

BUDUĆE EMISIJE UGLJIČNOG DIOKSIDA IZ HRVATSKOG ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Maja Božičević – Željko Tomšić – Dražen Jakšić, Zagreb

UDK 621.31.311
STRUČNI ČLANAK

Hrvatska je jedna od zemalja potpisnica Protokola iz Kyota koji ju obvezuje da emisiju stakleničkih plinova smanji za 5 % u odnosu na razinu emisija iz bazne godine. Protokol će stupiti na snagu tek nakon što ga ratificira 55 zemalja potpisnica koje sudjeluju s 55% u emisijama stakleničkih plinova zemalja obuhvaćenih Aneksom B Protokola iz Kyota. Hrvatski sabor do danas nije ratificirao Protokol. Međutim, iako ne predstavlja zakonsku obvezu, Protokol određuje važan okvir za planiranje razvitka svake države, pa tako i Hrvatske. Očekuje se da će hrvatske vlasti izabrati 1990. kao baznu godinu u odnosu na koju će se analizirati buduće emisije stakleničkih plinova. Kako proizvodnja električne energije igra značajnu ulogu u ukupnoj emisiji stakleničkih plinova, mogućnosti smanjenja tih emisija koje potječu iz elektroenergetskog sustava moraju se razmotriti s posebnom pažnjom. Provedena je usporedba tri hipotetska razvojna scenarija hrvatskog EES-a te su razmotrene poteškoće pred kojima će se naći sustav u slučaju da će se ukupna emisija iz sustava morati smanjiti za 5% u odnosu na emisije iz 1990. Kako nuklearne elektrane predstavljaju razvijenu i gospodarski prihvatljivu tehnologiju za proizvodnju električne energije čiji pogon ne uzrokuje emisiju ugljičnog dioksida, razmotrena je mogućnost smanjenja buduće emisije ugljičnog dioksida iz hrvatskog elektroenergetskog sustava uporabom nuklearne energije. Prikazane su tri razvojne opcije sustava koje se međusobno razlikuju po broju nuklearnih elektrana u pogonu, kao i emisije ugljičnog dioksida u svakoj od opcija. Izračunato je smanjenje emisije ugljičnog dioksida koje bi bilo rezultat zamjene dijela elektrana loženih fosilnim gorivom nuklearnim elektranama. Procijenjeno je koliko je nuklearnih elektrana u pogonu potrebno da bi se u razdoblju do 2030. godine emisija ugljičnog dioksida iz hrvatskog EES-a zadržala na razini koja je za 5 % niža od razine iz 1990. godine.

Ključne riječi: Protokol iz Kyota, hrvatski elektroenergetski sustav, ugljični dioksid.

UVOD

Zbog različitih ljudskih aktivnosti – izgaranja fosilnih goriva, poljoprivrede, sječe šuma – rastu koncentracije stakleničkih plinova od kojih su najznačajniji: ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4), didušikov oksid (N_2O), fluorougljikovodici (HFC), perfluorougljici (PFC), sumporni heksafluorid (SF_6) što uzrokuje pojačani učinak staklenika i porast globalne temperature. Porast temperature mogao bi izazvati promjene u količini oborina, vlažnosti tla, razini mora i klimi općenito. Točan opseg i posljedice tih promjena su zasada nepoznati, ali je znanstvena zajednica jedinstvena u mišljenju da je čovječanstvo nesumnjivo sposobno izmijeniti klimu na Zemlji. Dakle, iako su mogući učinci povećanja koncentracije stakleničkih plinova još uvijek neodređeni, postoji jednoglasna ocjena da se tom problemu mora pristupiti na globalnoj razini. Nekoliko međunarodnih skupova održano je s namjerom da se postigne sporazum o obvezama smanjenja emisija stakleničkih plinova, među kojima je najznačajniji ugljični dioksid.

U prosincu 1997. godine održana je međunarodna konferencija u Kyotu posvećena ovoj tematici. Postignut je dogovor o prosječnom smanjenju emisija u raz-

vijenim zemljama od 5,2% u odnosu na 1990. godinu za ugljični dioksid, metan i dušik-II-oksidi, te u odnosu na 1995. godinu za HFC, PFC i SF_6 . 1. Zemlje Europske Unije obvezne su smanjiti emisiju za 8%, Sjedinjene Države za 7%, a Japan za 6%. Nekim razvijenim zemljama dozvoljeno je povećanje emisija – Norveškoj za 1 %, Australiji za 8 % i Islandu za 10 %. Rusija i Ukrajina ne smiju prijeći razinu emisija iz 1990. godine. Zemlje u tranziciji pristale su smanjiti emisije stakleničkih plinova ispod razine emisije u baznoj godini ili razdoblju koja će biti određena za svaku od tih zemalja zasebno; u tu skupinu spada i Hrvatska. Važno je napomenuti da je do kraja 2000. godine Protokol potpisalo 84 države, ali ga je ratificiralo samo 29 država koje ne čine značajniji udio u ukupnim svjetskim emisijama stakleničkih plinova. Protokol će stupiti na snagu 90 dana nakon što ga ratificira barem 55 zemalja potpisnica, a važan je uvjet i taj da u tih 55 zemalja mora biti uključen i određen broj država iz tzv. Aneksa B koje emitiraju barem 55% ukupne emisije stakleničkih plinova koja je 1990. godine ispuštena iz zemalja članica Aneksa B [2]. Tablica 1 prikazuje države obuhvaćene Aneksom B i za njih predviđene obveze. Posebno (*) su označene države u tranziciji za koje će se bazna godina ili razdoblje odrediti zasebno.

Tablica 1. Države obuhvaćene Aneksom B Protokola iz Kyota

Država	%	Država	%	Država	%	Država	%
Australija	108	Finska	92	Lihtenštajn	92	Rusija*	100
Austrija	92	Francuska	92	Litva*	92	Slovačka*	92
Belgija	92	Njemačka	92	Luksemburg	92	Slovenija*	92
Bugarska*	92	Grčka	92	Monako	92	Španjolska	92
Kanada	94	Mađarska*	94	Nizozemska	92	Švedska	92
Hrvatska*	95	Island	110	Novi Zeland	100	Švicarska	92
Češka	92	Irska	92	Norveška	101	Ukrajina*	100
Danska	92	Italija	92	Poljska*	94	UK	92
Estonija*	92	Japan	94	Portugal	92	SAD	93
EU	92	Latvija*	92	Rumunjska*	92		

* države u tranziciji

Iako su mnogi problemi ostavljeni za budućnost (uzimanje u obzir ponora CO₂, trgovanje emisijama, itd), Protokol iz Kyota je važan jer sadrži zakonske obveze koje olakšavaju donošenje poslovnih odluka povezanih s budućim ograničenjima emisija.

Izvori emisije CO₂ su mnogobrojni i raznoliki, a najznačajniji su industrija, promet, elektroenergetika i kućanstva. Oko 75% ukupne emisije ugljičnog dioksida posljedica je izgaranja fosilnih goriva. Proizvodnja električne energije sudjeluje u ukupnoj potrošnji fosilnih goriva s oko 40%. Općenito, između 25 i 35% 3 današnje ukupne emisije CO₂ potječe iz elektroenergetskog sustava, što je posljedica široke uporabe fosilnih goriva. Mogućnost zamjene fosilnih goriva, prvenstveno naftnih derivata, drugim energentima u industriji i prometu ograničena je troškovima i infrastrukturom pa je veća vjerojatnost da će do smanjenja emisije ugljičnog dioksida najprije doći zahvaljujući usvajanju novih tehnologija u elektroenergetici.

Osim toga, proizvodnja električne energije igra posebnu ulogu u izboru strategije smanjenja emisije stakleničkih plinova jer privlači veliku pažnju javnosti i političara, novčana su ulaganja vrlo velika, a proizvodne jedinice su centralizirane pa je njihove emisije jednostavnije nadgledati nego emisije koje potječu iz industrije i prometa. Zbog toga je u planiranje razvoja elektroenergetskog sustava nužno uključiti i analizu budućih emisija stakleničkih plinova, prvenstveno ugljičnog dioksida. Međutim, da bi se ostvarili postavljeni ciljevi smanjenja emisija stakleničkih plinova, potrebno je sudjelovanje svih grana ljudske djelatnosti, a ne samo elektroenergetike.

Da bi se smanjila emisija ugljičnog dioksida iz elektroenergetskog sustava, očigledno je da se u ukupnoj proizvodnji električne energije mora povećati udio proizvodnih tehnologija koje se ne zasnivaju na izgaranju fosilnih goriva. Danas su hidroenergija i nuklearna energija jedine potpuno razvijene i gospodarski prihvatljive opcije za proizvodnju električne energije u

jedinicama velike instalirane snage čiji pogon ne uzrokuje emisiju stakleničkih plinova, pa mogu igrati važnu ulogu u odgovoru na izazov održivog razvoja. Novi obnovljivi izvori energije – sunčeva energija, energija vjetra, biomase, valova, plime i oseke te geotermalna energija – također predstavljaju izvore energije koji ne emitiraju stakleničke plinove, ali je njihova uporaba za sada ograničena ekonomskim faktorima.

PROGNOZA EMISIJA CO₂ IZ HRVATSKOG EES-a I MOGUĆNOSTI NJIHOVOG SMANJENJA

Hrvatska je potpisala Protokol iz Kyota u ožujku 1999. godine. Hrvatska se ubraja u zemlje u tranziciji, a tim je zemljama omogućeno da izaberu baznu godinu ili razdoblje koje im najbolje odgovara, odnosno kada je razina stakleničkih plinova bila najviša. Zbog rata nametnutog Hrvatskoj i pada gospodarskih aktivnosti kao njegove posljedice, nakon 1990. godine došlo je do naglog pada emisija svih onečišćujućih tvari, pa se očekuje da će hrvatske vlasti izabrati tu godinu kao baznu godinu u odnosu na koju će se u budućnosti smanjivati emisije stakleničkih plinova.

U ovom su radu razmatrane mogućnosti smanjenja emisija stakleničkih plinova iz elektroenergetskog sektora, a najznačajniji staklenički plin koji nastaje prilikom proizvodnje električne energije je ugljični dioksid. Zbog toga je u nastavku analizirana samo emisija ugljičnog dioksida, a ostali su staklenički plinovi zanemareni.

Tablica 2 prikazuje emisije ugljičnog dioksida u Hrvatskoj 1990. godine, s postotnim udjelom svakog od sektora u ukupnoj emisiji 4. Potrebno je spomenuti da je stanje u elektroenergetskom sustavu Hrvatske posebno po tome što je nekoliko elektrana smješteno izvan Hrvatske, u drugim bivšim jugoslavenskim republikama. Emisije koje potječu iz tih elektrana također bi trebalo uzeti u obzir.

Tablica 2. Emisije ugljičnog dioksida u Hrvatskoj, 1990. godina [4]

	CO ₂ , t/yr	%
termoelektrane*	3.748.700*	15,7*
industrija	7.763.535	32,6
proizvodnja i distribucija goriva	439.070	1,8
opća potrošnja	4.264.151	17,9
mobilni izvori	4.525.270	19,0
ukupno	23.807.167	100,0

* samo termoelektrane u Hrvatskoj

Oko 3.300 GWh električne energije utrošene u Hrvatskoj 1990. godine proizvedeno je izvan Hrvatske u termoelektranama loženim lignitom koje su u vlasništvu Hrvatske elektroprivrede, a smještene su u BiH i Srbiji 5. Zbog proizvodnje tog dijela energije emitirano je oko 3.700.000 t ugljičnog dioksida.

Kada bi se referentna razina emisije za Hrvatsku odredila tako da se ta vrijednost (3,73 Mt) doda emisiji ispuštenoj na hrvatskom tlu (3,75 Mt), ukupna emisija ugljičnog dioksida iz termoelektrana gotovo bi se udvostručila i iznosila bi oko 7.480 tisuća tona.

U ovom su radu analizirane samo emisije ugljičnog dioksida koje potječu iz elektroenergetskog sustava, pa je buduće smanjenje određeno tako da je ta emisija smanjena za 5% iako se obveze određene Protokolom odnose na državu u cjelini a ne na pojedine sektore. Ovisno o tome na koji će način referentna razina emisije ugljičnog dioksida biti ustanovljena, emisije koje potječu iz elektroenergetskog sustava trebalo bi u tom slučaju smanjiti na 3,6 Mt ako se u obzir uzmu samo emisije ispuštene u Hrvatskoj, odnosno na 7,1 Mt u slučaju da se pribroje emisije iz hrvatskih termoelektrana smještenih izvan Hrvatske.

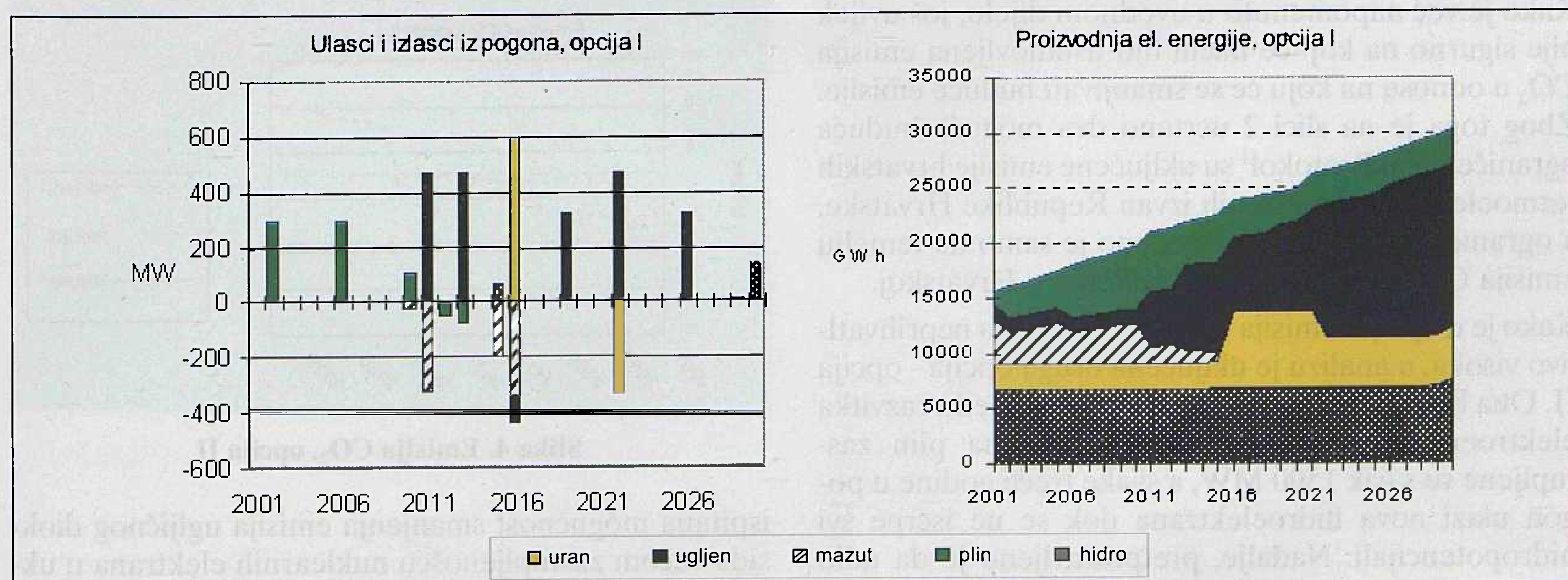
Očekuje se da će prosječni godišnji porast potrošnje električne energije u Hrvatskoj u razdoblju 2001-2030. iznositi između 2,86 i 3,33% Š4Ć. Malo je vjerojatno da će razvoj elektroenergetskog sustava pratiti tzv. niski scenarij sa stopom porasta jednakom 2,86% jer je u njemu pretpostavljen porast učinkovitosti na strani po-

trošača koji je teško očekivati u bližoj budućnosti. Međutim, svi proračuni u ovom radu provedeni su uzevši u obzir tu pretpostavku da bi se prikazalo što taj scenarij - koji je najpovoljniji po okoliš - znači u smislu budućih emisija ugljičnog dioksida. Godina u kojoj počinju razmatranja je 2001, s 2.840 MW instalirane snage i potrošnjom od 15,6 TWh. Na kraju razmatranog razdoblja, u godini 2030, potrebna instalirana snaga iznositi će 4.840 MW uz potrošnju jednaku 30,3 TWh.

Analizirane su tri opcije razvoja hrvatskog elektroenergetskog sustava i buduće emisije ugljičnog dioksida uzrokovane njegovim pogonom. Potreba za novim elektranama javlja se zbog porasta potrošnje električne energije, kao i zbog izlaska iz pogona postojećih elektrana. Izlazak iz pogona postojećih elektrana povoljan je u pogledu emisije CO₂ zbog toga što se radi o zastarjelim postrojenjima manje učinkovitosti koje imaju veću emisiju po jedinici proizvedene električne energije.

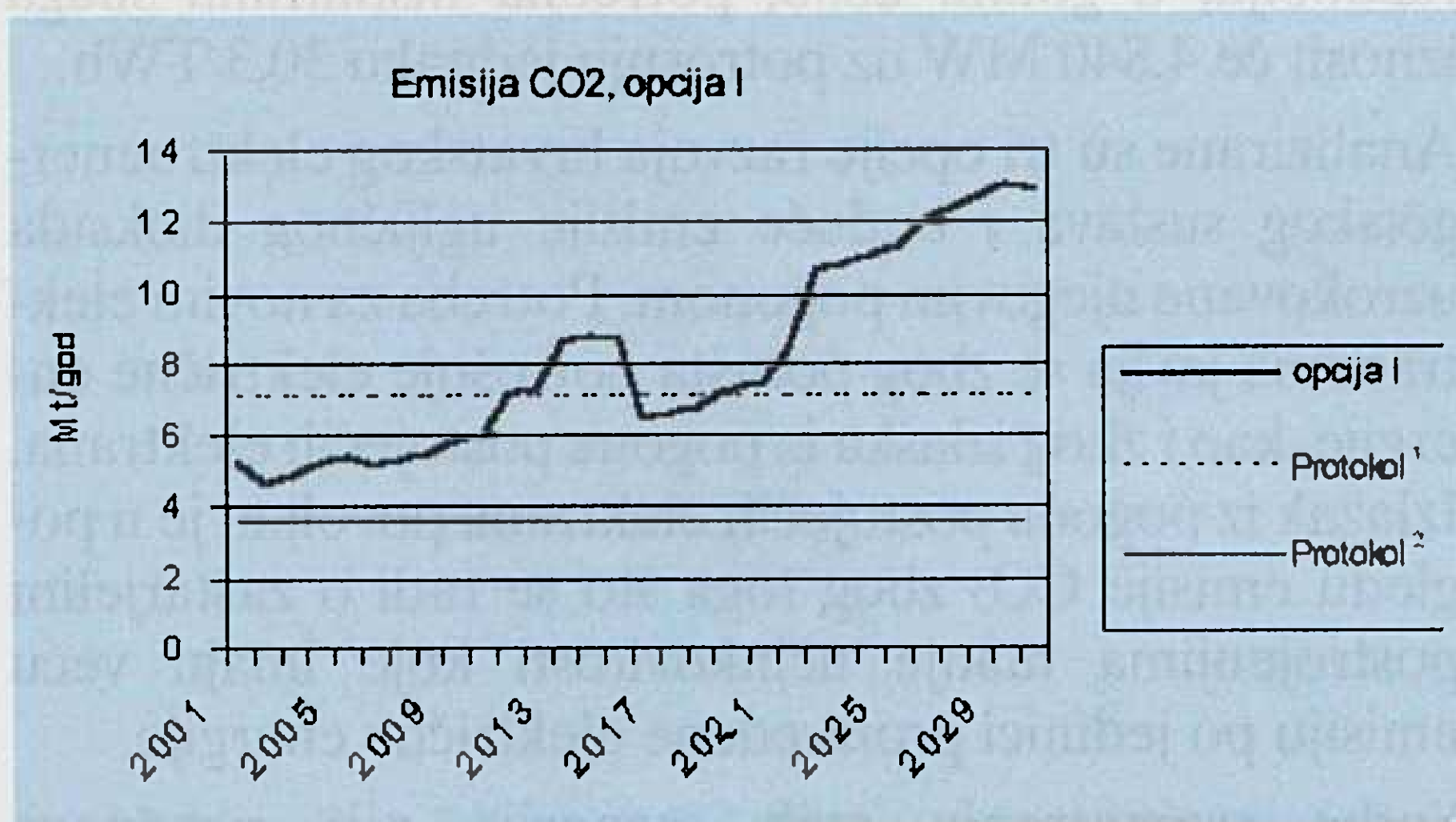
Svrha razmatranja ovih scenarija nije prognoza budućeg razvojnog puta hrvatskog elektroenergetskog sustava, nego isticanje poteškoća koje bi Hrvatska mogla imati pokušavajući zadovoljiti ograničenje Protokola iz Kyota. Vrlo je važno istaknuti da je Protokolom propisano 5 %-tno smanjenje ukupnih emisija stakleničkih plinova na razini države, dok je u ovom radu analizirana mogućnost 5 %-tnog smanjenja emisija uzrokovanih pogonom EES-a. Kako elektroenergetski sustav predstavlja najcentraliziraniji izvor emisija stakleničkih plinova koji je relativno jednostavno nadgledati, može se očekivati da će ograničenja nametnuta EES-u biti stroža od ograničenja pretpostavljenog u ovom radu.

Opcija I temelji se isključivo na ekonomskim razmatranjima, bez ikakvih ograničenja izuzev raspoloživosti prirodnog plina. Naime, pretpostavljeno je da u budućnosti neće biti moguća opskrba prirodnim plinom veća od oko 1000 Mm³/god za nove termoelektrane [6]. Slika 1 prikazuje optimalnu strukturu goriva: uz 700 MW elektrana na plin, u pogon ulazi 2200 MW na ugljen i jedna nuklearna elektrana snage 600 MW.



Slika 1. Ulasci i izlasci elektrana iz pogona i proizvodnja, opcija I

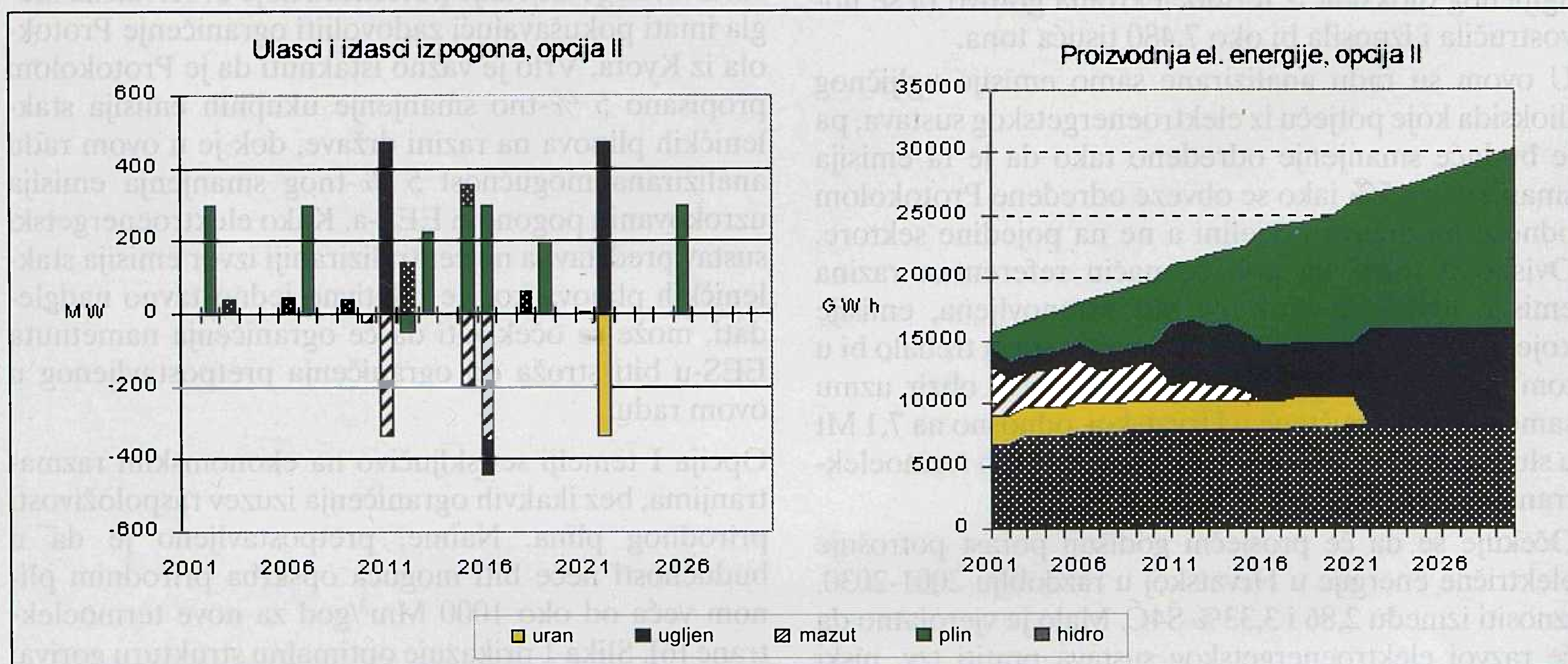
Proračunatu emisiju CO₂ uzrokovanu radom energetskih postrojenja u opciji I prikazuje slika 2. Zbog visokog udjela ugljena u ukupnoj strukturi energenata emisija ugljičnog dioksida neprihvatljivo je visoka, a na kraju promatranog razdoblja iznosila bi oko 13 Mt, što je neprihvatljivo u pogledu smanjenja kojeg traži Protokol iz Kyota.

Slika 2. Emisija CO₂ u opciji I

razdoblja doseže 10 % (3 TWh) ukupne potrošnje električne energije, pa je instalirana snaga konvencionalnih izvora energije za 200 MW manja nego u ostalim opcijama. Nove nuklearne elektrane ne ulaze u pogon. Važno je istaknuti da je cijena novih hidroelektrana za sada previsoka da bi ovakav scenarij bio vjerojatan. Godine ulazaka i izlazaka iz pogona prikazuje slika 3. Do 2010. godine u pogon ulazi 600 MW u elektranama na plin i tri hidroelektrane. U drugom desetljeću analiziranog razdoblja pojavljuje se novih 800 MW na plin, 500 MW na ugljen i tri nove hidroelektrane. U posljednjem desetljeću u pogon ulazi 500 MW na plin i 500 MW na ugljen.

Emisiju CO₂ povezanu s ovim scenarijem prikazuje slika 4. Vidi se da će u godini 2030. emisija ugljičnog dioksida iznositi nešto više od 10 Mt, što je značajno ali još uvijek nedovoljno smanjenje.

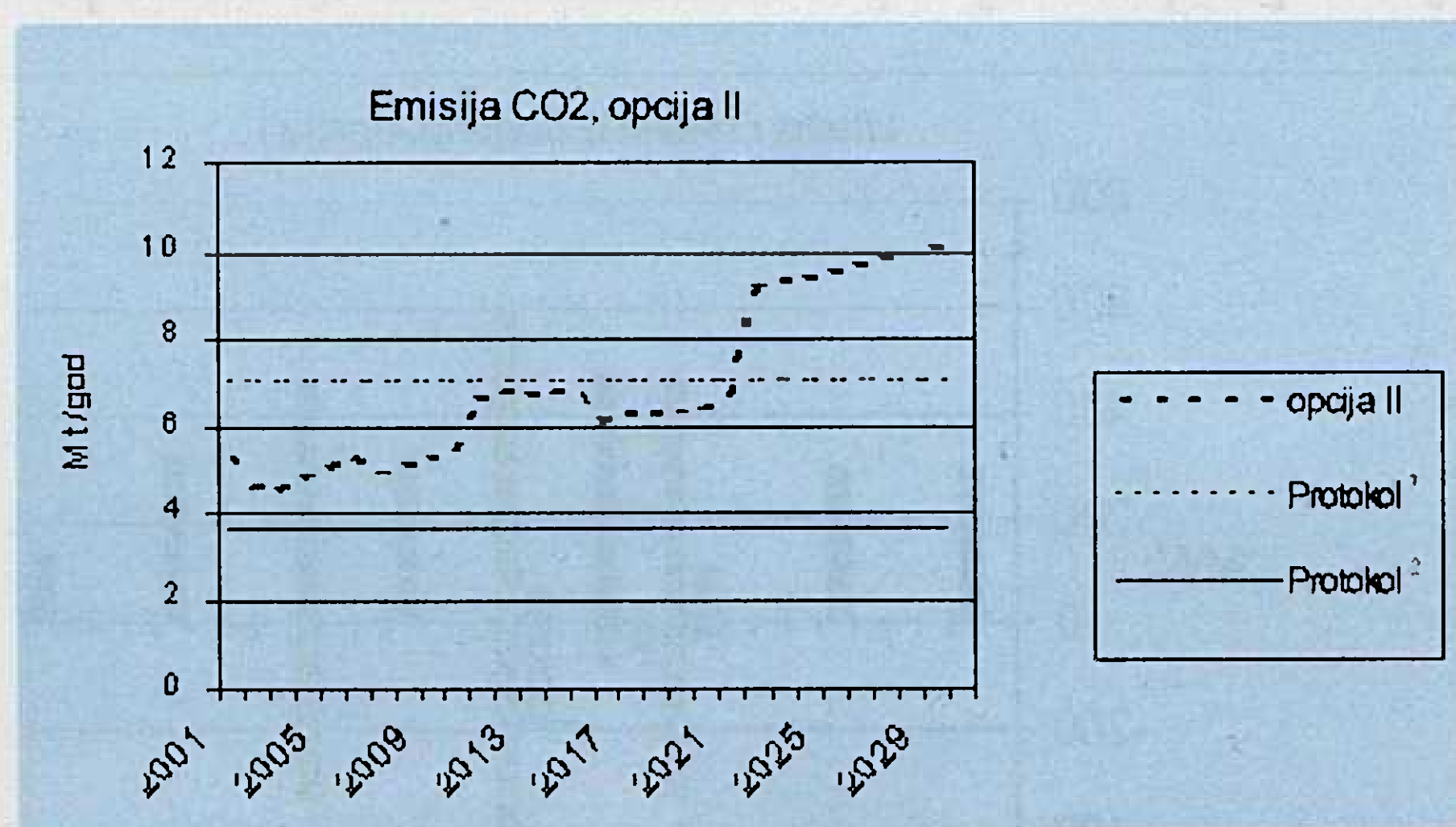
Dakle, usprkos visokoj zastupljenosti novih obnovljivih izvora i hidropotencijala u proizvodnji električne energije, emisija CO₂ i u opciji II je previsoka. Zbog toga je



Slika 3. Ulasci i izlasci elektrana iz pogona, opcija II

Kako je već napomenuto u uvodnom dijelu, još uvijek nije sigurno na koji će način biti ustanovljena emisija CO₂ u odnosu na koju će se smanjivati buduće emisije. Zbog toga je na slici 2 ucrtano dva moguća buduća ograničenja: u Protokol¹ su uključene emisije hrvatskih termoelektrana smještenih izvan Republike Hrvatske, a ograničenje Protokol² određeno je samo na temelju emisija CO₂ iz postrojenja smještenih u Hrvatskoj.

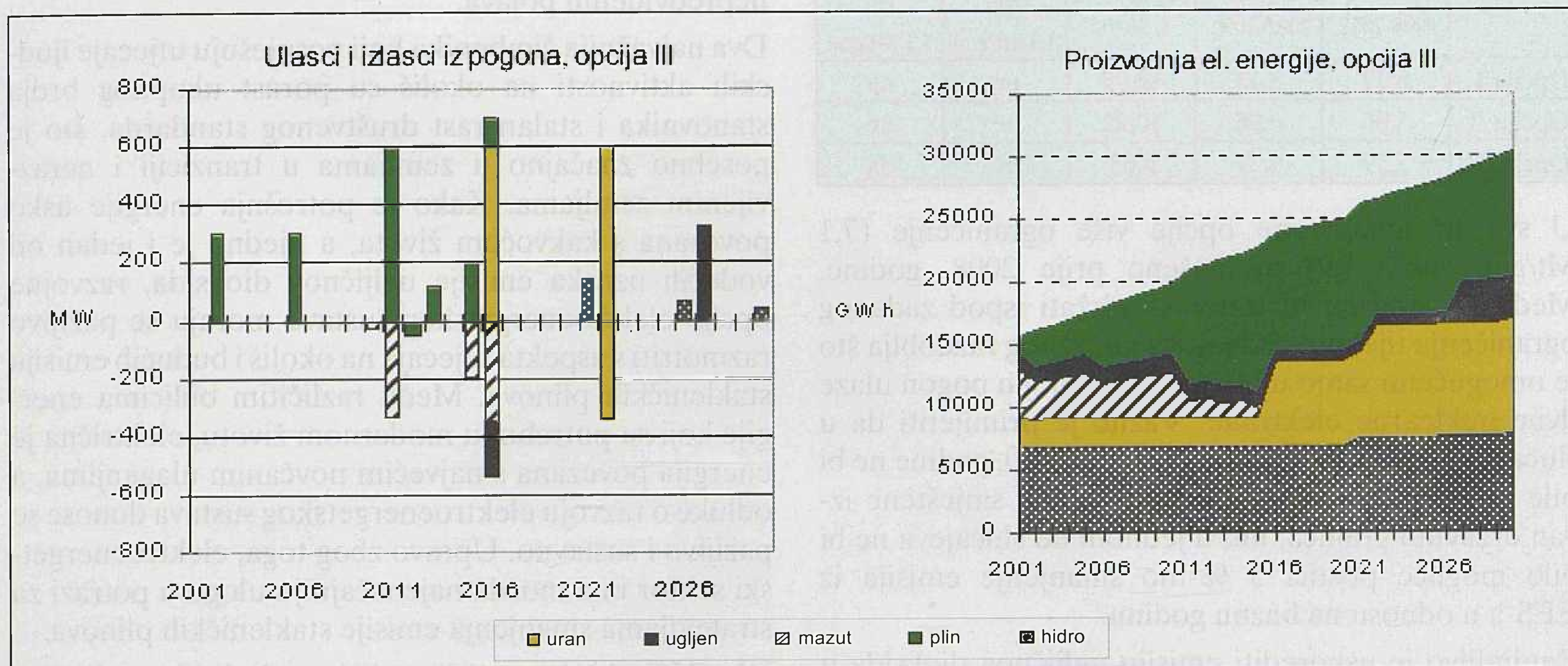
Kako je u opciji I emisija ugljičnog dioksida neprihvatljivo visoka, u analizu je uključena druga opcija - opcija II. Ona bolje odražava stav javnosti u pogledu razvitka elektroenergetskog sustava: elektrane na plin zastupljene su s čak 1500 MW, a svake treće godine u pogon ulazi nova hidroelektrana dok se ne iscrpe svi hidropotencijali. Nadalje, pretpostavljeno je da udio obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji stalno raste tijekom čitavog razmatranog razdoblja, te da na kraju

Slika 4. Emisija CO₂, opcija II

ispitana mogućnost smanjenja emisija ugljičnog dioksida većom zastupljenošću nuklearnih elektrana u ukupnoj proizvodnji. U razmatranja je uveden treći scenarij (opcija III), u kojem je pretpostavljen ulazak u

pogon dviju nuklearnih elektrana u razdoblju između 2001. i 2030. godine. Dinamiku ulazaka i izlazaka iz pogona prikazuje slika 5.

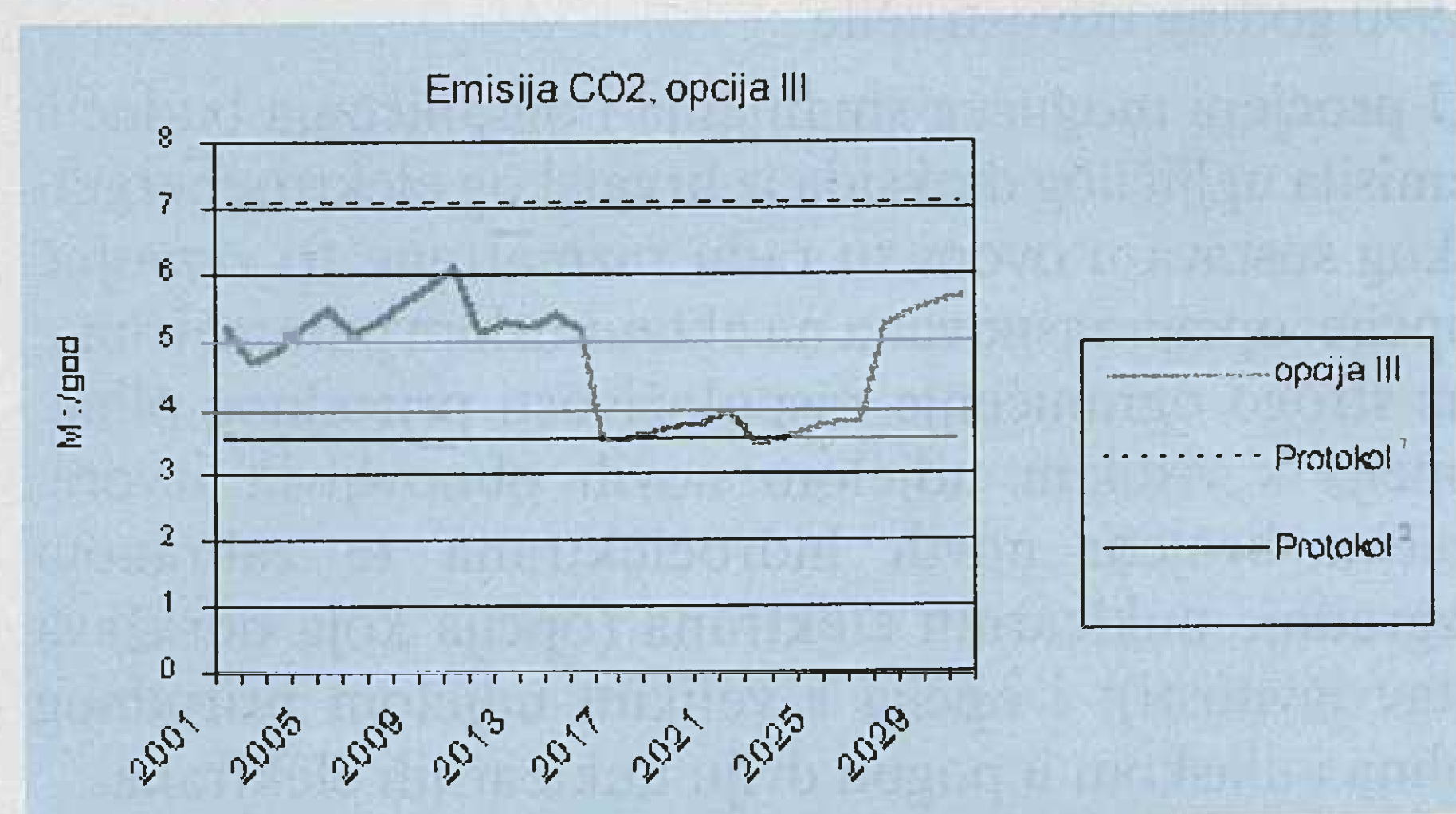
godini, što je neprihvatljivo s aspekta planiranog smanjenja emisija iz EES-a. Najniža emisija bila bi ostvarena u opciji III u kojoj izračunata emisija na kraju



Slika 5. Ulasci i izlasci elektrana iz pogona, opcija III

U opciji III oko 50% novih kapaciteta instalirano je u elektranama na plin. U pogon ulaze dvije nuklearne elektrane kapaciteta 600 MW, a u trećem desetljeću razmatranog razdoblja tri hidroelektrane i elektrana na ugljen snage 300 MW ulaze u pogon. Važno je spomenuti da je i ovaj scenarij malo vjerojatan, jer je pretpostavljena raspoloživost prirodnog plina veća od očekivane, a otpor javnosti je prevelik da bi do 2030. u pogon ušle dvije nuklearne elektrane, ali daje sliku o strogosti ograničenja koja bi mogla biti nametnuta hrvatskom EES-u i Hrvatskoj u cjelini.

U ovom je scenariju emisija CO₂ tijekom čitavog razdoblja ispod ograničenja postavljenog Protokolom iz Kyota, a u godini 2030. je na razini iz godine 2001, tj na oko 5,2 Mt (slika 6).

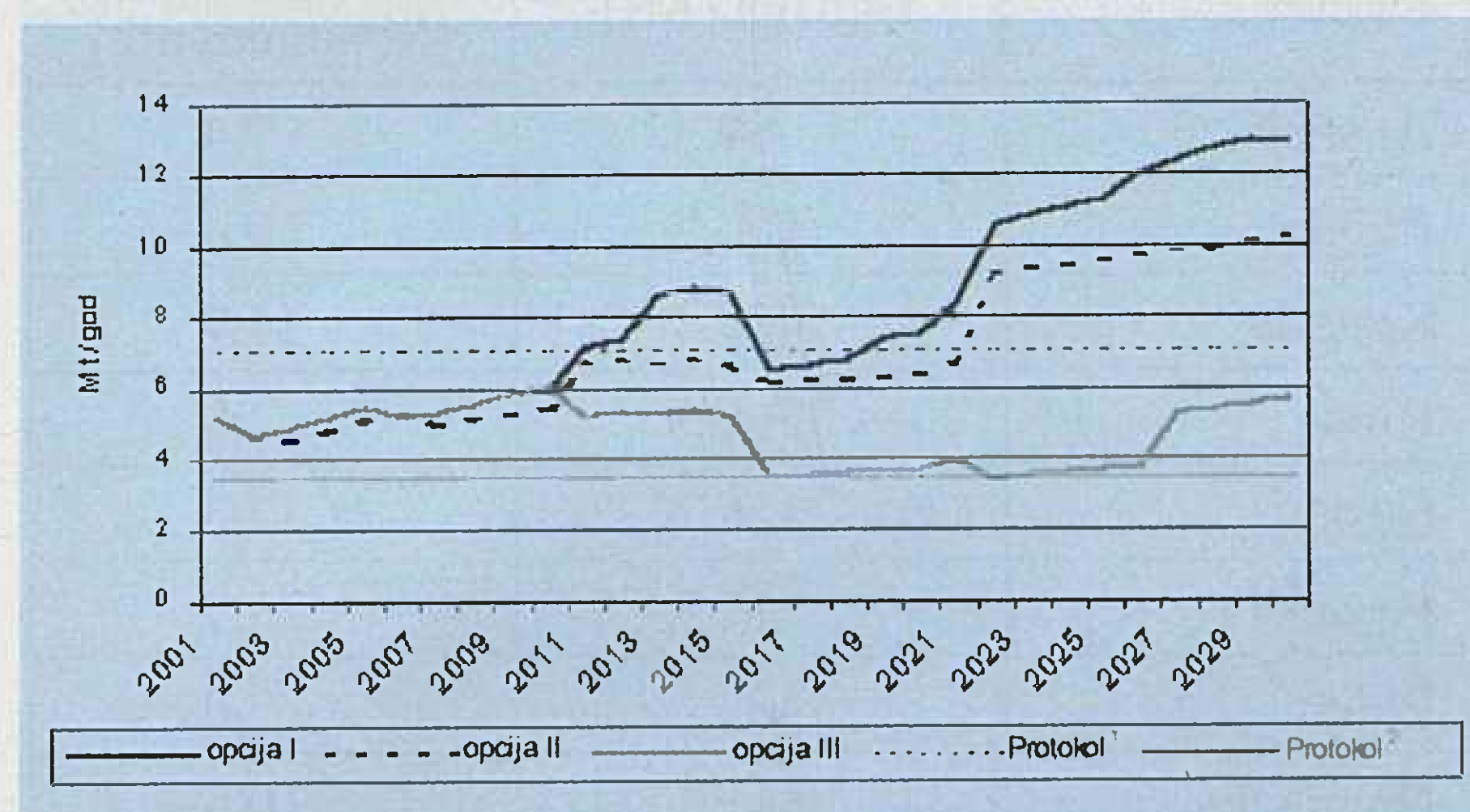


Slika 6. Emisija CO₂, opcija III

USPOREDBA ANALIZIRANIH SCENARIJA

Očekuje se da će emisija ugljičnog dioksida iz hrvatskog elektroenergetskog sustava 2001. godine iznositi oko 5 Mt. Najviša emisija na kraju analiziranog razdoblja pojavljuje se u opciji I, i iznosi oko 13 Mt u 2030.

razdoblja iznosi manje od 6 Mt. Usporedbu emisija ugljičnog dioksida kao i dva moguća ograničenja zadana Protokolom iz Kyota - sa i bez emisija iz hrvatskih termoelektrana smještenih izvan Republike Hrvatske - prikazuje slika 7.



Slika 7. Emisije CO₂ u tri razmatrane opcije

U opciji s dvije nuklearne elektrane moguće je zadovoljiti Protokol iz Kyota, pod uvjetom da će referentna razina emisija iz elektroenergetskog sustava biti ustanovljena tako da se emisijama nastalim na hrvatskom teritoriju dodaju emisije iz hrvatskih termoelektrana smještenih izvan Hrvatske. U slučaju da te emisije ne budu pridružene hrvatskim emisijama stakleničkih plinova, čak ni u opciji III s vrlo visokim udjelom prirodnog plina i dvije nuklearne elektrane nije moguće postići smanjenje i ograničenje emisije CO₂ propisano Protokolom.

Prema Protokolom, prosječna emisija iz EES-a između 2008. i 2012. godine ne bi smjela premašiti 7,1 odnosno 3,6 Mt, nakon čega bi morala biti zadržana ispod tih vrijednosti. Prosječne emisije u sve tri analizirane opcije prikazuje tablica 3.

Tablica 3. Prosječne emisije CO₂ (Mt/god) u analiziranim opcijama

	prosjeck 2008-2012.	prosjeck 2001-2030.	emisija CO ₂ u 2030.	dugoročni cilj 3,6 Mt/god	dugoročni cilj 7,1 Mt/god
Opcija I	6,37	8,13	12,93	ne	ne
Opcija II	5,86	6,96	10,22	ne	ne
Opcija III	5,59	4,71	5,65	ne	da

U sve tri analizirane opcije više ograničenje (7,1 Mt/god) neće biti premašeno prije 2008. godine. Međutim, emisiju bi trebalo zadržati ispod zadanog ograničenja tijekom čitavog razmatranog razdoblja što je omogućeno samo u Opciji III u kojoj u pogon ulaze dvije nuklearne elektrane. Važno je primijetiti da u slučaju kad u ukupnu razinu emisija 1990. godine ne bi bile uključene hrvatske termoelektrane smještene izvan državnih granica, niti u jednom od slučajeva ne bi bilo moguće postići 5 %-tno smanjenje emisija iz EES-a u odnosu na baznu godinu.

Zanimljivo je usporediti emisiju ugljičnog dioksida u Hrvatskoj s emisijom iz drugih zemalja. Uz ukupnu godišnju emisiju, važan pokazatelj je i emisija po glavi stanovnika, pa te podatke za 1996. godinu prikazuje tablica 4 [7].

Tablica 4. Emisije 1996. godine [7]

Država	Emisija (Mt)	Emisija (Mt/stanovnik)
Austrija	59,3	7,4
Belgija	106,0	10,4
Kanada	409,4	13,7
Kina	3365,5	2,8
Češka	126,7	12,3
Hrvatska	17,5	3,7
Italija	403,2	7,0
Njemačka	861,2	10,5
Poljska	356,8	9,2
SAD	5301,0	20,0

Kao što pokazuje tablica 4, ukupna emisija u Hrvatskoj kao i emisija po glavi stanovnika vrlo je niska u usporedbi s drugim europskim, čak i tranzicijskim, zemljama. Na temelju toga može se zaključiti da su ograničenja buduće emisije ugljičnog dioksida u Hrvatskoj propisana Protokolom iz Kyota izuzetno - možda čak i pretjerano - stroga.

ZAKLJUČAK

Mnoge posljedice klimatskih promjena koje čovjek može izazvati još uvijek su izuzetno neodređene, a izmijenit će se dvije ili tri generacije prije nego postanu primjetne. Međutim, već je danas očigledno da mnoge

ljudske aktivnosti uzrokuju porast koncentracije stakleničkih plinova što bi moglo dovesti do povišenja prosječne temperature na Zemlji te čitavog niza nepredviđenih pojava.

Dva najvažnija čimbenika koji pospješuju utjecaje ljudskih aktivnosti na okoliš su porast ukupnog broja stanovnika i stalan rast društvenog standarda, što je posebno značajno u zemljama u tranziciji i nerazvijenim zemljama. Kako je potrošnja energije usko povezana s kakvoćom života, a ujedno je i jedan od vodećih uzroka emisije ugljičnog dioksida, razvojne opcije elektroenergetskog sustava moraju se pažljivo razmotriti s aspekta utjecaja na okoliš i budućih emisija stakleničkih plinova. Među različitim oblicima energije koji su potrebni u modernom životu, električna je energija povezana s najvećim novčanim ulaganjima, a odluke o razvoju elektroenergetskog sustava donose se pažljivo i sustavno. Upravo zbog toga, elektroenergetski sektor ima možda najznačajniju ulogu u potrazi za strategijama smanjenja emisije stakleničkih plinova.

Oko 75% ukupne emisije ugljičnog dioksida posljedica je izgaranja fosilnih goriva, a u potrošnji fosilnih goriva proizvodnja električne energije sudjeluje s oko 40%. Da bi se smanjila emisija ugljičnog dioksida očigledno je da moraju biti prihvaćene proizvodne tehnologije koje se ne zasnivaju na izgaranju fosilnih goriva, a to su hidroenergija, novi obnovljivi izvor i nuklearna energija.

Hrvatska je jedna od potpisnica Protokola iz Kyota koji ju obvezuje da emisiju stakleničkih plinova smanji za 5 % u odnosu na emisiju iz tzv. bazne godine. Očekuje se da će kao bazna godina biti izabrana 1990. Kako je nekoliko termoelektrana u vlasništvu Hrvatske elektroprivrede smješteno izvan područja Republike Hrvatske - u Srbiji i Bosni i Hercegovini, još uvijek nije postignut dogovor oko toga da li će ukupnim emisijama u Hrvatskoj biti pribrojene emisije iz tih elektrana, čime bi se emisije iz elektroenergetskog sustava 1990. godine udvostručile.

U procjeni mogućeg smanjenja i ograničenja budućih emisija ugljičnog dioksida iz hrvatskog elektroenergetskog sustava u ovom su radu razmatrane tri razvojne opcije: opcija zasnovana na ekonomskim parametrima, uz strogo ograničenje raspoloživosti prirodnog plina; opcija s visokim udjelom novih obnovljivih izvora, većim brojem novih hidroelektrana te zabranom izgradnje nuklearnih elektrana (opcija koja odražava stav javnosti); i opcija s velikim udjelom prirodnog plina i ulaskom u pogon dviju nuklearnih elektrana.

Pokazano je da je mogućnost smanjenja i ograničenja emisije ugljičnog dioksida iz elektroenergetskog sustava na iznos koji je manji od 95 % vrijednosti iz 1990. godine, pod pretpostavkom da su emisije termoelektrana smještenih izvan Hrvatske uključene u ukupne emisije, osigurana jedino u opciji s dvije nuklearne elektrane u elektroenergetskom sustavu. U slučaju da te emisije ne budu uključene u ukupne emisije, 5 %-tno

smanjenje emisija iz EES-a u odnosu na 1990. godinu ne bi bilo moguće čak ni u slučaju da prije 2030. godine dvije nuklearne elektrane budu izgrađene i puštene u pogon. Važno je, međutim, naglasiti da će Protokolom iz Kyota biti regulirana emisija svih stakleničkih plinova, iskazanih kao ekvivalentni CO₂, na razini čitave države, a ne na razini pojedinih sektora. Kako proizvodnja električne energije pruža veće mogućnosti ograničenja emisije CO₂ nego drugi sektori koji pridonose stakleničkim emisijama, primjerice promet, moguće je da će zahtjevi za smanjenjem emisija iz elektroenergetskog sustava biti stroži no što je pretpostavljeno u ovom radu.

Konačno, potrebno je još jednom istaknuti da svrha razmatranja ovih razvojnih opcija nije predviđanje budućeg razvoja hrvatskog elektroenergetskog sustava, nego skretanje pažnje na ozbiljne poteškoće s kojima će se susresti hrvatski elektroenergetski sustav i Hrvatska u cjelini u nastojanju da se buduće emisije ugljičnog dioksida zadrže na razini koju zahtijeva Protokol iz Kyota.

LITERATURA

- [1] Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties, Third session, Agenda item 5, 1997
- [2] Official Website of the Fifth Conference of the Parties, COP5, to UNFCCC: <http://www.unfccc.de/resource/kpstats.pdf>, 13. rujna 2000.
- [3] Leydon et al: Energy and Electricity Supply and Demand, Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Key Issue Papers, IAEA, Vienna, 1991
- [4] EI "Hrvoje Požar": Projekt razvoja i organizacija hrvatskog elektroenergetskog sustava, Zagreb, 1995
- [5] Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za prijenos i upravljanje: Godišnja proizvodnja, Zagreb, 1996
- [6] D. FERETIĆ, Ž. TOMŠIĆ, T. KOVAČEVIĆ, M. BOŽIČEVIĆ: "Case Study for Croatian Electrical Energy System on Comparing Sustainable Energy Mixes for Electricity Generation", studija, Zagreb, 2000
- [7] World Bank: World Development Report 1999/2000, Washington, SAD, 2000

FUTURE CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE CROATIAN ELECTRIC POWER SYSTEM

Croatia is one of the countries that signed the Kyoto Protocol obliging it to reduce the emission of green-house gases (GHG) by 5 per cent related to the emission of the reference year. The Protocol is going to become effective only after the ratification of 55 countries that signed it, which are responsible for 55 per cent of the GHG emissions from countries included in Annex B of the Kyoto Protocol. The Croatian Parliament has not signed the Protocol yet. However, although it is not a legal obligation, Protocol creates

an important framework for development planning of each country, thus also for Croatia. It is expected that the Croatian government will choose 1990 as the reference year in relation to which future GHG emissions will be analysed. As the electric energy production plays an important role in the total GHG emissions, the possibilities to reduce these emissions are to be analysed very carefully. Three different Croatian electric power system development scenarios have been analysed and the difficulties the system is going to face if total emissions are to be reduced by 5 per cent related to 1990. As nuclear plants present a developed and economically justified technology for electric energy production with no carbon dioxide emissions, the possibility to reduce future carbon dioxide emissions from the Croatian electric power system using nuclear power has been analysed. Three different development scenarios are given, differing from each other by having various numbers of nuclear power plants and the corresponding carbon dioxide emission in each option. The reduction of carbon dioxide emissions is calculated as a result of exchange of a part of fossil fuel fired plants into nuclear plants. It is estimated how many nuclear plants will have to be built until the year 2030 to keep the carbon dioxide from the Croatian electric power system on the 5 per cent level less than in 1990.

KÜNFTIGE KOHLENDIOXID EMISSIONEN AUS DEN KROATISCHEN STROMERZEUGUNGSANLAGEN

Als eines der Signatarstaaten des Kyoto-Protokolls, ist Kroatien verpflichtet, die Emission der Glashauss-effektgase um 5 % gegenüber dem Emissionspegel im Referenzjahr zu reduzieren. In Kraft treten wird das Protokoll erst nach Ratifizierung seitens jener 55 Signatarstaaten welche mit einer Beteiligung von 55 % an der Emission der Glashauss-effektgase unter Bestimmungen des Annexes B des Kyoto-Protokolls fallen. Das kroatische Parlament hat diesen Protokoll noch nicht ratifiziert. Wenngleich dieses Protokoll keinen gesetzlichen Zwang darstellt, bestimmt es einen bedeutenden Rahmen für die Planung der Entwicklung eines jeden Staates, so auch Kroatiens. Seitens kroatischer Behörden wird die Wahl des Jahres 1990 als das Referenzjahr für die Erörterung künftiger Emissionen der Glashauss-effektgase erwartet. Da die Stromerzeugung eine bedeutende Rolle in der gesamten Emission der Glashauss-effektgase hat, muß die Möglichkeit der Einschränkung aus den Stromerzeugungsanlagen herkommender Emissionen mit besonderer Aufmerksamkeit in Betracht gezogen sein. Durchgeführt wurde der Vergleich dreier vorausgesetzten Entwicklungen des kroatischen Stromerzeugungssystems und dabei jene Schwierigkeiten überlegt mit denen das System, für den Fall der Notwendigkeit der Schrumpfung von Gesamtemissionen um 5 % im Bezug auf das Jahr 1990, gegenübergestellt wird. Da Kernkraftwerke ein entwickeltes und wirtschaftlich annehmbares von Kohlendioxidemission freies Energieerzeugungsverfahren darstellen, ist die Minderung künftiger Emissionen dieses Gases aus den kroatischen Stromerzeugungsanlagen durch Anwendung der Kernkraft überlegt. Dargestellt wurden drei Wahlmöglichkeiten des Stromerzeugungssystems, welche sich durch die Anzahl von Kernkraftwerken im Betrieb unterscheiden, sowie die Kohlendioxidemission für jede der Möglichkeiten. Berechnet wurde die Schrumpfung der Kohlendioxidemission als Folge des Ersetzens eines Teiles von Dampfkraftwerken mit

Kernkraftwerken. Abgeschätzt ist wieviele Kernkraftwerke im Berieb notwendig wären um im Zeitabschnitt bis zum Jahre 2030 die Kohlenstoffemissionen aus dem kroatischen Stromerzeugungssystem auf einem um 5 % niedrigeren Pegel im Bezug auf das Jahr 1990 aufrechtzuerhalten.

Naslov pisaca:

Mr. sc. Maja Božičević, dipl. ing.
mr. sc. Željko Tomšić, dipl. ing.
Dražen Jakšić, dipl. ing.
Zavod za visoki napon i energetiku
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2000-10-09.

KROATISCHEN STROMERZUGANGSANLAGEN AUS DEN KÜNFTIGE KOHLENDIOXID EMISSIONEN AUS DEN

Als eines der Signatarstaaten des Kyoto-Protokolls ist Kroatien verpflichtet, die Emission der Glashaushaltgas um 5 % gegenüber dem Emissionspegel im Referenzjahr zu reduzieren. In Kroatien wird das Protokoll erst nach Ratifizierung seitens jener 55 Signatarstaaten, welche mit einer Beteiligung von 55 % an der Emission der Glashaushaltgas unter Bestimmungen des Annexes B des Kyoto-Protokolls fallen. Das kroatische Parlament hat die Ratifizierung nicht ratifiziert. Weingleich dieses Protokoll keinen gesetzlichen Zwang darstellt, bestimmt es ein bestimmtes Rahmen für die Planung der Entwicklung eines jeden Landes, so auch Kroatiens. Solange kroatische Behörden wird die Wahl des Jahres 1990 als das Referenzjahr für die Erreichung künftiger Emissionen der Glashaushaltgas erwartet, da die Stromerzeugung eine bedeutende Rolle in der gesamten Emission der Glashaushaltgas hat, muß die Möglichkeit der Einschränkung aus den Stromerzeugungsanlagen herkömmlicher Emissionen mit besonderer Aufmerksamkeit in Betracht gezogen sein. Grundgedanke wurde der Vergleich der verschiedenen Entwicklungen der kroatischen Stromerzeugungssysteme und dabei jene Schwierigkeiten, die mit dem System, für den Fall der Notwendigkeit der Schumpfung von Gesamtemissionen um 5 % im Bezug auf das Jahr 1990 gegenübergestellt wird. Da Kernkraftwerke ein entwickeltes und wirtschaftlich anerkanntes von Kohlendioxidemission-freies Energiesystem gutgeheißen darstellen, ist die Minderung künftiger Emissionen dieses Gases aus der kroatischen Stromerzeugungssystemen durch Anwendung der Kernkraft überlegt dargestellt wurden drei Wahrscheinlichkeiten der Stromerzeugungssysteme, welche sich durch die Anzahl von Kernkraftwerken im Betrieb unterscheiden, sowie die Kohlendioxidemission für jede der möglichen Betriebsarten wurde die Schumpfung der Kohlendioxidemission als Folge des Ersetzens eines Teiles von Dampfstromkraftwerken mit

LITERATURA

[1] Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties, Third Session, September 2, 1997.
[2] Official Website of the Fifth Conference of the Parties, COP5, in UNFCCC, <http://www.unfccc.int>, source: 2000.
[3] London et al. Energy and Electricity Supply and Demand Sector Expert Symposium on Electricity and the Environment, Key Issue Paper, IAEA, Vienna, 1997.
[4] El-Harigi, F.: Projektovanje i izgradnja hrvatskog elektricitetskog sustava, Zagreb, 1995.
[5] Hrvatska elektricitetska Distribucija za prijavu i upravljanje Godišnjim proizvodnjom, Zagreb, 1999.
[6] D. FERIĆ, Ž. TOMŠIĆ, T. KOVAČEVIĆ, M. BOŽIČEVIĆ: "Case Study for Croatian Electric Energy System on Comparison of Alternative Energy Mix for Electric Generation", Energy, Zagreb, 2000.
[7] World Bank: World Development Report 1999/2000, Washington, 2000.

FUTURE CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE CROATIAN ELECTRIC POWER SYSTEM

Croatia is one of the countries that signed the Kyoto Protocol obliging it to reduce the emission of green-house gases (GHG) by 5 per cent related to the emission of the reference year. The Protocol is going to become effective only after the ratification of 55 countries that signed it, which are responsible for 55 per cent of the GHG emissions from countries included in Annex B of the Kyoto Protocol. The Croatian Parliament has not signed the Protocol yet. However, the possibility of electricity production from nuclear power plants is being considered, as well as the possibility of reducing the carbon dioxide emissions as a result of the replacement of some of the steam power plants with