

1.

UVOD

Jedan od temeljnih uvjeta za prihvatljivost gradnje i pogona elektrana je njihov ostvareni ili očekivani utjecaj na okoliš. Danas je ekološka svijest ljudi veoma razvijena te se utjecaj elektroenergetskih postrojenja na okoliš ponekad stavlja čak ispred njihove ekonomske i energetske vrijednosti. Detaljno, sveobuhvatno i pravedno vrednovanje utjecaja na okoliš svih raspoloživih energetske opcija složeno je i zahtijeva veliko znanje i iskustvo.

Cilj je uvodnog poglavlja ove knjige čitatelju načelno ukazati na kompleksna pitanja utvrđivanja i usporedbe šteta u okolišu koje izaziva rad elektrana. To je poglavlje posvećeno pregledu i komentarima nekih postupaka za procjenu utjecaja elektroenergetskih postrojenja na okoliš te ukazivanju na još otvorene probleme i dvojbe pri kvantitativnoj procjeni nastalih šteta u okolišu.

Kao što je opće poznato, elektrane su postrojenja u kojima se toplinska energija dobivena oksidacijom fosilnih goriva ili nuklearnim reakcijama u nuklearnom gorivu, te kinetička energija kretanja vodenih ili zračnih masa ili energija sunčevog zračenja, transformira u električnu energiju. Unutar postrojenja toplinska se energija proizvodi u parnim kotlovima, ložištima plinskih turbina ili nuklearnim reaktorima. Kada je riječ o utjecaju na okoliš, presudan je utjecaj dijela elektrane koji proizvodi pokretnu silu za električni generator. Opterećenje okoliša zbog rada električnog dijela elektrane je zanemarivo ili veoma maleno.

Energenti, bilo fosilni bilo nuklearni, u procesu pretvorbe kemijske energije (tj. pretvorbe energije elektronskih plaštava atoma) ili pretvorbe nuklearne energije (tj. pretvorbe energije atomskih jezgara) u toplinsku energiju generiraju niz otpadnih tvari koje nepovoljno utječu na okoliš. Otpadne tvari su kemijski spojevi koji nastaju kao proizvod oksidacije fosilnih goriva, radioaktivni izotopi koji preostaju nakon fisija teških jezgara ili aktivacije neutralnih atoma, te krute lebdeće čestice koje odnose dimni

plinovi iz kotlova. Otpadne tvari se dijelom ispuštaju u okoliš (atmosferu i vodotoke), a dijelom pohranjuju kao kruti otpad.

Za pretvorbu toplinske energije u mehanički rad potreban za pokretanje električnog generatora koristi se Rankineov kružni proces (za parni ciklus) ili Braytonov kružni proces (za plinski ciklus). Prema 2. zakonu termodinamike karakteristika kružnih procesa je rad između dva toplinska spremnika, toplog i hladnog. Sva toplina predana hladnom spremniku (to je kod elektrana kondenzator turbine) otpadna je toplina. Kod današnjih elektrana koje koriste parni ciklus otpadna toplina je 60–65% proizvedene topline, a kod elektrana koje koriste plinski ciklus 45–50%. Otpadna toplina se predaje okolišu, i to ili atmosferi (putem rashladnih tornjeva) ili vodi (ispustom u rijeke, jezera ili more).

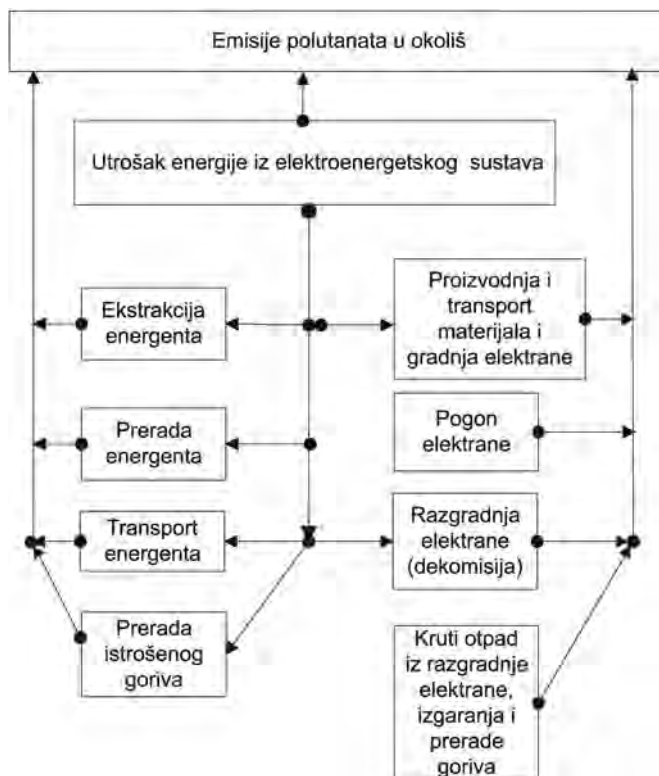
Utjecaj na okoliš tijekom rada elektrane ovisi o vrsti upotrijebljenog energenta. Međutim, o procjeni utjecaja na okoliš koji bi rezultirao uporabom nekog energenta u elektrani ima smisla govoriti jedino ukoliko taj energent ispunjava uvjete ekonomičnosti i sigurnosti dobave. Pitanje ekonomičnosti energenta treba povezati i s ekonomičnošću rada postrojenja u kojem se on koristi. Navedene činjenice upućuju na zaključak da se prognoza opterećenja okoliša radom elektroenergetskih sustava u nekom vremenskom razdoblju ne može promatrati odvojeno od prognoze raspoloživosti i ekonomičnosti energenta i ekonomičnosti gradnje i pogona elektrana u kojima se oni koriste.

U najvećem broju slučajeva energenti potrebni za rad elektrana nisu raspoloživi u formi koja dozvoljava neposredno korištenje. Potrebno ih je izvaditi iz zemlje, pročistiti i preraditi u prikladnu formu te transportirati do elektrane. Posebno je kompleksna priprema nuklearnog goriva prije njegove uporabe. Svaka od faza pripreme energenta za uporabu vezana je uz utrošak energije, a za neke od faza i uz proizvodnju otpadnih kemikalija i/ili radionuklida. Proces dobave i pripreme energenta za elektranu vezan je dakle uz opterećenje okoliša koje treba pribrojiti opterećenju okoliša od pogona elektrane.

Nadalje, za gradnju elektrane bilo koje vrste treba utrošiti znatnu količinu građevinskog materijala, zauzeti veću ili manju površinu zemljišta i izvršiti mnoge promjene u okolišu (krčenje šuma, skretanje vodotoka, plavljenje terena, podizanje razine podzemnih voda zbog akumulacijskih jezera i sl.). Proizvodnja građevinskog materijala traži utrošak energije, a proizvodnja cementa i čelika dodatno opterećuje okoliš emisijom plinova i prašine u atmosferu. To je također element utjecaja na okoliš kojega treba vezati uz elektranu i njezinu proizvodnju električne energije. Upravo je doprinos tog utjecaja na okoliš najbitniji kod elektrana koje tijekom pogona vrlo malo zagađuju i onečišćuju okoliš (elektrane s obnovljivim izvorima energije).

Kod određivanja utjecaja na okoliš nekog elektroenergetskog objekta treba sabrati utjecaj svih opisanih faza koje se u literaturi zbirno označuju kao energijski lanac.

Bitni elementi energijskog lanca elektrane s naznakom izvora emisija polutanata u okoliš su prikazani na slici 1.1. Pojedini dijelovi energetskog lanca utječu na okoliš bilo direktnim emisijama polutanata, bilo indirektno kroz utrošak energije. Utroškom energije (pretežno električne energije) nastaju emisije polutanata zbog rada elektrana koje tu energiju proizvode. Naravno da će indirektno emisije polutanata ovisiti o tipu elektrana koje proizvode energiju (najviše će ih biti ako se radi o elektrani na ugljen). Pojedini elementi prikazanog energijskog lanca kod nekih elektrana otpadaju (primjerice prerada istrošenog goriva vezana je samo uz nuklearne elektrane). Kao što je već napomenuto, kod elektrana s obnovljivim izvorima energije osnovni uzrok opterećenja okoliša je pored zauzeća zemljišta i zahvata na lokaciji, proizvodnja materijala potrebnog za gradnju elektrane i sama gradnja elektrane.



Slika 1.1. Elementi energijskog lanca elektrana s naznakom izvora emisija u okoliš

Lakše je odrediti emisije u atmosferu i vodotoke (atmosferske emisije imaju daleko veći značaj za opterećenje okoliša) svih dijelova energijskog lanca nego vrednovati vezu tih emisija sa štetama u okolišu. Štete u okolišu mogu biti mnogostruke: od štetnog djelovanja na zdravlje ljudi, te štetnog djelovanja na biljni i životinjski svijet do ugrožavanja vrijednih građevina i kulturnih objekata.

Emisije polutanata iz elektrana mogu se smanjiti ugradnjom odgovarajućih uređaja za smanjenje emisija. Ti uređaji kod današnjih termoelektrana imaju cilj smanjiti emisije sumpornih i dušičnih oksida te krutih čestica. Stupanj čišćenja dimnih plinova ovisi s jedne strane o propisima, a s druge o procjeni ekonomičnosti dodatnog smanjenja emisija u slučaju uvođenja poreza na emisije.

Zemljina atmosfera je složen fizikalni sustav u kojemu relativno male primjese antropogenih emisija mogu prouzročiti osjetljive promjene. Iz tog razloga nije dovoljno razmatrati emisije koje potječu iz jednog energetskeg objekta ili čak iz jedne zemlje, jer emisije polutanata u bilo kojoj zemlji, čije djelovanje ima globalni karakter (primjerice emisije CO₂), djeluju na cijeli planet. Iz navedenog je razloga radi prognoze budućih emisija iz elektrana i kao posljedicu tih emisija, prognoze promjena u zemljinoj atmosferi potrebno promatrati na temelju prognoza globalnog razvoja elektroenergetike u dužem razdoblju.

Štete u okolišu su upravo najvećim dijelom vezane uz promjene u atmosferi izazvane emisijama iz energetskeg objekata. Neke od emisija imaju lokalno i regionalno

djelovanje (sumporni oksidi, dušični oksidi, krute čestice, neki radioaktivni izotopi), a neke globalno (tzv. staklenički plinovi).

Poznavanje emisija iz elektrana nije dovoljno za procjenu šteta u okolišu. Dodatno je potrebno, kada je riječ o lokalnim i regionalnim učincima, poznavati način disperzije polutanata iz termoelektrana i nuklearnih elektrana u atmosferi, mehanizme njihovog taloženja na zemljištu i prizemne koncentracije. Pored toga, kvantificiranje šteta ovisi o još dva parametra koje nije jednostavno kvantificirati i definirati, a to su:

- ovisnost štetnog učinka na okoliš o koncentraciji polutanata;
- ovisnost štete, izražene u novčanim jedinicama, o štetnom učinku u okolišu.

Točnije određivanje ovisnosti štetnog učinka na okoliš o koncentraciji polutanata (bilo kemijskog, bilo radioaktivnog) traži, posebno kada se radi o malim koncentracijama, odnosno malim dozama zračenja, veliki statistički uzorak. Učinci su veoma ovisni o lokaciji (gustoća naseljenosti, tip flore i faune koja je zahvaćena polucijom, poduzete preventivne mjere za smanjenje učinaka i sl.).

Do danas se djelomično uspelo kvantificirati vezu između koncentracija polutanata, odnosno doza zračenja, i posljedica jedino za učinke na ljudsko zdravlje. Djelovanje polutanata na ekosustav je daleko neodređenije i stoga ga je teže definirati. Valja podvući da je temeljna dvojba pri određivanju odnosa koncentracija polutanta (ili doza radioaktivnog zračenja) i zdravstvenih posljedica u primjeni hipoteze o linearnoj funkcijskoj vezi bez praga djelovanja. Usvajanjem te hipoteze dobivamo računski (dakle bez mogućnosti provjere stvarnim zapažanjima) veoma velike zdravstvene posljedice, uključivši i velik broj smrtnih slučajeva, ako male koncentracije polutanata (ili male pojedinačne doze radioaktivnog zračenja) djeluju na veliku populaciju.

Kada je riječ o procjeni ovisnosti globalnih štetnih učinaka na okoliš o koncentraciji stakleničkih plinova u atmosferi (među kojima je najvažniji CO_2), problem postaje daleko složeniji nego kod procjene lokalnih i regionalnih učinaka polutanata. Tu se radi o procjeni globalnog zagrijavanja atmosfere, promjene klimatskih uvjeta, povišenju razine morske površine, širenju pustinjskih površina i drugih posljedica. Posljedice navedenog mogu u nekim zemljama biti blage, a u nekim drastične. Stoga je vrednovanje stvarnih učinaka podložno procjenama koje variraju u vrlo širokim granicama.

Ništa nije lakše odrediti vrijednost nastale štete, odnosno tzv. eksterni trošak. U okviru Europske Unije i SAD pokušano je određenom metodom vrednovanja utvrditi ekonomsku štetu skraćanja ljudskog života zbog djelovanja atmosferskih polutanata. Kvantifikacija te štete nedvojbeno je specifična za svaku zemlju i njezin ekonomski potencijal.

Kod elektrana u pogonu, a posebno kod elektrana u fazi planiranja gradnje bitno je kvantitativno vrednovanje njihovog učinka na okoliš. U načelu je to moguće primjenom koncepta eksternih troškova (koji odražavaju visinu učinjene štete u okolišu energijskog lanca svake elektrane). Ovisno o načinu na koji se eksterni troškovi uključuju u vrednovanje elektrana u fazi planiranja gradnje i u fazi pogona možemo odrediti optimalni scenarij gradnje budućih elektrana kao i optimalni način njihovog smještaja u pokrivanju dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sustavu. Optimalni scenarij je onaj kod kojeg elementi za optimiziranje nisu samo energetske i ekonomski parametri, već i kvantificirani pokazatelji utjecaja odabranih elektrana na okoliš.

2.

DUGOROČNI RAZVOJ ENERGETIKE I ELEKTROENERGETIKE

2.1. Uvod

Temeljna polazna informacija za procjenu utjecaja budućih elektroenergetskih postrojenja na okoliš, kako u svijetu tako i u našoj zemlji, je ona o budućoj potrošnji primarne i električne energije. Budući da nije namjena ove knjige baviti se metodama prognoziranja razvoja energetike i elektroenergetike, veći dio analiza u ovom poglavlju zasniva se na obradi podataka iz literature.

Opskrba dovoljnim količinama energije jedan je od ključnih uvjeta za opstanak i razvoj naše civilizacije, stoga nije neobično da se u prognozama gospodarskog razvoja bilo koje zemlje problemima opskrbe energijom poklanja najveća pažnja. Znanstveno utemeljene prognoze razvoja energetike bitan su element planiranja cjelokupnog razvoja neke zemlje.

Valjane analize razvoja energetike moraju se provesti za duže razdoblje (20, 30 pa i 50 godina), jer toliko traje ukupno planiranje, gradnja i iskorištenje energetske objekata koji se zasnivaju na rezultatima takvih analiza.

Nužno je nadalje, kada se analiziraju trendovi razvoja energetike u nekoj zemlji razmotriti i prognoze razvoja energetike za širu regiju, pa i za cijeli svijet. Naime, zbog međuovisnosti energetike u svijetu, posebno među zemljama šire regije ili istog kontinenta, pouzdane energetske prognoze za samo jednu izoliranu zemlju teško se mogu utvrditi.

Kod prognoziranja budućeg razvoja energetike nužno je na temelju iskustva iz prethodnog razdoblja uočiti izvjesne trendove i zakonitosti koji daju podlogu i opravdanje za buduće prognoze. Trendovi i zakonitosti se mogu uočiti promatrajući duže

razdoblje u prošlosti s tim što nije presudno je li posljednja godina promatranja neposredno prije sadašnjeg vremena ili je nekoliko godina prije toga. Nadalje, pri takvoj analizi treba uzeti u obzir da je stupanj razvoja energetike (a posebno elektroenergetike) u razvijenim i nerazvijenim zemljama veoma različit pa izvjesni trendovi u razvoju energetike u razvijenim zemljama u prošlosti mogu ukazati na neke pojave koje bi mogle u zemljama u razvoju uslijediti više godina nakon toga. Na temelju takvih razmišljanja provedena je prije razmatranja prognoze o dugoročnom razvoju energetike diskusija o elementima koji za viziju takve prognoze imaju presudan značaj.

U okviru energetike posebno je značajna elektroenergetika. Kasnije će se pokazati da je potrošnja električne energije, neposrednije od potrošnje primarne energije, u izravnom odnosu s gospodarskim razvojem svake zemlje. Uobičajeno je pojave koje utječu na razvoj energetike u svijetu promatrati po skupinama zemalja koje karakterizira bilo slična razina razvijenosti, bilo njihov geografski smještaj. Brojne organizacije i instituti koji se bave tom aktivnošću pri analizi energetske prilika u svijetu uglavnom dijele svijet u dvije osnovne skupine zemalja: zemlje s razvijenom industrijskom osnovom i zemlje u razvoju. Kod prvih se obično odvojeno promatraju zemlje s razvijenom tržišnom privredom (to su zemlje koje pripadaju grupaciji OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), u koje spadaju Australija, Austrija, Belgija, Danska, Finska, Francuska, Grčka, Irska, Island, Italija, Japan, Kanada, Nizozemska, Njemačka, Norveška, Novi Zeland, Portugal, SAD, Švedska, Španjolska, Švicarska, Turska, Velika Britanija) i grupa zemalja koje je do nedavno karakterizirala planska privreda (bivše i novonastale zemlje Istočne Europe, među koje se ubrajaju i one koje su bile u sastavu bivše Jugoslavije i bivšeg SSSR-a), te zemlje u razvoju (nekad se te zemlje označuju kao zemlje juga a nalaze se pretežno na području Afrike, Južne Azije, uključivši Kinu, Bliski Istok i Latinsku Ameriku).

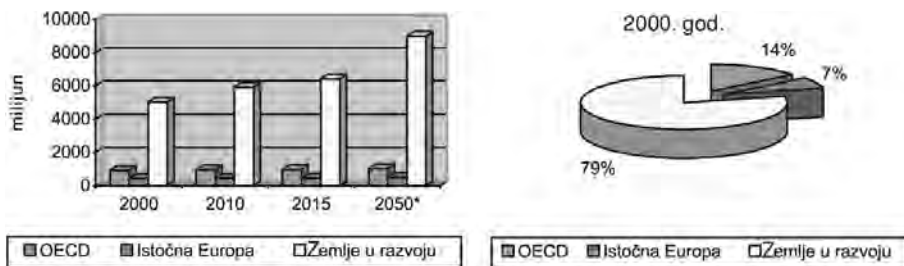
2.2. Podloge za prognoziranje razvoja energetike

Prognoza razvoja energetike u nekoj zemlji ovisi o nizu karakterističnih pokazatelja. Razmotrit ćemo neke od najznačajnijih.

Porast broja stanovnika

Jedan od ključnih čimbenika u prognozama razvoja energetike je broj stanovnika u pojedinim zemljama, odnosno skupinama zemalja.

Prognoze o porastu stanovništva u svijetu na temelju današnjih demografskih analiza pokazuju da u idućim desetljećima treba očekivati znatan porast broja stanovnika na našem planetu. 1990. godine na Zemlji je živjelo 5,3 milijarde ljudi. Taj se broj udvostručio u proteklih 40 godina (tj. od 1950. godine). Prema publikaciji IAEA iz 1994. godine [4] i drugim referencama [1] i [2] očekivani broj stanovnika Zemlje u idućim desetljećima će odgovarati brojkama iz tablice 2.2.1 i prikazu na slici 2.2.1.



Slika 2.2.1. Predviđeni broj stanovnika svijeta u 2000. godini i prognoza porasta do godine 2050.

Prognozeri porasta stanovništva u svijetu polaze od pretpostavke da će doći do postupnog pada sadašnje stope rasta stanovništva, te da će se u drugoj polovici 21. stoljeća broj stanovnika stabilizirati na razini koja je približno dvostruka od današnje. Normalno je da u dugoročnim prognozama raznih autora i institucija ima znatnih razlika. Neki autori [19] prihvaćaju kao donju granicu za konačan broj stanovnika svijeta oko 9 milijardi. Prema predviđanju Svjetske banke taj bi broj mogao doseći 12 milijardi, dok jedna prognoza UN navodi maksimalni broj stanovnika na razini od oko 19 milijardi.

Svi se prognozeri slažu u očekivanju da će glavnina porasta stanovništva u budućnosti nastati u zemljama u razvoju, te da će doći do znatne prevage broja stanovnika u urbanim sredinama u odnosu na ruralne sredine.

Broj stanovnika u zemljama u razvoju će prema prognozi narasti u idućih 50 godina za oko 100%, tako da će oni u cjelokupnoj svjetskoj populaciji sudjelovati s preko 85%.

Iz tablice 2.2.1 vidljivo je da je predviđen porast broja stanovnika u svijetu od 2000. do 2050. oko 4 125 milijuna, a od toga je porast stanovnika u zemljama u razvoju oko 3 968 milijuna (tj. približno 96%).

Tablica 2.2.1. Prognoza porasta broja stanovnika svijeta do 2050. godine (u milijunima)

| Skupina zemalja | 2000. | 2010. | 2015. | 2050.* |
|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| OECD | 914 | 954 | 980 | 1 020 |
| Istočna Europa | 430 | 444 | 450 | 480 |
| Zemlje u razvoju | 5 032 | 5 927 | 6 412 | 9 000 |
| Svijet | 6 376 | 7 351 | 7 872 | 10 500 |

* Prognoza za 2050. godinu sadrži znatnu dozu nesigurnosti.

Jedno od temeljnih pitanja koje se postavlja u vezi s očekivanim porastom populacije na našem planetu je utjecaj tako poraslog stanovništva na potrošnju energije. Prodor tehničkih dostignuća u svakodnevni život ljudi traži sve veću potrošnju energije. Isto tako sve veća mehanizacija, automatizacija i kompjutorizacija privrednih djelatnosti (poljoprivrede, industrije i uslužnih djelatnosti) dovodi do sve većeg udjela energije u vrijednosti proizvoda.

Dugoročna prognoza kretanja svjetskog stanovništva prema analizama Svjetske banke i Ujedinjenih naroda [19] obuhvaća razdoblje do kraja 21. stoljeća. Neki karak-

teristični pokazatelji su prikazani u tablici 2.2.2 (koji su u prognozi broja stanovnika svijeta u godini 2050. u suglasnosti s tablicom 2.2.1).

Tablica 2.2.2. Prognoza broja i karakteristika raspodjele stanovništva svijeta u 21. stoljeću

| Godina | 2000. | 2050. | 2100. |
|--|-------|-------|-------|
| Stanovništvo svijeta (milijardi) | 6,0 | 10,0 | 12,0 |
| Postotak stanovnika svijeta u zemljama u razvoju | 78 | 85 | 88 |
| Postotak stanovnika svijeta u urbanim centrima | 42 | 70 | 85 |

Značajno je u tablici 2.2.2 zapaziti da se prognozira sve veće gomilanje stanovništva u urbanim centrima zemalja u razvoju, što ima značajni utjecaj na prognoze potrošnje energije, jer opskrba stanovništva energijom u zemljama u razvoju postaje sve više ovisna o komercijalnim energentima. Valja naglasiti da je 1990. godine, prema podacima UN (FAO), oko 1,8 milijardi ljudi živjelo bez električne energije.

Raspodjela potrošnje energije na razvijene i nerazvijene zemlje

Za planiranje potreba za energijom značajno je razmotriti odnos broja stanovnika i potrošnje energije u razvijenim i nerazvijenim zemljama.

Ilustracija tog odnosa dana je u tablici 2.2.3 koja prikazuje podatke o broju stanovništva i ostvorenoj potrošnji primarne energije u 1988. godini po ranije definiranim skupinama zemalja u svijetu. Grafički prikaz istih odnosa daje slika 2.2.2.

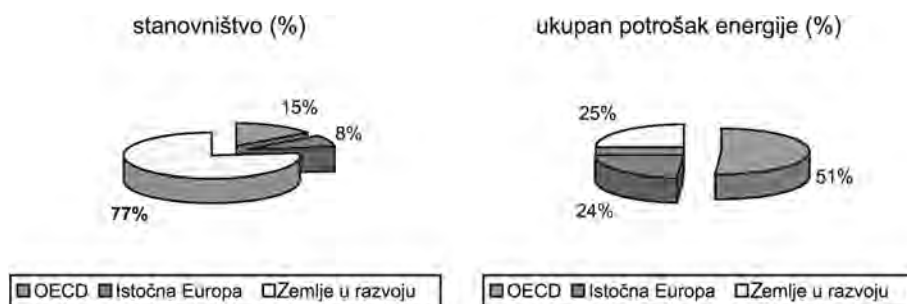
Tablica 2.2.3. Stanovništvo i potrošak primarne energije po skupinama zemalja 1988. godine

| Skupina zemalja | Stanovništvo (milijardi) | Potrošak primarne energije po stanovniku (GJ) | Ukupan potrošak energije (EJ) |
|------------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| OECD | 0,77 | 217,36 | 167,2 |
| Istočna Europa | 0,42 | 183,92 | 77,33 |
| Zemlje u razvoju | 3,92 | 20,9 | 81,93 |
| Svijet | 5,11 | 63,95 | 326,46 |

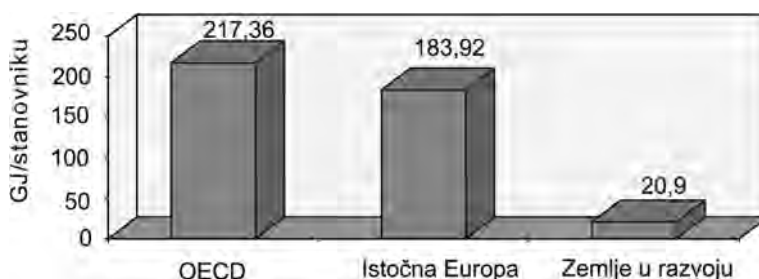
Primjedba: Zakonski je propisano korištenje SI sustava mjernih jedinica u kojem je jedinica za energiju džul (Joule s oznakom J). U literaturi se često sreće kao jedinica za energiju i **toe** (tonne of oil equivalent odnosno tona ekvivalentne nafte) koja odgovara energiji od 41,8 GJ, zatim **tce** (tonne of coal equivalent odnosno tona ekvivalentnog ugljena) čiji je energetske ekvivalent 37 GJ. Kada je riječ o prirodnom plinu, njegov se energetske sadržaj izražava u Nm^3 (ili samo m^3), pri čemu je energetske ekvivalent 1 Nm^3 prirodnog plina 0,037 GJ. Kod mjerenja električne energije isključivo se koristi kWh = 3 600 kJ.

Iz tablice 2.2.3 i slike 2.2.2 vidljiv je izraziti raskorak između utroška energije u industrijski razvijenim zemljama i zemljama u razvoju. U zemljama u razvoju je 1988. godine živjelo skoro 77% svjetskog stanovništva, a trošili su svega oko 25% energije. Prosječan potrošak energije po stanovniku u zemljama u razvoju je 1988. godine (a prilike se nisu bitnije izmijenile ni u kasnijim godinama) iznosio manje od 10% prosječnog potroška energije po stanovniku u zemljama OECD. Treba naglasiti da i među samim zemljama OECD postoje velike razlike u trošenju primarne energije po stanovniku. Primjerice, između SAD i Portugala je odnos potrošnje energije po

stanovniku u navedenoj godini bio približno 7:1). Odnos potrošnje primarne energije po stanovniku u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju ilustriran je na slici 2.2.3.



Slika 2.2.2. Stanovništvo i potrošnja primarne energije u svijetu 1988. godine



Slika 2.2.3. Potrošak primarne energije po stanovniku u skupinama zemalja 1988. godine

Ako uzmemo u obzir predviđeni veliki porast stanovništva u zemljama u razvoju, povećanje broja stanovnika u urbanim centrima u tim zemljama (gdje im bitno više nego u ruralnim sredinama standard života ovisi o utrošku komercijalnih oblika energije) i sadašnju veoma malu potrošnju energije po stanovniku u odnosu na razvijene zemlje, realno je očekivati da će u budućnosti glavnina pritiska za povećanjem potrošnje energije proizlaziti iz zemalja u razvoju.

Potrošnja energije i gospodarski razvoj

Budući gospodarski razvoj svijeta će karakterizirati tendencija za postupnim izjednačenjem razine gospodarskog razvitka i društvenog standarda između manje razvijenih i više razvijenih zemalja. To se ogleda u činjenici da je stopa porasta bruto društvenog proizvoda u prošlosti bila veća u zemljama s nižim stupnjem gospodarskog razvoja nego u gospodarski razvijenijim zemljama. Društveni je proizvod u industrijski razvijenijim zemljama (OECD + Ist. Europa) u razdoblju 1975.–1985. rastao prosječnom stopom od 2,6%, a u zemljama u razvoju prosječnom stopom od 4,6% [2]. Brzinu smanjivanja razlika u razvijenosti (koju globalno uzevši karakterizira razlika u stopi društvenog razvoja razvijenih i nerazvijenih od oko 2% godišnje) ograničava niz okolnosti od kojih je najvažnija mogućnost financiranja gospodarskog razvoja u manje razvijenim zemljama. Pretpostavka o postupnom smanjenju razlika u razvijenosti zemalja (što se ogleda u smanjenju razlika u bruto društvenom proizvodu po

Tablica 2.2.4. Ostvarene i prognozirane stope godišnjeg rasta BDP po regijama za odabrane zemlje u razdoblju 1970.–2020. [26]

| Regija / Zemlja | Povijest | | | Projekcija | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1970.–1980. | 1980.–1990. | 1990.–2000. | 2000.–2010. | 2010.–2020. | 1995.–2020. |
| Industrijalizirane zemlje | 3,1 | 2,9 | 2,0 | 2,4 | 2,2 | 2,3 |
| Sjeverna Amerika | 2,8 | 2,8 | 2,1 | 2,3 | 1,9 | 2,1 |
| Zapadna Europa | 2,9 | 2,4 | 2,1 | 2,5 | 2,4 | 2,4 |
| Zemlje u tranziciji | 4,3 | 2,6 | 2,2 | 5,2 | 5,1 | 4,9 |
| Istočna Europa/bivši SSSR | 2,6 | 1,9 | -3,8 | 4,8 | 3,6 | 3,7 |
| Bivši SSSR | 2,6 | 2,0 | -4,4 | 4,8 | 3,4 | 3,6 |
| Istočna Europa | 2,9 | 0,8 | 1,6 | 4,6 | 4,4 | 4,4 |
| Zemlje u razvoju | 5,6 | 3,1 | 4,8 | 5,3 | 5,4 | 5,2 |
| Azija u razvoju | 5,8 | 7,3 | 6,8 | 6,3 | 6,4 | 6,2 |
| Kina | 5,3 | 9,3 | 10,0 | 7,8 | 8,0 | 7,9 |
| Ostali | 5,9 | 6,7 | 5,5 | 5,4 | 5,2 | 5,2 |
| Bliski Istok | 5,7 | 0,2 | 3,0 | 3,7 | 4,1 | 3,8 |
| Afrika | 3,6 | 2,1 | 2,6 | 4,1 | 4,2 | 4,1 |
| Centralna i Južna Amerika | 6,3 | 0,9 | 3,5 | 4,5 | 4,2 | 4,3 |
| Svijet | 3,4 | 2,8 | 2,1 | 3,2 | 3,2 | 3,1 |

stanovniku), kao i ona (daleko manje neizvjesna) o porastu stanovništva u narednim desetljećima osnova su za dugoročno prognoziranje razvoja gospodarstva i energetike. Prognoza stopa godišnjeg rasta bruto društvenog proizvoda (BDP), prema US DOE je dana u tablici 2.2.4.

Poznata je činjenica da je porast društvenog standarda i porast bruto društvenog proizvoda vezan uz porast potrošnje energije.

Grupa istraživača na Sveučilištu Waterloo u Kanadi [18] istražila je statističke podatke o vezi između bruto društvenog proizvoda niza zemalja i potrošnje primarne i električne energije u tim zemljama. Analizom su obuhvaćene zemlje s veoma različitim stupnjem gospodarskog razvoja.

Navest će se samo neki od najbitnijih rezultata te analize.

Studija ukazuje na temeljnu razliku u korelaciji između bruto društvenog proizvoda i potrošnje primarne i električne energije, posebno u razvijenim zemljama iza naftne krize iz 1973. godine.

Odnos stope porasta potrošnje energije i stope porasta bruto društvenog proizvoda je poznat kao faktor elastičnosti. Taj je faktor analiziran u dužem razdoblju (30 godina) za niz zemalja, a rezultat analize prikazan je u tablici 2.2.5. Kao što pokazuje tablica, stopa porasta potrošnje električne energije se približava stopi porasta bruto društvenog proizvoda kod svih zemalja u cijelom razmatranom razdoblju (1960.–1988.). Kada je riječ o potrošnji primarne energije, odnos se temeljito mijenja u drugoj polovici 70-ih godina, kada se u nizu najrazvijenijih zemalja gubi ovisnost porasta društvenog proizvoda o porastu potrošnje energije pa se nakon tog razdoblja porast društvenog proizvoda ostvario i uz stagnaciju potrošnje, ili čak uz pad potrošnje primarne energije.

Zemlje u gornjoj grupi tablice 2.2.5 spadaju u kategoriju razvijenijih zemalja s godišnjim bruto društvenim proizvodom po stanovniku većim od 7 000 USD (1988.).

Tablica 2.2.5. Prosječni faktori elastičnosti za primarnu i električnu energiju niza zemalja za razdoblja 1960.–1973. i 1973.–1988.

| Zemlja | 1960.–1973. | | 1973.–1988. | |
|--------------|--|--|--|--|
| | Prosječni faktor elastičnosti za primarnu energiju | Prosječni faktor elastičnosti za električnu energiju | Prosječni faktor elastičnosti za primarnu energiju | Prosječni faktor elastičnosti za električnu energiju |
| SAD | 1,09 | 1,94 | - 0,72 | 0,96 |
| Kanada | 0,86 | 1,27 | 0,54 | 1,32 |
| V. Britanija | 0,42 | 1,94 | -0,45 | 0,41 |
| Japan | 1,13 | 1,19 | -0,01 | 0,70 |
| Njemačka | 1,08 | 1,74 | -0,24 | 1,19 |
| Francuska | 1,08 | 1,38 | - 0,78 | 2,27 |
| Belgija | 0,90 | 1,56 | -0,50 | 1,54 |
| Norveška | 1,59 | 1,48 | 0,54 | 0,73 |
| Italija | 1,68 | 1,43 | 0,54 | 1,34 |
| Švedska | 1,17 | 1,67 | -0,77 | 2,19 |
| Danska | 1,40 | 2,35 | -0,36 | 2,17 |
| Austrija | 1,18 | 1,28 | 0,0 | 1,30 |
| Finska | 2,10 | 2,04 | 0,37 | 1,85 |
| Belgija | 0,89 | 1,62 | -0,51 | 1,59 |
| Grčka | 1,53 | 2,15 | 2,16 | 3,20 |
| Irska | 1,21 | 2,43 | 0,22 | 1,13 |
| Portugal | 1,10 | 1,24 | 2,41 | 4,58 |
| Španjolska | 1,28 | 1,64 | 0,63 | 2,26 |
| Brazil | 0,95 | 1,02 | 0,52 | 1,98 |
| Meksiko | 0,93 | 1,59 | 3,36 | 6,38 |
| J. Koreja | 2,38 | 3,01 | 0,80 | 1,43 |
| Indonezija | 0,48 | 4,20 | 1,17 | 2,55 |
| Turska | 2,09 | 2,53 | 1,14 | 2,59 |

Tablica potvrđuje ranije istaknutu činjenicu da se kod svih zemalja, a posebno kod onih na višem stupnju gospodarskog razvoja, faktor elastičnosti za primarnu energiju bitno mijenja nakon naftne krize u 1973. godini. Kod zemalja navedenih u tablici 2.2.5, s izuzetkom Meksika, Indonezije i Portugala, taj se faktor osjetno smanjuje ili postaje negativan.

Nasuprot tome, kada je riječ o potrošnji električne energije, faktor elastičnosti za električnu energiju ostaje kod svih zemalja u cijelom razmatranom razdoblju veći od faktora elastičnosti za primarnu energiju te je ne samo pozitivan nego i kod većine zemalja veći od jedinice.

Iz tablice 2.2.5 nadalje primjećujemo da je smanjenje faktora elastičnosti za primarnu energiju nakon naftne krize 1973. godine izrazitije u zemljama s razvijenim gospodarstvom (primjerice u Njemačkoj i Francuskoj), nego u onima gdje je gospodarstvo slabije razvijeno (Portugal, Grčka).

Kanadski istraživači Nathwani, Siddall i Lind [18] su na temelju analize podataka iz 37 zemalja izveli korelaciju koja u određenoj godini povezuje potrošnju električne

energije po stanovniku (pee) kWh i bruto društveni proizvod (bdp) po stanovniku izražen u US dolarima. Korelacija ima oblik:

$$pee = \frac{(bdp)^a}{c} \text{ kwh/stan.} \quad (2.2.1)$$

odnosno,

$$\ln(pee) = -\ln(c) + a \ln(bdp) \quad (2.2.2)$$

gdje su parametri a i c za godine 1960. do 1985. dani u tablici 2.2.6.

Tablica 2.2.6. Parametri korelacije između bruto društvenog proizvoda i potrošnje električne energije za 37 zemalja.

| Godina | a | $\ln(c)$ |
|--------|------|----------|
| 1960. | 1,30 | 3,45 |
| 1965. | 1,22 | 2,67 |
| 1970. | 1,14 | 1,92 |
| 1975. | 1,20 | 2,36 |
| 1980. | 1,15 | 1,93 |
| 1985. | 1,04 | 0,84 |

Uz navedene parametre korelacija (2.2.2) s greškom unutar 5–10% obuhvaća odnose između bruto društvenog proizvoda i potrošnje električne energije koji su zabilježeni u svih razmatranih 37 zemalja.

Značajno je primijetiti da se parametar a s vremenom smanjuje što ukazuje na činjenicu da se faktor elastičnosti i za električnu energiju smanjuje (odnosno da se u prosjeku povećava energetska učinkovitost kada je riječ i o električnoj energiji).

Do sličnih rezultata dolaze i istraživači Teplitz i Sembitzky iz Svjetske banke [11]. Oni su u okviru studije razvoja energetike zemalja u razvoju (analizirano je 75 zemalja svijeta) utvrdili vezu između bruto nacionalnog proizvoda po glavi stanovnika u nekoj zemlji i elastičnosti uporabe električne energije. Pokazano je da elastičnost pada s povećanjem bruto društvenog proizvoda. Kod razmatranih zemalja elastičnost je 1,35 za zemlje s bruto društvenim proizvodom od 100 USD po glavi stanovnika, a približno 1,0 za zemlje s bruto društvenim proizvodom većim od 4 560 USD (vrijednost USD iz 1985.) po glavi stanovnika.

Tablica 2.2.7. Prognoza prosječnog faktora energetske elastičnosti za ukupnu energiju po regijama svijeta za razdoblje 1995.–2020.

| Regija / Zemlja | 1995.–2000. | 2000.–2005. | 2005.–2010. | 2010.–2015. | 2015.–2020. |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Industrijalizirane zemlje | 0,83 | 0,54 | 0,53 | 0,42 | 0,41 |
| Istočna Europa, bivši SSSR | 0,55 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| Prosjek zemalja u razvoju | 0,89 | 0,79 | 0,68 | 0,66 | 0,65 |
| Prosjek za Aziju | 0,84 | 0,73 | 0,62 | 0,60 | 0,60 |
| Kina | 0,60 | 0,59 | 0,56 | 0,55 | 0,55 |
| Zemlje Azije u razvoju bez Kine | 1,03 | 0,83 | 0,63 | 0,60 | 0,60 |
| Svijet | 0,92 | 0,75 | 0,69 | 0,65 | 0,65 |

Prognoza US DOE/EIA [27] predviđa kretanje faktora elastičnosti za ukupnu energiju u makropodručjima svijeta do 2020. godine. Rezultati prognoze su navedeni u tablici 2.2.7. Prognoza u razmatranom razdoblju ne predviđa (od mnogih autora najavljivani) negativni faktor elastičnosti u najrazvijenijim zemljama. Primjećuje se ipak da se s vremenom taj faktor kod svih zemalja smanjuje ili da stagnira.

Intenzivnost utroška energije u gospodarstvu

Dodatni pokazatelj mjerodavan za projekciju razvoja energetike je faktor intenzivnosti potrošnje primarne i električne energije u gospodarstvu. Taj faktor određuje utrošak jedne i druge energije po jedinici vrijednosti društvenog proizvoda (što znači da je proporcionalan faktoru elastičnosti za gospodarske djelatnosti).

Suglasno ranijim navodima trendovi promjene intenzivnosti uporabe primarne i električne energije se razlikuju i u zemljama različite razvijenosti. Radi potvrde navedenog razmotrit ćemo paralelno intenzivnost uporabe primarne energije i intenzivnost uporabe električne energije po osnovnim skupinama zemalja u 1960. i 1987. godini [1]. Rezultati usporedbe su dani u tablici 2.2.8.

Rezultati dani u tablici 2.2.8 potvrđuju raniji navod da, bez obzira na stupanj razvijenosti zemalja, kod svih skupina zemalja u navedenom razdoblju, intenzivnost uporabe primarne energije pada, a intenzivnost uporabe električne energije raste. Iz toga nedvojbeno slijedi da je raspoloživost električne energije jedna od temeljnih pretpostavki razvoja svake zemlje.

Tablica 2.2.8. Intenzivnost uporabe primarne energije (MJ/USD) i električne energije (Wh/USD), za vrijednost dolara u 1980. godini.

| Skupina zemalja | 1960. | | 1987. | |
|------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Primarna energija MJ/USD | Električna energija Wh/USD | Primarna energija kgoe/USD | Električna energija Wh/USD |
| OECD | 20,6 | 471,8 | 15,9 | 659,4 |
| Istočna Europa | 62,6 | 1 039,1 | 49,1 | 1 383,9 |
| Zemlje u razvoju | 39,5 | 295,9 | 30,2 | 667,8 |
| Svijet | 23,9 | 493,4 | 23,1 | 745,1 |

Energetsku učinkovitost treba razlikovati kada je u pitanju potrošnja primarne energije i kada je u pitanju potrošnja električne energije. Stopa rasta potrošnje primarne energije po stanovniku u zemljama OECD je u periodu 1973.–1988. gotovo stagnirala dok je u skupini zemalja u razvoju u istom periodu porasla za oko 50%. U zemljama Istočne Europe je potrošnja primarne energije po stanovniku u tom periodu bila u izvjesnom porastu, tako da je i u skupini industrijski razvijenih zemalja uzevši sumarno (OECD+Istočna Europa) ipak zabilježen porast potrošnje primarne energije po stanovniku, ali bitno niži od onog u zemljama u razvoju. Prosječni porast potrošnje primarne energije u svijetu u periodu 1973.–1991. je iznosio oko 2% godišnje.

Intenzivnost uporabe energije u svim zemljama s porastom njihove razvijenosti bilježi pad koji je u prosjeku, gledajući razdoblje od oko 20 godina unatrag (razdoblje 1973.–1985.), bio oko 1% godišnje [2]. Ako, radi primjera, pogledamo podatke za Kinu [3], kao zemlju u brzom razvoju, za period 1980.–1988. uočavamo konstantan pad potrošnje energije po jedinici vrijednosti društvenog proizvoda koja pada od

61 MJ/USD u 1980. godini na 43 MJ/USD u 1988. godini (uz vrijednost US dolara iz 1980. godine).

Zbog toga je porast društvenog proizvoda, posebno u razvijenim zemljama, brži od porasta potrošnje primarne energije, što potvrđuje da efikasnost potrošnje energije raste sa stupnjem razvijenosti zemlje.

U cilju potvrde ovog navoda, u tablici 2.2.9 radi detaljnije potvrde podataka iz tablice 2.2.8, dana je informacija o utrošku energije po jedinici društvenog proizvoda za neke odabrane zemlje za 1980. i 1985. godinu. Prikazan je utrošak energije po dolaru ostvarenog bruto društvenog proizvoda. Računato je s vrijednošću dolara iz 1980. godine. Iz tablice se razabire da bez iznimke kod svih zemalja utrošak primarne energije po jedinici društvenog proizvoda s vremenom pada, dok utrošak primarne energije za proizvodnju električne energije raste.

Tablica 2.2.9. Utrošak energije po jedinici bruto društvenog proizvoda (MJ/USD80) i postotak primarne energije trošen za proizvodnju električne energije kod nekih zemalja u 1980. i 1985. godini.

| Zemlja | Utrošak primarne energije po jedinici bruto proizvoda (MJ/USD80)* | | Postotak primarne energije utrošen za proizvodnju električne energije | |
|----------------|---|-------|---|-------|
| | 1980. | 1985. | 1980. | 1985. |
| SAD | 28,6 | 24,8 | 32,5 | 34,1 |
| Vel. Britanija | 19,9 | 14,7 | 34,2 | 35,0 |
| Njemačka | 14,3 | 13,0 | 33,6 | 35,6 |
| Francuska | 12,6 | 11,8 | 32,2 | 39,1 |
| Japan | 14,3 | 12,2 | 33,0 | 39,8 |
| Kanada | 34,4 | 32,8 | 37,8 | 42,7 |
| Austrija | 14,7 | 13,8 | 34,4 | 38,7 |
| Španjolska | 14,3 | 13,8 | 35,4 | 40,5 |
| Finska | 21,4 | 19,3 | 34,1 | 40,8 |
| Australija | 21,0 | 19,3 | 36,2 | 38,6 |
| Čile | 23,1 | 19,7 | 31,7 | 37,5 |
| Brazil | 35,3 | 28,1 | 28,8 | 36,9 |
| Argentina | 32,8 | 27,7 | 22,7 | 29,3 |
| Meksiko | 37,4 | 26,0 | 19,5 | 30,9 |
| J. Koreja | 54,6 | 34,4 | 16,1 | 25,2 |
| Filipini | 39,9 | 33,2 | 25,6 | 27,1 |
| Indija | 42,0 | 37,8 | 21,9 | 28,6 |
| Egipat | 36,1 | 32,8 | 26,9 | 32,5 |
| bivši SSSR | 24,5 | 25,2 | 33,3 | 34,2 |
| Mađarska | 55,9 | – | 26,8 | – |

* vrijednost USD iz 1980. godine

Utrošak primarne energije za proizvodnju električne energije

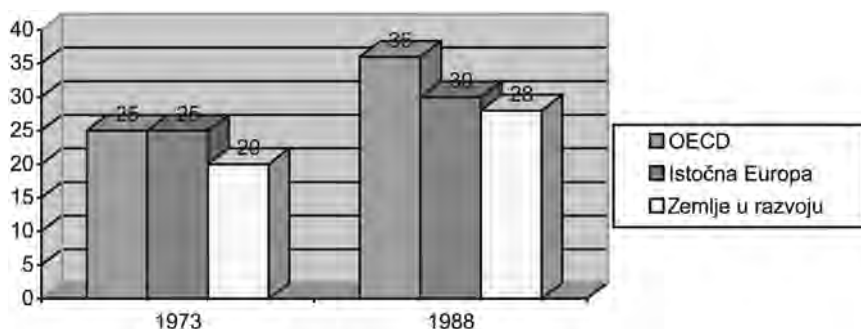
Za prognozu razvoja elektroenergetike značajan je pokazatelj postotak utroška primarne energije za proizvodnju električne energije. U tablici 2.2.9 dan je taj podatak

za pojedine zemlje za godinu 1980. i 1985. Kao što je već primijećeno taj postotak raste s vremenom, a veći je u razvijenijim zemljama.

Kao dodatnu podlogu za analizu istog pokazatelja u tablici 2.2.10 [1] dan je pregled prosječnih utrošaka primarne energije za proizvodnju električne energije po osnovnim skupinama zemalja za 1973. i 1988. godinu. Grafički prikaz podataka iz tablice nalazi se na slici 2.2.4.

Tablica 2.2.10. Prosječni postotak primarne energije koji se troši na proizvodnju električne energije u 1973. i 1988. godini po skupinama zemalja i prosjek za cijeli svijet.

| Skupina zemalja | 1973. | 1988. |
|------------------|------------|------------|
| OECD | 25% | 36% |
| Istočna Europa | 25% | 30% |
| Zemlje u razvoju | 20% | 28% |
| Svijet | 24% | 33% |



Slika 2.2.4. Prosječni postotak primarne energije koji se troši na proizvodnju električne energije

Tim se pokazateljem potkrepljuje tvrdnja o značaju električne energije u gospodarskom razvoju svake zemlje. U direktnoj je korelaciji s gospodarskim razvojem zemlje i raste sa stupnjem gospodarskog razvoja.

Učinkovitost pretvorbe toplinske energije u električnu energiju

Učinkovitost pretvorbe toplinske energije u električnu energiju također je jedan od pokazatelja o kojemu ovisi buduća potrošnja energije. Učinkovitost pretvorbe bilježi konstantan porast. Očekuje se da će nakon primjene novih tehnologija u energetici učinkovitost pretvorbe porasti s današnjih 30–35% na iznad 50% [7], i time dodatno pridonijeti smanjenju stope porasta primarne energije u odnosu na stopu porasta električne energije.