

KRITERIJI PRIGODOM IZBORA FOSILNIH GORIVA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE U TERMoeLEKTRANAMA - VAŽAN SU ISKORAK U PRAVCU UČINKOVITE UPORABE ENERGETSKIH RESURSA

Dr. sc. Radmilo Pr o t i ć, Zagreb

UDK 621.31.25
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Stalan rast potrošnje el. energije posljedica je niza čimbenika koji pozitivno djeluju da potrošnja el. energije brže raste nego potrošnja primarne energije.

Za ilustraciju kretanja potrošnja el. energije u svijetu, navodi se da je u razdoblju od 1980.-1990. godine stopa rasta proizvodnje primarne energije iznosila 2,3%, a el. energije 3,5%. Takav trend će se održati i u budućnosti, jer se predviđa da će u razdoblju od 1990. do 2020. godine godišnje stope rasta potrošnje primarne energije iznositi 1,4%, a el. energije 2,3%.

Koji je uzrok povećanoj tražnji el. energije u svijetu, a time i sve veći broj opcija koje se nude za pokriće rastućih potreba?

Mnogo je čimbenika koji direktno ili pak indirektno djeluju na dinamičnu tražnju el. energije.

- Porast populacije u svijetu će u razdoblju od 1990. do 2020. godine doseći brojku od 8,1 milijardi stanovnika, u odnosu na 1990. kada je iznosio 5,3 milijarde uz stopu rasta od 1,4%. Prema procjeni UN ukupna urbanizirana područja u svijetu u 2025. godini iznositi će 65% stanovništva u odnosu na 50% danas.
- Povećanje potrošnje el. energije kao posljedica promjena u gospodarstvu (uslužne djelatnosti, mehanizacija, automacija, kibernetika i dr.).
- Razina društvenog standarda u razvijenim zemljama omogućuje potrošaču da plati i višu cijenu el. energije koju koristi za grijanje u odnosu na druge izvore i oblike energije, jer osim što je čista, pruža mu veći komoditet prigodom uporabe.

U razvijenim zemljama s toplom i vlažnom klimom el. energija se koristi za hlađenje uz opasku da je prirodni plin sve prisutniji i na tom tržištu.

Imajući u vidu konstantni rast potrošnje el. energije, to je izbor goriva za proizvodnju el. energije u termoelektranama važan čimbenik u racionalnoj uporabi energije.

Na temelju analize može se zaključiti da je prirodni plin najpovoljnije gorivo za proizvodnju el. energije u termoelektranama na današnjem stupnju tehnološkog razvitka u odnosu na ugljen i naftu.

Ključne riječi: energija, potrošnja energije, fosilna goriva, energetska politika, ugljen, nafta, prirodni plin, zaštita okoliša.

Uvod

Proizvodnja i potrošnja el. energije mora se promatrati imajući u vidu stupanj gospodarskog razvitka pojedinih zemalja i regija u svijetu, te klimatskih uvjeta. Čimbenik koji igra važnu ulogu u odabiru fosilnih goriva za proizvodnju el. energije jest raspoloživost vlastitih izvora (posebno ugljena), koji određuje strukturu uporabe fosilnih goriva za slijedećih 20-50 godina.

Razmatranje proizvodnje i potrošnje el. energije mora biti multidisciplinarno, jer je energetika kao posebna industrijska djelatnost složena i kompleksna. Uvjetovanost potrošnje el. energije rezultat je niza čimbenika koji čine mozaik i sažima se u podržavanoj energetskej politici zemlje, a sve više i regije u kojoj dolaze do izražaja komplementarni interesi.

Utjecaj monopola otežava transparentnost tokova dobara, a posebno informacija o novim tehnologijama, što još više otežava položaj zemalja u razvitku.

Porast populacije u svijetu značajan je faktor od kojeg zavisi opseg potrošnje energije, a posebno el. energije. Činjenica je da, međutim, jednoj trećini stanovništva u svijetu nije dostupna komercijalna energija; podatak koji ozbiljno zabrinjava. Svijet ulazi u treći milenij u kojem se očekuje uvođenje novih tehnologija koje će dobro izmijeniti postojeću strukturu energetske proizvodnje i potrošnje (fuzija, vodik i dr.). Ključni elementi svake strategije o razvitku energije trebao bi biti što povoljnija energetska učinkovitost te razvitak novih tehnologija u smjeru proizvodnje i potrošnje energije koja emitira manje štetnih plinova, uz manja ulaganja i veću ekonomsku učinkovitost.

1. ČIMBENICI KOJI DJELUJU NA PROIZVODNJU I POTROŠNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

1.1. Broj stanovništva u svijetu u 1990. godini iznosio je 5.3 milijarde, da bi uz stopu rasta od 1,4% u 2020. godini dosegao 8,1 milijardu. Prema procjeni UN ukupna urbanizirana područja u svijetu u 2025. godini iznositi će 65% stanovništva u odnosu na 50% danas. U 1990. godini postojale su 34 urbane aglomeracije s najmanje 5 mln. stanovnika, te 300 gradova čija populacija prelazi jedan mln. stanovnika. Urbana naselja troše 60-80% ukupne energije neke zemlje. (Naprimjer, u Velikoj Britaniji 75% energije se troši u gradovima). Urbanizacija je često faktor koji igra značajnu ulogu u gospodarskom razvitku nacije, što povlači za sobom i povećanu potrošnju energije, a posebno el. energije⁽¹⁾.

1.2. Potrošnja el. energije brže raste nego potrošnja primarne energije. Godišnja stopa rasta potrošnje primarne energije u svijetu za razdoblje od 1980.-1990. godine iznosila je 2,3%, a el. energije 3,5% ili 52% više. U budućem razdoblju (1990.-2020.) očekuju se stope rasta od 1,4% i 2,3%⁽²⁾.

Razvitak postindustrijskog društva traži sve veće količine el. energije kao posljedica porasta mehanizacije, automacije, kibernetike te uslužnih djelatnosti. Zanimljivo je da u Japanu na servise i uslužne djelatnosti otpada 56% od ukupne utrošene energije u gospodarstvu⁽³⁾.

1.3. Razina društvenog standarda u razvijenim zemljama omogućuje potrošaču da plati i višu cijenu el. energije koju koristi za grijanje u odnosu na druge izvore i oblike energije, jer osim što je čista, pruža mu i veći komoditet prigodom uporabe. Zanimljivo je da potrošnja el. energije u razvijenim zemljama, po stanovniku iznosi godišnje 13.000 KWh, a u zemljama u razvitku svega 600 KWh.

Treba imati na umu da prigodom korištenja el. energije nema emisije otrovnih plinova, koji nastaju u procesu proizvodnje u termoelektranama na fosilna goriva. Zagađenje okoliša prebačeno je na manje osjetljiva područja nego što su to urbana naselja.

1.4. U zemljama s toplom i vlažnom klimom, ali i sa suhim i žarkim ljetom, uporaba klimatizacije sve je prisutnija. Donedavno el. energija se isključivo koristila za klimatizaciju. U posljednje vrijeme, međutim, sve je veće korištenje prirodnog plina u području klimatizacije (Japan, SAD i dr.).

U vrijeme vršnog opterećenja potrošnja el. energije za pogon klimatizacije, u ljetnim mjesecima, iznosi 40% od ukupne potrošnje s tendencijom porasta el. energije za pokriće opterećenja. U SAD-u 95% energije za klimatizaciju otpada na el. energiju, a svega 5% na prirodni plin, dok u Japanu omjer iznosi 83,5% prema 16,5%⁽⁴⁾.

2. KRITERIJI ZA IZBOR FOSILNIH GORIVA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE U TERMOELEKTRANAMA

2.1. Značajno mjesto u gospodarenju u proizvodnji i potrošnji el. energije zauzimaju prihvaćeni kriteriji za izbor fosilnih goriva za proizvodnju el. energije u termoelektranama. Prihvaćanje kriterija važan je preduvjet za vođenje podržavane energetske politike zemlje.

Navedeni kriteriji mogu biti dopunjeni zavisno od konkretne energetske i gospodarske situacije te klimatskih uvjeta u pojedinim zemljama:

- sigurnost u opskrbi gorivom;
- raspolaganje vlastitim izvorima energije;
- struktura gospodarstva i predvidivi razvitak;
- mogućnost primjene suvremenih tehnologija;
- ekonomska učinkovitost (troškovi materijala, troškovi proizvodnje, stopa povrata kapitala);
- cijene energije;
- prihvatljiva razina tehnološkog i komercijalnog rizika;
- ekološka učinkovitost;
- diverzifikacija energetskih izvora.

2.2. Proizvodnja el. energije u termoelektranama zahtijeva sve veće količine fosilnih goriva. Tako je u 1980. godini bilo utrošeno 30% fosilnih goriva za proizvodnju el. energije u svijetu, u 1990. 36% kao i u 1992. godini. Procjenjuje se da će u 2010. godini postotak iznositi 40%⁽⁵⁾.

Suvremene tehnologije u proizvodnji el. energije koje koriste fosilna goriva (ugljen, naftu i prirodni plin) važni su čimbenici koji pridonose energetske sigurnosti, kreirajući istodobno obje opcije za budućnost i energetske učinkovitost i zaštitu životne sredine.

Usporedbom raznih izvora energije za proizvodnju el. energije (ugljen, nafta, prirodni plin) postižu se i različite tehnološke učinkovitosti, što ima odraza na ekonomičnost proizvodnje el. energije i opseg onečišćenja.

Primjenom najnovijih tehnologija u proizvodnji el. energije korištenjem ugljena i prirodnog plina očekuje se učinkovitost i to kod Integrated Coal Gasification Combined Cycle (I(C)G CC) od 46-47%, a kod CCGT (Combined Cycle Gas Turbine) od 55-60%⁽⁶⁾.

Efikasnost ICGCC zavisit će od troškova kapitala, troškova goriva te operativnih troškova koji sadrže i troškove "sorbent injection" te troškove zaliha sirovina (ugljena). Troškovi kapitala obuhvaćaju i investicije u FGD ("Flue Gas Desulphurisation") kao i troškove odstranjivanja. No, ako je to potrebno. Primjena tehnologija plinifikacije, karakteristike sirovina kao i integriranost konstrukcija postrojenja, važni su čimbenici od kojih zavisit ekonomičnost proizvodnje.

Važno je spomenuti da su danas u pokaznoj fazi četiri termoelektrane na ugljen od 250 MWe (IGCC) i to u SAD 2, Nizozemska 1, te Španjolska 1, sa četiri različite tehnologije⁽⁶⁾.

2.3. Prirodni plin koji se koristi za postrojenja IGCC je u prednosti u odnosu na ostala fosilna goriva zbog svoje čistoće, visoke učinkovitosti, nižih troškova kapitala. Većina postrojenja se gradi u područjima gdje su niske cijene prirodnog plina ispod US\$ 2.50/GJ te je plin na raspolaganju za duže vrijeme opskrbe. Međutim, u područjima gdje je cijena uvoznog LNG iznad US\$ 4.50/GJ postrojenja su konkurentna s postrojenjima pogonjena plinom kombiniranog ciklusa ("Gas Fired C. C."). Ona su, također konkurentna i kod korištenja kapaciteta termoelektrana na ugljen.

2.4. U dekadi tijekom koje je zaštita životne sredine ušla u djelokrug političkih odluka, inherentna čistoća plina je jedna od ključnih komponenata u ubrzanju potražnji. U usporedbi s ugljenom i naftom, plin je čisto gorivo koje emitira vrlo nisku razinu SO₂, minimalne količine NO_x, a sagorijeva bez čestica. Prirodni plin emitira manje količine CO₂ koji je važan sudionik u globalnom zatopljenju.

Prirodni plin je pogodan izvor energije, ne zahtijeva uskladištenje te minimalne zahtjeve u pogledu rukovanja; nakon sagorijevanja nema pepela niti taloga ("sludge waste"). Prirodni plin je posebno učinkovito gorivo u elektroenergetskom sustavu. S obzirom na brze promjene u tehnologiji, njegov je prodor vrlo snažan.

2.5. Tehnologija plinske turbine brzo se razvila od 80-tih godina, kao rezultat koncentriranih vojnih programa ("military jet engine") te prestanka zabrane uporabe prirodnog plina za proizvodnju električne energije. Konkurencija između proizvođača plinskih turbina bila je podržavana daljnjim tehničkim razvojem. Učinkovitost je bila poboljšana povećanjem stalne temperature izgaranja. Konstruktori su razvili nove tehnike izgaranja, bolje hlađenje i uveli nove materijale sposobne da izdrže visoke temperature. Jedinice visoke učinkovitosti (od 50-55%) zahtijevaju uporabu prirodnog plina ili destilata nafte kako bi se izbjeglo onečišćenje turbine i povećala učinkovitost konverzije.

Troškovi izgradnje se kreću od 300 do 600 \$US kWe; a troškovi održavanja su mali i zahtijevaju minimalan broj osoblja. Kratko vrijeme izgradnje i niski troškovi uloženog kapitala za jednostavne plinske turbine ("simple cycle"), posebno su pogodne za izravnavanje vršnih opterećenja u potrošnji. Zbog svoje visoke učinkovitosti, plinske tur-

bine su privlačne i kod godišnje proizvodnje od 4400 sati, tj. 50% od godišnjeg kapaciteta. Kombinirani ciklus plinske turbine je ekonomičan za proizvodnju srednjeg ili niskog kapaciteta. Ispušni plinovi ("exhaust heat") plinske turbine koriste se kako bi se povećala količina pare za pokretanje parne turbine. Efikasnost CCGT je obično 50%, a 55% za velika postrojenja i pri teškim uvjetima rada. Novi modeli plinske turbine približavaju se 60% temeljnom opterećenju ("base load"). Danas su CCGT najefikasnija postrojenja koja koriste fosilna goriva za proizvodnju el. energije.

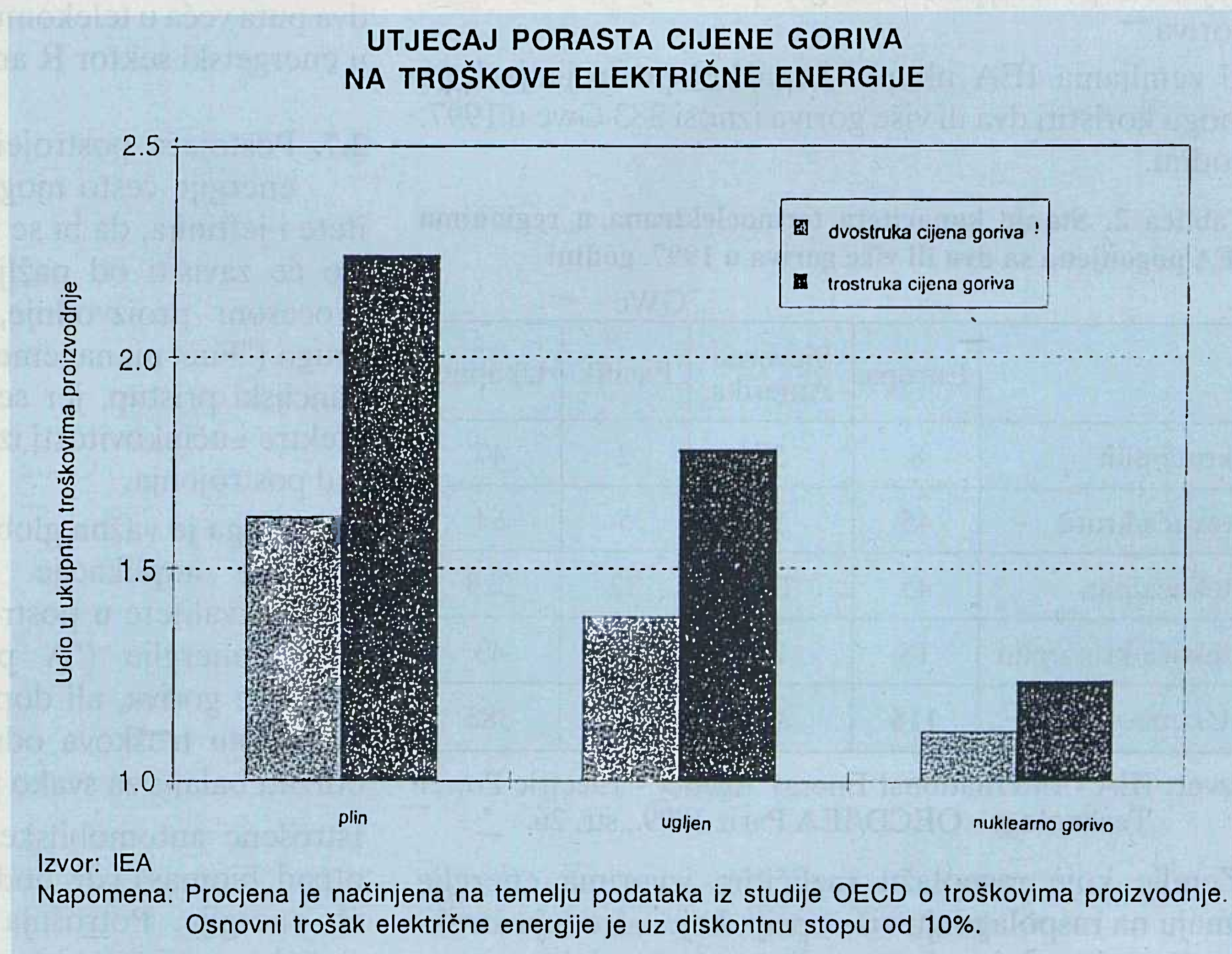
Tablica 1. Prosječna veličina kapaciteta CCGT, troškovi kapitala te dužina izgradnje u zemljama OECD

Tip postrojenja	Kapacitet kWe	Troškovi kapitala US\$ kWe	Dužina izgradnje-godina
Kombinirani ciklus plinske turbine (CCGT)	530	700	4,4
Termoelektrana koja koristi kao gorivo ugljen	750	1350	5,6
Nuklearna termoelektrana	1240	1900	6,6

Izvor: lit. 15 str. 31

Opaska: Brojke su zaokružene i odnose se samo na postrojenja u zemljama OECD - Troškovi kapitala su bez interesne stope, nepredvidivih izdataka i velikih popravaka, odnosno obnove postrojenja.

Proizvodnja električne energije je konkurentna, ako se koristi plinska turbina pogonjena prirodnim plinom. Međutim, ukupni troškovi postrojenja CCGT su mnogo osjetljiviji u slučaju povećanja cijena goriva nego kod drugih tehnologija koje proizvode električnu energiju (slika 1).



Slika 1.

U nastavku će se prikazati neke važnije prednosti CCGT pogonjena plinom, u odnosu na komercijalne termoelektrane na ugljen:

- cijena instaliranog postrojenja CCGT iznosi 400-500 \$kW ili polovicu troškova komercijalne termoelektrane na ugljen na FGD, istog kapaciteta;
- termoelektrana može biti sagrađena za 30-36 mjeseci ili 70% potrebnog vremena za ekvivalentno postrojenje na ugljen;
- zahtijeva samo 40% hladne vode u usporedbi s postrojenjem na ugljen i svega 15% prostora za izgradnju;
- učinkovitost plinskog postrojenja CCGT iznosi 55%, u usporedbi sa 38% tipičnog postrojenja na ugljen uz opasku da plinsko postrojenja manje emitira CO₂ i NO_x;
- postrojenja CCGT vrlo su fleksibilna u radu i mogu se jednostavno prilagoditi fluktuaciji potražnje el. energije;
- postrojenja CCGT su građena tako da se jednostavno može s malim investicijama povećati kapacitet ("modular form")⁽⁷⁾.

2.6. Konkurentnost pruža više opcija da se na postrojenjima za proizvodnju el. energije koriste razna goriva, posebno ona koja imaju niske cijene. Sposobnost da se brzo prijeđe s jednog goriva na drugo, koristeći momentalno povoljnu situaciju na tržištu, omogućava proizvođaču da snizi takva goriva i tako ostvari profit, a istodobno mogu prodati količine goriva koja ne koriste. Činjenica je da tijekom godine postoje varijacije u relativnim odnosima cijena goriva. Zbog toga se isplati investirati u sistem postrojenja koja su osposobljena da mogu upotrebljavati više vrsta goriva.

U zemljama IEA ukupni kapacitet postrojenja koja mogu koristiti dva ili više goriva iznosi 383 Gwe u 1997. godini.

Tablica 2. Stanje kapaciteta termoelektrana u regionima IEA pogonjena sa dva ili više goriva u 1997. godini

	GWe			
	Europa	Sjeverna Amerika	Pacifik	Ukupno
kruta/plin	8	37	2	47
tekuća/kruta	45	14	5	64
tekuća/plin	45	162	22	229
tekuća/kruta/plin	18	24	1	43
Ukupno	116	237	30	383

Izvor: IEA - International Energy Agency - Electric Power Technology - OECD/IEA Pariz 1999., str. 26.

Zemlje koje raspolažu različitim izvorima energije imaju na raspolaganju više opcija koje određuju strukturu proizvodnje el. energije u termoelektranama, zavisno od podržavane energetske politike zemlje i

prilika na svjetskom tržištu. Zemlje s velikim zalihama ugljena, koriste ga u znatnoj mjeri, a negdje pretežno ugljen kao gorivo za termoelektrane, kao naprimjer: Poljska 97%, J. Afrika 93%, Australija 85%, Kina 80%, Indija 75%, Češka Republika 74%, Grčka 72%, Danska 67%, SAD 57%, Njemačka 52%, Nizozemska 43% te EU₁₅ 29%. Podaci se odnose na 1997. godinu⁽⁸⁾.

Razvitak novih tehnologija u proizvodnji el. energije koje koriste ugljen, kao gorivo, bit će čvrst oslonac i u budućoj proizvodnji el. energije. Međutim, zemlje koje uvoze energiju (naftu, prirodni plin i eventualno ugljen) izbor goriva za proizvodnju el. energije, bit će podvrgnute kriterijima navedenim u poglavlju 2.

U zemljama s velikim zalihama i proizvodnjom ugljena, proizvodnja ugljena predstavlja značajnu industrijsku djelatnost koja doprinosi rastu ukupnog društvenog bruto proizvoda uz opasku da u kombi postrojenjima s integriranim rasplinjavanjem ugljena postotak SO₂ smanjuje se za 99% uz istodobno sniženje i emisije NO_x.

Tehnologija nastupa ne samo kao prinuda u razvitku svjetskog energetskeg sustava, već i kao veliki iskorak za dobrobit rastuće populacije u svijetu. Međutim, podatak koji zabrinjava je da se javna ulaganja u R and D u svijetu energetskeg sektora smanjuju i to: u zemljama IEA za 25%, u zemljama EU za 60%, u SAD za 80% te u zemljama u tranziciji za 70-90%. Jedino Japan održava ulaganja u javni sektor sa 5 milijardi US\$ godišnje. (Podaci se odnose na razdoblje 1985-1995. godine). Privatni sektor u SAD smanjio je ulaganje od US\$ 4,4 milijarde u 1985. na 2,6 milijarde US\$ u 1994. godini ili za 40%⁽⁹⁾.

Zanimljivo je da su ulaganja privatnog sektora više od dva puta veća u telekomunikacije i biotehnologiju nego u energetskeg sektora R and D.

2.7. Postojeća postrojenja za proizvodnju električne energije često mogu koristiti gorivo slabije kvalitete i jeftinija, da bi se ostvarila ušteda u troškovima, što će zavisiti od pažljivog postupanja s opremom, procesom proizvodnje, održavanjem postrojenja i drugo ("Fuel management software"). To nije samo financijski pristup, jer se to odražava i na tehnološke efekte i učinkovitosti izborom raznih oblika goriva za rad postrojenja.

Zbog toga je važna globalna procjena koja uključuje i tehničke implikacije. Naprimjer, koristeći ugljen slabije kvalitete u postrojenjima za proizvodnju električne energije ("A power plant boiler") snizuje troškove goriva, ali doprinosi manjoj učinkovitosti ili povećanju troškova održavanja. Zbog toga je važno održati balans za svako postrojenje.

Istrošene automobilske gume, otpadno ulje, gradski otpad, biomasa i dr. dodaju se u tokove za proizvodnju el. energije. Potrošnja petrolejskog koksa ubrzano raste kao gorivo u termoelektranama na ugljen u SAD, iz razloga ekonomičnosti.

Međutim, goriva slabije kvalitete mogu prouzročiti povećanu emisiju plinova (CO_2 , SO_2 , NO_x i dr.) o čemu treba posebno povesti računa.

Emulzija teških ulja mogla bi biti komercijalno interesantna, u nekim slučajevima, gdje se teško loživo ulje ne koristi (lokalno) za proizvodnju električne energije, a moglo bi se transportirati na ekonomski opravdanu udaljenost do termoelektrane. To bi mogao biti slučaj kad rafinerije nafte imaju na raspolaganju loživo ulje, ali ne žele razvijati vlastitu proizvodnju električne energije. To je također slučaj s "Orimulsion" emulzija s prirodnim bitumenom koja je na tržištu poznata kao "Bitar SA" (filijala državne venezuelske državne naftne kompanije).

Kruta goriva s poboljšanim tehnologijama omogućavaju da postrojenja koriste jeftinija goriva pod uvjetom da se osigurava kvaliteta goriva. Poželjan je čisti ugljen, osušen reakcijom sumpora.

Namještanje sirovine razne kvalitete ("blending") može sniziti ukupne troškove goriva, posebno ako je lak pristup internacionalnom tržištu.

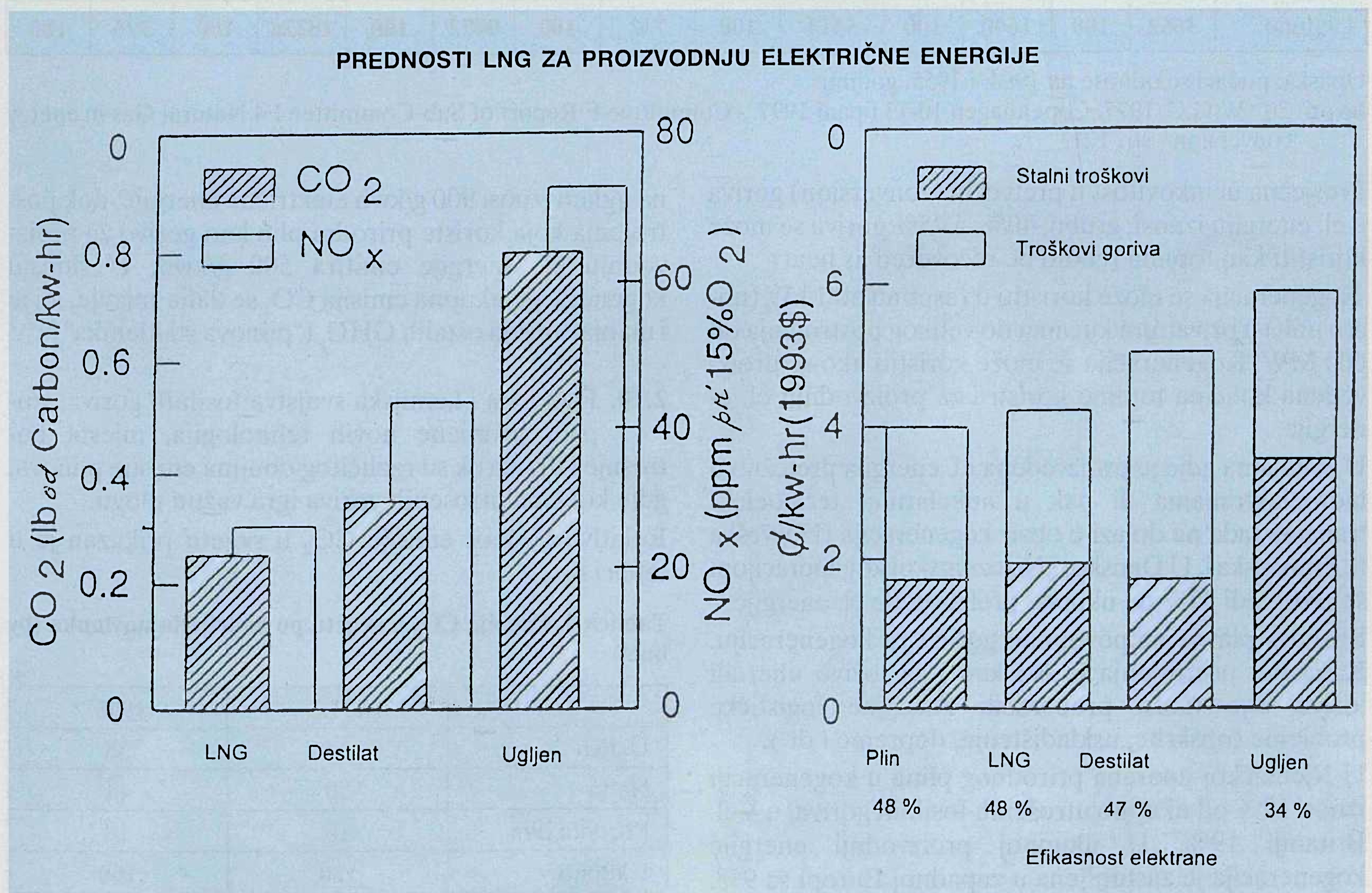
2.8. Radi boljeg uvida u omjer troškova goriva i fiksnih troškova u proizvodnji električne energije pogonjene raznim oblicima goriva, u nastavku se prikazuju ti odnosi - slika 2.

Kao što se iz slike 2 može zaključiti, udio troškova goriva je intenzivan u postrojenjima za proizvodnju elek-

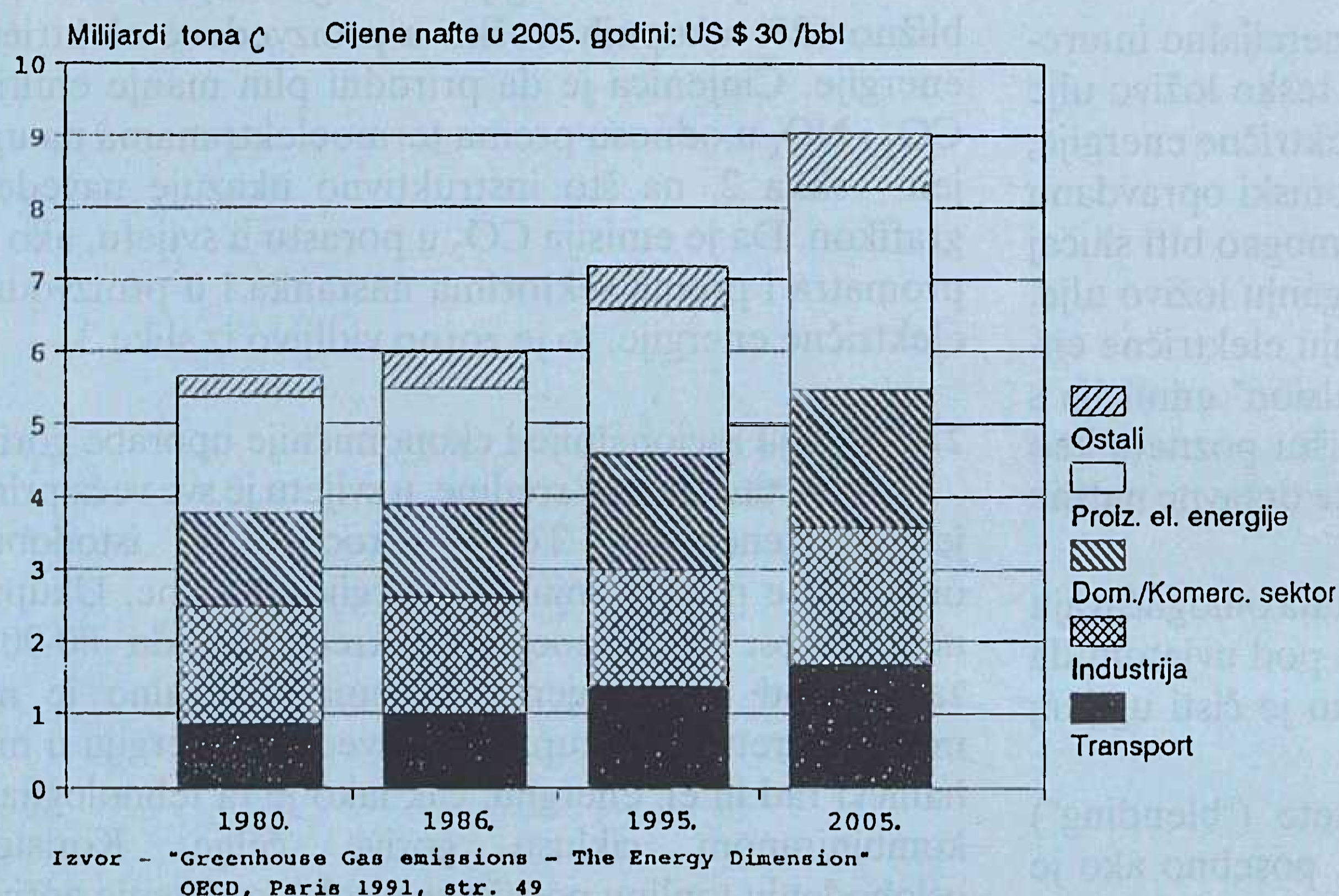
trične energije koja kao gorivo koristi destilate nafte. Fiksni troškovi su posebno intenzivni u termoelektranama koje koriste ugljen kao gorivo, i iznose približno 62% ukupnih troškova proizvedene električne energije. Činjenica je da prirodni plin manje emitira CO_2 i NO_x u odnosu prema termoelektranama na ugljen - slika 2, na što instruktivno ukazuje navedeni grafikon. Da je emisija CO_2 u porastu u svijetu, ako se promatra i prema sektorima nastanka i u proizvodnji električne energije, to je zorno vidljivo iz slike 3.

2.9. U cilju racionalnije i ekonomičnije uporabe goriva te zaštite životne sredine, u svijetu je sve veća primjena kogeneracije. To je proces koji istodobno omogućuje proizvodnju el. energije i topline. Ukupna učinkovitost ("efficiency") se kreće između 80-90% zavisno od primijenjenog sistema. Fizikalno je nemoguće pretvoriti ukupno proizvedenu energiju u mehanički rad ili el. energiju, čak iako je ta tehnologija u kombiniranom ciklusu gorive ćelije. Koristeći oslobođenu toplinu postiže se visoko korištenje goriva, pa se na taj način ostvaruje ušteda energije i do 35%. U ekonomskom kontekstu bolje korištenje goriva nudi mogućnost smanjenja količine goriva koje se koristi.

Važno je istaći da je kogeneraciju moguće koristiti od privatnih zgrada od bolnica, hotela te u industrijskim procesima. U tablici 3 prikazana je proizvodnja kogeneracije u nekim zemljama u svijetu.



Slika 2.

EMISIJA CO₂ U SVIJETU PO SEKTORIMA OD 1980. DO 2005.

Slika 3.

Navedene brojke treba razumjeti u kontekstu globalne energetske politike koju provodi svaka zemlja u skladnosti s raspoloživim energetske resursima, ali i potreba gospodarstva i vizijom dugoročnog razvitka energetska politike, gdje klimatski uvjeti imaju značajan utjecaj na strukturu potrošnje i proizvodnje energije. Prijelaz u kogeneraciji s jednog na drugi energetski izvor (naprimjer, s ugljena na prirodni plin), zahtijeva određeno vrijeme, ali i određena sredstva za promjenu uporabe goriva, kao i za promjenu infrastrukture.

Glavna prednost prirodnog plina je u njegovom sastavu, jer, između ostalog emitira relativno nisku specifičnu emisiju CO₂ po jedinici oslobođene energije koja, grubo, u termoelektranama

Tablica 3. Kogeneracija ostvarena uporabom fosilnih goriva PJ

Zemlja	Italija	%	Nizoz.	%	V. Brit.	%	Šved.	%	Njem.	%	Japan	%	Švic.	%
El. energija	1428	39	540	49	2178	40	100	14	3726	44	4970	33	10	3
Toplina	2234	61	1100	51	3236	60	632	86	5746	56	10258	67	365	97
Ukupno	3662	100	1640	100	5414	100	732	100	9472	100	15228	100	375	100

Opaska: podaci se odnose na 1994. i 1955. godinu.

Izvori: 20th W.G.C. 1977. Copenhagen 10-13 lipanj 1997. - Committee F Report of Sub-Committee F4 Natural Gas in energy conversion - str. 121.

Prosječna učinkovitost u pretvorbi (conversion) goriva u el. energiju iznosi, grubo, 40%, a 45% goriva se može koristiti kao toplina (could be recovered as heat).

Kogeneracija se može koristiti u rasponu od 1 kW (micro unit) u privatnim kućama do velikog postrojenja od 600 MW. Kogeneracija se može koristiti ako se proizvedena količina topline koristi i za proizvodnju el. energije.

U zemljama gdje je proizvedena el. energija pretežno u hidroelektranama ili pak u nuklearnim termoelektranama tada ne dolazi u obzir kogeneracija (Norveška te Francuska). U Danskoj i Nizozemskoj kogeneracijom se proizvodi 35% od ukupne proizvedene el. energije.

Prirodni plin je najpovoljnije gorivo za kogeneraciju. Kapacitet postrojenja je isti kao i za loživo ulje, ali loživo ulje može prouzročiti značajne logističke probleme (opskrbe, uskladištenja, dopreme i dr.).

U Njemačkoj uporaba prirodnog plina u kogeneraciji iznosi 32% od ukupno utrošenih fosilnih goriva, u Vel. Britaniji 19%. U ukupnoj proizvodnji energije kogeneracija je zastupljena u zapadnoj Europi sa 9%. Europski je cilj prosječno sudjelovanje kogeneracije za oko 18% u 2010. godini.

na ugljen iznosi 900 g/kwh električne energije, dok postrojenja koja koriste prirodni plin kao gorivo za proizvodnju el. energije emitira 500 g/kwh. U slučaju kogeneracije ukupna emisija CO₂ se dalje snižuje, ali je i manja emisija ostalih GHG_s ("plinova staklenika")⁽¹⁰⁾.

2.10. Fizikalna i kemijska svojstva fosilnih goriva, stupanj primjene novih tehnologija, mjesta potrošnje i dr. uzrok su različitog obujma emisije plinova, gdje količina utrošenih goriva igra važnu ulogu.

Relativan odnos emisije CO₂ u svijetu prikazan je u tablici 4.

Tablica 4. Emisija CO₂ u svijetu po podrijetlu nastanka (by fuel)

	1975.	1995.
Ugljen	34	38
Nafta	50	44
Prirodni plin	16	18
Ukupno	100	100

Izvori: Ecoal - World Coal Institute, London, Vol. 24 Kyoto issue, prosinac 1997. str. 3.

Do smanjenja emisije CO₂ u sektoru nafte posljedica je poboljšanja tehnologije u preradi nafte te uvođenju novovjeke opreme i uređaja na vozilima u cestovom prometu.

Analiza emisije CO₂ po sektorima nastanka u svijetu pokazuje da pretežni dio emisije u 1975. godini u iznosu od 28% otpada na proizvodnju el. energije i top-line - javni sektor, s tim da već u 1995. godini dolazi do povećanja udjela na 34%, a u drugim energetske granama od 2% na 4%, u prometu od 24% na 22%, u prerađivačkoj industriji i graditeljstvu 18% ostaje u 1995. godini, te "ostalo" od 28% na 22%⁽¹¹⁾.

Podaci o kretanju emisije CO₂, važnog plina staklenika (GHG_s), u zemljama Europske unije 12 te Austrije i Švicarske za razdoblje od 1990. do 2010. godine, ukazuje da je došlo do znatnijih promjena u strukturi korištenja fosilnih goriva u proizvodnji el. energije, što se odrazilo i na opseg emisije CO₂ u tim zemljama.

Tablica 5. Emisija CO₂ prouzročena proizvodnjom el. energije uporabom fosilnih goriva u zemljama EU₁₂₊₂

	1980.	%	1990.	%	2000.	%	2010.	%
Ugljen	507	65	549	74	503	61	539	59
Nafta	219	28	119	16	112	14	107	12
Prirodni plin	59	7	71	10	203	25	273	29
Ukupno	785	100,0	739	100,0	818	100,0	919	100,0

Izvori: Marquis Günter - Unipede Paris, Electricity Supply Demande Balance in the 12 States of European Community and Austria and Svitzerland - WEC 16 Congress Tokyo 1995, str. 229.

Za analizu podataka u tablici 5 potrebno je znati kakva je ostvarena proizvodnja TWh el. energije u tom razdoblju.

Tablica 6. Proizvodnja el. energije uporabom fosilnih goriva u zemljama EU₁₂₊₂

	1990.	%	2000.	%	2010.	%
Ugljen	713	71	697	55	780	53
Nafta	166	16	168	13	168	11
Prirodni plin	134	13	406	32	529	36
Ukupno	1013	100	1271	100	1477	100

Izvori: Lit.⁽¹²⁾

Promjene u strukturi uporabe fosilnih goriva za proizvodnju el. energije "odrazile su se i na emisiju CO₂ kao i na efikasnost uporabe goriva". Posebno je impozantan porast potrošnje prirodnog plina čiji udio od 13% u 1990. godini doseže planirani udio od 32% u 2010. godini, što predstavlja povećanje od cca 4 puta.

Udio ugljena od 71% u 1990. godini smanjit će se na 53%, iako se u apsolutnom iznosu predviđa povećanje od 9%.

Ako za osnovicu emisije CO₂, koja je nastala uporabom ugljena za proizvodnju el. energije u 1990. godini obilježimo kao 100, onda dobivamo odnose za naftu 0,95 te prirodni plin 0.69. U 2010. godini očekuje se omjer 100:0,94:0,75.

2.11. Promjene u zakonskim propisima u svezi zaštite okoliša, bile su istodobno s uvođenjem konkurentnih tržišta električnom energijom, što je imalo snažan učinak prigodom izbora tehnologije. Sistem zaštite okoliša su važan čimbenik u troškovima proizvodnje električne energije i u prosjeku se kreću između 10-40%, kad se kao gorivo koriste fosilna, a čak i veća u nuklearnim postrojenjima.

Na konkurentnom tržištu električnom energijom tehnologija u cilju zaštite životne sredine ima snažan utjecaj na proizvodne troškove. Porast propisa za velika postrojenja kojima se zahtijeva smanjenje emisije otrovnih plinova neposredno utječu na porast proizvodnih troškova.

Revizija propisa za velika postrojenja u kojima izgaraju fosilna goriva ("of the Large Combustion Plant Directive in the European Union") mogla bi postaviti zahtjev za ugradnju naprava za čišćenje plina, kad su u pitanju izvjesna postrojenja, koja rabe fosilna goriva. Phase II of the Revised US Clean Air Act zahtijeva da stara postrojenja smanje emisiju plinova u SAD-u (lit. 15, str. 43).

Postojeći propisi u sistemu kontrole sumpora u OECD zemljama pretežno datiraju od 1980-tih godina. Mnoga su poboljšanja zabilježena uporabom čistača plinova posljednjih 20 godina.

Visoko učinkoviti čistači plina ("scrubblers") s niskim troškovima ugradnje te troškovima proizvodnje imat će važnu ulogu u budućnosti.

2.12. Prigodom rekonstrukcije termoelektrana na fosilna goriva (posebno koja koriste ugljen kao gorivo) postavlja se kao važna zadaća ugradnja nove tehnologije, koja povoljno djeluje i na smanjenje emisije plinova (SO₂, NO_x, CO₂ i dr.).

U novim postrojenjima izabrana tehnologija zavisit će od kritičnih ukupnih troškova uključujući i troškove zaštite životne sredine. Za postrojenja pogonjena ugljenom postavlja se kao uvjet da smanjenje sumpora bude između 95% i 98% pa se na taj način povećava konkurentnost u usporedbi s komercijalnim postrojenjima, koja kao gorivo koriste uprašeni ugljen i imaju ugrađene mehanizme za čišćenje plina ("scrubblers").

Postrojenja pogonjena prirodnim plinom imaju prednost u odnosu na termoelektrane na ugljen jer nemaju sumpora, a nije potrebna posebna kontrola emisije NO_x koju ne traže mnogi propisi.

Danas pod pritiskom konkurentnih tehnologija u proizvodnji električne energije u termoelektranama koje koriste fosilna goriva, zakonskim propisima je reguli-

rano pitanje emisije otrovnih plinova, uz istodobno reguliranje specifičnih investicija koje su u praksi poznate kao "The best available control technology" ili kao "The best available technology not entailing excessive cost" (BAT odnosno BATNEC).

U budućnosti će se povećati ograničenje emisije plinova kod svih jedinica za proizvodnju električne energije u termoelektranama na fosilna goriva, uz stimulaciju regulacije kontrole emisije CO₂, koji je odgovoran za promjenu klime.

Zagovornici uporabe ugljena u proizvodnji električne energije u termoelektranama, u visokoj učinkovitoj tehnologiji, vide mogućnost smanjenja emisije plinova i budućnost ugljena kao važnog energenta.

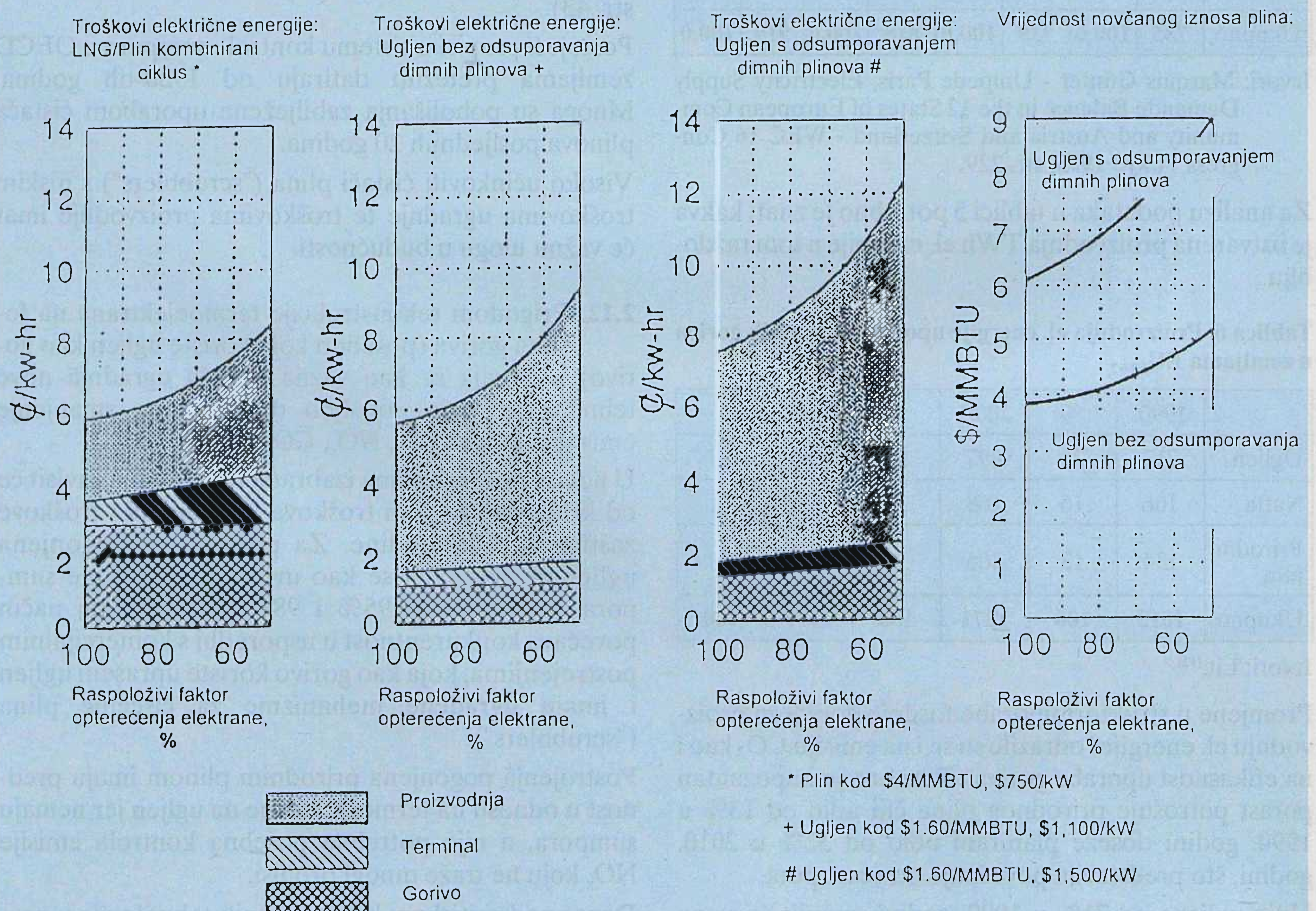
Proizvodnja električne energije primjenom tehnologije I(C)GCC omogućava izdvajanje ugljika i konkurentna je proizvodnji električne energije u termoelektranama koje rabe goriva koja sadrže manje količine ugljika.

Međutim, tehnologije kao što su nuklearna energija i korištenje obnovljivih izvora energije u prednosti su u usporedbi s proizvodnjom električne energije koja u termoelektranama koriste fosilna goriva, kad je riječ o emisiji otrovnih plinova.

2.13. Usporedivost troškova proizvodnje električne energije u termoelektranama koja koriste fosilna goriva, važan je indikator za vođenje podržavane energetske politike. U slici 4. prikazani su troškovi proizvodnje električne energije koristeći fosilna goriva uz primjenu odgovarajućih tehnologija. Činjenica je da troškovi proizvodnje električne energije rastu ukoliko se primijene nove tehnologije, naprimjer, odsumporavanje dimnih plinova. - The Flue Gas Desulfurization - FGD, u termoelektranama koje koriste ugljen kao gorivo.

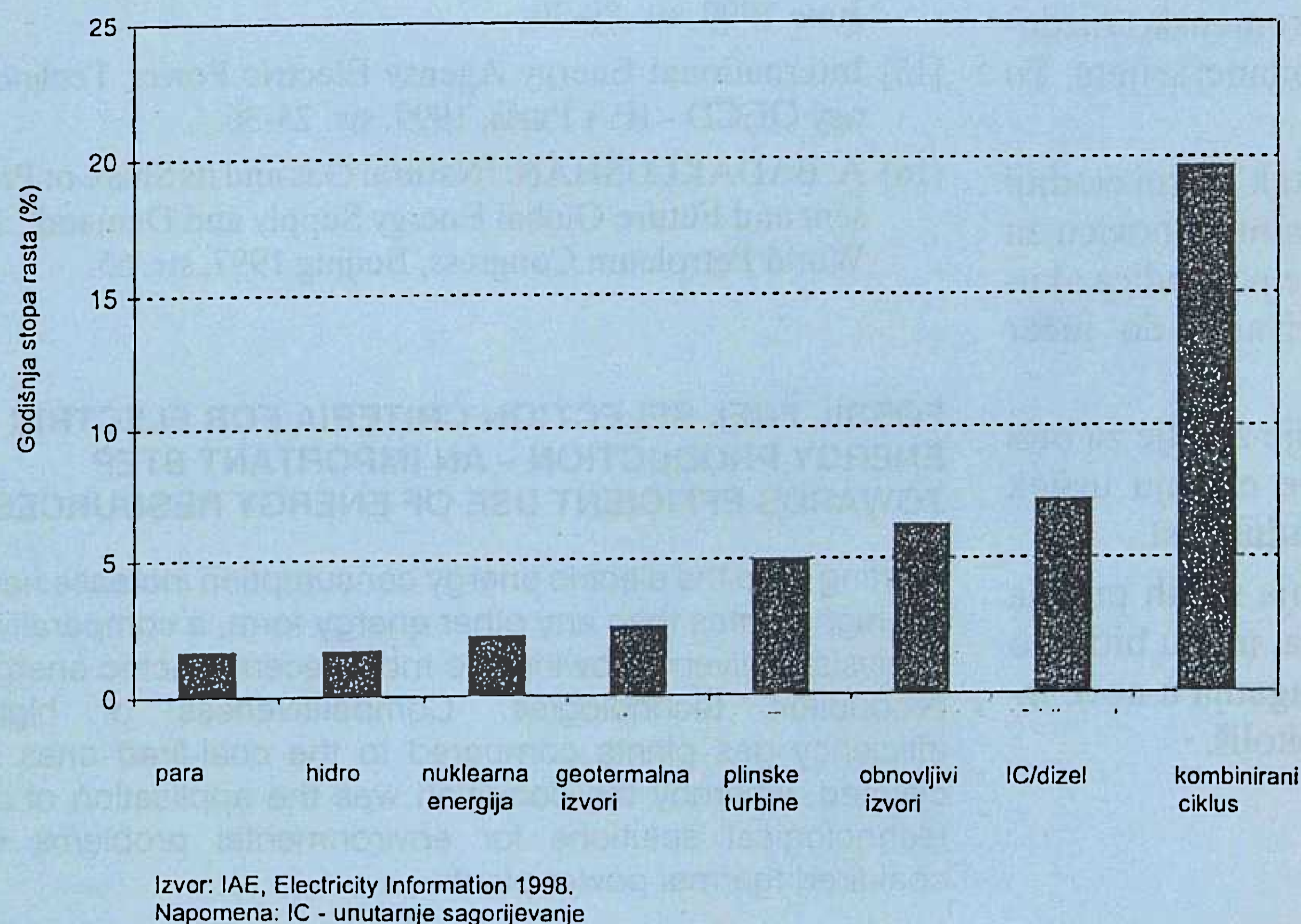
Posebno bi upozorili na podatak o visini cijena goriva. Tako naprimjer, cijena prirodnog plina iznosi US\$ 4. MBTU, dok cijena ugljena samo US\$ 1.6 MBTU. I kod takvih odnosa cijena, kWh proizvedene električne energije u termoelektranama koje kao gorivo koriste prirodni plin je jeftiniji nego električna energija proizvedena u termoelektranama koje kao gorivo koriste ugljen uz primjenu tehnologije FGD. Kao posljedica navedenih čimbenika, u razdoblju od 1990. godine do 1997. godine, u zemljama OECD, godišnja stopa rasta proizvodnje električne energije, uz primjenu tehnologije CCGT, bila je daleko iznad u odnosu na druge načine proizvodnje električne energije, i iznosila je blizu 20% - slika 5.

PREGLED OPSKRBE I POTRAŽNJE PRIRODNOG PLINA U 21. STOLJEĆU



Slika 4. Kalkulacija novčanog iznosa LNG plina¹⁸

**STOPA GODIŠNJEG RASTA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE
IZ RAZLIČITIH IZVORA
1990. - 1997.**



Slika 5.

2.14. Radi boljeg uvida u tendencije potrošnje fosilnih goriva za proizvodnju el. energije u termoelektranama u svijetu, u nastavku će biti prikazana očekivana struktura goriva u 2005. godini (tablica 7).

Tablica 7. Struktura goriva i drugih izvora energije za proizvodnju el. energije u svijetu

	Svijet		OECD		EU ₍₁₂₎	
	1990.	2005.	1990.	2005.	1990.	2005.
Ugljen	42,5	41,7	44,2	41,3	40,6	36,9
Nafta	11,8	6,6	9,0	5,3	9,9	5,5
Prirodni plin	17,7	25,7	9,8	16,2	8,0	20,5
Nuklearna energija	19,4	15,8	28,9	26,8	37,5	32,1
Hidro-energija	7,1	8,3	6,8	8,4	2,8	3,2
Geotermalna energija	0,9	1,3	1,0	1,6	0,6	1,1
Obnovljivi izvori (biomasa)	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6	0,7
Ukupno	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Izvor: Commission of the European Communities "A View to the Future, Brussels, rujan 1992. str. 80-81.

Analizirajući tablicu 7 može se zaključiti da će i u 2005. godini proizvodnja el. energije u svijetu biti pod snažnim utjecajem fosilnih goriva, posebno ugljena, ali i sve više prirodnog plina. Diverzifikacija izvora energije za proizvodnju el. energije i dalje je prisutna uz opasku da nafta postupno prestaje biti gorivo za termoelektrane, budući da suvremena tehnologija u preradi nafte i petrokemiji mnogo racionalnije koriste naftu nego termoelektrane.

2.15. I pored sve veće potražnje prirodnog plina u svijetu, cijene prirodnog plina su u stalnom postupnom, padu od 1985. godine. I tako je naprimjer, cijena LNG (cif.) u Japanu u 1995. godini iznosila 5,23 US\$ za min. Btu, a u 1998. 3.05 US\$, u EU 3.83 odnosno 2,27 US\$ za min. Btu. Međutim, sjeverno-američko tržište pruža nešto

drugačiju sliku. U SAD (Henry Hub.) cijene prirodnog plina iznosile su 1.64 US\$ za min. Btu, a u 1998. 2,08, u Canadi (Alberta) 1.05 i 1.42, što ostavlja prostor za daljnje analize⁽¹⁴⁾.

3. ZAKLJUČAK

Važnost fosilnih goriva u proizvodnji el. energije najbolje odražava podatak da će u 2005. godini 74% el. energije u svijetu biti proizvedeno iz fosilnih goriva, od čega na ugljen otpada 41,7%. Prodor prirodnog plina je razumljiv s obzirom na fizikalna i kemijska svojstva, učinkovitost i ekonomičnost u uporabi, relativno povoljnu geografsku rasprostranjenost, značajne zalihe (63,4 godine u odnosu na potrošnju u 1998. godini) i dr. Uvađanje novih tehnologija u proizvodnji el. energije koristeći kao gorivo ugljen i prirodni plin otvaraju se mogućnosti korištenja i ugljena, čije zalihe omogućuju potrošnju daljnjih 218 godina (na osnovi potrošnje u 1998. godini). Iz tih razloga razumljivo je nastojanje zemalja koje posjeduju velike zalihe ugljena, ali ne samo njih, da ga što više koriste.

Nafta se sve manje koristi kao gorivo za termoelektrane, pa će njena uporaba u budućnosti biti marginalna.

Udio prirodnog plina kao goriva značajno raste u proizvodnji el. energije u svijetu. U 1990. godini udio prirodnog plina iznosio je 17,7%; ocjenjuje se da bi u 2005. godini njegov udio bio 25,7%, što predstavlja nešto više od jedne četvrtine ukupno proizvedene el. energije u svijetu.

U pogledu većeg udjela novih izvora energije (malih hidroelektrana, sunčeve energije, geotermalne, energije oceana, zatim brzih oplodnih nuklearnih reaktora ("fast breeders"), gorivih ćelija, te vodika i fuzije, potrebna su veća sredstva, ali i duže vremensko razdoblje za njihov veći udio u energetske bilanci svijeta. To se posebno odnosi na vodik i fuziju.

Dosadašnji tehnički i tehnološki razvitak u proizvodnji i potrošnji energije u svijetu pruža realnu osnovicu za brži prodor novih izvora energije, što je posljedica akumuliranog znanja uz sve brže otkrivanje do jučer nepoznatih činjenica.

Kakav će interes pokazati najrazvijenije zemlje za brži razvitak novih izvora energije koji ne moraju uvijek donositi i velike profite, pokazat će budućnost.

Globalna sigurnost u svijetu i izgradnja novih pravila ponašanja u međunarodnim odnosima, mogu biti vrlo značajna čimbenik, koji pospješuje ulaganja u nove izvore energije, koji manje onečišćuju okoliš.

LITERATURA

- [1] L'Energie dans la ville, OECD, Paris 1996. str. 22-23.
- [2] "Energy For Tomorrow's World" Cogan Page Lit. st. Martin's Press, New York 1995. str. 277-279.
- [3] "La Gestion de l' Environnement dans les Pays en voie del'Industratation rapide" OECD, Paris 1994. str. 42.
- [4] R. PROTIĆ: "Potrošnja prirodnog plina u sektoru opće potrošnje - Tendencija i ograničenja", XIII. Međunarodni susret stručnjaka za plin - Opatija 6.-8. svibanj 1998. str. 6 i 7.
- [5] D' ERMO VITTORIO i sur.: "Changes in the World Economic, Structure and Impact on Energie Intesities and Energy Market" WEC - 16th Congress, Tokyo, 8-13. listopad 1995. str. 20.
- [6] Ir. S. A. POSTTHUMA and dr. Ir. P. L. ZNIDEVELD - NETHERLANDS: "Gasification for Synthesis Gas and Power Generation" 15 WPC Beijing 1997. str. 226-227.
- [7] J. RUSHBY: "Natural Gas: Challenges for the Next Decade" 15 WPC, Beijing 1977. str. 20.
- [8] World Coal Institute - Coal Facts, London, rujan 1998.
- [9] K. BRENDOW: "Energy Sector Deregulation and Technical Development a Revue d'Énergy, N^o 508, Paris, 1999. str. 395.
- [10] 20th WGC, 1997. Copenhagen 10-13. lipanj 1997. - Committee F Report of SubCommittee F4 Natural Gas in Energy Conversion, str. 121-124.
- [11] Ecoal-World Coal Institute, Vol. 24 Kyoto Issue, London prosinac 1997. str. 3.
- [12] M. GÜNTER: "Unipede Paris Electricity Supply Demand Balance in the 12 States of European Community and Austria and Switzerland", WEC - 16 Congress, Tokyo 1995. str. 226.

- [13] Emerging Trends in World Wide Gas markets and Oil Seminar, travanj 1994. Kleinwort Benzon Research London.
- [14] BP Amoco Statistical Review of World Energy London, June 1999. str. 29-30.
- [15] International Energy Agency Electric Power Technology OECD - IEA Paris, 1999. str. 25-36.
- [16] A. BADA KLUSHAN: "Natural Gas and its Share of Present and Future Global Energy Supply and Demand", 15 World Petroleum Congress, Beijing 1997. str. 65.

FOSSIL FUEL SELECTION CRITERIA FOR ELECTRIC ENERGY PRODUCTION - AN IMPORTANT STEP TOWARDS EFFICIENT USE OF ENERGY RESOURCES

Starting from the electric energy consumption increase having higher rates than any other energy form, a comparative analysis is given following the most recent electric energy production technologies. Competitiveness of high-efficiency gas plants compared to the coal-fired ones is claimed, whereby the condition was the application of all technological solutions for environmental problems of coal-fired thermal power plants.

AUSWAHLKRITERIEN FOSSILER BRENNSTOFFE FÜR DIE STROMERZEUGUNG IN DAMPKRAFTWERKEN - EIN WICHTIGER SCHRITT IN RICHTUNG WIRKUNGSVOLLER NUTZUNG ENERGETISCHER NATURSCHÄTZE

Von dem mit höherer Wachstumsrate als andere Energieformen emporschnellenden Stromverbrauch ausgehend, modernste Stromerzeugungsverfahren berücksichtigend, wird hier eine Gegeneinanderstellung, energetischer Naturschätze erörtert.

Bewiesen werden auch die Wettbewerbseigenschaften von Gas- und Kohle- betriebenen Hochleistungs-Wärmeleistungswerken, wozu verfahrenstechnische Lösungen von Umweltfragen kohlebetriebener Dampfkraftwerke anwenden.

Naslov pisca:

Dr. sc. Radmilo Protić
Dobri dol 54
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2000-06-16.