

Prof. dr SIMEON OKA

## NOVE TEHNOLOGIJE U SAGOREVANJU I ENERGETICI

### NEW TECHNOLOGIES OF COMBUSTION IN ENERGETIC

***Abstract:** The author has presented brief review of the strategic aims in development of energetic in the world. The major part of the work is concerned with different aspects of combustion technologies. Very elaborate review of existing classical, commercial, technologies is presented. They have been discussed from many points of view (efficiency, commercial, ecological). Special attention has been paid to new technologies in combustion. Many new technologies and boilers (ABFBC, ACFBC FFCC, PBFBC, PCFBC, PPC, IGCC), have been elaborated in many details. The author has discussed the priorities in development of energetic in Balkan countries suggesting explicitly various solutions.*

#### 1. ENERGETIKA, RAZVOJ DRUŠTVA I TEHNOLOŠKI RAZVOJ

Energetika je specifična oblast privredne delatnosti. Iako nije uputno bilo koju delatnost proglašavati kao najvažniju, ipak

energetika ima poseban značaj za sve ostale društvene i privredne delatnosti. Danas, bez obezbeđivanja dovoljnih količina energije svih vidova, ne može se govoriti o napretku jedne države ili čovečanstva u celini. Osim privrednih delatnosti, ni druge oblasti ljudskih aktivnosti (kultura, zdravstvo, umetnost) ne mogu računati sa velikim dostignućima ukoliko nisu obezbeđene dovoljne količine energije. Pri tome je energija specifična vrsta robe, koja je do nedavno bila pod državnom kontrolom čak i u društvima sa razvijenom tržišnom privredom. U manje razvijenim državama, energija je i sredstvo za održavanje minimalnih uslova socijalne sigurnosti najsiromašnijih slojeva stanovništva, i kao takva je i socijalna kategorija, a ne samo tržišna.

Nije dovoljno da energetska sistem jedne zemlje obezbeđuje samo dovoljnu količinu energije. Energetska sistem je dobro organizovan ako pored dovoljnih količina obezbeđuje i sve neophodne vidove energije za različite društvene i privredne potrebe. Osim električne energije, neophodna je i toplotna energija različitog temperaturnog nivoa, u vidu gasova različitog temperaturnog nivoa ili u vidu pregrejane ili zasićene pare i vrele vode. Metalurgija, industrija nemetala i hemijska industrija zahtevaju pretežno toplotnu energiju za visokotemperaturne procese. Prehrambena i poljoprivredna industrija i mnoge grane procesne industrije troše uglavnom toplotnu energiju za niskotemperaturne procese. Niskotemperaturna toplotna energija potrebna je i za daljinsko grejanje gradova, grejanje administrativnih, vojnih i industrijskih objekata.

Pogrešno je, mada se često čini, energetska sistemom nazivati samo elektroenergetska sistem. Energetska sistem jedne zemlje čine pored elektroenergetskog sistema i sva druga postrojenja za proizvodnju toplotne i/ili električne energije. Energetska sistem je dobro organizovan samo ako je elektroenergetska sistem usklađen sa svim ostalim postrojenjima za proizvodnju energije (električne ili toplotne) bilo u industriji (energane ili postrojenja u sklopu industrijskih procesa) ili u javnim delatnostima (toplane za daljinsko grejanje).

Elektroenergetska sistem, i energetska sistem u celini, moraju obezbediti efikasnu, ekonomičnu i ekološki prihvatljivu proizvodnju energije, na svim mestima i u pravo vreme.

Zbog specifičnog značaja i zbog neophodne visoke pouzdanosti i stalne raspoloživosti, postrojenja za transformaciju energije su više nego mnoge druge privredne delatnosti predmet stalnog tehnološkog usavršavanja. Značajan deo naučnih potencijala u svetu angažovan je na tehnološkom usavršavanju procesa i postrojenja za transformaciju energije. Elektroenergetski sistem, kao jedan od najorganizovanijih i stručno najjačih sistema jedne države, najpogodniji je poligon za primenu novih tehnologija ili usavršavanje postojećih procesa za transformaciju energije.

Razvijene države, i njihovi energetske sistemi, neprekidno prate razvoj novih energetske tehnologije i novih izvora energije (posebno obnovljivih izvora), podstiču ovaj razvoj i finansiraju ga [1,2]. Istovremeno, energetske sistemi su prvi koji primenjuju nove energetske tehnologije. Ovakvom politikom postiže se nekoliko ciljeva. Stalno se povećava efikasnost transformacije energije, efikasnost korišćenja energetske izvora i ekonomičnost njihovog korišćenja. Omogućava se sopstvenoj industriji da bude stalno konkurentna na svetskom tržištu, i da ima dokazane reference o valjanosti svojih tehnoloških rešenja. Najzad, ali ne i najmanje važno, doprinosi se smanjenju štetnog uticaja energetske postrojenja na okolinu [3].

## 2. STRATEŠKI CILJEVI RAZVOJA ENERGETIKE

Zahtevi koje je društveni i industrijski razvoj postavljao uređajima za proizvodnju energije, energetske tehnologijama i energetske sistemu u celini, bili su različiti u raznim periodima industrijskog razvoja. Istovremeno, ovi zahtevi su različiti u različitim državama, zavisno od stepena njihovog razvoja, i strukture i obima domaćih energetske izvora. Poslednjih decenija, sa opštim kretanjem ka globalizaciji u svim oblastima, i zahtevi koji se postavljaju energetske tehnologijama sve više postaju zajednički za sve zemlje [4].

U početku, energetske tehnologije imale su zadatak da proizvedu što više energije koristeći lokalne energetske izvore - najčešće hidroenergiju i uglj. Posle Drugog svetskog rata, tečna i gasovita goriva koja su mogla da se nabavljaju na svetskom tržištu po niskim

cenama, usmerila su razvoj energetike ka korišćenju ovih goriva. Intenzivno se razvijaju tehnologije za sagorevanje tečnih i gasovitih goriva, a tehnologije za sagorevanje uglja zaostaju u razvoju, ili se razvijaju samo u zemljama sa velikim rezervama uglja. U čitavom periodu do prve energetske krize osnovni kriterijum za ocenu tehnologija bila je ekonomičnost proizvodnje energije.

Sa prvom energetsom krizom, početkom 70-tih godina stanje se drastično menja. Razvoj se usmerava ponovo ka tehnologijama za sagorevanje uglja, a veliki značaj dobijaju tehnologije za korišćenje obnovljivih i nekonvencionalnih energetskih izvora [5]. Istovremeno, uticaj na okolinu energetskih postrojenja postaje presudan kriterijum za ocenu energetskih tehnologija. Tehnologije za smanjenje emisije  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  jedinjenja počinju da se intenzivno razvijaju. Od tada ekološke norme se stalno pooštravaju, uvode se norme za nova jedinjenja i postavljaju obaveze za smanjenje prekograničnog zagađenja. Poslednjih godina uvode se obaveze za smanjenje emisije  $\text{CO}_2$  da bi se smanjilo globalno otopljanje [6,7,8].

Danas, polazeći od strukture, nivoa i istorije razvoja sopstvenog energetskog sistema, energetska politika jedne zemlje i formulisanje ciljeva razvoja energetskog sistema, mora da uzme u obzir veliki broj lokalnih i globalnih činjenica i zahteva:

- strukturu i veličinu rezervi domaćih izvora energije;
- neminovno povećanje udela nekonvencionalnih izvora energije u proizvodnji energije (industrijski otpad, otpad poljoprivrede, komunalni otpad);
- neminovno povećanje udela obnovljivih izvora energije u proizvodnji energije (biomasa, energija sunca, energija vetra, geotermalna);
- obavezno i stalno povećavanje efikasnosti energetskih procesa, kako u proizvodnji raznih vidova energije tako i u njihovoj potrošnji;
- postepeno uvođenje novih energetskih tehnologija radi povećanja efikasnosti, ekonomičnosti i ekološke prihvatljivosti energetskih postrojenja, kao i njihove raspoloživosti i pouzdanosti;



- sve oštrije propise o dozvoljenoj emisiji štetnih jedinjenja, vodeći računa o ekološkim obavezama prema sopstvenom stanovništvu, ali i o obavezama prema susedima, i konačno
- poštovanje ekoloških obaveza radi smanjenja globalnog otopljanja.

Strategija razvoja energetike jedne zemlje (regiona) je optimalna kombinacija svih nabrojanih uticaja radi ostvarivanja specifičnih prioritetnih ciljeva koji se u konkretnoj zemlji moraju realizovati. Naravno, nije moguće istovremeno realizovati sve navedene ciljeve, niti su prioriteti isti u svim zemljama. Zbog toga je svaka zemlja dužna da odredi prioritetne ciljeve koji se u datom vremenskom roku moraju ostvariti, da bi u narednoj fazi moglo da se pređe na realizaciju ostalih ciljeva.

### 3. PRAVCI RAZVOJA ENERGETIKE U SVETU

I pored razumljivih razlika u politici razvoja energetike koje postoje zbog specifičnih uslova i potreba pojedinih zemalja, ipak se mogu izdvojiti opšti pravci kojima se kreće razvoj energetske politike u svetskim razmerama. Ovi pravci razvoja mogu da posluže kao putokaz i pri formulisanju energetske politike u pojedinim zemljama i regionima. U svakom slučaju, ciljevi koje danas ostvaruju razvijene zemlje treba da predstavljaju krajnje dugoročne ciljeve svake energetske politike, a od specifičnih uslova i potreba zavisice samo prioritet i rokovi ostvarivanja ovih ciljeva.

**Energetska nezavisnost** – Među najvažnijim ciljevima svake energetske politike je energetska nezavisnost, koja se postiže smanjenjem uvoza goriva, korišćenjem više energetske politike i snabdevanjem energijom od više različitih snabdevača. Ostvarivanju ove nezavisnosti od uvoza, izvora energije i snabdevača konstanta je politike na svim nivoima, od državnog nivoa do pojedinačnog industrijskog ili komunalnog preduzeća. Ovi ciljevi se ostvaruju maksimalnim korišćenjem domaćih energetske politike i snabdevanja, sve većim korišćenjem novih i obnovljivih izvora energije (pre svega biomase) i korišćenjem nekonvencionalnih goriva (industrijski,

poljoprivredni i komunalni otpad). U zemljama sa značajnim rezervama uglja teži se većem korišćenju uglja, i to i nekvalitetnih ugljeva, i vanbilansnih rezervi uglja.

**Korišćenje savremenih tehnologija** – Prethodno navedeni ciljevi mogu se ostvariti samo korišćenjem novih energetske tehnologije. Zbog toga se u razvijenim zemljama podstiče i finansira usavršavanje klasičnih tehnologija za sagorevanje uglja, razvoj novih tehnologija za sagorevanje uglja i nove tehnologije za sagorevanje biomase i otpadnih goriva. Poseban, dugoročni, značaj imaju tehnologije za korišćenje obnovljivih izvora energije, iako u srednjoročnom periodu, jedino korišćenje biomase može da ima veći udeo u proizvodnji primarne energije. Nove tehnologije sagorevanja, posebno, moraju imati visoku efikasnost i ekonomičnost pri korišćenju različitih, i pre svega nekvalitetnih fosilnih goriva, biomase i otpadnih goriva. Naročiti značaj dobija fleksibilnost postrojenja u pogledu kvaliteta i vrste goriva i veliki opseg promene opterećenja, jer se time obezbeđuje nezavisnost od tipa goriva i snabdevača.

**Maksimalna zaštita životne okoline** – Težnja za smanjenjem zagađenja okoline energetske postrojenja postala je presudan činilac razvoja energetske tehnologije poslednjih decenija. Ekološka prihvatljivost je postala presudan kriterijum za primenu neke tehnologije u razvijenim zemljama. U razvijenim zemljama neprekidno se pooštavaju propisi o dozvoljenim emisijama štetnih jedinjenja. Propisi o dozvoljenoj emisiji su osnovni pokretač razvoja novih tehnologija za sagorevanje fosilnih goriva, a pre svega uglja, i za prečišćevanje dimnih gasova. Razvijene zemlje (Evropska unija, zemlje OECD-a i SAD) imaju približno iste propise. U zemljama u razvoju usvajaju se propisi o emisiji zavisno od ekološke situacije i ekonomske moći, ali razvoj se neminovno kreće u pravcu sve oštrijih propisa. Dobijanje kredita od međunarodnih banaka i fondova uslovljeno je primenom tehnologija sa emisijom koja zadovoljava svetske propise. Pored osnovnih jedinjenja koja podležu propisima (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, čestice), svakodnevno se uvode propisi o ograničenju emisije novih štetnih jedinjenja (N<sub>2</sub>O, ugljovodoni, i dr.). Poslednja decenija ovog veka obeležena je velikim diskusijama i kontraverzama o globalnom otopljavanju [6] usled emisije jedinjenja koja izazivaju

efekat staklene bašte (CO<sub>2</sub>). Najnovijim konvencijama usvojenim u Rio de Ženeiru i Kjotu uspostavljene su obaveze svih zemalja za smanjenje emisije CO<sub>2</sub>.

**Maksimalna ušteda energije** – Ima više razloga za stalnu brigu o razumnom korišćenju energije. Posle prve i druge energetske krize osnovni motiv bio je smanjenje potrošnje tečnih goriva zbog njihove visoke cene. Međutim, ubrzo je postalo jasno da se energija mora štedeti iz više, mnogo važnijih, razloga. Rezerve fosilnih goriva, u dužem ili kraćem periodu, su iscrpive. Tehnologije za korišćenje obnovljivih izvora energije još ne omogućuju njihovu značajniju primenu, posebno za proizvodnju električne energije. Ekološki problemi se takođe rešavaju štednjom energije. Za smanjenje emisije CO<sub>2</sub> danas je jedina ekonomski opravdana mera, povećanje efikasnosti postrojenja, odnosno manji utrošak fosilnih goriva po jedinici proizvedene energije. Svi navedeni razlozi pokazuju da racionalno (razumno) korišćenje energije ne treba usko shvatiti samo kao razvoj proizvodnih tehnologija koje troše malo energije po jedinici proizvoda. Racionalno korišćenje energije je i razumno korišćenje raspoloživih i različitih resursa fosilnih goriva, kao i korišćenje novih efikasnijih tehnologija za proizvodnju, prenos i krajnje korišćenje energije.

#### 4. TEHNOLOGIJE RASPOLOŽIVE U NAREDNIH 20 GODINA

Ostvarivanje ciljeva razvoja energetske sistema o kojima je bilo reči, a koji se postavljaju svakim danom sve oštrije pred razvijene zemlje, i o čijem ostvarivanju moraju da brinu već sada i zemlje u razvoju, može se postići samo uvođenjem novih energetske tehnologija ili usavršenih klasičnih tehnologija koje su trenutno u upotrebi.

Korišćenje tečnih goriva stvara manje ekološke probleme, a mnogi postupci i tehnologije razvijene za sagorevanje čvrstih goriva mogu se primeniti i pri sagorevanju tečnih goriva (dvostepeno sagorevanje za smanjenje emisije NO<sub>x</sub>, tehnologije prečišćavanja produkata sagorevanja od SO<sub>2</sub>). Korišćenje gasovitih goriva stvara najmanje

ekološke probleme (nema  $\text{SO}_2$ , najmanja je emisija  $\text{CO}_2$ , emisija  $\text{NO}_x$  potiče samo od atmosferskog azota).

To je jedan od razloga zbog kojih će u ovom tekstu biti govora samo o tehnologijama sagorevanja čvrstih goriva (uglja, biomase i otpadnih goriva). Drugi razlog je što nerazvijene zemlje, i zemlje u razvoju, a takve su sve Balkanske zemlje, moraju pretežno da se oslanjaju na sopstvene energetske izvore (ugalj, biomasu, otpadna goriva i obnovljive izvore energije), zbog potrebe smanjivanja uvoza tečnih i gasovitih goriva.

Tehnologije o kojima je reč mogu se podeliti u tri velike grupe:

- tehnologije koje obezbeđuju dalje korišćenje klasičnih postrojenja za sagorevanje čvrstih goriva, pre svega postrojenja za sagorevanje spraćenog uglja u letu,
- nove tehnologije sagorevanja,
- nove tehnologije koje omogućuju organizaciju kombinovanih parno-gasnih ciklusa.

Pri razmatranju tehnologija koje su u razvoju detaljnije će se govoriti o onim tehnologijama koje su već dokazane u primeni, dok će tehnologije koje su u fazi razvoja ili u demonstracionoj fazi biti samo pomenute. Zemlje u razvoju nemaju ni vremena ni ekonomsku moć da uvode tehnologije koje još nisu dokazane u primeni i koje po ekonomičnosti ne mogu da konkurišu već tržišno raspoloživim tehnologijama.

#### **4.1. Usavršene klasične tehnologije sagorevanja**

Razvoj klasičnih tehnologija sagorevanja dostigao je tehničko savršenstvo. Efikasnost sagorevanja kotlova za sagorevanje spraćenog uglja u letu veća je od 99% i nema mogućnosti za njeno dalje povećanje. Fleksibilnost u pogledu kvaliteta goriva i opseg promene snage nije moguće dalje povećavati kod ovog načina sagorevanja. Zbog toga je usavršavanje klasičnih tehnologija sagorevanja usmereno uglavnom na smanjenje emisije  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  jedinjenja. Emisiju čestica iz kotlova sa sagorevanjem u letu moguće je usaglasiti sa svetskim

normama ( $<50\text{mg/m}^3$ ) primenom savremenih elektrostatičkih filtara sa efikasnošću otprašivanja 99,9%.

Ekološku prihvatljivost tehnologije sagorevanja u letu moguće je ostvariti na dva principijelno različita načina:

- organizacijom sagorevanja u ložištu i
- postupcima za prečišćavanje produkata sagorevanja.

Za smanjenje emisije  $\text{NO}_x$  jedinjenja sledeće tehnologije su u primeni, i komercijalno dostupne na svetskom tržištu, već više decenija:

- gorionici sa smanjenom emisijom  $\text{NO}_x$  (*low- $\text{NO}_x$  burners*)
- dvostepeno sagorevanje radi smanjenja  $\text{NO}_x$  (*stage combustion*)
- dodavanje amonijaka na izlazu iz ložišta (*ammonia addition*)
- naknadno dogorevanje (*OFA - Over Fire Air*).

Koristeći ove tehnologije mnoge zemlje postigle su značajno smanjenje emisije azotovih oksida iz kotlova za sagorevanje uglja u letu, ali i iz kotlova za sagorevanje tečnih i gasovitih goriva. Međutim, zadovoljenje savremenih propisa o emisiji  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  jedinjenja ( $\text{NO}_x < 200\text{ mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2 < 400\text{ mg/m}^3$ ) moguće je postići samo postupcima za naknadno prečišćavanje dimnih gasova, koje se takođe primenjuju već više decenija:

- katalitički postupci za uklanjanje  $\text{NO}_x$  (*SRC - Selective Catalytic Reduction*),
- suvi i polusuvi postupci sa vezivanjem  $\text{SO}_2$  (*dry, semi dry sorbent addition*),
- vlažni postupci za vezivanje  $\text{SO}_2$  (*wet scrubbing*)

Od tehnologija koje su u razvoju, ili u fazi industrijskog dokazivanja, ali koje još nisu ekonomične u poređenju da drugim tehnologijama, treba pomenuti:

- sagorevanje suspenzije uglja u vodi, koje se nalazi u fazi demonstracionih postrojenja industrijskih razmera za kvalitetne ugljeve, i

- sagorevanje u letu pod pritiskom koje se nalazi u eksperimentalnoj fazi.

Za ove dve tehnologije se očekuje da će postati komercijalne tek u srednjoročnom periodu (za 20-25 godina), te nisu interesantne za rešavanje trenutnih energetske probleme.

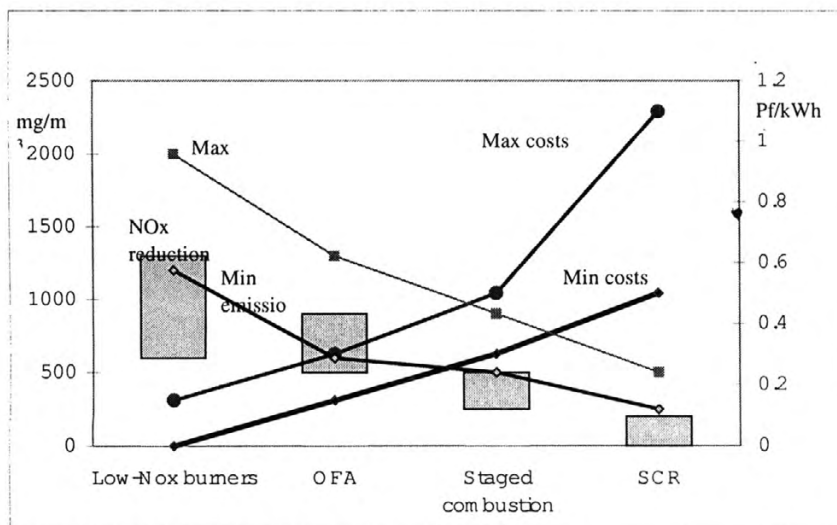
Od tehnologija koje su u primeni treba pomenuti korišćenje termalne plazme za potpalu i podršku vatre u kotlovima za sagorevanje uglja u letu. Primenom termalne plazme moguće je smanjiti ili potpuno zameniti korišćenje tečnih goriva za potpalu i podršku vatre u kotlovima koji sagorevaju ugalj, i time doprineti opštim naporima za smanjenje potrošnje i uvoza tečnih goriva. Istovremeno, povećava se opseg promene oprećenja i fleksibilnost u pogledu kvaliteta goriva [9].

Koja će tehnologija za smanjenje emisije  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  biti primenjena radi smanjenja emisije postojećih kotlova sa sagorevanjem u letu zavisi od:

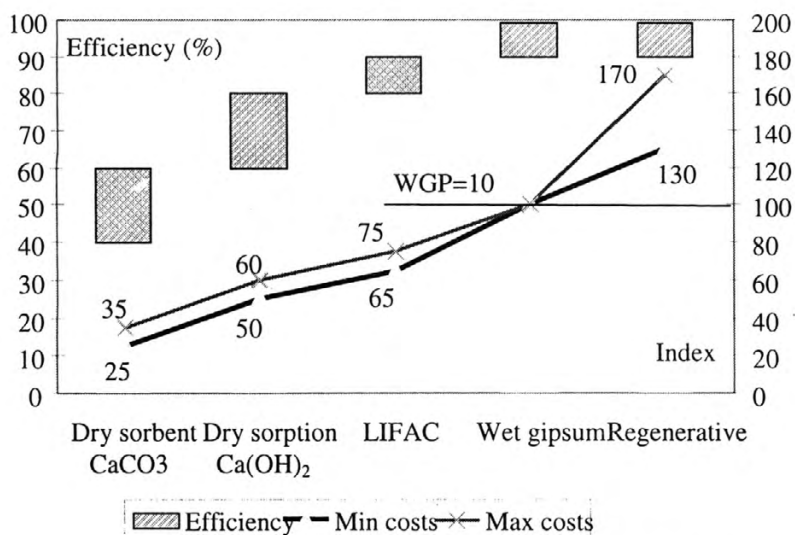
- kvaliteta i karakteristika uglja,
- konstrukcije i starosti postrojenja,
- važećih ekoloških normi,
- mogućeg pooštavanja ekoloških normi u toku radnog veka postrojenja,
- opšte ekološke situacije u okolini termoenergetskog postrojenja,
- raspoloživih materijalnih sredstava.

Grub uvid u mogućnost i ekonomičnost primene navedenih tehnologija može se dobiti analizom podataka datih na Slikama 1 i 2, preuzetim iz [10].

Na Slici 1. upoređeni su - povećanje cene proizvedene energije i efikasnost smanjenja koncentracije  $\text{NO}_x$  jedinjenja - pri primeni ranije navedenih tehnologija. Uočava se da troškovi proizvodnje električne energije značajno rastu kada se primenjuju ovi postupci. Povećanje cene je posebno veliko pri sagorevanju kvalitetnih ugljeva i kada su propisi o emisiji  $\text{NO}_x$  rigorozni. U slučaju kotlova loženih lignitom, sadašnje norme Evropske unije moguće je zadovoljiti i primenom jeftinije tehnologije - gorionika sa smanjenom emisijom azotovih oksida (*low- $\text{NO}_x$  burners*).



Slika 1. Efikasnost i dodatni troškovi proizvodnje energije pri uvođenju različitih tehnologija za smanjenje emisije NO<sub>x</sub>



Slika 2. Efikasnost i relativna cena primene različitih postupaka za naknadno odsumporavanje dimnih gasova (Vlažni postupak: Index=100)



Na Slici 2. upoređena je relativna cena uvođenja raznih tehnologija za odsumporavanje, uzimajući kao osnovu cenu vlažnog postupka za odsumporavanje. U kotlovima loženim lignitom (ili ugljevima sa nižim procentom sumpora) moguće je približiti se evropskim normama i primenom manje skupih postupaka sa efikasnošću odsumporavanja 60-75%. Međutim, i u ovom slučaju, za ostvarivanje evropskih normi potrebna je primena vlažnog postupka.

#### 4.2. Nove tehnologije sagorevanja

Usavršavanjem klasičnih tehnologija za sagorevanje čvrstih goriva bilo je moguće ostvariti samo ekološku prihvatljivost ovih tehnologija. Investicije neophodne za gradnju postojenja za prečišćavanje dimnih gasova kod kotlova za sagorevanje čvrstih goriva su veoma visoke i dostižu cenu kotlovskog postrojenja. Uvođenje ovih postupaka je kod kotlova manjih i srednjih snaga bilo neprihvatljivo skupo. Može se reći da je ekološka prihvatljivost ovim postupcima obezbeđena samo za velike kotlove u sistemima za proizvodnju električne energije, ali da su ekološki problemi primene uglja i drugih čvrstih goriva u postrojenjima malih i srednjih snaga i dalje ostali nerešeni.

Zbog toga je još od početka prve energetske krize postojala težnja da se razviju nove tehnologije sagorevanja koje će omogućiti ekonomično smanjenje emisije  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  jedinjenja i u postrojenjima malih snaga, ali i sagorevanje loših i nekvalitetnih ugljeva, otpadnih goriva, veću fleksibilnost postrojenja u pogledu kvaliteta goriva i veći opseg promene snage.

Jedina nova tehnologija sagorevanja koja je razvijena do komercijalne ponude, i koja se ekonomično i ekološki prihvatljivo može koristiti u širokom dijapazonu snaga postrojenja, jeste sagorevanje u fluidizovanom sloju inertnog materijala (Fluidized Bed Combustion - FBC). Danas se nalaze u pogonu kotlovi FBC ukupne snage više desetina hiljada megavata. U pogonu su postrojenja jedinične snage od  $1\text{MW}_i$  do  $250\text{MW}_e$ , a svetske firme nude na tržištu postrojenja snage do  $400\text{MW}_e$ . Počevši od 1980. godine u demonstracionom pogonu nalazi se više velikih kotlova (snage 110-250  $\text{MW}_e$ ) u više elektroenergetskih sistema: u SAD-u, Fancuskoj,

Nemačkoj, Španiji, Japanu, Južnoj Koreji, Poljskoj, Čehoslovačkoj i drugim zemljama [11]. Osnovne prednosti ove tehnologije sagorevanja su [5, 11]:

- kotlovi FBC mogu da efikasno sagorevaju goriva veoma različitog kvaliteta, istovremeno ili naizmenično, prelaz sa jednog goriva na drugo je lak i jednostavan;
- goriva sa 60% vlage ili sa 60% pepela i do 10% sumpora, mogu sagorevati u fluidizovanom sloju efikasno i stabilno;
- mogu efikasno sagorevati otpadna i nekonvencionalna goriva (industrijski i gradski otpad i otpadna biomasa);
- efikasnost sagorevanja prelazi 99.5%;
- temperatura sagorevanja je niska, 800°C - 850°C, što omogućava postizanje male emisije NO<sub>x</sub> (<200 ppm);
- istovremeno, niska temperatura sagorevanja omogućava sagorevanje ugljeva sa niskom temperaturom sinterovanja pepela, bez intenzivnog zaprljanja grejnih površina;
- vezivanjem SO<sub>2</sub> sa krečnjakom u ložištu postiže se emisija SO<sub>2</sub> < 200 ppm;
- stepen odsumporavanja je preko 95%;
- nisu potrebni uređaji za naknadno prečišćavanje produkata sagorevanja;
- širok opseg promene opterećenja (20-100%);
- rad na malim snagama moguć je bez pomoćnog goriva, bez smanjenja temperature sagorevanja i povećanja emisije SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i drugih štetnih jedinjenja;
- brzina promene opterećenja je 4-8%/min;
- izgrađena postrojenja imaju visoku pouzdanost i raspoloživost (preko 95%).

Kotlovi sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju prošli su nekoliko faza razvoja. Danas se u različitim stadijumima razvoja i primene nalazi više generacija kotlova ove vrste.

**Kotlovi sa sagorevanjem u mehurastom fluidizovanom sloju na atmosferskom pritisku (kotlovi ABFBC - *Atmospheric Bubbling Fluidized Bed Combustion boilers*) su u komercijalnoj primeni od 1975. godine. Pogodni su za gradnju jedinica (ložišta i**

kotlova) male i srednje snage (do 150MW<sub>e</sub>), za proizvodnju električne i toplotne energije u industriji i poljoprivredi i u komunalnoj energetici. Zadovoljavaju umerene propise o emisiji SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> i omogućavaju istovremeno ili naizmenično sagorevanje goriva različitog kvaliteta. Fleksibilnost u pogledu kvaliteta i granulacije goriva omogućava sagorevanje biomase i otpadnih goriva (industrijski i komunalni otpad). Pogodni su za rekonstrukciju kotlova na tečna goriva na sagorevanje uglja i drugih čvrstih goriva, i za prevođenje konvencionalnih kotlova za sagorevanje uglja (u sloju ili u letu) na sagorevanje u fluidizovanom sloju. Postoji veliko pogonsko iskustvo, jer je više hiljada jedinica u pogonu već više godina [5,12].

**Kotlovi sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju na atmosferskom pritisku (kotlovi ACFBC - *Atmospheric Circulating Fluidized Bed Combustion boilers*)** su u komercijalnoj primeni od 1980. godine. Pogodni su za gradnju jedinica srednjih i velikih snaga (250MW<sub>e</sub> u pogonu i 400MW<sub>e</sub> u ponudi). U primeni su za proizvodnju toplotne i električne energije u industriji i komunalnoj energetici, a već više godina i u redovnoj eksploataciji u elektroenergetskim sistemima. U poređenju sa kotlovima ABFBC imaju znatno veću fleksibilnost u pogledu kvaliteta goriva i veći opseg promene opterećenja. Zadovoljavaju najoštrije svetske propise o emisiji SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>. Ukupna snaga jedinica u pogonu prelazi 20000 MW<sub>e</sub>, i sakupljeno je značajno pogonsko iskustvo i u najoštrijim uslovima eksploatacije u elektroenergetskim sistemima. Po pokazateljima pouzdanosti i raspoloživosti su na nivou klasične tehnologije sagorevanja u letu. Pogodni su za rekonstrukciju kotlova za sagorevanje u letu, srednje i velike snage na sagorevanje u fluidizovanom sloju, pri revitalizaciji starih kotlovskih jedinica u uslovima kada treba zadovoljiti oštre ekološke norme i kada se očekuje pogoršanje kvaliteta goriva i potreba sagorevanja različitih goriva [13,14].

**Kotlovi sa sagorevanjem u mehurastom fluidizovanom sloju na povišenom pritisku (kotlovi PBFBC - *Pressurized Bubbling Fluidized Bed Combustion boilers*),** nalaze se u demonstracionoj fazi dokazivanja parametara u pogonu u elektroenergetskim sistemima, iako se komercijalno nude na svetskom

tržištu. U pogonu je 5 jedinica srednje snage (70-80MW<sub>e</sub>) a nude se na tržištu jedinice snage 350MW<sub>e</sub>. Kotlovi PBFBC, pored opštih prednosti koje ima ova tehnologija sagorevanja, omogućavaju i primenu kombinovanih gasno-parnih ciklusa. Pogodni su za primenu u elektroenergetskim sistemima i za kombunovanu proizvodnju električne i toplotne energije [15, 16].

**Sagorevanje u cirkulacionom fluidizovanom sloju na povišenom pritisku (kotlovi PCFBC - *Pressurized Circulating Fluidized Bed Combustion boilers*)** nalaze se u eksperimentalnoj fazi i u pogonu je samo nekoliko manjih demonstracionih postrojenja. Predviđa se korišćenje ovih kotlova za iste svrhe kao i kotlova PBFBC, za kombinovane gasno-parne cikluse. U toku je utvrđivanje tehničkih karakteristika ovih kotlova i još nema pogonskog iskustva, niti se nude na tržištu pod komercijalnim uslovima.

Kotlovi ABFBC i ACFBC, koji se komercijalno nude na svetskom tržištu, i koji su u dugotrajnom pogonu, počevši od početka osamdesetih godina, dokazali svoje prednosti u industrijskoj eksploataciji, direktna su konkurencija klasičnim kotlovima sa sagorevanjem u letu, a u znatnoj su prednosti u odnosu na sagorevanje uglja na rešetki. Poređenje se može objektivno vršiti samo sa kotlovima sa sagorevanjem u letu koji imaju uređaje za naknadno prečišćavanje produkata sagorevanja, tj. za iste vrednosti emisije SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>. Kotlovi ABFBC i kotlovi ACFBC (svaki u oblasti jediničnih snaga u kojoj su pogodni za primenu) u potpunosti su konkurentni, po ekonomičnosti, efikasnosti i ekološkoj prihvatljivosti kotlovima sa sagorevanjem u letu. Pri tome imaju značajnu prednost u slučajevima kada je potrebno sagorevati nekvalitetna goriva, neuobičajena goriva, otpad svake vrste i biomasu. Posebno su jedino rešenje u slučajevima kada je potrebno istovremeno sagorevati goriva različitog kvaliteta i kada se traži širok opseg promene opterećenja. Pri produženju radnog veka blokova termoelektrana i pri prilagođavanju parametara kotlova savremenim ekološkim normama i promeni kvaliteta goriva, kotlovi sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju predstavljaju veoma pogodan izbor [10, 17,18].

Prilikom odlučivanja o primeni kotlova FBC ili klasičnog kotla sa sagorevanjem u letu (sa naknadnim prečišćavanjem produkata sagorevanja), konačna odluka zavisice od konkretnih uslova eksploatacije postrojenja, kvaliteta goriva i ekoloških normi koje treba zadovoljiti. Neophodna je izrada detaljne studije opravdanosti primene klasične ili nove tehnologije sagorevanja sa poređenjem ovih tehnologija po mnogim parametrima [10]. Radi opšteg uvida u ekonomske parametre ove dve tehnologije, u Tabelama 1 i 2 su navedeni podaci o ceni energije i investicionim troškovima iz svetske literature i nedavnih studija [19,20,21,22].

U Tabeli I prikazani su struktura i ukupni proizvodni troškovi klasične tehnologije sagorevanja u letu sa vlažnim odsumporavanjem dimnih gasova (PC+FGD) upoređeni sa drugim konkurentnim energetskim tehnologijama: sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju na atmosferskom pritisku (ACFBC kotao), sagorevanjem u mehurastom fluidizovanom sloju na povišenom pritisku (PBFBC kotao), integrisanim kombinovanim gasno-parnim ciklusom sa gasifikacijom uglja (IGCC) i kombinovanim gasno-parnim ciklusom sa sagorevanjem gasa. (*Natural Gas fired Combined Cycle - NGCC*).

**Tabela I: Proizvodni troškovi električne energije za nekoliko komercijalno raspoloživih energetskih tehnologija [19]**

1993 US cents/kWh

	Investicije	Troškovi eksploatacije i održavanja	Troškovi goriva	Ukupni troškovi
PC+FGD	2.5	0.7	1.3	4.5
ACFBC	2.8	0.7	1.2	4.7
ABPFBC	2.0	0.6	0.9	3.5
IGCC	2.5	1.0	0.5	4.0
NGCC	0.8	0.3	2.4	3.5

Uslovi poređenja:

1. godišnje opterećenje 80%;
2. kameni ugalj (Pittsburg, USA) sa 2.1% sumpora, po ceni od 1.30 US\$/10<sup>6</sup> Btu;
3. fiksne cene iz 1993. godine.

Iako su investicije u postrojenje sa ACFBC kotlom za oko 10% veće nego za klasični kotao sa vlažnim odsumporavanjem, ukupni proizvodni troškovi su praktično jednaki. Naravno, ove podatke treba uzimati kao približne, jer zavise od lokalnih cena, eksploatacionih uslova, karakteristika uglja i lokacije postrojenja.

Nedavna studija [20] pokazuje da su i u našim uslovima investicioni troškovi za postrojenje sa kotlom ACFBC i klasičnim kotlom PC + FGD praktično isti (Tabela II).

**Tabela II: Specifični investicioni troškovi za novo postrojenje loženo lignitom sa ACFBC kotlom i klasičnim kotlom PC+FGD [20]**

Tehnologija	Snaga kotla	
	125MWe (kotlovsko ostrvo) 1990 USD/kW	110MWe (postrojenje u celini) 1997 USD/kW
ACFBC	1000	1600
PC+FGD	1140	1675
FGD	216	175

Podaci poslednjih godina pokazuju da su investicioni troškovi za kotlove ACFBC smanjeni, tako da pod istim uslovima treba računati sa 10% manjim investicijama u ovu vrstu kotlova u odnosu na klasičan kotao sa FGD [21,22].

### 4.3. Nove energetske tehnologije

Do sada smo pomenuli dva pristupa u razvoju novih tehnologija sagorevanja: razvoj novih tipova kotlova (sagorevanje u fluidizovanom sloju) i usavršavanje klasične tehnologije sagorevanja u letu - primarnim merama i naknadnim prečišćavanjem dimnih gasova radi smanjenja emisije  $SO_2$  i  $NO_x$ .

Primenom ovih tehnologija postignuti su sledeći ciljevi: povećanje efikasnosti sagorevanja, proširenje opsega kvaliteta goriva, korišćenje otpadnih goriva i biomase, kao i smanjenje emisije  $SO_2$  i  $NO_x$ . Međutim, značajnije povećanje stepena korisnosti termoenergetskog



postrojenja u celini, smanjenje potrošnje fosilnih goriva i time i smanjenje emisije CO<sub>2</sub> – nije moguće postići na ovaj način.

Postavljanje problema globalnog otpoljavanja u centar interesovanja razvoja energetske tehnologije usmerilo je pažnju u sledeća tri pravca:

- povišenje turbinskih parametara i uvođenje nadkritičnog pritiska u kotlovima, radi povećanja stepena korisnosti parnog ciklusa;
- uvođenje kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije;
- razvoj i uvođenje kombinovanih gasno-parnih ciklusa.

**Uvođenje nadkritičnog parnog ciklusa** ne može se u pravom smislu reći nazvati novom tehnologijom. Radi se o poznatom principu, čije ostvarenje pre svega zavisi od razvoja kvalitetnih materijala. U svetu postoji nekoliko jedinica snage do 1000MW<sub>e</sub>, sa dostignutim stepenom korisnosti 42%. Pritisak pare je 270-310 bara, a temperatura 580-600°C, sa jednim ili dva međupregrevanja. Očekuje se do 2100. godine povećanje stepena korisnosti do 50%, sa parametrima pare 320-330 bara i temperaturom 610-610°C [23].

**Kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije** omogućava značajnu uštedu fosilnih goriva i time i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>, ali njena primena zavisi od lokacije termoenergetskog postrojenja i blizine velikog potrošača toplotne energije (za grejanje i procesnu toplotu). Ovaj pristup je pre svega koristan u industrijskim energanama.

**Kombinovani gasno-parni ciklusi** predstavljaju potpuno nov pristup u proizvodnji energije, kojim je moguće stepen korisnosti postrojenja podići od klasičnih 33-35% u prostom parnom ciklusu (odnosno 35-40% u prostom gasnom ciklusu), na 55-60% u kombinovanom gasno-parnom ciklusu [23]. Kombinovani gasno-parni ciklusi su danas jedini komercijalno konkurentan i eksploataciono dokazan način za smanjenje emisije CO<sub>2</sub>.



U ovom radu neće se razmatrati osobine kombinovanog postrojenja sa gasno-parnim ciklusom, sa prirodnim gasom kao gorivom i u gasnom i u parnom ciklusu (NGCC). Nesumnjivo, to je ekološki i ekonomski najpovoljnije rešenje ukoliko se raspolaze izvorima prirodnog gasa ili sredstvima (novcem i gasovodom) za redovno i stabilno snabdevanje prirodnim gasom.

Kada se radi o postrojenjima sa ugljem kao osnovnim gorivom, postoje tri principijelno različite mogućnosti:

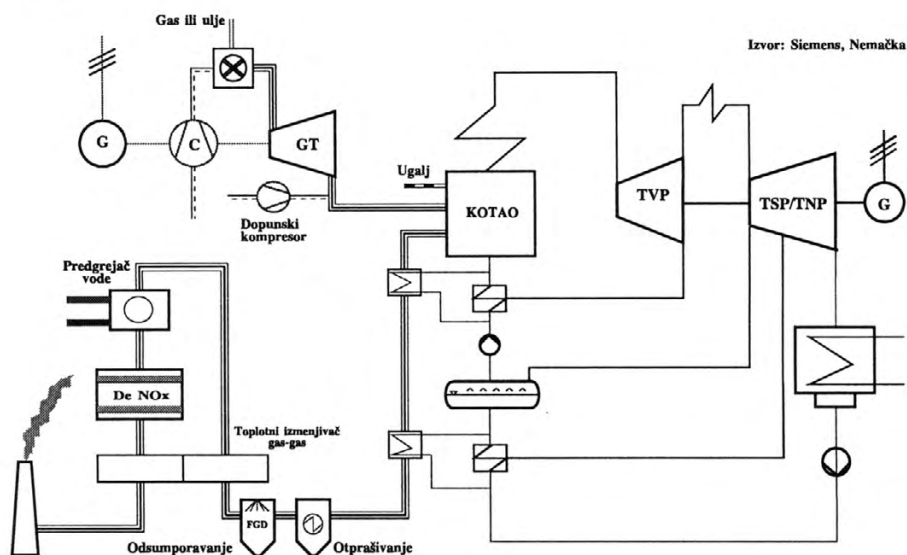
- kombinacija gasnog ciklusa sa gasom kao gorivom i parnog ciklusa sa ugljem kao gorivom;
- potpuno sagorevanje uglja na povišenom pritisku kada se osnovni deo toplotne energije predaje parnom ciklusu, vrši ekspanzija produkata sagorevanja u gasnoj turbini, a zatim predaje preostala toplotna energija vodi i vodenoj pari u kotlu utilizatoru;
- gasifikacija (potpuna ili delimična) uglja u gasifikatoru, sa naknadnim sagorevanjem dobijenog gasa u komori sagorevanja i ekspanzijom u gasnoj turbini, a zatim predaja preostale toplotne energije vodi i vodenoj pari u kotlu utilizatoru.

#### **a. Kombinovani ciklusi sa prirodnim gasom i ugljem kao gorivima**

Kombinovani ciklus sa prirodnim gasom i ugljem kao gorivima - (FFCC – *Fully Fired Combined Cycle*) koristi se pre svega za povišenje parametara postojećih termoelektrana loženih ugljem. Događuje se gasno postrojenje i gasni ciklus ložen prirodnim gasom. Postoje dve varijante ovog rešenja: vršna veza gasnog i parnog ciklusa (*topping configuration*) i paralelna veza parne i gasne turbine (*parallel configuration*).

Kod vršne veze gasnog i parnog ciklusa produkti sagorevanja gasa posle ekspanzije u gasnoj turbini, uz dodatni vazduh koriste se kao vazduh za sagorevanje u klasičnom kotlu sa ugljem. Jedno savremeno

postrojenje po koncepciji *Siemens* prikazano je na Slici 3. Odnos toplotne energije proizvedene u gasnom i parnom ciklusu je 30:70 [25,26].



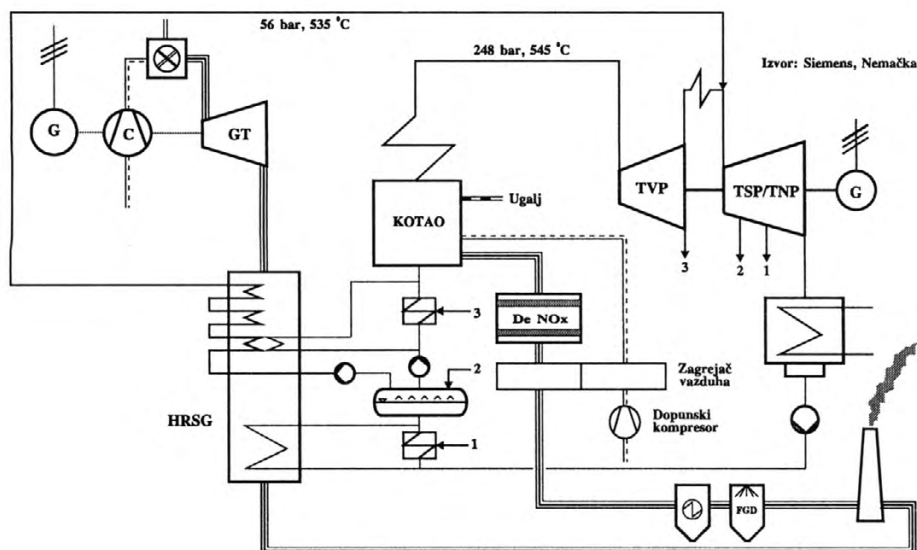
Slika 3. Postrojenje sa vršnom vezom gasnog i parnog ciklusa [25,26]

U paralelnoj vezi, produkti sagorevanja gasa posle ekspanzije u gasnoj turbini predaju toplotu u kotlu utilizatoru, a uglj sagoreva u klasičnom kotlu (Slika 4.). Gasni i parni ciklus povezani su i na parnoj i na vodenoj strani. U kotlu utilizatoru moguće je proizvoditi svežu, međupregrejanu ili niskopritisnu paru, a moguće je i obaviti predgrevanje napojne vode. Paralelni koncept ima prednost zbog lakše rekonstrukcije postojećih termoblokova i mogućnosti promene odnosa snage gasnog i parnog ciklusa u toku pogona [25,27].

## b. Kombinovani ciklusi sa potpunim sagorevanjem uglja na povišenom pritisku

Ukoliko se sagorevanje uglja obavlja na povišenom pritisku, moguće je organizovati kombinovano postrojenje sa gasnim i parnim

ciklusom, tako da produkti sagorevanja posle ekspanzije u gasnoj turbini predaju deo toplote parnom ciklusu, dok se najveći deo energije parnom ciklusu predaje u samom kotlu. U različitim fazama razvoja nalaze se tri varijante ovih postrojenja:



Slika 4. Postrojenje sa paralelnom vezom gasnog i parnog ciklusa [25,27]

- kombinovani ciklus sa kotlom sa sagorevanjem u mehurastom fluidizovanom sloju na povišenom pritisku (PBFBC *combined cycle*)
- kombinovani ciklus sa kotlom sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju na povišenom pritisku (PCFBC *combined cycle*)
- kombinovani ciklus sa kotlom sa sagorevanjem u letu na povišenom pritisku (PPC *combined cycle*).

Kotlovi sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju pod pritiskom razvijaju se od sredine 70-tih godina i izgrađeno je pet demonstracionih postrojenja koja se nalaze već više godina u pogonu.

Kotlovi ove vrste nude se i pod komercijalnim garancijama već duže vremena na svetskom tržištu. Kotlovi sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju na povišenom pritisku, tek su nedavno ušli u demonstracionu fazu, dok su kotlovi pod pritiskom sa sagorevanjem u letu u eksperimentalnoj fazi. Zbog toga će ovde biti date samo karakteristike kombinovanih postrojenja sa PBFBC kotlovima, čija je jedinična snaga dostigla veličine koje odgovaraju elektroenergetskim sistemima.

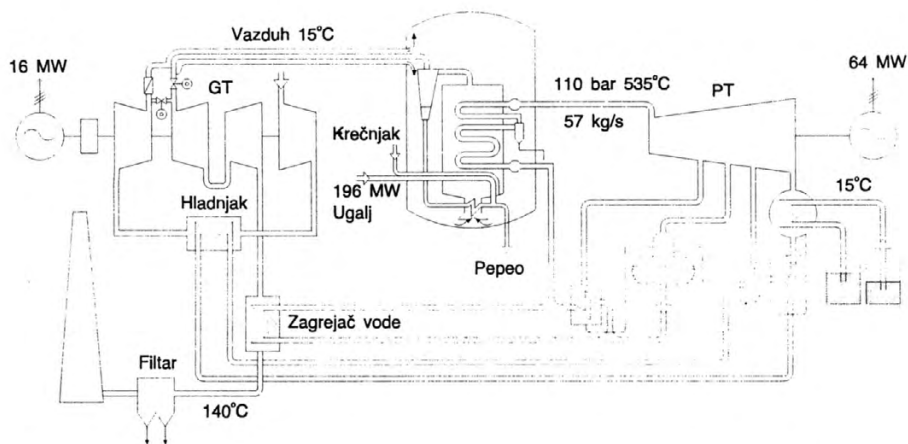
Najveći proizvođač kotlova PBFBC u svetu je ABB *Carbon*. Od 1990 godine izgradio je 5 jedinica snage 70 MW<sub>e</sub> - dve u Švedskoj (toplifikacioni kotlovi), i po jednu u Španiji, SAD i Japanu. Sagorevanje u kotlu obavlja se na pritiscima 12-15 bara. Kotao sa svim pomoćnim sistemima smešten je u sud pod pritiskom. Specifična generacija snage u kotlu je za oko 4 puta veća nego u kotlu iste snage koji radi na atmosferskom pritisku. Temperatura sagorevanja je 800-900°C, tako da je efikasnost gasno-parnog ciklusa niža nego kod postrojenja sa prirodnim gasom kao dodatnim gorivom i u izgrađenim postrojenjima je 40-42% sa međupregrevanjem, a pri nadkritičnim parametrima pare i do 47% [15,28,29].

Osnovni nerešeni tehnički problem, kao i kod postrojenja sa gasifikacijom uglja, jeste prečišćavanje produkata sagorevanja na visokim temperaturama i erozija lopatica gasne turbine. Pored već nabrojanih osobina sagorevanja u fluidizovanom sloju, postrojenja sa kotlovima PBFBC imaju manju emisiju SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, sa stepenom odsumporavanja >95% i molskim odnosom krečnjaka i sumpora 2:1. Emisija N<sub>2</sub>O je manja od 10ppm. Do 2002 godine planira se izgradnja još 13 jedinica snage 80-400 MW<sub>e</sub>, ukupne snage 3000 do 3200 MW<sub>e</sub>. Nekoliko ovih jedinica ugovorio je *Foster Wheeler* (ranije *Ahlstrom Pyropower*) sa kotlovima sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanim slojem na povišenom pritisku. Na Slici 5. prikazano je jedno od izgrađenih postrojenja sa kotlom PBFBC [15,16].

### c. Kombinovani ciklusi sa gasifikacijom čvrstog goriva

Kombinovani ciklusi sa gasifikacijom čvrstog goriva mogu se ostvariti u dve varijante: sa delimičnom gasifikacijom uglja i naknadnim sagorevanjem preostale ugljene materije (koksog ostatka)

- hibridni ciklus, sa potpunom gasifikacijom uglja (IGCC - *Integrated gasification combined cycle*). U različitim kombinacijama, gasifikacija i naknadno sagorevanje koksnog ostatka mogu se obavljati postrojenjima sa stagnantnim slojem, fluidizovanim slojem (mehurastom ili cirkulacionom) i u letu. Najpoznatiji hibridni ciklus razvija *British Coal* u saradnji sa *Shell*-om pod nazivom *topping cycle*.

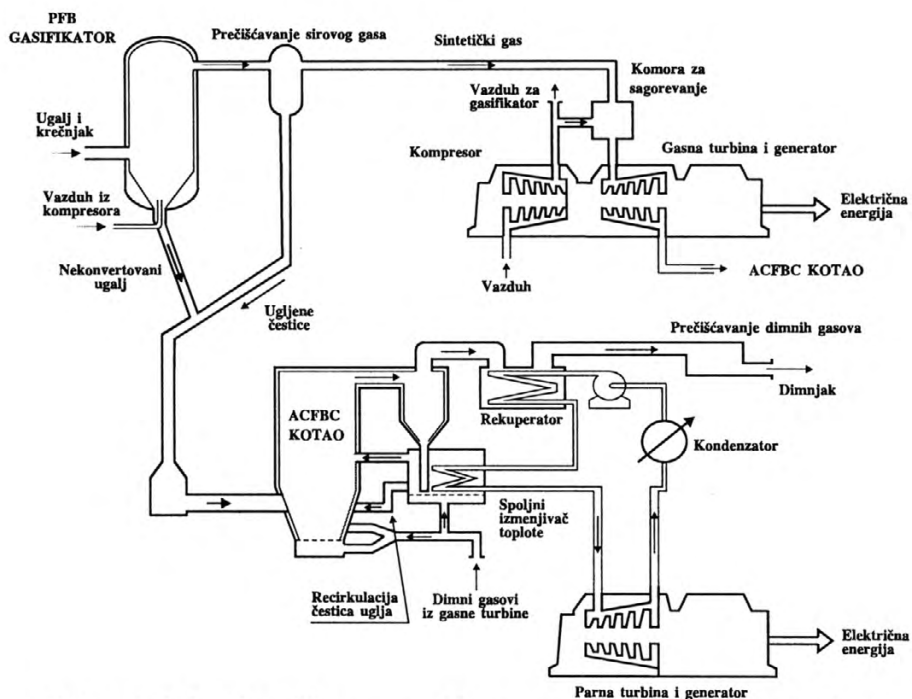


Slika 5. Kombinovano gasno-parno postrojenje sa kotlom PBFBC [15,16].

Verzija sa gasifikatorom sa fluidizovanim slojem na atmosferskom pritisku je već u proizvodnji, a u razvoju je sistem sa gasifikatorom sa fluidizovanim slojem na povišenom pritisku. Postrojenje sa gasifikatorom u fluidizovanom sloju na povišenom pritisku i dogorevanjem koksnog ostatka u kotlu sa cirkulacionim fluidizovanim slojem prikazano je na Slici 6.

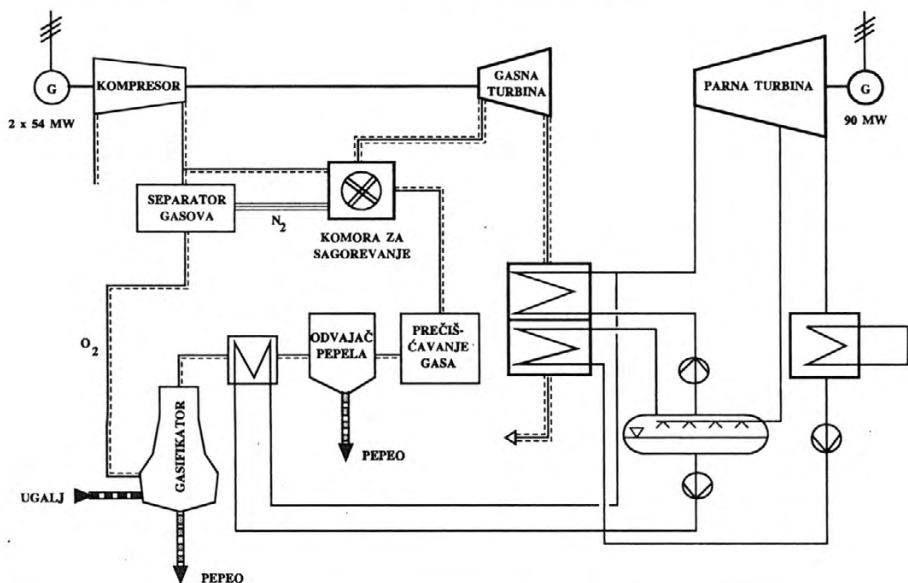
Proizvodi gasifikacije, posle separacije koksnog ostatka, odlaze u komoru za sagorevanje gasne turbine i posle ekspanzije u gasnoj turbini predaju preostalu toplotu u kotlu utilizatoru koji je deo parnog ciklusa. Kokсни ostatak vodi se u kotao sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju u kome se toplota predaje parnom ciklusu. Oko 60-80% uglja se konvertuje u gas na temperaturi oko 1000°C. U gasnu turbinu ulazi gas sa oko 1250°C, čime se obezbeđuju uslovi za veće stepene korisnosti postrojenja nego u postrojenjima sa

PBFBC kotlom. Ovi sistemi obećavaju stepen korisnosti postrojenja 43-47%, ali se nalaze još u fazi razrade koncepcije i pripreme za gradnju pilot postrojenja snage 1MW<sub>e</sub>. Komercijalizacija se očekuje tek 2010. godine [23,25,30].



Slika 6. Hibridni ciklus sa gasifikatorom na povišenom pritisku i ACFC kotlom [23,25]

Tehnologija kombinovanih gasno-parnih ciklusa koja najviše obećava je postrojenje sa potpunom gasifikacijom uglja (IGCC - *Integrated Gasification Combined Cycle*). Ova tehnologija se nalazi na pragu komercijalne primene. U pogonu je nekoliko demonstracionih postrojenja velike snage: od 1984. u SAD snage 90MW<sub>e</sub>, od 1987. u SAD snage 160 MW<sub>e</sub> i najveće u Holandiji od 1993. snage 250 MW<sub>e</sub>. Ostvareni stepen korisnosti je 42%, ali se predviđa dostizanje efikasnosti 46-50%. U razvoju je nekoliko tipova gasifikatora: sa fiksnim, pokretnim i fluidizovanim slojem. Šira komercijalna primena očekuje se 2010 godine. Na Slici 7. prikazano je postrojenje IGCC snage 170 MW<sub>e</sub> [23,31].



Slika 7. Postrojenje sa integrisanim gasifikacionim kombinovanim ciklusom IGCC [23,31]

Gasifikacija se obavlja vazduhom, kiseonikom ili vodenom parom, zavisno od izabrane koncepcije. Posle delimičnog hlađenja i prečišćavanja od čestica proizvodi gasifikacije odlaze u komoru za sagorevanje gasne turbine, a zatim posle ekspanzije u gasnoj turbini predaju toplotu parnom ciklusu.

U Tabeli III navedeni su podaci koji omogućavaju poređenje najvažnijih novih energetskih tehnologija prema tehničkim, ekonomskim i ekološkim kriterijumima.

Tabela III: Tehnički, ekološki i ekonomski parametri energetskih tehnologija [19,31,32,33].

Tehnologija	Gorivo (ugalj) ili gas g/kWh	$\eta$ %	CO <sub>2</sub> g/kWh	SO <sub>2</sub> g/kWh	NO <sub>x</sub> g/kWh	Otpadna toplota MJ/kWh	Investicije UScents/kWh	Ukupni troškovi UScents/kWh
PC+FGD	340	33-35	830	600	600*	4.3	2.5	4.5
PC+FGD+SRC	340	33-35	830	600	<600	4.3	2.75	4.75
ACFBC		33-35	830	600	600	4.3	2.3-2.8	4.7
PBFBC	335	40-42	810	585	585	3.6	2.0	3.5
FFCC	220 ugalj 47 gas	43-47	660	380	270	3.4	1.5	3.2
IGCC	310	46-50	760	150	300	3.2	2.5-3.0	4.0
NGCC	140	52	380	-	350	2.6	0.8	3.5

\* odgovara količini NO<sub>x</sub> 200 ppm, pri 6% kiseonika u dimnom gasu.



Napomena: U literaturi nema istovremeno podataka o svim pomenutim tehnologijama, te su podaci u Tabeli 3. usklađeni iz raznih izvora

Za dalje analize o mogućnostima primene pojedinih tehnologija korisno je ponovo sistematizovati stanje njihovog razvoja i primene:

#### □ Tehnologije raspoložive i proverene u eksploataciji

##### Usavršene klasične tehnologije sagorevanja

- gorionici za ugljeni prah sa smanjenom emisijom  $\text{NO}_x$ ;
- primarne mere smanjenja  $\text{NO}_x$  (dvostepeno sagorevanje, ubacivanje amonijaka u ložište) ;
- primarne mere odsumporavanja (dodavanjem krečnjaka u ložište);
- suvi i polusuvi postupci za odsumporavanje u kanalu dimnih gasova;
- naknadno odsumporavanje vlažnim postupkom;
- katalitički postupci za uklanjanje  $\text{NO}_x$ .

##### Nove tehnologije sagorevanja

- kotlovi ABFBC za male i srednje snage (do 200 MWt);
- kotlovi ACFBC za srednje i velike snage (100-1000MWt).

##### Nove energetske tehnologije

- NGCC - kombinovani ciklusi sa prirodnim gasom,
- FFCC - kombinovani ciklusi sa prirodnim gasom i ugljem.

#### □ Tehnologije u demonstracionoj fazi, komercijano konkurentne 2005-2010. godine

- sagorevanje mešavine uglja i vode,

- PBFBC - u pogonu snage 80MW<sub>e</sub>, u ponudi do 250MW<sub>e</sub>,
  - IGCC sa gasifikacijom u letu,
  - IGCC sa gasifikacijom u CFB.
- **Tehnologije u eksperimentalnoj fazi, komercijalno konkurentne 2010-2020. godine**
- PPCC - sagorevanje u letu na povišenom pritisku,
  - PCFBC - sagorevanje u cirkulacionom fluidizovanom sloju na povišenom pritisku,
  - hibridni ciklusi (*topping configuration, paralel configuration*).

Na raspolaganju na tržištu postoji, očigledno, veliki broj usavršenih i novih tehnologija. Nije lak zadatak doneti odluku kojim tehnologijama i kada zameniti postojeće energetske tehnologije. Međutim, činjenica je da u zemljama Balkanskog regiona postoje nagomilani energetske i ekološki problemi čije rešavanje mora odmah početi. Istovremeno, zemlje ovog regiona imaju oskudne izvore energije, pretežno ugalj, i nedovoljno finansijskih sredstava, tako da odlučivanje o strategiji razvoja energetike predstavlja težak zadatak.

## 5. PRIORITETNI CILJEVI RAZVOJA ENERGETIKE ZEMALJA BALKANSKOG REGIONA

Energetika zemalja Balkanskog regiona, i pored značajnih razlika, ima niz zajedničkih karakteristika. Sve zemlje ovog regiona pripadaju zemljama u razvoju, a poslednjih nekoliko godina nalaze se u tzv. tranziciji. Ove zemlje imaju skromne energetske izvore, uglavnom ugalj i hidroenergiju. Ugalj kojim raspolažu je najvećim delom lignit, sa velikim sadržajem vlage i pepela. Hidroenergetski potencijali su pretežno iskorišćeni. Rumunija - jedina zemlja sa značajnijim izvorima nafte i gasa u prošlosti, većim delom je iscrpla ove izvore. Efikasnost energetske transformacije, od proizvodnje do finalne potrošnje, je veoma niska. Energetska postrojenja, osim elektrofiltara

u termoelektranama, uglavnom nemaju postrojenja za prečišćavanje dimnih gasova. Ekološki problemi u celini, i posebno zagađenje okoline termoenergetskih postrojenja je veliko. Norme za ograničenje emisije i imisije tek se polako uvode, i daleko su od normi koje važe u razvijenim zemljama. Korišćenje novih i obnovljivih izvora energije, i otpadnih goriva je zanemarljivo, i pored značajnih količina otpadne biomase (u šumarstvu, drvnoj industriji i poljoprivredi, i dobrih uslova za gajenje biomase za proizvodnju energije). Jedino se u Grčkoj energija sunca koristi u većoj meri u priobalnom turističkom području. Tretman i rukovanje otpadom svake vrste je nedomaćinski, kako u energetsom tako i u ekološkom smislu.

Električna energija se proizvodi uglavnom sagorevanjem uglja u kotlovima sa sagorevanjem u letu, dok se toplotna energija za potrebe industrije i daljinsko grejanje proizvodi sagorevanjem uvoznih tečnih i gasovitih goriva. Snabdevanje gasom je samo od jednog snabdevača (Rusija). Zbog toga su sve zemlje ovog regiona energetske veoma zavisne od uvoznih energenata, i troše velike količine inostrane valute za kupovinu skupih tečnih i gasovitih goriva.

Ove zajedničke karakteristike daju nam za pravo da formulišemo i nekoliko opštih zajedničkih ciljeva koji treba da dovedu do savremenih uslova proizvodnje energije u ovim zemljama:

- uvesti savremene efikasne i ekološki prihvatljive tehnologije za sagorevanje domaćih ugljeva;
- povećati korišćenje vanbilansnih rezervi uglja, uglja iz manjih rudnika (ako ih ima), i biomase;
- povećati korišćenje (ili uništavanje) otpada svake vrste, pre svega iz ekoloških razloga, a ukoliko je moguće i uz proizvodnju energije;
- maksimalno smanjiti uvoz skupih goriva i koristiti ih samo u onim oblastima u kojima je to neophodno, ili jedino moguće;
- uvesti oštrije norme za ograničenje emisije  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , CO i čestica, i približiti se ekološkim normama Evropske zajednice.

Ostvarivanjem ovih ciljeva postići će se veća energetska nezavisnost, sigurnost snabdevanja energijom, maksimalna štednja

uvoznih skupih goriva, ekološka prihvatljivost na nivou evropskih normi.

Prioriteti u realizaciji ovih ciljeva, i konkretne mere i tehnologije kojima se ovi ciljevi mogu ostvariti, zavise ne samo od konkretnih uslova u svakoj zemlji, već i od namene, starosti, lokacije energetske objekata i lokacije i vrste raspoloživih energetske resursa, a posebno od ekonomskih i finansijskih mogućnosti. Pri razmatranju neophodnih mera, i izboru novih energetske tehnologija, treba imati u vidu da se ne mogu na isti način rešavati problemi u postrojenjima različite vrste i namene:

- u oblasti "velike" energetike (proizvodnja električne energije)
  - ❖ postrojenja u eksploataciji,
  - ❖ postrojenja pred revitalizacijom,
  - ❖ nova postrojenja;
  
- u oblasti proizvodnje energije u industriji i komunalnoj energetici
  - ❖ industrijske energane,
  - ❖ komunalne toplane,
  - ❖ postrojenja u eksploataciji,
  - ❖ nova postrojenja,
  
- u turističkim područjima.

## 6. MOGUĆA TEHNOLOŠKA REŠENJA ZA OSTVARIVANJE CILJEVA ENERGETSKE POLITIKE U ZEMLJAMA BALKANSKOG REGIONA

Strategija razvoja energetike, izbor prioriteta ciljeva energetske politike, rokovi za realizaciju usvojenih ciljeva i konkretna tehnološka rešenja i zakonske mere kojima se postavljene ciljevi ostvaruju – moraju biti rezultat sistematskih i stalnih proučavanja. Naučne institucije i kvalifikovani eksperti moraju se angažovati radi

proučavanja, razvoja i primene naučnih metoda za optimizaciju energetske sistema i izradu strategije razvoja energetike i uvođenje novih energetske tehnologije. Takođe, naučne institucije treba da neprekidno rade na proučavanju i sopstvenom razvoju i metoda za uvođenje novih energetske tehnologije pogodnih za korišćenje domaćih energetske izvora, pre svega uglja i biomase. Na žalost, u zemljama Balkanskog regiona retko se ovim pitanjima poklanja sistematska i stalna pažnja. Odluke se donose na osnovu nepotpunih i neproverenih podataka i sa nedovoljnim poznavanjem savremenih tehnologije i njihovog ponašanja u pogonu.

I u ovom tekstu sugestije o pogodnim tehnologijama biće date samo na osnovu poznavanja opštih energetske uslova u ovom regionu i osobina savremenih tehnologije i njihovog ponašanja u eksploataciji. U oceni podobnosti novih tehnologije sagorevanja koristiće se zaključci analiza i istraživanja novih tehnologije sagorevanja uglja koja se u dugom periodu od preko 30 godina obavljaju u Laboratoriji za termotehniku i energetiku Instituta za nukelarne nauke u Vinči [1,2,3,4].

### **Tehnološka rešenja i mere u oblasti velike energetike**

**Na postrojenjima u eksploataciji**, u oblasti "velike" energetike, odnosno elektroprivredi, treba odmah pristupiti uvođenu primarnih mera za smanjenje emisije  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  jedinjenja – uvođenjem gorionika sa smanjenom emisijom  $\text{NO}_x$  i dvostepenog sagorevanja. Zavisno od sadržaja sumpora u uglju primeniti ubacivanje krečnjaka u kanal dimnih gasova (suvi ili polu-suvi postupak) ili postrojenje za vlažno odsumporavanje. Ovim merama moguće je u kratkom roku emisiju  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  jedinjenja približiti evropskim normama.

Radi smanjenja potrošnje tečnih goriva u termoelektranama na ugaj primeniti potpalu i podršku vatre niskotemperaturnom plazmom. Kad god je moguće postojeća postrojenja prevoditi na toplifikacijski režim, radi uštede energetske izvora i smanjenja emisije štetnih jedinjenja svih vrsta i posebno  $\text{CO}_2$ .

**Za nova postrojenja** graditi kotlove ACFBC, radi istovremenog rešavanja ekoloških problema, i omogućavanja efikasnog korišćenja nekvalitetnih ugljeva, vanbilansnih rezervi, i različitog otpada [5,11,12,13].

**Postrojenja kojima predstoji revitalizacija** i produženje radnog veka rekonstruisati na sagorevanje u cirkulacionom fluidizovanom sloju, ili na tom mestu izgraditi novi ACFBC kotao sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju, uz sagorevanje i vanbilansnih rezervi uglja [17,18,34].

**Posle uvođenja ovih tehnologija**, sa pooštavanjem ekoloških normi i međunarodnih ekoloških obaveza, predvideti dogradnju gasnog ciklusa u postojećim termoenergetskim postrojenjima. Uvođenje kombinovanih gasno-parnih ciklusa i pored očiglednih prednosti u pogledu štednje domaćih rezervi uglja i smanjenja zagađenja okoline termoenergetskih postrojenja, pretežno zavisi od mogućnosti gradnje neophodne gasovodne mreže i mogućnosti plaćanja uvoznog gasa [7,8,24,25,35].

**Uvesti oštrije emisione norme**, i vremenom ih prilagođavati normama važećim u razvijenim zemljama.

### **Tehnološka rešenja i mere u oblasti proizvodnje energije u industriji i komunalnoj energetici**

**Kotlove ložene ugljem** rekonstruisati na sagorevanje u mehurastom ili cirkulacionom fluidizovanom sloju, zavisno od jedinične snage, ekoloških uslova i kvaliteta goriva.

**Kotlove ložene tečnim gorivom** zemeniti ili rekonstruisati na sagorevanje u mehurastom ili cirkulacionom fluidizovanom sloju radi korišćenja uglja iz lokalnog rudnika ili biomase ili drugog otpada (ako postoje u okolini).

**U novim postrojenjima** graditi isključivo kotlove sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju i na čvrsto gorivo uz iste uslove kao gore,

**Preduzeti ekonomske, zakonske i tehničke mere** za veće korišćenje biomase, komunalnog otpada i industrijskog otpada [36].

### **U turističkim područjima**

U turističkim područjima ekološki zahtevi imaju neospornu prednost u rešavanju energetske probleme. **Za obezbeđenje energije za turističku privredu** neophodne su zakonske, ekonomske i tehničke mere za maksimalno korišćenje sunčeve energije za obezbeđivanje tople i sanitarne vode. Za potrebe rashladnih sistema i grejanja koristiti toplotne pumpe.

Za obezbeđenje toplotne energije **za industriju i poljoprivredu** maksimalno koristiti biomasu, a zbog ekoloških razloga sagorevati sve vrste gradskog, turističkog i komunalnog otpada.

Ukoliko postoje mogućnosti za korišćenje gasa, sigurno je sa ekološkog stanovišta to najpovoljnije rešenje. Međutim, ako smo upućeni na čvrsta goriva, biomasu i sagorevanje otpada, onda su najpovoljnije rešenje kotlovi sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju.

Sva energetska i toplifikacijska postrojenja graditi prema najstrožim svetskim normama o emisiji štetnih gasova i čestica.

Navedene preporuke u svakom pojedinačnom slučaju treba proveriti tehno-ekonomskom studijom opravdanosti uz razmatranje nekoliko mogućih varijanti, sa primenom klasičnih i novih tehnologija.

## **7. PREDUSLOVI ZA RAZMATRANJE STRATEGIJE RAZVOJA ENERGETIKE**

Donošenje konačnih odluka o ciljevima strategije razvoja energetike i o tehnologijama i merama kojima te ciljeve treba ostvarivati zahteva stalan i sistematičan istraživački rad. Moraju se



sistematski pratiti pravci razvoja energetskih tehnologija, energetska politika razvijenih zemalja i energetska politika zemalja sličnih našim zemljama, raspoloživost i kretanje cena fosilnih goriva na svetskom tržištu i drugi podaci neophodni za donošenje odluka. Takođe se moraju razvijati metode za predviđanje i optimizaciju energetskih sistema, čime se omogućava izrada i poređenje različitih scenarija razvoja energetike i posledice ovih scenarija.

Osnovu, i početak ovakvih razmatranja predstavljaju potpuni, pouzdani i sistematski podaci o raspoloživim energetskim potencijalima, energetskom sistemu i postrojenjima, ekološkoj situaciji i drugi neophodni podaci.

Navešćemo samo neke od najvažnijih baza podataka, bez kojih se ne mogu donositi realne odluke o strategiji razvoja energetike jedne zemlje:

- ❖ **Baza podataka o energetskim izvorima - ugalj, nafta, gas, hidroenergija,**
- ❖ **Baza podatka o rezervama uglja** koja sadrži količinu, kvalitet, način eksploatacije, postojeću preradu ili oplemenjavanje uglja, procenu vanbilansnih rezervi i prognozu promene kvaliteta uglja u toku eksploatacionog veka rudnika.
- ❖ **Baza podataka o energetskom potencijalu otpadne biomase** koja sadrži vrstu i poreklo biomase, količine prema vrstama i prostorni raspored svake vrste otpadne biomase i postojeću koncentraciju i procenu energetskog potencijala.
- ❖ **Baza podataka i katastar čvrstih otpadnih materija u industriji** prema vrsti i karakteristikama otpada, količine i prostorni raspored i postojeću koncentraciju, procenu energetskog potencijala, kao i procenu ekološkog učinka sagorevanja otpada.
- ❖ **Baza podataka i katastar komunalnog otpada** prema vrsti i karakteristikama otpada, načinu sadašnjeg tretmana, količine i prostorni raspored, energetske potencijal i procenu neophodnog prethodnog tretmana pre sagorevanja.
- ❖ **Baza podatka o kotlovima i ložištima u industriji i komunalnoj energetici** koja će dati uvid u moguće

rekonstrukcije i uvođenje novih tehnologija, te treba da sadrži - tip postrojenja, snagu, proizvođača, godinu izgradnje i broj časova u eksploataciji, gorivo, namenu (voda, para) - industrija, komunalno, lokaciju, sadašnju opremu za prečišćavanje dimnih gasova i stepen zagađenja okoline.

- ❖ **baza podataka i katastar zagađivača (uključujući energetske objekte)** sa podacima o vrsti zagađivača, emisiji i imisiji, ukupnom godišnjem zagađenju

Sistematska studija ovih podataka je polazna tačka svake strategije i definisanja ciljeva razvoja energetskeg sistema.

## LITERATURA

1. Oka, S.: *Istraživačko razvojni rad u oblasti kotlovskih postrojenja za sagorevanje jugoslovenskih lignita*, Savetovanje "Razvoj elektroprivrede Jugoslavije od 1991-2000 godine" Zbornik radova, Ohrid, 23-26 april 1990,
2. Oka S.: *Prioritetni pravci naučno-istraživačkog rada u oblasti energetike u Jugoslaviji*, Elektroprivreda, Godina. XLIX, Br. 2, april-jun 1996, pp. 3-12,
3. Oka, S.: *Istraživanje i razvoj tehnologija za sagorevanje uglja*, Predavanje po pozivu, Naučni skup posvećen 85-toj godišnjici prof. Mladena Popovića, Zbornik radova, Izd. Mašinski fakultet Beograd, 1992, pp. 303-326,
4. Oka S., Jovanović Lj.: *Clean Coal Technology Transfer and Co-operation: Some Questions and Problems*, The IEA-OECD International Conference on the CLEAN AND EFFICIENT USE OF COAL, 24-27<sup>th</sup> February, 1992, Budapest, (invited paper), OECD/IEA, Paris, 1993, pp. 673-684,
5. Oka, S.: *Sagorevanje u fluidizovanom sloju, Procesi i primena*, Izdanje Jugoslovenskog društva termičara, Beograd, 1994,
6. Mesarović, M.: *Uticaj naučnih neizvesnosti u određivanju globalnog otopljanja zbog sagorevanja fosilnih goriva na savremenu energetska politiku*, Termotehnika, br. 4, 1997,

7. Mesarović, M.: *Mere za sprečavanje globalne promene klime i njihov uticaj na razvoj elektroenergetskog sistema*, Zbornik radova XXIV Savetovanja YUKO CIGRE, Vrnjačka Banja, Septembar 1999, Referat 37.06,
8. Mesarović, M.: *Efikasnost korišćenja energije iz uglja za održivi razvoj*, Naučno-stručno savjetovanje sa međunarodnim učešćem MOGUĆI ASPEKTI EKSPLOATACIJE, PRIPREME I SAGORIJEVANJA UGLJEVA REPUBLIKE SRPSKE, Banja Vrućica-Teslić, 27-30 oktobar 1999, Zbornik radova, pp. 322-329
9. Stefanović, P. i dr.: *Plazma potpala i podrška vatre kod kotlova loženih ugljenim prahom*, Naučno-stručno savjetovanje sa međunarodnim učešćem MOGUĆI ASPEKTI EKSPLOATACIJE, PRIPREME I SAGORIJEVANJA UGLJEVA REPUBLIKE SRPSKE, Banja Vrućica-Teslić, 27-30 oktobar 1999, Zbornik radova, pp 494-507
10. Mesarović, M., Oka, S., Pavlović, N.: *Economic and Environmental Features of Fluidized Bed Combustion Technology for Power Generation in Yugoslavia*, 2<sup>nd</sup> Symposium of the South-East European Countries on FLUIDIZED BEDS IN ENERGY PRODUCTION, CHEMICAL AND PROCESS ENGINEERING AND ECOLOGY, 22-24 September 1999, Arandelovac, Workshop "CFBC boilers - present status and prospects", Keynote Lecture, pp. 455-473
11. Oka, S.: *Tehnologija sagorevanja u fluidizovanom sloju - principi, koncepti i konstrukcije kotlova*, Naučno-stručno savjetovanje sa međunarodnim učešćem MOGUĆI ASPEKTI EKSPLOATACIJE, PRIPREME I SAGORIJEVANJA UGLJEVA REPUBLIKE SRPSKE, Banja Vrućica-Teslić, 27-30 oktobar 1999, Okrugli sto: "Stanje razvoja i mogućnosti u oblasti primjene kotlova sa sagorijevanjem u fluidizovanom sloju, Zbornik radova, pp. 617-643
12. Oka, S., Grubor, B.: *Primena kotlova i ložišta za sagorevanje loših ugljeva u fluidizovanom sloju*, Naučno-stručni skup "Racionalno korišćenje toplotne energije", Kopaonik, 28.06-01.07. 1995, Zbornik radova, pp. 43-61
13. Oka, S.: *Kotlovi sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju*, Elektroprivreda, Godina XLV, mart-april, Broj 3-4, 1992., pp. 124-129

14. Ilić, M.: *Stanje primene kotlova sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju u energetici*, Naučno-stručno savjetovanje sa međunarodnim učešćem MOGUĆI ASPEKTI EKSPLOATACIJE, PRIPREME I SAGORIJEVANJA UGLJEVA REPUBLIKE SRPSKE, Banja Vrućica-Teskić, 27-30 oktobar 1999, Okrugli sto: "Stanje razvoja i mogućnosti u oblasti primjene kotlova sa sagorijevanjem u fluidizovanom sloju, Zbornik radova, pp. 644-658
15. Pavlović, N.: *Tehnologija fluidizovanog sloja na povišenom pritisku (PFBC)*, Elektroprivreda, br. 4, 1995, pp. 52-59
16. Olsson, E.: *PFBC - Present State of Art and Future Prospect*, (Keynote Lecture) Proceedings of 1<sup>st</sup> South-East European Symposium on FLUIDIZED BEDS IN ENERGY PRODUCTION, CHEMICAL AND PROCESS ENGINEERING AND ECOLOGY, 24-27 September 1998, Ohrid, Keynote Lectures and National Reports, Volume 2, pp. 103124
17. Oka, S., Pavlović, N.: *Kotlovi sa cirkulacionim fluidizovanim slojem kao realan izbor*, Elektroprivreda 4/97
18. Oka, S., Pavlović, N.: *Primena ACFBC tehnologije pri produženju radnog veka termoelektrana na uglj, Naučno-stručno savetovanje ENERGETIKA JUGOSLAVIJE '99, ENYU '99, ENERGIJA, Broj 1/Godina IV/ Mart 1999, pp.218-220*
19. Miller, S. L.: *Commercialization and Future Role of Pressurized Fluidized Bed Combustion as a Clean Coal Technology*, Proceedings of the International Symposium on PFBC, Kitakyushu, Japan, 26-28 July 1994,
20. *Conceptual design of the Flue gas desulfurization system for CHP Plant Kolubara B 2 x 350 MWe*, Energoprojekt, Beograd, January 1999-09-03
21. Hildebrand, M.: *Emissionentwicklung im EVU-Bereich der alten Bundeslaender in den Jahren 1989 und 1990*, Elektrizitaetswirtschaft, Jhrg.90 (1991) H.12
22. Zolzer, K. at all: *Advantages and Disadvantages of Fluidized Bed Combustors in Various Areas of Application*, VGB Kraftwerks Technik 75, 1995, Nr 4
23. Pavlović, N.: *Čiste tehnologije sagorevanja uglja početkom 21-og veka*, Naučno-stručno savjetovanje sa međunarodnim učešćem MOGUĆI ASPEKTI EKSPLOATACIJE, PRIPREME I

- SAGORIJEVANJA UGLJEVA REPUBLIKE SRPSKE, Banja Vrućica-Teslić, 27-30 oktobar 1999, Zbornik radova, pp. 309-320
24. Pavlović, N.: *Kombinovani gasno-parni blok u elektroprivredi*, Naučno-stručno savetovanje ENERGETIKA JUGOSLAVIJE '99, ENYU '99, ENERGIJA, Broj 1/Godina IV/ Mart 1999, pp.220-224
  25. Pavlović, N.: *Kombinovani ciklusi sa ugljem*, ENERGIJA, Broj 3-4/ Godina II/Decembar 1997, pp. 95-99
  26. Joyce, F.: *Siemens AG Power Generation Group(KWU)- Combined-cycle design exceeds 52% overall net efficiency*, Power Engineering International, April, 1994
  27. Smith, M.: *Upgrading older power plants can be more cost effective than new construction*, Power Engineering International, March/april, 1997
  28. Pavlović, N.: *Primena ACFBC kotlova u elektroprivredi*, Savetovanje Energetika Republike Srpske '98, Teslić, septembar 1998
  29. *Proceedings of the International Symposium on PFBC*, Kitakyushu, Japan, 26-28 July 1994,
  30. Hauser, U., Jansson, S., Brandstatter, K.: *Combined Cycle alternatives for upgrading and repowering*, ABB Carbon
  31. Riedle, K., Bohm, B., Siemens AG, Power Generation Group KWU, Erlangen, Germany, *Overview of "Best practice" Technological options Available for Power Generation*, Clean Use of technologies and meeting Environmental Goals,
  32. Sarofim, A.: *Fluidized bed Coal Combustion and Emission Control Issues*, Proceedings of the International Symposium on PFBC, Kitakyushu, Japan, 26-28 July 1994,
  33. Arnold, M. S.: *Fluidized Bed technology for Combined Cycle Power Generation*, Power Generation Technology, 1990/1991
  34. Pavlović, N.: *Poređenje tehnologije sagorevanja u cirkulacionom fluidizovanom sloju sa klasičnom tehnologijom sagorevanja spršenog uglja*, Naučno-stručno savjetovanje sa međunarodnim učešćem MOGUĆI ASPEKTI EKSPLOATACIJE, PRIPREME I SAGORIJEVANJA UGLJEVA REPUBLIKE SRPSKE, Banja Vrućica-Teslić, 27-30 oktobar 1999, Okrugli sto: "Stanje razvoja i mogućnosti u oblasti primjene kotlova sa sagorijevanjem u fluidizovanom sloju, Zbornik radova, pp. 659-674

35. Ćuk, Lj., Pavlović, N., Rosić M.: *Kombinovana potrojenja gasne i parne turbine - toplotne šeme, parametri i ekonomičnost*, Naučno-stručno savetovanje ENERGETIKA JUGOSLAVIJE '99, ENYU '99, ENERGIJA, Broj 1/Godina IV/ Mart 1999, pp.239-243
36. Oka, S.: *Korišćenje otpadne biomase u energetske svrhe*, Energija, Godina III, Br. 2, Jun 1998, str.61-66.