

Rad po pozivu

## KLASIČNA TERMOENERGETSKA POSTROJENJA NA UGALJ - RAZVOJ I PERSPEKTIVE PRIMJENE

Prof. dr Zdravko N. Milovanović, Prof. dr Darko Knežević, Prof. dr Aleksandar Milašinović, Jovan Škundrić, *Mašinski fakultet u Banjoj Luci*  
Mr Svetlana Dumonjić-Milovanović, *Partner inženjering doo Banja Luka*

**Sadržaj** – Tehnološki nivo transformacije energije iz prirodnih oblika (primarna energija) u korisne poželjne oblike predstavlja osnov za mjerenje energetske efikasnosti, pri čemu svaki tehnološki napredak ima za posljedicu društveni i privredni rast. Kako je budućnost čovječanstva sa aspekta obezbjeđenja dovoljne energije prepuna određenih nesigurnosti (različite mogućnosti, rizici, problemi i sl.), prelazni period do 2050. godine karakterisaće veliki ritam promjena i burna dešavanja (enorman rast broja stanovnika na zemlji, sa tendencijom dostizanja i stabilizacije na 12 milijardi do kraja ovog stoljeća, sve veći jaz između bogatih i siromašnih, vođenje ratova za energetske izvore, klima povjerenja i tolerancije između istoka i zapada, između sjevera i juga, između različitih narodnosti i religija, itd.). Elektrane s naprednim tehnologijama u korištenju uglja (postrojenja sa sagorijevanjem u fluidizovanom sloju, kombinovani ciklusi sa gasifikacijom, kombinovani ciklusi sa prirodnim gasom kao gorivom), elektrane sa tehnologijama čišćenja uglja, elektrane sa čišćenjem dimnih gasova elektrane s kombinovanim gasno parnim ciklusom, proizvodnja električne energije u gorivim ćelijama - predstavljaju tehnologije koje će se primjenljivati za proizvodnju električne energije u prvoj polovini 21. vijeka.

### 1. UVOD

Bez obzira što se nakon energetske krize krajem sedamdesetih godina prošlog vijeka prestalo sa rasipnim trošenjem energije, u industrijski razvijenim zemljama njena potrošnja je skoro deset puta veća u odnosu na potrošnju prosječnog stanovnika zemlje u cjelini. Pronalaženje načina koji će omogućiti razvoj i načina za zadovoljavanje rastućih svjetskih potreba za energijom trebaju istovremeno i ublažiti moguće uticaje snabdijevanja i upotrebe energije na životnu sredinu, uz osiguravanje dugoročnog kvaliteta življenja na zemlji.

Današnja trenutna situacija na energetskom planu je takva da su fosilna goriva još uvijek dominantni izvor energije i energenata na svjetskom tržištu, a obnovljivi izvori energije služe samo kao alternativa za pokrivanje vršnih opterećenje u energetskom sistemu.

Kod postojećih hidro i termoenergetskih postrojenja, čiji osnovni životni vijek je pri kraju, neophodno je sprovesti odgovarajuću revitalizaciju i rekonstrukciju primjenom savremenih tehnologija (*The State of The Art Tehnologija*). Ovo je posebno važno iz razloga što je i BiH 15.07.2007. godine izvršila ratifikaciju Kyoto protokola.

Takođe, slično zemljama EU i uprava grada Banja Luke postala je jedan od potpisnika sporazuma čije potpisnice su se obavezale na smanjenje udjela potrošnje energije iz klasičnih izvora za 20% do 2020. godine, kao i njihovu zamjenljivost sa novim obnovljivim izvorima, povećanjem

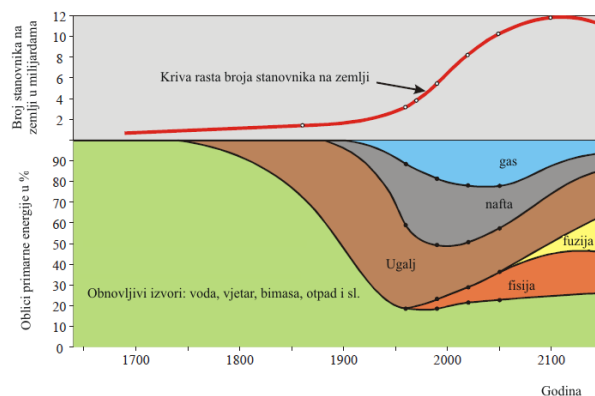
energetske efikasnosti i racionalnijem trošenju električne energije.

Rast svijesti o značenju energije i njenom racionalnom korištenju, kao i padajuća dinamika svjetskih trendova zaliha fosilnih goriva, zahtjevaju i nove analize i primjenu novih tehnologija u proizvodnji električne i toplotne energije.

### 2. POSTOJEĆE STANJE U OBLASTI TERMO ENERGETIKE

#### 2.1. Energetska postrojenja i tehnologije za proizvodnju energije

Energetska postrojenja za transformaciju primarne energije u korisne oblike najčešće se razmatraju kao konvencionalna ili klasična postrojenja za proizvodnju energije (klasične termoelektrane, toplane i industrijske energane, nuklearne elektrane, gasne elektrane, kombinovana postrojenja za proizvodnju električne i toplotne energije, kao i tehnološke pare, klasične hidroelektrane), nekonvencionalna postrojenja (energija sunca, biomasa, potencijal vjetra, potencijal mora, geotermalna energija i sl.), zatim postrojenja za prenos, akumulaciju i naknadno odavanje (distribuciju) energije, kao i nove tehnologije za snabdijevanje energijom.

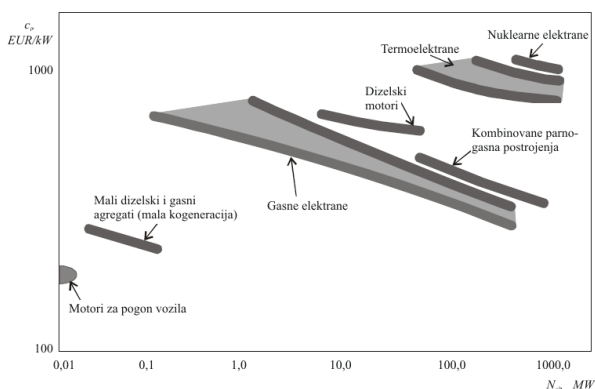


Sli. 1. Prikaz postojećeg energetskeg snabdijevanja i projekcija za budućnost, [1].

Klasična termoenergetska postrojenja za svoj pogon koriste fosilna ili nuklearna goriva, čijim sagorijevanjem u tehnološkom procesu pretvaraju dobijenu unutrašnju energiju goriva u električnu energiju (kondenzacione elektrane) ili energiju toplote (toplane). S druge strane, korišćenje raspoloživih izvora energije prate određeni problemi. Uglj, nafta i gas predstavljaju neobnovljive izvore energije, čije pojačano trošenje, osim što skraćuje period njihovog budućeg korišćenja, utiče na rast globalnog zagrijavanja, uz vrlo ozbiljne posljedice. Nuklearna energija, nakon havarija u Černobilju i Fukošimi nailazi na ozbiljan problem

društvenog prihvaćanja, dok obnovljivi izvori energije zahtijevaju poseban tretman i stimulacije, kako bi se razvili do mjere koja obezbjeđuje u primjeni takvih rješenja, koja bi bila ekonomski isplativa. Povećanje rasta potrošnje energije u svijetu zahtijevaće i određeno povećanje u proizvodnji energije, slika 1.

Postrojenja s poboljšanim korištenjem fosilnih goriva (elektrane s naprednim tehnologijama u korištenju uglja sa težnjom da imaju nula emisije, elektrane s kombinovanim gasno parnim ciklusom, proizvodnja električne energije u gorivnim ćelijama), spadaju u tehnologije za proizvodnju električne energije, koje će sa aspekta održivog razvoja biti prihvatljive u prvoj polovici 21. vijeka. Paralelno sa njima, biće korištene i poboljšane nuklearne tehnologije (nuklearne elektrane s unaprijeđenim lakovodnim reaktorima, nuklearne elektrane s visokotemperaturnim reaktorima, nuklearne elektrane s brzim oplodnim reaktorima). Element koji je zajednički u svim dugoročnim strategijama razvoja energetskega sektora predstavlja usmjeravanje na proizvodne sisteme i na potrošnju sa visokom efikasnošću i niskim troškovima energije i materijala, slika 2.



Sl. 2. Specifični investicioni troškovi, [2].

## 2.2. Konvencionalni oblici energije i održivi razvoj

Samo predviđanje udjela pojedinih energenata u budućoj proizvodnji električne energije prije svega zavisi od određenih pokazatelja, kao što su: strateško-politički pokazatelji (vjerovatnoća dugoročne dobave, diverzifikacija dobave, uticaj javnog mnijenja), zatim ekološki pokazatelji ili kvantificirani rizik za okolinu (ekološki upliv rada elektrane, ekološki upliv gorivnog ciklusa, stepen zagađenosti i sl.), kao i ekonomsko-fnansijski pokazatelji (vjerovatnoća dugoročne stabilnosti cijene energenata, sadašnja cijena proizvedene električne energije u elektranama, liberalizacija tržišta energijom, podsticaji na republičkom nivou, podsticaji na lokalnom nivou i sl.).

Usprkos uticaju na okolinu, ekonomski rast i društveni razvoj bilo koje zemlje zavise od načina upotrebe energije, pa da bi se zadovoljile potrebe rastuće svjetske populacije, potrošnja energije takođe mora stalno rasti. Problem je dakle, kako omogućiti razvoj i kako zadovoljiti rastuće svjetske potrebe za energijom i istovremeno ublažiti uticaje snabdijevanja i korišćenja energije na životnu sredinu, osiguravajući tako dugoročan kvalitet našeg staništa. Životna sredina i razvoj moraju biti međusobno zavisni i u osnovi obostrano se potpomagati. Naime, bez zaštite životne sredine nije moguće imati održivi razvoj, odnosno bez razvoja vrlo je

teško održanje visokog kvaliteta naše životne sredine i poboljšanje kvalitete života za sve stanovnike na našoj planeti. Zbog toga održivi razvoj treba predstavljati onaj razvoj koji može biti održiv kroz dugi vremenski period, uzimajući u obzir sve faktore okoline. Pri tome, održivi razvoj nije ograničen na jasno definisanu ravnotežnu situaciju, već odgovara više dinamičkom procesu u kojem se prioriteti i akcije kontinuirano redefinišu u skladu s potrebama i željama i s obzirom na mijenjanje uslova u sve tri dimenzije. Prvenstvena funkcija indikatora održivog razvoja je vrednovanje, procjena i stanje tri dimenzije socio-ekološkog sistema (društvo, ekonomija i okolina), u kojem se održivi razvoj mora jače odraziti na međudimenzionalne odnose nego na unutar-dimenzionalne odnose, tabela 1.

Tabela 1: Tradicionalni i indikatori održivog razvoja, [3].

Tradicionalni indikatori	Indikatori održivog razvoja (IOR)	Naglasak IOR
Nivo onečišćenja u vazduhu i vodi, mjeren u ppm određenog polutanta	Bioraznovrsnost; Broj pojedinih životinjskih i biljnih vrsta (npr. broj ugroženih ptica u nekom području)	Sposobnost ekosistema da procesira i asimilira polutanta
Tone stvorenog čvrstog otpada	Količina recikliranog materijala po osobi kao mjera ukupno proizvedenog čvrstog otpada	Cikličko korištenje resursa
Potrošnja energije po stanovniku	Odnos obnovljivih i neobnovljivih izvora za proizvodnju energije; Ukupna količina energije potrošena iz svih izvora; Racionalnost u korišćenju električne energije; Energetska efikasnost i smanjenje gubitaka	Korišćenje obnovljivih izvora energije; Očuvanje (štednja ili racionalno korišćenje) energije

Povezanost korišćenja konvencionalnih izvora energije sa štednjom i efikasnijom upotrebom ima dvostruki značaj. Sa jedne strane, racionalno korišćenje energije predstavlja direktno sredstvo za smanjenje ukupne potrošnje energije i time uticaja na životnu sredinu, a sa druge strane, posebne izvedbe uređaja i postrojenja za korišćenje energije sve više omogućavaju učešće obnovljivih izvora energije. Po teoriji održivog razvoja, životna sredina i razvoj su međusobno komplementarni i u osnovi obostrano se potpomazu. Naime, bez zaštite životne sredine nije moguće imati održivi razvoj, odnosno bez razvoja vrlo je teško održanje i poboljšanje visokog nivoa kvaliteta kako okoline tako i samog života za sve stanovnike na našoj planeti. Zbog toga, održivi razvoj treba predstavljati onaj razvoj koji može biti održiv kroz dugi vremenski period, uzimajući u obzir sve faktore okoline, na kojima se različiti procesi razvoja temelje.

Cilj istraživanja o održivom razvoju je da se integrišu ekološke, ekonomske i društvene dimenzije u socio-ekološki sistem, koji se dalje vodi, uz održavanje potrebnog stanja ravnoteže (održivosti). Polazeći od glavnih komponenti održivog razvoja u oblasti energetike, kao što su: raspoloživost, dostupnost, prihvatljiva cijena, energetska sigurnost, energetska efikasnost, ekološka prihvatljivost i mogući rizici, neophodno je dodatno stimulisati proizvodnju energije proizvedene i korišćene na način da istovremeno pomaže razvoj čovječanstva kroz duži vremenski period. Ona mora biti dostupna i prihvatljiva kao usluga snabdijevanja, ali i dostupna i pouzdana kao energetska usluga.

### 3. PRAVCI POBOLJŠANJA I NOVE TEHNOLOGIJE U KORIŠTENJU UGLJA

Ugalj je energent sa najvećim procentom zastupljenosti među procijenjenim fosilnim gorivima (preko 65%), sa ravnomjernije raspodijeljenim nalazištima u svijetu u odnosu na nalazišta nafte i gasa. Najveće zalihe uglja se nalaze u Rusiji, SAD, Kini, Australiji, Južnoj Africi, a u Europi u Njemačkoj, Poljskoj, Češkoj i Velikoj Britaniji. Ugalj je u svijetu najizdašnije i široko rasprostranjeno fosilno gorivo. Oko 23 % potreba za primarnom energijom i 39 % za električnom energijom dobija se na bazi uglja. Međunarodna energetska agencija (IEA) očekuje povećanje potrošnje uglja od 43 % u vremenu od 2000. do 2020. godine, [4]. Zbog smanjenja zaliha nafte i gasa očekuje se porast značajnijeg korištenja uglja u budućnosti.

S druge strane, zastupljenost uglja u podmirenju današnjih potreba za energijom je manja od zastupljenosti tečnih i gasovitih goriva zajedno. Danas se iz uglja proizvodi oko 40% od ukupne energije u svijetu i očekuje se, s obzirom na energetske projekcije, da će takvo stanje ostati i u narednom periodu (tokom 21. vijeka). Donešeni propisi u vezi zaštite životne sredine, uz povećanje efikasnosti, zahtijevaju smanjenje ispuštanja CO<sub>2</sub> po proizvedenom MW, čime se umanjuje potreba za preduzimanjem drugih (drastičnijih) mjera za njegovu redukciju. Visoke termičke efikasnosti procesa i ostvarljivi niski nivoi zagađenja životne sredine su samo neka od dostignuća tog razvoja, koja danas predstavljaju sastavni dio komercijalne ponude energetske opreme na svjetskom tržištu.

#### 3.1. Nove tehnologije u proizvodnji električne energije

Elektrane s naprednim tehnologijama u korištenju uglja (postrojenja sa sagorijevanjem u fluidizovanom sloju, kombinovani ciklusi sa gasifikacijom, kombinovani ciklusi sa prirodnim gasom kao gorivom), elektrane sa tehnologijama čišćenja uglja, elektrane sa čišćenjem dimnih gasova, elektrane s kombinovanim gasno-parnim ciklusom, proizvodnja električne energije u gorivim ćelijama - predstavljaju tehnologije koje će se primjenljivati za proizvodnju električne energije u prvoj polovici 21. vijeka, [5,6]. Često se nazivaju i postrojenja s poboljšanim korišćenjem fosilnih goriva.

Jedan od načina dalje primjene klasičnih tehnologija za proizvodnju električne energije je i dugoročna perspektiva izdvajanja CO<sub>2</sub> ispusnih dimnih gasova termoelektrana, posebno onih koje rade na ugalj kao gorivo, čime bi se vršilo njihovo izolovanje u atmosferi. Ovim tehnikama bi bilo omogućeno korišćenje uglja kao primarnog goriva, bez ograničenja i uz potpuno poštovanje svih konvencija o smanjenju emisije stakleničkih gasova koji izazivaju klimatske promjene. Odvajanje se u početku može obaviti hemijskom apsorpcijom izduvnih gasova (ispitana tehnologija, još uvijek ekonomsko-finansijski ograničena), odvajanjem pomoću membrane ili destilacijom na niskoj temperaturi, [7]. Alternativa je i korišćenje kiseonika umjesto vazduha kao elementa koji pomaže proces sagorijevanja, pri čemu se jedan dio ispusnih gasova reciklira s ciljem snižavanja temperature plamena. Pri tome izduvni gas se sastoji skoro u potpunosti od CO<sub>2</sub>, pa nije potrebno nikakvo dodatno odvajanje, prije njegovog transporta gasovodom do potrošača ili njegovog skladištenja u

iscrpljenim ležištima nafte, gasa slane vode ili podzemnim skladištima.

Kao moguća tehnologija razmatra se i ispuštanje CO<sub>2</sub> u more, gdje zavisno od dubine na koju se ispušta varira i njegovo zadržavanje (500 m / 50 godina; 1000 m / nekoliko stotina godina; 3500 m / taloženje na morsko dno u tekućem stanju). Ispitivanje dugoročnih ekoloških posljedica ovakvog načina skladištenja CO<sub>2</sub> tek treba dati odgovor na konačnu prihvatljivost ovakvog rješenja, kao i dopunske analize koje se tiču rasta cijene kW električne energije usljed uvođenja novog postupka tehnološkog odvajanja CO<sub>2</sub> (procjena 30 do 50%). Na kraju, neophodno je izvršiti analizu usklađenosti energetskih sistema sa održivim razvojem, kroz ocjenu usklađenosti sa sljedećih šest kriterija: usklađenost s okolinom, međugeneracijska usklađenost, usklađenost potrošnje, društveno-politička usklađenost, zatim geopolitička usklađenost i ekonomsko-finansijska usklađenost.

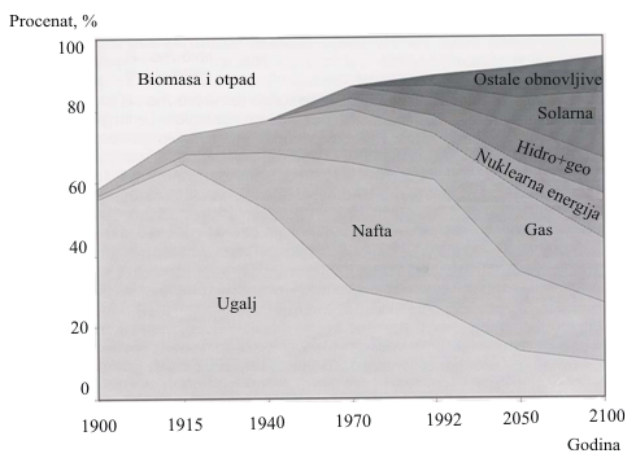
Značajan napredak termoenergetike u zadnjih dvadesetak godina zasnovan je na daljem usavršavanju energetskih parnih blokova zasnovanih na korišćenju fosilnih goriva (istraživanje novih termodinamičkih ciklusa i usavršavanje svih komponenata postrojenja i usporavanje ili potpuni prekid nuklearnih programa) i naglom razvoju gasnog bloka (veća primjena gasa u energetici), uz usavršavanje i širu primjena kombinovanog postrojenja gasne i parne turbine i razvoj industrijske i male energetike bazirane na kombinovanoj proizvodnji električne energije i toplote, kao i poboljšanje rada postojećih postrojenja putem rekonstrukcija, revitalizacija i modernizacija, a na bazi praćenja i optimizacije pogona kroz poboljšanje pouzdanosti rada i viši stepen zaštite životne sredine. Naravno, procesi deregulacije tržišta električne energije u zemljama Zapadne Evrope uz pooštavanje konkurencije između proizvođača električne energije, kao i ukupnjavanje proizvođača električne energije s ciljem smanjenja troškova proizvodnje i održavanja i proizvođača opreme zbog realizacije viših zahtjeva u pogledu performansi opreme i pada njihovih cijena, ubrzali su ovaj napredak. S druge strane, stalno pooštavanje zakonske regulative o zaštiti životne sredine, kao i uvođenje podsticajnih mjera za primjenu obnovljivih izvora energije, kombinovanu proizvodnju električne energije i toplote i štednju svih vidova energije, imali su za rezultat pojavu malih nezavisnih isporučilaca električne enegije na otvorenom energetskom tržištu, koji su postali konkurentni koristeći prethodno definisane zakonske pogodnosti.

Napredak u oblasti termoenergetike rezultat je i intenzivnih istraživačkih radova kod proizvođača opreme, na univerzitetima i u razvojnim i konsalting organizacijama. Nove tehnologije za proizvodnju energije prati i problem određivanja načina transporta dobijene energije, njenog skladištenja i same distribucije (smanjenje distributivnih gubitaka), [8].

Korišćenje supervodljivih prenosnika za transport energije u budućnosti na temperaturi bliskoj temperaturi okoline zasnovano je na pronalasku materijala, koji nemaju ili imaju zanemarljiv otpor ispod neke određene temperature (nema gubitaka u prenosu). Isto je i sa skladištenjem energije u superprovodljivim magnetima. Drugi mogući način prenosa energije na velike udaljenosti predstavlja korišćenje energije za proizvodnju vodonika (elektroliza), koji se dalje može

lako transportovati, skladištiti ili direktno koristiti u sistemima za proizvodnju električne energije.

Struktura energetske ponude za primarne izvore, uz uzimanje u obzir kontinuiteta u potrošnji i određenih indikacija za scenarij za 2100. godinu, prikazana je na slici 3.



Sl. 3. *Mogući scenarij strukture energetske ponude za 2100. godinu, [9].*

### 3.2. Pravci poboljšanja efikasnosti postojećih termoenergetskih postrojenja na uglj

Projekcija gradnje novih enerseskkih kapaciteta se zasniva na rastu potrošnje električne energije po stopi od 2.4% godišnje (rast industrijske proizvodnje, broja stanovnika i opšteg standarda), rekonstrukciji i modernizaciji postojećih termoenergetskih postrojenja iili alternativno gradnji zamjenskih kapaciteta, [10,11]. Mogući pravci za poboljšanje efikasnosti postojećih termoenergetskih postrojenja na uglj pri njihovoj rekonstrukciji i modernizaciji u okviru kapitalni remonata obuhvataju sljedeće aktivnosti:

- povišenje sigurnosti i pouzdanosti (dijagnostika i monitoring tehničkog stanja opreme uz određivanje dužine trajanja optimalne eksploatacije), kao i ekonomičnosti eksploatacije radne osnovne i pomoćne opreme na TEP (mjere za smanjenje gubitaka);
- rekonstrukcija i modernizacija agragata iz sastava osnovne i pomoćne opreme na TEP;
- ugradnja novih i poboljšanih tehnologija (primjena dokazanih tehničkih rješenja sa već verifikovanim poboljšanjima pouzdanosti i efikasnosti);
- čišćenje izmjenjivačkih površina zagrijavanja kotlovskih postrojenja od štetnih naslaga (šljaka, leteći pepeo, nesagorjele čestice, HPV).

Na slici 4 dat je prikaz mogućeg povišenja efektivnosti toplotne šeme i opreme na TEP instalisane snage 300 do 500 MW sa parametrima svježe pare 24 MPa/545/545 °C, a na slici 5 dat je uticaj pritiska i temperature svježe pare na SKD.

Da bi se obezbijedila neophodna raspoloživost TEP i njihov pouzdan dugotrajn rad neophodno je njihovo adekvatno održavanje tokom perioda eksploatacije. Tradicionalno preventivno održavanje po konstantno određenom vremenu, s obzirom da pojedini elementi turbinskog postrojenja u cjelini ne otkazuju u tačno

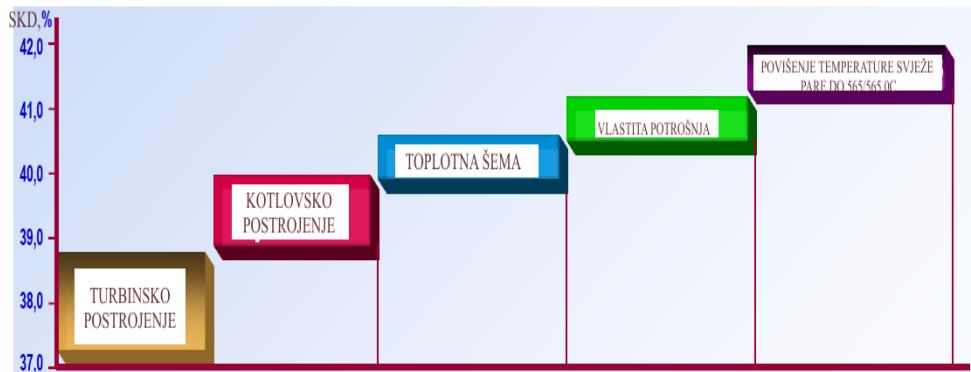
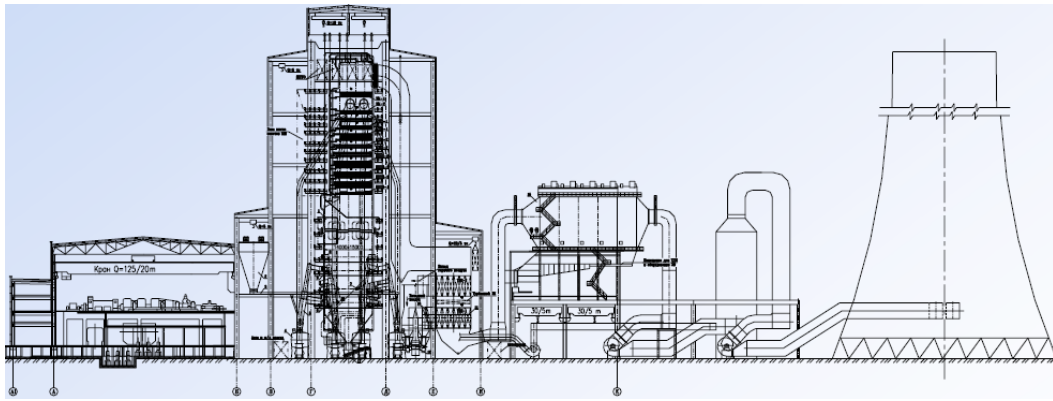
određenim vremenskim razdobljima, često je imalo za rezultat izvođenje pojedinih nepotrebnih remontnih aktivnosti i radova, dok su ponekad zabilježena i kašnjenja kod pojedinih zahvata na održavanju (pojava oštećenja ili havarija u toku međuremontnog perioda). Ovo je za posledicu imalo rast troškova i gubitak proizvodnje, [12,13].

Daleko bolji pristup preventivnom održavanju predstavlja uvođenje politike održavanja prema stanju, uz prateće uvođenje metoda tehničke dijagnostike i informacionog sistema održavanja, zasnovanog na uređenim i aktualiziranim bazama podataka. Sprovedene analize primjene politike održavanja prema stanju u odnosu na klasično održavanje po vremensko konstantnom periodu pokazale su povećanje pouzdanosti u radu, produženje radnog vijeka i smanjenje troškova održavanja TEP. Prva etapa postepene modernizacije održavanja TEP predstavlja uvođenje održavanja prema stanju sa kontrolom parametara, za čiju primjenu (za početno određeno "nulto" stanje) neophodno je razviti metodu praćenja i tehničku dijagnostiku stanja sistema, kao i adekvatan informacioni sistem. Treba istaći da novija TEP imaju visok stepen automatizacije, koji omogućava primjenu i uvođenje novih dijagnostičkih metoda uz postojeći informacioni sistem. Dalji razvoj preventivnog održavanja TEP je održavanje prema stanju uz kontrolu nivoa pouzdanosti, kao i održavanje uz pomoć ekspertnih sistema. Određivanje početne projektovane pouzdanosti, zatim srednjeg nivoa eksploatacione pouzdanosti, kao i zakonitosti njihove promjene predstavljaju osnovu, na bazi koje se dalje definiše trenutni nivo eksploatacijske pouzdanosti i vrši njegovo predviđenje (prognoza) u budućnosti.

Zavisno od uslova rada i stepena razvijenosti hijerarhijski višeg EES, termoelektrane na fosilna goriva nakon 25 do 30 godina eksploatacije rade sa smanjenim stepenom korisnosti i smanjenom pouzdanošću. Sprovođenje sveobuhvatne rekonstrukcije, revitalizacije i modernizacije ili gradnja zamjenskih kapaciteta prestavljaju moguće alternative na osiguranju kontinuiranog snabdijevanja potrošača potrebnom energijom.

Obično se poređenje objekata za revitalizaciju vrši na bazi nivelisane dokumentacije na nivou Prethodne studije o ekonomskoj opravdanosti ili Studije o ekonomskoj opravdanosti, gdje se kao kriterijumi za izbor objekata za revitalizaciju koriste: pokazatelji pouzdanosti u prethodnom periodu rada objekta, rezultati sprovedenih kontrola stanja, rezultati urađene dijagnostike otkaza opreme i konstrukcije, starost objekta (godine, broj sati rada i broj puštanja u pogon), projektni i radni uslovi eksploatacije sistema, rezultati remontnih radova i odgovarajućih ispitivanja, koja su obavljena u tom periodu, ostvareni parametri ekonomičnosti (efektivnost) proizvodnje, uloga objekta u elektroenergetskom sistemu, zainteresovanost potencijalnih investitora i potencijalni kapital investitora, uslovi okruženja (mikro i makro lokacija), ekologija (zahtjevi po osnovu novih zakonskih rješenja, obaveze dovođenja postrojenja u ekološki prihvatljive granice na bazi termin planova) i dr. (zahtjevi po osnovu obaveze procjene rizika i sigurnosti u radu postrojenja).

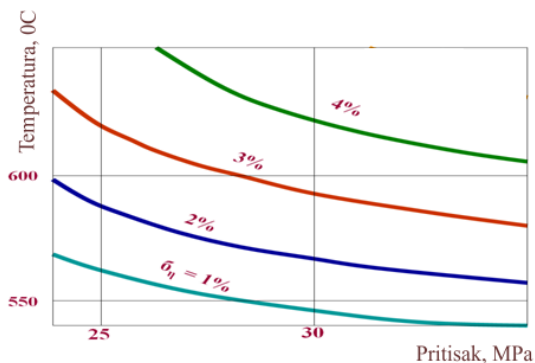




Prikaz elemenata za djelovanje s ciljem porasta SKD

Sl. 4. Prikaz mogućeg povišenja efektivnosti toplotne šeme i opreme na TEP instalisane snage 300 do 500 MW sa parametrima svježje pare 24 MPa/545/545 °C.

Kako postrojenja na fosilna goriva građena 70-tih i 80-tih godina prošlog vijeka imaju relativno nizak stepen korisnosti u odnosu na današnja moderna postrojenja, kao i nizak stepen zaštite životne sredine (u vrijeme izgradnje propisi za zaštitu životne sredine bili su znatno blaži), neophodno je uložiti značajna finansijska sredstva u revitalizaciju i modernizaciju termoelektrana na fosilna goriva starih preko 30 godina da bi se dobila postrojenja nešto boljeg stepena korisnosti i prihvatljivih karakteristika u pogledu emisije štetnih materija u okolinu. Iz tih razloga, često je u opticaju i alternativni pristup gradnje modernih zamjenskih kapaciteta, koji omogućava veću štednju primarnog goriva i ostvarenje visoke pouzdanosti, čime se stvara bolja početna pozicija termoenergetskih postrojenja u oštroj konkurenciji u uslovima deregulisanog tržišta.



Sl. 5. Uticaj pritiska i temperature svježje pare na SKD.

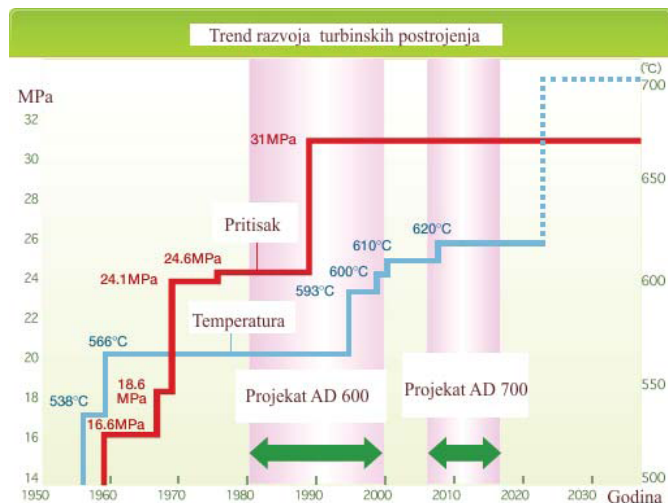
Zahtjevi za kontinuiranim obezbjeđenjem potreba za energijom u dovoljnim količinama za industrijska postrojenja, sabračaj i životni standard ljudi, zahtjeva razvoj novih tehnologija zasnovanih na fosilnim gorivima (postrojenja za sagorijevanje u fluidizovanim sloju, kombinovani ciklusi sa gasifikacijom, kombinovani ciklusi sa prirodnim gasom kao gorivom, gorive ćelije, tehnologije sa spoljašnjom toplotnom energijom - Stirlingova mašina, termofotonaponska konverzija, termalno-električni konvertori sa alkalnim metalima), zatim povećanje energetske efikasnosti (štednja i racionalno korištenje energije, smanjenje distributivnih i drugih gubitaka). U zadnje vrijeme pojavilo se više uticaja čije je kombinovanje dovelo do povećanog zanimanja za distribuiranu proizvodnju iz obnovljivih izvora energije (smanjenje emisije CO<sub>2</sub>, programi energetske efikasnosti ili racionalnog korištenja energije, deregulacija tržišta električnom energijom, diversifikacija energetske izvora, zahtjevi za samoodrživosti nacionalnih energetske sistema, podsticaji od strane vlada kroz metodologiju za vrednovanje i određivanje cijena iz obnovljivih izvora i sl.).

Stvaraju se strateški planovi i programi za iskorištenje obnovljivih izvora (vjetroelektrane, male hidroelektrane, fotonaponski izvori, zemni gas, energija iz otpada, energija talasa i plime i oseke, energija iz biomase i sl.), kao i pravci otklanjanja glavnih nedostataka klasičnih elektrana (povećanje stepena iskorištenja energije sadržane u primarnom gorivu sa 33 na 45 do 50 %, izbor drugačijeg načina za sagorijevanje, uz znatno sniženje štetnih polutanata

sadržanih u dimnim gasovima, a koji se ispuštaju u vazduh, npr. gasifikacija čvrstih i tekućih goriva u sintetički gas).

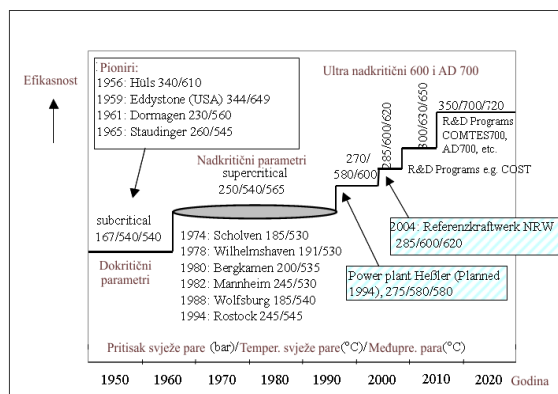
Platforma za razvoj tehnologija na bazi sagorijevanja uglja kao primarnog goriva obuhvata:

- primjenu blokova TEP na uglj sa *ultra-nadkritičnim* parametrima pare (*Ultra-Super-Critical Units - USC*) sa pritiscima svježe pare od 25 do 31 MPa i temperaturom svježe i međupregrijane pare oko 600 °C instalisane snage 380/660-800 MW sa SKD od cca 45%;
- razvoj i primjenu turbina sa *USC - parametrima klase "700 °C"*, koje će se graditi kroz realizaciju evropskog projekta AD 700 (*Advanced 700 °C Pulverised Coal-Fired Power Plant*), koji je otpočeo u januaru 1998. godine i treba da se realizuje po fazama u ukupnom trajanju od 17 godina (slika 6), uz osvajanje legiranih čelika (*Super Alloy*) na bazi nikla, koji bi na pritiscima svježe pare od oko 37,5 MPa i temperaturama pare od 700 do 720 °C imali odgovarajuću vremensku zateznu čvrstoću i trajnu granicu razvlačenja u toku 100.000 pogonskih časova rada od oko 100 N/mm<sup>2</sup> na 750 °C. (kandidat za pomenute uslove temperature pare od 620 do 720 °C je i legura *Inconel 617* (NiCr23Co12Mo), sa termičkim stepenom efikasnosti od 52 do 54,5%, u zavisnosti od primjene jednog ili dva međupregrijanja sekundarne pare (kod sagorijevanja praha kamenog uglja i uz određena tehnološka poboljšanja, očekuje se električni neto stepen iskorišćenja takvih energetskih blokova iznad 50%: sa jednim međupregrijanjem  $\eta_{el.neto} > 50\%$ , a sa dva međupregrijanja očekuje se  $\eta_{el.neto} > 52\%$ ), slika 7;
- primjenu TE-TO sa kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije nove generacije;
- primjenu tehnologija prečišćavanja dimnog gasa, uz obezbjeđivanje minimalnih emisija i imisija (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, pepela i nesagorjelih čestica i sl.), slika 8;
- primjenu parnogasnih postrojenja (PGP) sa gasifikacijom čvrstog goriva instalisane snage 200 do 400 MW, slika 9;
- primjenu hibridnih postrojenja, uz korišćenje gorivih čelija, slika 10;
- razvoj materijala korišćenih u okviru TEP, slika 11.

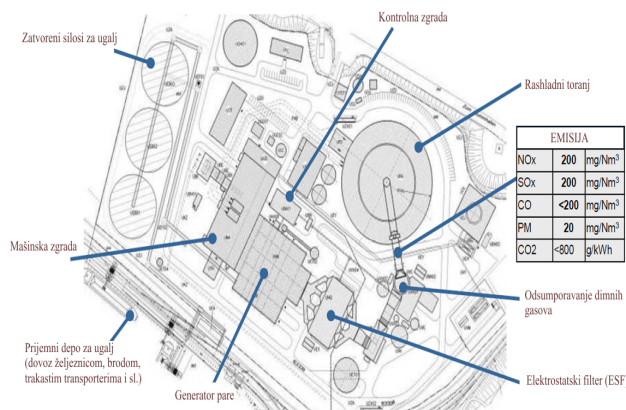


Sl. 6. Prikaz trenda razvoja turbinskih postrojenja, [14].

Od posebnog značaja je i poboljšanje pokazatelja na parnim termoelektranama na jedan od sljedećih načina: povišenje parametara SKD, usavršavanje opreme, posebno elemenata GPO (protočnog dijela turbinskog postrojenja, gubitaka u kotlu - temperatura ulaznih gasova, sušenje goriva, hidraulički otpori, pogoršanje vakuma - rashladni tornjevi, kondenzator, procesa sagorijevanja, vodno-hemijskih režima, emisija i imisija, štetni produkti, automaizacija i regulacija, unifikacija i tipizacija projekata kroz usvajanje principijelnih šema postrojenja instalisane snage 300, 500, 800, 1000, 1200, 1500 MW, 1800 MW, uz tipizaciju osnovne i pomoćne opreme na TEP), dostizanje realnih cijena energenata (ugalj, prirodni gas, nafta i naftni derivati) i proizvoda iz TEP (električna i toplotna energija i/ili tehnološka para).



Sl. 7. Prikaz trenda razvoja parametara svježe i međupregrijane pare.

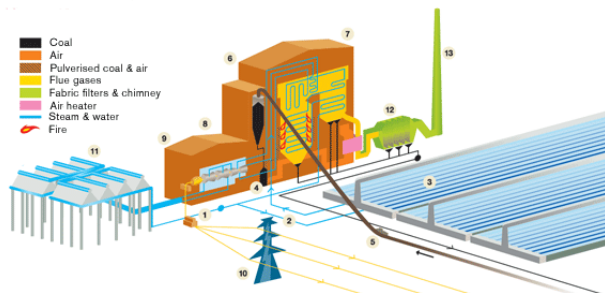


8. Situacioni plan TEP i emisije norme.



Sl. 9. Prikaz demonstracione elektrane sa IGCC- Integrated coal Gasification Combined Cycle tehnologijom, [15].

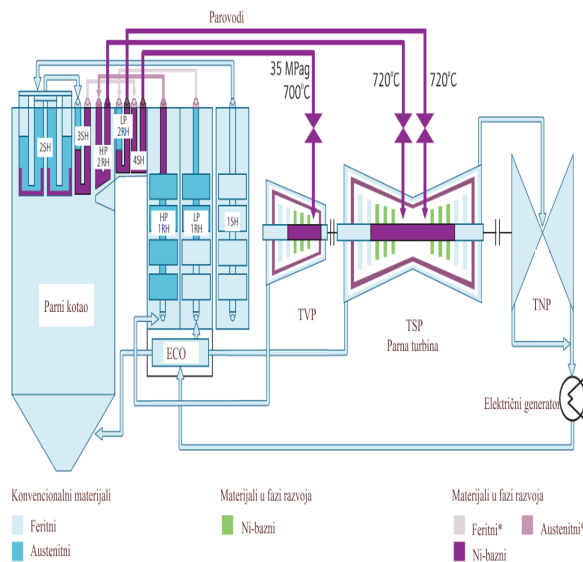
Pored pomenutih istraživanja u Evropskoj uniji, slični razvojni projekti realizuju se i u SAD, Japanu i drugim razvijenim industrijskim zemljama. Takvi zahtjevi i potreba proizilazi iz činjenice da su znatne preostale rezerve uglja u svijetu koje daju dobru nadu za energetska budućnost. S druge strane, sagorijevanje fosilnih goriva (posebno uglja) izaziva povećanu emisiju gasova sa efektom staklene bašte (GESB), što negativno utiče na klimatske promjene. Iz tako oprečnih zahtijeva proizilazi logičan zaključak da se ugljevi u budućnosti mogu sagorijevati samo uz visok stepen efikasnosti korišćenja energije goriva (preko 50%). Ako se uzme prosječna efikasnost današnjih kapaciteta na uglj od oko 35%, onda bi povećanje efikasnosti iznosilo više od 15%, kao i odgovarajuće smanjenje emisije GESB.



Sl. 10. Primjena u hibridnom sistemu sa energijom sunca.

### 3.3. Nove tehnologije u proizvodnji električne i toplotne energije u Republici Srpskoj

Trenutno se u Republici Srpskoj u eksploataciji nalaze dva termoenergetska postrojenja (TE Ugljevik I i TE Gacko I instalisane snage 300 MW), dok dva postrojenja su u fazi realizacije (TE Stanari 300 MW, slika 12 i TE Ugljevik III 2x300 MW", slika 13).



\*Kompozitni feritni i austenitni posebno prilagođeni materijali

Sl. 11. Prikaz razvoja visokotemperaturnih USC materijala, Izvor: Fukuda, 2010, [10].

Postrojenja koja su u radu instalisane su pre više od 30 godina. Kao i većinu postrojenja koja nisu rekonstruisana i revitalizovana iz ovog perioda, karakterišu ih niži SKD (33 do 36 %), niži pokazatelji pouzdanosti (starenje), visoki emisioni i imisioni parametri, problemi za odvajanjem pepela,

zašljakivanjem i sl. Korišćenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije (OIEK) u Republici Srpskoj temelji se na određenoj zakonskoj legislativi - Zakon o električnoj energiji (Sl. glasnik Republike Srpske, broj 145/08), Zakon o obnovljivim izvorima energije i efikasnoj kogeneraciji (Sl. glasnik Republike Srpske, broj 39/13) i zakonskim regulativama vezanim za zaštitu okoline, prostorno uređenje i građenje, kao i Pravilnik za priključenje na elektroenergetsku mrežu distributivnih preduzeća iz sastava MHE Elektroprivreda Republike Srpske, Trebinje.



Sl. 12. Prikaz budućeg TE Stanari 1x300 MW.

Uticaj energetike na održivi razvoj je najizrazitiji kroz ekonomski aspekt održivosti. Kontinuirani ekonomski rast moguć je jedino kada je postignuta dovoljno sigurna snabdjevenost električnom energijom uz prihvatljive cijene kako za domaćinstva tako i za industrijska preduzeća. Današnja industrija u Republici Srpskoj odnosno BiH kao cjelini zavisna je dosta od fosilnih goriva, a najviše od uglja. Povećanje energetske efikasnosti podrazumeva korišćenje ukupne toplotne energije u okviru energetskog sistema na različitim raspoloživim temperaturnim nivoima, za proizvodnju korisnog mehaničkog rada ili toplote pare za tehnološke procese ili grijanje, uz minimalno odvođenje toplote u okolinu kao otpadne toplote. Ovakav pristup se najčešće realizuje u tzv. kombinovanim ciklusima za istovremenu proizvodnju korisnog mehaničkog rada odnosno električne energije sa jedne i toplotne energije sa druge strane, tj. u termoelektranama toplanama (TE-TO).



Sl. 13. Prikaz budućeg TE Ugljevik III 2x300 MW.

Primjena kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije omogućuje uštedu primarne energije u odnosu na odvojenu proizvodnju toplotne i električne energije. U



Republici Srpskoj planiran je projekat rekonstrukcije toplane u Dobroju u TE-TO Doboj instalisane snage 34,8 MWe i 27,5MWt. Imajući u vidu izraženu tendenciju korišćenja obnovljivih izvora energije u zemljama evropske unije, potencijalno značajne količine otpadaka drvne industrije raspoložive na području BiH i pozitivna iskustva u korišćenju biomase kao osnovnog ili dopunskog goriva u sagorijevanju sa kotlovima manje snage, nameće se i potreba analize mogućnosti korišćenja biomase kao dodatnog goriva u TE-TO Doboj. Korišćenje biomase kao dodatnog goriva u procesu proizvodnje električne energije, obezbijedilo bi potencijalnom investitoru dobijanje CO<sub>2</sub> sertifikata i mogućnost trgovine određenom kvotom emisija CO<sub>2</sub>, saglasno odredbama Kyoto protokola i odgovarajućim direktivama EU.

Prema proceduri propisanoj u "Pravilniku o izdavanju sertifikata za proizvodno postrojenje, koje proizvodi električnu energiju koristeći obnovljive izvore energije ili efikasnoj kogeneraciji", potrebno je obezbijediti Sertifikat za proizvodno postrojenje. Legislativa Republike Srpske o energetske djelatnosti (koja podrazumijeva proizvodnju električne energije iz postrojenja električnog kapaciteta preko 1MW) obavezuje proizvođača da posjeduje Dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti. Proizvođači, koji električnu energiju proizvode iz postrojenja koja su manja od 1MW i koji proizvode električnu energiju za vlastite potrebe, ne moraju da posjeduju Dozvolu, prema Zakonu o energetici (Sl. glasnik Republike Srpske broj 49/09). Naime, Dozvolu za energetske djelatnosti i Sertifikat za proizvodno postrojenje izdaje se od strane Regulatorne komisije za energetiku Republike Srpske. Što se tiče strategije razvoja energetike Republike Srpske, Vlada je donijela niz akata kojima se planira strategija (Sl. glasnik Republike Srpske broj 49/09, član 4, 5 i 6).

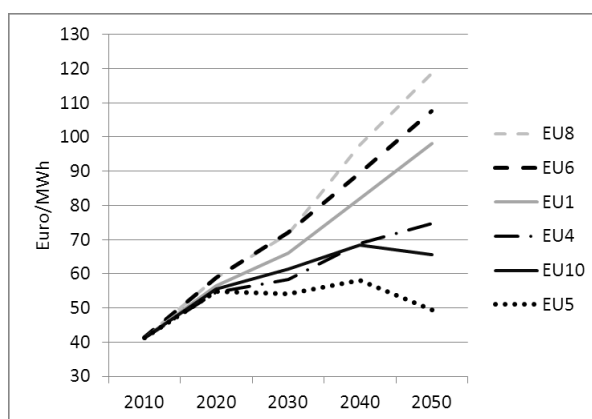
Prema [14], očekivani investicioni troškovi za klasična termoenergetska postrojenja dati su u okviru tabele 2, dok očekivane cijene konačnog proizvoda (električne energije) za period do 2050 godine date su na slici 14.

Tabela 2: Trošak investicije EUR<sub>2010</sub>/kW, [14].

Cijena investicije u EUR <sub>2010</sub> / kW		2010 .	2020.	2030.	2040.	2050.
Nuklearke	Generacija III NE	6000	5833	5671	5513	5360
	Ugalj IGCC CCS	2988	2794	2613	2443	2285
Ugalj	Nadkritični	1300	1300	1300	1300	1300
	Lignit nadkritični	1700	1700	1700	1700	1700
	Lignit gasif. CCS	3881	3577	3296	3038	2800
	Gas Precomb. CCS	1637	1528	1425	1330	1241
Gas	Gas kombinov. ciklus	800	764	729	696	664
	Gasne turbine GCT	400	400	400	400	400

Pravo na podsticaj može ostvariti proizvođač električne energije ako proizvodi električnu energiju koristeći obnovljive izvore energije na ekonomski primjeren način i uz

zaštitu životne sredine u proizvodnom postrojenju, kako slijedi: hidroelektrane snage do uključivo 10 MW, elektrane na čvrstu biomasu do uključivo 10 MW, elektrane na poljoprivredni biogas do uključivo 10 MW, vjetroelektrane i solarne elektrane. S tim u vezi, Vlada Republike Srpske donijela je Odluku po kojoj se otkupljuje električna energija iz obnovljivih izvora energije po garantovanoj otkupnoj cijeni (Odluka o visini garantovanih otkupnih cijena i premija za električnu energiju proizvedenih iz obnovljivih izvora ili u efikasnoj kogeneraciji, Sl. glasnik Republike Srpske, broj 128/11 i 53/12). Na žalost, trenutna situacija u Republici Srpskoj je takva da se podsticajne mjere za primjenu obnovljivih izvora energije i efikasne kogeneracije smanjuju, što može značajnije uticati na interes potencijalnih investitora, [16,17].



Sl. 14. Prosječna veleprodajna cijena električne energije u EU-27 EUR/MWh za različite EU scenarije, [14].

(EU4-neambiciozna klimatska politika, EU10- isključena velika uloga obnovljivih izvora, EU1-manje ambiciozna klimatska politika, EU6-nisko povećanje energetske efikasnosti bez NE, EU8-nisko povećanje energetske efikasnosti sa NE, EU5-visoko povećanje energetske efikasnosti, bez obnovljivih izvora, EU8/6/1-visoko cjenovni scenariji, koje bi trebalo da zamijene nakon 2020. godine EU5/10/4 scenariji)

#### 4. ZAKLJUČAK

U narednih 30 godina predstoji intezivna gradnja energetske kapaciteta (150/250 GW/god.) radi zamjene dotrajalih elektrana i pokrivanje rastućih potreba za energijom. Pri tome, osnovni koncept zasniva se na primjeni visoko razvijenih tehnologija sa višim SKD, uz korišćenje različitih tehnologija za sagorijevanje primarnog goriva i primjeni novih materijala za visoko opterećene elemente iz strukture TEP-a. Koristiće se turbogeneratorska postrojenja širokog spektra instalisane snage 100 do 1000 MW, uz primjenu savremenih izolacionih materijala i tehnologija, koje trebaju produžiti osnovni životni vijek na period do 50 godina i obezbijediti međuremontni period od 5 do 7 godina. Da bi se ovo obezbijedilo, neophodno je nastaviti sa razvojem projekta energetske blokova na ugalj sa visokim ekonomskim i ekološkim pokazateljima, stvaranju povoljnije klime za investiranje (poboljšanje sigurnosti investicija, prihvatljiv porez na dobit, veće partnerstvo između kompanija koje se bave proizvodnjom energetske opreme i biznisa u energetici, kao i naučnoistraživačkih ustanova), kao



i patronažu privredne organizacije kod realizacije tih radova. Tehnologije proizvodnje električne energije iz fosilnih goriva s nultom emisijom CO<sub>2</sub> u atmosferu još uvijek nisu razvijene do maksimalne komercijalne isplativosti, ali to je realno očekivati u narednom periodu. Iz tih razloga, dostignuća u razvoju tehnologija čistog uglja treba uzimati u obzir pri strateškom planiranju izgradnje proizvodnih kapaciteta u elektroenergetskom sistemu Republike Srpske i BiH u cjelini, s ciljem dugoročnog osiguranja pouzdanosti snabdijevanja električnom energijom. Razvoj tehnologija čistog uglja (Clean Coal Technology CCT, slika 15) predstavlja odgovor na zahtjeve vezane za zaštitu životne sredine, posebno prema smanjenju CO<sub>2</sub> emisija. Čišćenje uglja ispiranjem (*washing coal*) predstavlja već standardnu proceduru u razvijenim zemljama, čime se može pozitivno uticati na proces sagorijevanja i smanjenje emisija pepela i SO<sub>x</sub>. Transportovani ugalj sa nesagorljivim mineralnim sadržajem i drugim štetnim sastojcima se na termoelektranama dodatno čisti. Ovo je posebno značajno kod mrkih ugljeva sa značajnijim sadržajem sagorljivog sumpora (npr., rudarski basen u Ugljeviku sa 4 do 7% sagorljivog sumpora).



Sl. 15. Elementi tehnologije čistog uglja CCT, [7,14].

## 5. LITERATURA

- [1] Milovanovic Z.: Termoenergetska postrojenja - Teoretske osnove, Univerzitet u Banjoj Luci Mašinski fakultet, Banja Luka, 2011., 431 str.
- [2] Milovanovic Z.: Termoenergetska postrojenja - Tehnološki sistemi, projektovanje i izgradnja, eksploatacija i održavanje, Univerzitet u Banjoj Luci Mašinski fakultet, Banja Luka, 2011., 842 str.
- [3] Z. Milovanović, S. R. Dumonjić - Milovanović, "Termoenergetska postrojenja i održiv razvoj", *Arhiv za tehničke nauke*, God III - No. 4., Tehnički institut Bijeljina, str 1-9., 2011.
- [4] "Technology Roadmap: High-Efficiency, Low-Emissions Coal-Fired Power Generation", *International Energy Agency IEA*, Paris, France, pp. 1-38, 2012.
- [5] M. Petrović, "Savremena termoenergetika - stanje i perspektive razvoja", *EEE - List Saveza energetičara Srbije*, broj 3-4, str. 11-18, 2007.
- [6] D. Miličić, "Termoenergetika kao komponenta strategije razvoja energetike razvoja RS i BiH", *Međunarodna konferencija TENOR 2010*, Ugljevik, str. 314-356, 2010.
- [7] "Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2010 and inventory report 2012", *EEA (2012)*, <http://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2012>, 2012.
- [8] Z. Milovanović, S. R. Dumonjić - Milovanović, "Termoenergetska postrojenja i zaštita životne sredine", *Arhiv za tehničke nauke*, God III - No. 4., Tehnički institut Bijeljina, str 55-62, 2011.
- [9] A. Višković, "Energija i međunarodni transfer tehnologija", *Energetika marketing*, Zagreb, 320 str., 2002.
- [10] "Energy Roadmap 2050", *European Commission - EC*, Brussels, 2011.
- [11] A. Schröder, T. Traber, C. Kemfert, "Market Driven Power Plant Investment Perspectives in Europe: Climate Policy and Technology Scenarios until 2050 in the Model EMELIE-ESY<sup>1m</sup>", *German Institute for Economic Research, DIW Berlin*, Berlin, pp. 1-18, 2013.
- [12] З. Н. Милованович, "Алгоритм мероприятий по улучшению конкурентоспособности термоэнергетических установок (Часть 1)", *Проблемы машиностроения и автоматизации*, ИМАШ РАН, ГУ РосНИИ ИТ и АП, Москва, No. 4/2009, pp. 68-74, 2009.
- [13] З. Н. Милованович, "Алгоритм мероприятий по улучшению конкурентоспособности термоэнергетических установок (Часть 2: Показатели технического, экономического и функционального состояния установки)", *Проблемы машиностроения и автоматизации*, ИМАШ РАН, ГУ РосНИИ ИТ и АП, Москва, No. 1/2011, pp. 44-53, 2011.
- [14] K. Rennings, P. Markewitz, S. Vögele, "How Clean is Clean? Incremental Versus Radical Technological Change in Coal-Fired Power Plants", Discussion Paper

No. 09-021, ZEW Centre for European Economic Research, <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp09021.pdf>

- [15] L. Schmoer, Bechtel, "IGCC – Expected plant availabilities and efficiencies", Presentation at Platts IGCC symposium, Pittsburgh, June 2-3, 2005
- [16] V. L. Babić, Z.N. Milovanović, "Modeli primjene sistema kogeneracije u Republici Srpskoj- održivi razvoj i korišćenje", *Zbornik radova sa 14. Simpozijuma termičara Srbije*, Sokobanja, str. 146-151, 2009.
- [17] V. L. Babić, Z.N. Milovanović, "Postupak izbora optimalnog rješenja i analiza izvodljivosti za moguće korišćenje kogeneracije u Republici Srpskoj", *Zbornik radova sa 14. Simpozijuma termičara Srbije*, Sokobanja, str. 140-145, 2009.

**Abstract** – *Technological level of transforming energy from natural forms (primary energy) into useful and desirable forms is a basis for evaluating energetic efficiency, where any technological advancement causes social development and growth of economy. As the future of the human race, from the aspect of supplying with the energy is filled with lots of uncertainties (different opportunities, risks,*

*problems, etc.) period of transition until 2050 will be characterized by significant rhythm of changes and by rapturous events (enormous growth of human population with tendency to reach the figure of 12 billion till the end of the this century, bigger and bigger gap between rich and poor, wars to be lead for energy sources, trust and tolerance climate between east and west, between north and south, between different nationalities and religions, etc.). Power plants based on modern technologies of coal usage (fluidized bed power plants, combined cycles with gasification, combined cycles with natural gas as a fuel), power plants with technology of coal clean, plants with systems for waste gases purification, power plants with combined gas steam cycle, electricity production using fuel cells – represents technologies that will be used for electricity production in first half of 21<sup>st</sup> century..*

#### **CONVENTIONAL COAL-FIRED THERMAL POWER PLANTS – DEVELOPMENT AND PERSPECTIVES OF USAGE**

Zdravko N. Milovanovic, Darko Knežević, Aleksandar Milasinovic, Svetlana Dumonjic-Milovanovic, Jovan Skundric