice, u SAD-u cijena pada od 1980. godine da bi u 1995. iznosila 1,92 centa za kWh; samo malo skuplje od cijene iz termoelektrana

na ugljen-1,88 centi po kWh. (S druge strane cijena električne energije u termoelektranama na plin bila je 2,68 a na naftu 3,77 centi po kWh.) I ne samo to. Projekcije OECD-a objavljene 1993. za 2000. godinu pokazuju da će nuklearna energija biti jeftinija od energije iz ugljena u većini dijelova razvijenog svijeta (osim Velike Britanije, dijelova SAD-a i Kanade), Tablica 1.

Tablica 1. Komparativne projekcije cijene proizvodnje el. energije za 2000. godinu

	nuklearna	ugljen	plin
Francuska	3,28	5,06	5,48
Njemačka	5,31	6,74-8,01	-
Japan	5,37	6,30	7,73
Koreja	3,20	4,25	-
Velika Britanija	4,84-5,16	4,68-5,16	4,52
SAD, Srednji zapad	4,27	4,47	4,77
SAD, Sjeverozapad	4,37	5,13	5,11
SAD, Zapad	4,21	3,53	4,91
Kanada	2,98	2,54-3,82	2,82-5,22

Nadalje, dok moguće (iznenadne) promjene cijene ugljena, prirodnog plina i nafte na svjetskom tržištu mogu bitno utjecati na cijenu električne energije, nuklearna je energija, budući da cijena urana predstavlja manje od 20 posto cijene proizvodnje električne energije, s tog stajališta nezavisna od svjetskih gospodarskih i političkih previranja; promjene samo neznatno utječu na ukupnu cijenu električne energije iz nuklearnih elektrana. Nuklearnom se energijom može dakle osigurati električna energija po relativno niskoj cijeni i s malim utjecajem na zdravlje i okoliš, kao i zaštita od naglih prekida opskrbe gorivom i skokova cijena. Pokraj toga, sve glasniji zahtjevi da se izbjegne iscrpljivanje prirodnih izvora koji se ne obnavljaju i spriječi onečišćenje onih koji se ciklički iskorištavaju, rezultat će propisima koji će povećati cijenu električne energije iz elektrana na fosilno gorivo (eksterni troškovi), pa će nuklearne elektrane postati još konkurentnije. Konačno, nuklearna tehnologija iskoristit će i daljnje mogućnosti. Naime, dok su donedavno građena nestandardna nuklearna postrojenja bila opterećena iznimno visokim kapitalnim troškovima, od 3 000 do 5 000 US\$/kW, danas se očekuje izgradnja nove generacije elektrana po cijeni do 2 000 US\$/kW, prvenstveno uvođenjem novih, standardiziranih, naprednih nuklearnih postrojenja. (*Studije pokazuju da će te elektrane biti gotovo tri stotine puta sigurnije od današnjih.*) Tako je "Nuklearna regulatorna komisija" u Sjedinjenim Državama odobrila dva nova standardizirana projekta, a očekuje se odobravanje još dvaju projekata prije 2000. godine. Kao i njihovi prethodnici to su lakovodni reaktori, a budući da su standardizirani njihova izgradnja je brža i jeftinija.

#### 4. PROTURJEČJA NUKLEARNE ENERGETIKE

Međutim, prijedlog uporabe nuklearne energije za podmirivanje budućih energetske potreba izaziva i čitav niz sigurnosnih i etičkih pitanja. Odluke u energetske sektoru pri tome nisu više u rukama samo vlade i industrije, nego i javnost mora biti i informirana i uključena. Hrvatski (i svjetski) problem negativnog stajališta javnosti prema nuklearnoj energetici mora se cjelovito promatrati; problemi nisu nacionalni već globalni. Nerazumijevanje informacija, kao i osjećaj da treba izbjeći izlaganje drugačijem riziku, ma kolikogod malen on bio ili smanjivao ukupan rizik, glavne su zapreke većoj primjeni nuklearne energetike. Energetičari bi trebali stoga biti upoznati

s tim pitanjima i poznavati argumente u prilog i protiv nuklearne energije. Valja naglasiti da je svrha postojanja energetike rad s ljudima i podmirenje njihovih potreba, pa je i pitanje izbora energetske tehnologije neraskidivo povezano s etičkim i političkim pitanjima.

Zašto su nuklearne elektrane opasne? Mogu li, u slučajevima najtežih zamislivih kvarova, eksplodirati poput atomske bombe? Ne! Onečišćuju li okoliš opasnim sastojcima? Ne! Izazivaju li "efekt staklenika" ili "kisele kiše"? Ne! Zašto je, dakle, nuklearna elektrana opasna? Zbog radioaktivnog zračenja. No, u normalnom je pogonu to zračenje u prosjeku 2 000 puta manje od prirodnog, 10 puta manje od televizora u boji; u godini dana 40 puta manje od pojedinačnog leta zrakoplovom na relaciji Zagreb-New York. U svakoj sekundi svakog od nas, zbog prirodnog zračenja, pogodi 15 000 čestica. Svaka od njih može, s određenom vjerojatnošću, izazvati rak. Ta je vjerojatnost, međutim, jako, jako mala; manja od  $30 \cdot 10^{-18}$ . Zašto bi onda bilo opasno zračenje 2 000 puta manje?

Ono što iznenađuje je da beskonačne rasprave ne vode prema nekom općem konsenzusu. Upravo suprotno. Iako se o najkontroverznijim pitanjima nuklearne energetike raspravlja već godinama, stajališta su sve ekstremnija u prilog ili protiv nuklearnih elektrana; gotovo je nemoguće naići na pojedinca s umjerenim i uravnoteženim pogledima. Kontroverzije se (proturječja ili nesuglasice, povezane s nuklearnim elektranama) u osnovi mogu grupirati u tri pitanja:

*pitanja sigurnosti odnosno opasnosti zbog rada nuklearnih elektrana, pitanja povezana s odlaganjem radioaktivnog otpada, te pitanja proliferacije (širenja) nuklearnog oružja.*

Sažmemo li najčešće navođene argumenata u prilog i protiv nuklearne energije, oni su:

**(1) Argumenti u prilog:**

- *Nuklearna je energija jedina nada za zadovoljavanje budućih svjetskih energetskih potreba. Nalazimo se pred izborom između nuklearne budućnosti i propadanja. Kao posljedica propadanja može doći do političke nestabilnosti i međunarodnih ratova oko preostalog fosilnog goriva.*

- *Utjecaji na okoliš nuklearnih elektrana zanemarivi su u usporedbi s onima iz elektrana na fosilna goriva. Ne dođe li do uspostavljanja nuklearnog programa, koncentracije ugljičnog dioksida doseći će iznose koji mogu značajno promijeniti klimu.*

- *Nuklearne elektrane troše daleko manje količine goriva nego elektrane na fosilna goriva. Transport velikih količina goriva (npr. nafte) predstavlja značajan rizik po okoliš.*

- *Opasnost (rizik) izazvana kvarom u (određenoj) nuklearnoj elektrani izvanredno je mala i nije takva da bi trebalo odustati od uporabe nuklearne energije.*

**(2) Argumenti protiv:**

- *Ako bi nuklearna energija postala glavni izvor električne energije, ograničene količine prirodnog U-235 ne bi bile dostatne. Rješenje u tom slučaju bila bi povećana uporaba brzih oplodnih reaktora, a neželjena posljedica povećana opasnost od proliferacije nuklearnog oružja i nuklearnog rata.*

- *Narasla količina radioaktivnog otpada koji se mora čuvati tijekom mnogih stoljeća, nepravedna je i opasna ostavština potomcima.*

- *Opasnosti povezane s kvarovima u nuklearnim elektranama vrlo su malene, no samo one koje poznamo. Možemo li pouzdano predvidjeti sve moguće nesreće?*

- *Narasla trgovina plutonijem povećat će opasnost da se terorističke grupe domognu nuklearnog oružja. Zaštita društva zahtijevat će formiranje posebnih sigurnosnih organizacija što bi postupno moglo smanjiti demokratske slobode.*

Kako bi ponovno zadobila javno prihvaćanje nuklearne energetike, nuklearna industrija predložila je nove projekte reaktora za koje tvrdi da imaju poboljšane sigurnosne karakteristike. Je li preostali rizik od nesreća u nuklearnom postrojenju prihvatljiv, morat će se odlučiti na temelju etičkih i političkih prosudbi. Javnost (ili barem dio koji formira javno mnijenje) će morati dobiti zadovoljavajuće odgovore povezane s četiri najčešće izražavane brige:

1. Jesu li nuklearni reaktori toliko sigurni da su kvarovi sa značajnim ispuštanjem radioaktivnosti gotovo nemogući?
2. Jesu li postrojenja za reprocesiranje sigurna?
3. Je li rukovanje nuklearnim otpadom i njegovo trajno odlaganje toliko sigurno da ne ugrožava buduće generacije?
4. Hoće li činjenica da veći broj zemalja posjeduje nuklearne reaktore, uz povećano reprocesiranje i recikliranje plutonija, povećati vjerojatnosti nuklearnog terorizma?

Nedoumice oko nuklearne energije mogu se prevladati samo (općim) razumijevanjem činjenica. Za to, međutim, mora postojati dobra volja. Reprocesiranje u Europi počelo je prije više od trideset godina dokazujući se vrlo sigurnim. Uglavnom u Francuskoj i Velikoj Britaniji, ali također i u Njemačkoj i Belgiji gdje je OECD-ovo postrojenje za reprocesiranje bilo u pogonu između 1966. i 1974. godine. No, odluka se o primjeni reprocesiranja ne temelji samo na cijeni urana. Naime, reprocesiranje ne služi samo za povrat vrijednih materijala iz istrošenog goriva, nego je također i siguran i prokušan način pakiranja visokoradioaktivnog otpada. Reprocesiranje je industrijska djelatnost zasnovana na naprednoj tehnologiji. Za izgradnju modernog postrojenja za reprocesiranje potrebna su velika ulaganja. Međutim, kada su početne investicije uložene, reprocesiranje je konkurentno jer smanjuje uvoz strane energije i razvija visokokvalificirana radna mjesta. *(Carterova administracija odlučila je deklarativno ne baviti se reprocesiranjem vjerujući da bi se, kada bi se i druge zemlje odrekle reprocesiranja, opasnost od širenja nuklearnog oružja smanjila. Koliko je nama poznato, zbog velikih se gospodarskih prednosti reprocesiranja, niti jedna zemlja nije dala u to uvjeriti. Reaganova i Bushova administracija htjele su obnoviti reprocesiranje. Odustale su svjesne nepoželjnih političkih posljedica.)*

Odlaganje visokoradioaktivnog otpada je znanstveno, tehnički i tehnološki riješeno u mjeri da ne ugrožava sadašnjost i da neće ugrožavati ni budućnost. Razrađeno je nekoliko metoda za rukovanje ovim otpadom, postoje planovi za dugoročno odlaganje, no ništa nije provedeno jer ne donosi političke poene. Uz to nije ni neophodno, u ovom trenutku, odmah dugoročno pohraniti iskorišteno gorivo. Za sada se sigurno odlaže u bazene s vodom, na lokaciji nuklearne elektrane, čekajući konačnu odluku o reprocesiranju.

Povezano s povećanom vjerojatnosti posjedovanja nuklearnog oružja, koliko znamo, svaka zemlja koja je željela napraviti nuklearnu bombu u tome i uspjela. Niti jedna nije upotrijebila materijale proizvedene u komercijalnim energetskim reaktorima. *(Plutonij proizveden u RBMK reaktorima bivšeg SSSR-a mogao se upotrijebiti za proizvodnju oružja. Zbog toga bilo je neophodno omogućiti zamjenu gorivih šipki za vrijeme pogona elektrane. [Posljedično, dimenzije su reaktora bile prevelike za zaštitnu zgradu.] Naime, ako gorive šipke ostanu u reaktoru otprilike dvije godine, jer je tako proizvodnja energije najekonomičnija, većina proizvedenih atoma Pu-239 apsorbiraju neutron i postaju Pu-240. Puno je skuplje odvajati Pu-240 od Pu-239 negoli dobivati Pu-239 iz reaktora posebne namjene iz kojeg se šipke vade nakon kratkog vremena.)* Međutim, povećana će uporaba nuklearne energije konačno, možda tek nakon nekoliko desetljeća, zahtijevati reprocesiranje i recikliranje. Pretpostavljajući današnju tehnologiju i međunarodne dogovore koji nisu strožiji od današnjih, vjerojatnost širenja nuklearnog oružja i pojave nuklearnog terorizma mogla bi se povećati. No, i taj se problem može prevladati razvojem tehnologije i osnivanjem međunarodnih institucija, npr. sustava za međunarodno gospodarenje plutonijem,

što je trenutno u fazi razmatranja. Mora samo postojati dobra volja. Naime, mijenjanje okolnosti povezanih s energetikom, gospodarstvom i okolišem, kao i gomilanje problema s postojećim nuklearnim tehnologijama, dovele su nuklearnu energetska politiku na raskršće. Te činjenice kao kraj hladnog rata, raspad Sovjetskog Saveza, nuklearno razoružanje i višak plutonija označavaju prekretnicu politike neširenja nuklearnog oružja koju treba iz temelja izmijeniti. Institucionalne veze između ta dva područja čine dodatak sporazumu o neširenju nuklearnog oružja (*the Treaty on the Non-Proliferation Of Nuclear Weapons Extension/Review Conference*) idealnom prilikom za osmišljavanje i pokretanje međunarodnog procesa procjene i postizanja konsenzusa oko pitanja globalne strategije za nuklearnu energetiku. Nadalje, transfer je nuklearne tehnologije, od samih početaka bio zasnovan na međunarodnoj suradnji s ugrađenom provjerom i kontrolom rizika od širenja nuklearnog oružja, pa se i zbog toga strahovanja da će mnoge države steći nuklearno oružje srećom nisu ostvarila. Osim toga, niti jedna od današnjih nuklearnih sila nije počela s nuklearnom energetikom već najprije s oružjem. Zaključak stoga može biti ovaj:

Rizik od širenja nuklearnog oružja i nuklearnog terorizma postoji, ali mislimo da možemo tvrditi da razvitak civilne nuklearne energetike ne pridonosi (značajno) tom problemu.

#### 4.1. O sigurnosti nuklearnih elektrana

Nuklearna energetska postrojenja proizvode materijale koji emitiraju radioaktivno zračenje, pa ih zato nazivamo radioaktivnima. Oni mogu doći u dodir s ljudima prije svega putem malih ispuštanja za vrijeme normalnog pogona elektrane, prilikom nesreća u postrojenju, nesreća kod transporta radioaktivnih materijala, te prodiranjem radioaktivnog otpada iz spremnika. Kada se sve te pojave promatraju zajedno, a nesreće razmatraju po vjerojatnosti, one će skratiti našu očekivanu životnu dob za manje od jednog sata. (*Usporedbe radi, smanjenje očekivane životne dobi koje je posljedica rada drugih energetskih postrojenja, izgaranja plina, mazuta ili ugljena, procjenjuje se na 3 do 40 dana.*)

Strategija je prigodom projektiranja nuklearnih elektrana, kako bi se spriječile nesreće i ublažile posljedice "obrana po dubini"; a ako dođe do kvara postoji sustav koji će ograničiti štetu, ako i taj sustav otkáže postoji još jedan sustav itd. (*Naravno, moguće je da svi sustavi u nizu otkážu jedan za drugim, ali je vjerojatnost takvih događanja izvanredno mala. Čak i u nesreći u nuklearnoj elektrani "Otok tri milje", gdje je zbog ljudske pogreške došlo do kombinacije dvaju kvarova, dvije crte obrane ostale su netaknute; gotovo sva radioaktivnost zadržana je u reaktorskoj posudi. Posuda se nalazila u zaštitnoj zgradi od betona i čelika čija cjelovitost nije bila ni u jednom trenutku ugrožena. S druge strane, sovjetski reaktor u Černobilu nije imao zaštitnu zgradu; da jest, ne bi bilo ljudskih žrtava.*)

Opasnosti uzrokovane kvarovima u nuklearnim elektranama procjenjuju se vjerojatnosnom analizom sigurnosti- znanošću koja se brzo razvija. Takva se analiza mora provesti zasebno za svaku elektranu (po cijeni od nekoliko milijuna US\$), pa stoga navodimo samo tipične rezultate: topljenje goriva može se očekivati jednom u 20 000 godina rada reaktora, u dva od tri topljenja ne bi bilo smrtnih slučajeva, jedno od pet topljenja rezultiralo bi s preko 1 000 smrtnih slučajeva, a u jednom od 100 000 topljenja bilo bi do 5 000 smrtnih slučajeva. Prosjek za sva topljenja bio bi 400 smrtnih slučajeva. Kako se procjenjuje da onečišćenje zraka, koje je posljedica izgaranja ugljena, uzrokuje 10 000 smrtnih slučajeva godišnje, svake bi godine trebalo doći do 25 topljenja da bi nuklearna postrojenja bila jednako opasna kao postrojenja na ugljen. U slučaju najtežeg razmatranog kvara koji se očekuje jednom u 100 000 topljenja (jednom u 2 milijarde godina rada reaktora), smrt od raka nastupila bi

kod 10 milijuna ljudi tj. rizik od raka narastao bi s 20 posto (trenutni prosjek) na 20,5 posto. Taj je iznos daleko manji negoli uobičajena odstupanja s podnebljem. (*Vrlo visoke doze radijacije mogu uzrokovati smrt unutar 60 dana, ali takvi se "primjetni" smrtni slučajevi očekuju u samo 2 posto topljenja. Bilo bi ih preko 100 u 0,2 posto topljenja i 3 500 u jednom od 100 000 topljenja. Slično, većina smrtnih slučajeva uzrokovanih izgaranjem ugljena nije "primjetna". Do danas, najveći broj "primjetnih" smrti zabilježen je prilikom onečišćenja zraka u Londonu, 1952., kada je bilo 3 500 dodatnih smrtnih slučajeva u jednom tjednu.*) Naravno, nuklearnu su nesreće hipotetski događaji. Valja uočiti da takvi daleko teži događaji postoje i kod drugih tehnologija za proizvodnju energije. Npr. rušenje brana nekih hidroelektrana uzrokovalo bi gubitak od 200 000 ljudskih života. (1979. godine pucanje brane u Indiji rezultiralo je s 15 000 ljudskih žrtava.) Nadalje, vjerojatnost pogibije 10 ljudi zbog događaja kao što su padovi zrakoplova i eksplozije 100 000 puta je veća negoli zbog rada 100 nuklearnih elektrana. Isto tako, oko 2 000 puta je vjerojatnije da će 10 ljudi poginuti u potresu i oko 6 000 puta da će stradati u uraganu, negoli zbog rada 100 nuklearnih elektrana, a opasnost zbog zračenja iz nuklearne elektrane usporediva je sa smrtnom opasnošću od raka za osobu koja bi tjedno popušila samo jednu dvadesetinu cigarete.

Trenutačno iskustvo povezano je s radom nuklearnih elektrana iskustvo od preko 9 000 godina rada nuklearnih elektrana, a Černobil je bio jedina nesreća s (trenutačnim) ljudskim žrtvama. To je veliki uspjeh postrojenja za proizvodnju električne energije.

## 5. ZAKLJUČAK

Svi najrazličitiji načini dobavljanja električne energije imaju i imat će svoju ulogu u podmirivanju potreba za tim oblikom energije. Nuklearna je energija pri tome samo dio rješenja energetskeg pitanja. Bez nuklearne energije Hrvatska bi se morala gotovo potpuno osloniti na fosilna goriva, posebno na ugljen, da bi se zadovoljile energetske potrebe za temeljnim opterećenjem. Jedno je, međutim, sigurno; bez obzira na to koliko sigurne bile nuklearne elektrane, koliko sigurna bila prerada istrošenog nuklearnog goriva i odlaganje nuklearnog otpada, koliko zadovoljavajuće bio riješen potencijalni problem proliferacije nuklearnog goriva, koliko mnogo doprinjele nuklearne elektrane očuvanju okoliša; bez obzira prihvatiti li ih javnost u potpunosti nuklearne elektrane neće se graditi ne budu li ekonomski isplativije od drugih rješenja, no dakako, vrijedi i obrnuto: nuklearne se elektrane neće graditi ne prihvatiti li ih javnost. Nuklearna energetika stoga i jest izrazito kontroverzna. Njeni zagovornici tvrde da je to siguran, ekonomičan i jedini pouzdan način proizvodnje dostatne količine električne energije za (globalni) razvitak. Podjednako "dobro obaviješteni" protivnici smatraju da je nuklearna opcija opasna, neekonomična i nepotrebna. Međutim, kakva god bila budućnost nuklearne energetike, čak i uz razmatranja potpunog odricanja uporabe nuklearne energije (što na razini svijeta nije vjerojatno zbog snažne podrške nuklearnoj energetici u nekim zemljama), potrebe gospodarenja otpadom i zlouporaba plutonija zahtijevat će rješenje, dakle, i daljnje bavljenje "nuklearnim pitanjima". (Zaista, zbog demontiranja nuklearnog oružja u Sjedinjenim Državama i Sovjetskom Savezu, naglo se povećava količina fisibilnog materijala za korištenje ili sigurno odlaganje.) Već i zbog toga, kao i zbog neodređenosti oko budućih (elektro)energetskih potreba i ograničenja, posebno povezanih s brigom za okoliš, kao i ekonomike nuklearne energetike te prednosti u pogledu sigurnosti, važno je da se nuklearna opcija održi kao potencijalno mogući ključni izvor energije. To više što je u međuvremenu tehnološki napredak tijekom posljednjeg desetljeća pokazao nove načine poboljšanja sigurnosti ciklusa nuklearnog goriva, smanjujući vjerojatnosti nesreća koje bi uzrokovale oštećenja nuklearne jezgre sa znatnim ispuštanjem



radioaktivnosti, riješio probleme nuklearnog otpada i smanjio opasnost od nuklearnog terorizma. Osim toga, postignut je napredak i u projektiranju jednostavnijih i sigurnijih nuklearnih elektrana manjih snaga prikladnih za različite strukture elektroenergetskog sustava. Dakako, dokazivanje tih mogućnosti zahtijevat će znatan napor, bit će potrebne godine i puno novaca. Isplatit će se ako budu osnovane ustanove, nužno potrebne dođe li do očekivane veće uporabe nuklearne energije.

Što se tiče Hrvatske, neodređenosti u utvrđivanju porasta potražnje energije tijekom idućih desetljeća zajedno s rastućom brigom za okoliš i njegovom zaštitom, tolike su da Hrvatska mora osigurati fleksibilnost kako bi ispunila zahtjeve najrazličitijih mogućih energetske scenarija. Tu fleksibilnost može ostvariti oslanjajući se na nuklearnu energiju. Vjerujemo stoga u hrvatsku nuklearnu budućnost. Prije ili kasnije (bolje prije nego kasnije) prednosti nuklearne energije postat će (svima) očigledne. S druge strane, ne vjerujemo da će se to dogoditi samo od sebe. Oživljavanje nuklearne opcije kao mogućnosti za energetske budućnost Hrvatske predstavlja zato velik izazov. Uvjeravanje je ponekad prilično beznažno jer počinju prevladavati proturječne obavijesti i osjećaji. Ne nalazimo stoga odgovarajuće riječi kako bismo dostatno naglasili važnost obavještavanja javnosti o nuklearnoj energiji. (Te se obavijesti ne bi smjele odnositi samo na nuklearnu tehnologiju, nego i na sva pitanja ionizirajućeg zračenja, bioloških efekata zračenja, prirodnog pozadinskog zračenja i svojstava radioaktivnih materijala.) Znamo da je već dosta toga napravljeno, kao i da je vrlo teško svakoga podučiti. Usprkos tome, smatramo da samo razumijevanje može dovesti do prihvaćanja javnosti. To je dugačak put, ali jedini mogući. Prije stotinu godina aktualna je bila rasprava o prihvatljivosti električne energije. Trebalo je prevladati puno straha prije nego li je električna energija prihvaćena; danas nitko više ne predlaže da se odrekemo električne energije. U tome vidimo sličnost s prihvaćanjem nuklearne energije, uz jednu bitnu razliku: današnje je društvo daleko otvorenije i kritičnije u pogledu kontroverznih pitanja. Zbog toga javni dijalog i ima toliku važnost. Dužnost znanstvene zajednice koja poznaje energetske tehnologije je da informira javnost, dok je dužnost javnosti da se informira i donosi odluke zasnovane na dobivenim informacijama. Važno je da se svaka odluka temelji na znanstvenim činjenicama, a ne na snovima ili strahovima. Konačno, obvezni smo dolazećim generacijama osigurati odgovarajuću opskrbu energijom kako bi mogle uživati u kvalitetnom životu.

Savjet je stoga zadržati mogućnost uporabe nuklearne energije u Hrvatskoj, osiguravajući tako potrebno vrijeme za nalaženje (prihvatljivog) rješenja opskrbe (električnom) energijom.

## LITERATURA

1. "Energy in Croatia, 1988-1992", Annual Energy report, Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 1993.
2. "Energy in Croatia, 1992-1996", Annual Energy report, Republika Hrvatska, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 1997.
3. IEA: "Electricity Supply in the OECD", 1992
4. OECD/IEA NEA: "Projected Costs of Generating Electricity", 1993
5. OECD: "The Economics of the Nuclear Fuel Cycle", 1994
6. Nuclear Energy Institute, WWW Home Page, <http://www.nei.org>

**NEXT PAGE(S)  
left BLANK**