

Razvoj tehnologija za proizvodnju korisnih oblika energije

Čiste tehnologije i održivi razvoj

Zdravko N. Milovanović¹, Svetlana R. Dumonjić-Milovanović², Aleksandar N. Milašinović², Darko Knežević², Jovan B. Škundrić¹

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

²Partner Inženjering, Banja Luka, Republika Srpska

zdravko.milovanovic@mf.unibl.org, svetlanadm@ymail.com, aleksandar.milasinovic@mf.unibl.org,

darko.knezevic@mf.unibl.org, jovan.skundric@mf.unibl.org

Sažetak—Energetske potrebe trenutno se uglavnom podmiruju iz konvencionalnih izvora energije (fosilna goriva: uglj, nafta, prirodni gas, hidroenergija vodotoka-hidroelektrane, kao i nuklearna goriva za procese fisije). Kako fosilna i nuklearna goriva spadaju u grupu neobnovljivih izvora energije, samim tim i njihove rezerve su ograničene, pa je neophodno u budućnosti računati sa mogućnošću njihovog iscrpljivanja. Da bi se obezbijedila sigurnija energetska budućnost, istraživanja u oblasti teorijske mogućnosti i realne racionalne primjene energetskih izvora teku u dva pravca - produženje vijeka mogućeg korištenja neobnovljivih energetskih izvora i organizacija na energetske izvore i tehnološke postupke koji minimalno utiču na zagađenje vazduha i čovjekove okoline u cjelini (tzv. čiste tehnologije). Dakle, potrebno je obezbijediti kontinuirani rast proizvodnje energije u skladu sa rastom industrijske proizvodnje i društvenog standarda, uz paralelno iznalaženje pogodnih tehnoloških postupaka za racionalno korišćenje obnovljivih energetskih izvora (alternativa za neobnovljive izvore) i poboljšanje stepena iskorišćenja neobnovljivih energetskih izvora u postrojenjima sa tzv. malootpadnim tehnologijama, sa što manjim štetnim uticajem na životnu sredinu.

Ključne riječi— *energetske potrebe; „čiste“ tehnologije; održivi razvoj; Republika Srpska; zaštita životne sredine;*

I. UVOD

Zahtjevi za kontinuiranom 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), kao i povećanje udjela proizvodnje korisnih oblika energije iz obnovljivih izvora, uz dalje podsticanje razvoja kogenerativnih i trigenerativnih sistema. U zadnje vrijeme pojavilo se više uticaja čije je kombinovanje dovelo do povećanog zanimanja za distribuiranu proizvodnju iz

obnovljivih izvora energije (smanjenje emisije CO₂, programi energetske efikasnosti ili racionalnog korištenja energije, deregulacija tržišta električnom energijom, diversifikacija energetskih izvora, zahtjevi za samoodrživosti nacionalnih energetskih 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 valova 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÷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). Proizvodnja električne energije na konvencionalan način odvija se u velikim centralizovanim postrojenjima. Tako proizvedena električna energija doprema se do potrošača posredstvom elektrodistributivne mreže. Toplotna energija nastala u takvom procesu nije u potpunosti iskoristiva pa se dio toplote odašilje u okolinu neiskorišten. Obezbeđivanje potrebne energije za grijanje i hlađenje kod udaljenih potrošača istovremeno se ostvaruje potrošnjom električne energije, fosilnih goriva ili primjenom obnovljivih izvora energije. U vezi sa prethodnim konstatacijama odvijaju se brojna i kompleksna naučna istraživanja u osvajanju novih tehnoloških procesa i postupaka kako bi se dobila "čista energetika". Tako na primjer, u dvije najveće energetske zemlje svijeta (SAD, Rusija) usvojeni su dugoročni programi razvoja energetike koji su povezani sa zaštitom životne sredine, koju u značajnoj mjeri ugrožava energetska proizvodnja. Državni naučno-tehnički program u Rusiji pod nazivom "Ekološki čista energetika" obuhvata četiri oblasti među kojima su "bezbjedna nuklearna elektrana", "ekološki čista termoelektrana", "nekonvencionalna energetika" i "gorivo budućnosti". Američki dugoročni program "Ekološki čista tehnologija uglja" posmatra razvoj ovih tehnologija u četiri oblasti, [2÷3]:

- do ulaska uglja u ložište kotla, tj. u procesu njegovog dobijanja pri separaciji i čišćenju od dijela mineralnih primjesa (pepeo, sumpor i dr.);

- u procesu sagorijevanja uglja u ložištu kotla;
- poslije sagorijevanja uglja u ložištu kotla, tj. čišćenje dimnih gasova u zoni dimnih kanala od kotla do dimljaka;
- gasifikacija uglja u okviru energetskog postrojenja pri čemu se štetne primjese iz uglja odvajaju u procesu njegove gasifikacije (pepeo, SO₂, NO_x) - dobijeni gas koristi se u gasno turbinskim (GTP) i gasno-parnim turbinskim (GPTP) postrojenjima.

Ovi razvojni programi ukazuju na pravce razvoja energetike i u drugim zemljama svijeta. Iako nekonvencionalni izvori energije imaju relativno mali udio u ukupnom energetskom bilansu, ne treba zanemariti njihov značaj. Pred naukom i stručnom praksom stoji važan zadatak da se poveća korištenje svih vidova energije i tehnologija kojima se smanjuje prljanje okolne sredine, kao i obnovljivih nekonvencionalnih izvora energije kao djelimične alternative neobnovljivim izvorima energije.

II. METODOLOGIJA PRIMJENE ALTERNATIVNIH TEHNOLOGIJA ZA PROIZVODNJU KORISNIH OBLIKA ENERGIJE

A. Pravci razvoja u korištenju novih i obnovljivih izvora energije

Pod pojmom novih i obnovljivih energetskih izvoranajčešće se podrazumijevaju samo nekonvencionalni obnovljivi izvori energije, a u prvom redu energija sunca, vjetra, geotermalna energija i energija biomase. Prema rezoluciji N^o 33/148 Generalne skupštine OUN, u nove i obnovljive energetske izvore uvršteni su sljedeći izvori: hidroenergija (mini i mikro hidroelektrane pripadaju i grupi nekonvencionalnih izvora energije), solarna energija, geotermalna energija, energija vjetra, energija plime i oseke, energija morskih talasa, termalni gradijent mora, energija transformacija biomasa, energija dobijena sagorijevanjem drveta, drvenog uglja i treseta, energija dobijena snagom tegleće stoke, kao i energija dobijena sagorijevanjem gorivih skrivaca i bitumeniziranih pješčanika. Za prostor bivše Jugoslavije svakako je od posebnog interesa korištenje sunčeve i geotermalne energije, kao i energije vjetra i biomase. Međutim njihovo korištenje sporo se uvodi u praksu. U osnovi, razlozi su u dosta visokim specifičnim ulaganjima u izgradnju i niža cijena energije koja se dobija u klasičnim elektranama. Treba, ipak, računati da će se relativne razlike u investicionim ulaganjima u narednom periodu još više smanjiti, a treba računati i na znatna poskupljenja izgradnje klasičnih i nuklearnih elektrana radi dodatnih ulaganja u postrojenja za zaštitu životne sredine i povećanja sigurnosti rada atomskih reaktora. Tako se u SAD-u već sada procjenjuje da cijena izgradnje TE iznosi oko 1500 USD/kW, pri čemu se oko 30% odnosi na postrojenja i uređaje za zaštitu životne sredine. Pri realnim proračunima treba uzeti u obzir i kapitalna ulaganja u izgradnju rudnika uglja. S druge strane, postoje i drugi razlozi za nedovoljno korištenje novih i obnovljivih izvora energije:

- ne postoji dovoljna ekonomska zainteresovanost proizvođača i potrošača za veće korištenje postrojenja i uređaja na bazi navedenih izvora energije;

- ne postoji sistemska (zakonska) ekonomska stimulacija potrošača koji bi koristili nove izvore energije;
- vrlo mala ili nikakva finansijska podrška državnih organa za naučna i razvojna istraživanja u ovoj oblasti;
- nepripremljenost mašingradnje za proizvodnju opreme i uređaja koji bi koristili obnovljive izvore energije;
- neorganizovan rad u ovoj oblasti (uglavnom pojedinci ili ponegdje mala preduzeća i ustanove) i slaba opremljenost naučnoistraživačkih organizacija savremenom naučnom opremom i računarskom tehnikom;
- slaba povezanost domaćih naučnih i stručnih kadrova i odgovarajućih preduzeća sa inostranim vodećim ustanovama u ovoj oblasti radi korištenja njihovih dostignuća i transfera znanja.

Analizom naprijed pobrojanih faktora mogu da se izvuku zaključci u kom pravcu treba djelovati da bi se omogućio početak i dalji razvoj u korištenju novih i obnovljivih izvora energije i u našim uslovima. Posebno je važno razmišljati o kombinovanim (elastičnim) sistemima u kojima se istovremeno koriste dva ili više nekonvencionalnih izvora energije. Drugi važan razvojni pravac u energetici je osvajanje tehnologija i energetskih postrojenja u kojima se racionalnije koristi neobnovljivi primarni izvori energije. Pored većeg stepena korisnog dejstva, ovakva postrojenja treba da omoguće znatno manje zagađenje okoline. To bi ujedno i produžilo vijek korištenja neobnovljivih fosilnih goriva u kom periodu treba pronaći alternativnu zamjenu sa drugim izvorima energije. Navedimo neke od tih tehnološko-energetskih postupaka:

- osvajanje visokofikasnih tehnologija u metodama otkopavanja, kao i u separaciono-flotacionim procesima za odvajanje mineralnih primjesa u kojima će se postići veće iskorisćenje gorive mase uglja (smanjenje otkopnih gubitaka i efikasnije sagorijevanje u ložištima kotlova);
- podzemna gasifikacija uglja uz dobijanje gasova kao nosioca toplotne energije;
- gasifikacija čvrstih goriva u gasnim generatorima velike snage;
- osvajanje gasno-parnih energetskih postrojenja sa gasnim turbinama snage 115÷200 MW i početnom temperaturom gasova preko 1100 °C, čime se znatno povećava SKD postrojenja u odnosu na klasična parno turbinska postrojenja;
- osvajanje novih konstrukcija parnih kotlova sa cirkulacionim fluidiziranim slojem i kotlova sa arofontanskim predkomorama za sagorijevanje uglja u kojima mogu sagorijevati ugljevi manjeg kvaliteta uz regulaciju SO₂ u pepelu (odsumporavanje u procesu nisko temperaturnog sagorijevanja ugljeva - oko 850 °C);

- osvajanje magnetno-hidrodinamičke (MHD - generatori) direktne transformacije toplote u električnu energiju, pri čemu se kombinacijom MHD-generatora i klasičnih kotlovske turbinskih postrojenja postiže stepen iskorištenja toplote goriva od 50÷60%;
- spaljivanje gradskog smeća i gorivih industrijskih otpadaka u posebnim energetskim parnim kotlovima u bloku sa toplifikacionim funkcijama;
- razvoj tehničkih sistema za korištenje nisko-potencijalnih energetskih resursa: otpadna toplota termoelektrana i nuklearnih elektrana, industrijskih preduzeća, toplota ventilacionih gasova i slično;
- uvođenje postupaka termobriketiranja uglja-uslijed brzog zagrijavanja uglja i njegove termičke destrukcije, obrazuju se (ali ne izdvajaju!) visokomolekularni tečni produkti koji služe i kao vezivno sredstvo briketa (povećava se SKD peći za 20÷25 %), [5].

B. Kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije

S ciljem poboljšanja energetske efikasnosti i globalnog smanjenja potrošnje energenata pored centralizovane proizvodnje električne energije poslednjih nekoliko decenija razvijen je i koncept istovremene proizvodnje dva korisna oblika energije, uz primjenu postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije (Combined Heating and Power Systems – CHP Systems), odnosno (Combined Cooling, Heating and Power Systems – CCHP Systems), [4] i [6]. Takva postrojenja su manjeg kapaciteta i locirana su najčešće u blizini potrošača energije. Kombinovanom proizvodnjom toplotne i električne energije, znatno manje količine toplote se gube u okolinu. Ona se koristi za potrebe grijanja ili hlađenja, čime se značajno povećava ukupna energetska efikasnost postrojenja, [2], [8], [9] i [15]. U takvim postrojenjima se primjenjuju različite tehnologije kod kojih se proizvodnja električne energije bazira na primjeni industrijskih parnih turbina (Steam Turbines – ST), industrijskih gasnih turbina (Industrial Gas Turbines – IGT), klipnih motora sa unutrašnjim sagorijevanjem (Reciprocating Internal Combustion Engines - RICE), mikro gasnih turbina (Micro-gas Turbines - MGT), mikro parnih turbina (Micro-steam Turbines - MST), Stirling-ovih motora (Stirling Engines – STR), ili gorivnih ćelija (Fuel Cell - FC). U kombinaciji sa različitim sistemima grijanja i hlađenja moguće je funkcionalno implementirati različite vrste CHP ili CCHP postrojenja, [2] i [4].

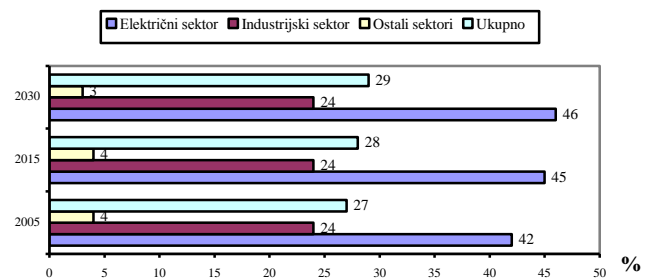
III. NOVE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNJI KORISNIH OBLIKA ENERGIJE U REPUBLICI SRPSKOJ

A. Definicija i klasifikacija tehnologija "čistog" 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 Evropi 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, [7]. Zbog smanjenja zaliha nafte i gasa očekuje se porast značajnijeg korištenja uglja u budućnosti. S druge strane, zastupljenost uglja u podmiranju 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), slika 1.

Donešeni propisi u vezi zaštite životne sredine, uz povećanje efikasnosti, zahtijevaju smanjenje ispuštanje CO₂ po proizvedenom MW-u, 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 naka od dostignuća tog razvoja, koja danas predstavljaju sastavni dio komercijalne ponude energetske opreme na svjetskom tržištu.

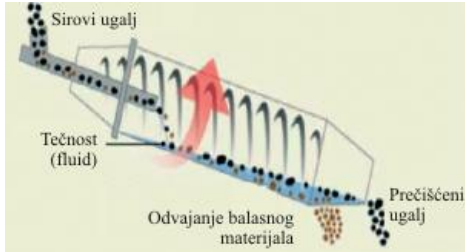


Sl. 1. Prognoza učešća uglja u potrošnji energije po sektorima do 2030. godine, [15] (Izvor: 2005. godina - EIA, International Energy Annual 2005, June-october 2007; 2015. i 2030. godina - EIA, World Energy Projections Plus, 2008)

Veliki udio ugljenika i štetnih balastnih sastojaka čine da sagorijevanje uglja predstavlja proces sa najvećim zagađivačem i proizvođačem CO₂ emisija po jedinici proizvedene električne energije. Kao odgovor na ovaj problem predstavlja razvoj tehnologija "čistog uglja", čime se ovaj negativan uticaj svodi u ekološki prihvatljiv nivo. Tehnologije "čistog uglja" su u početku bile usmjerene na smanjenje emisija sumpornih i azotnih oksida te čvrstih nesagorjelih čestica, da bi se, zbog sve veće zabrinutosti za klimatske promjene, pažnja sve više usmjeravala prema smanjenju CO₂ emisija. Tehnologije proizvodnje električne energije iz fosilnih goriva s nultom emisijom CO₂ u atmosferu još uvijek nisu razvijene do maksimalne komercijalne isplativosti, ali realno je to 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. Od tehnologija "čistog uglja" treba izdvojiti sljedeće:

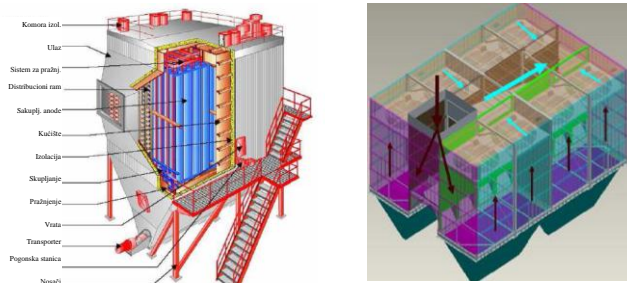
- a) *tehnologija ispiranja uglja*, koja podrazumijeva čišćenje uglja "ispiranjem", čime se smanjuju emisije pepela i

SO_x, a povoljno djeluje i na proces sagorijevanja (ugalj se transportuje do TEP zajedno s mineralnim sadržajem koji je nesagorljiv, a može sadržavati i štetne sastojke (poput žive), usitnjava se i uvodi u spororotirajući bubanj u kojemu se nalazi fluid veće gustoće, tako da ugalj pluta dok teži, mineralni materijal tone i sa dna se odvodi iz bubnja, da bi se pročišćeni ugalj zatim samljeo u finu prašinu pogodnu za sagorijevanje), slika 2;



Sl. 2. Primjer tehnologije za ispiranje uglja, [15]

- b) *tehnologija odvajanje čvrstih čestica*, uz korišćenje elektrostatskih (alt. vrećastih) filtera i odstranjenje i do 99 % pepela iz dimnih gasova (rade na principu elektrostatskog polja u kojemu se čestice električki nabijaju i sakupljaju na anodi), slika 3;

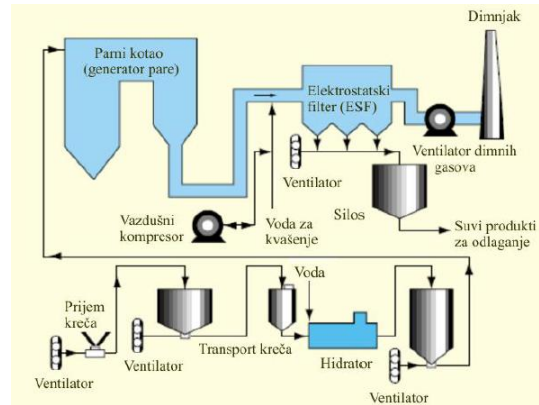


a) elektrostatski filteri (ESF) b) vrećasti filteri (VF)

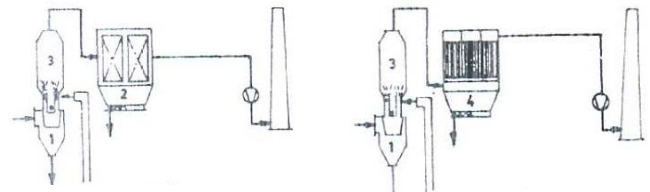
Sl. 3. Amplituda magnetne indukcije duž z-ose dobijena proračunom (puna linija) i mjerenjem na laboratorijskom modelu

- c) *tehnologije sa redukovanjem sumpornih oksida (odsumporavanje)*, najčešće sa mokrim postupkom odsumporavanja, kojim se iz dimnih gasova odstranjuje do 99 % SO_x (dimni gasovi reagiraju s raspršenom smjesom kalcijevog karbonata (krečnjak) i vode, pri čemu se stvara gips (kalcijev sulfat), koji se odstranjuje i koristi u građevnoj industriji), slika 4;
- d) *tehnologije sa redukcijom azotnih oksida (NO_x)*, prvo kroz primarne mjere tokom procesa sagorijevanja, što se postiže odgovarajućom konstrukcijom plamenika i postepenim dovođenjem vazduha i goriva, uz smanjenje maksimalne temperature u jezgri plamena i smanjenje koncentracije kiseonika u zoni sagorijevanja (količinu proizvedenog NO_x na taj se način može smanjiti na vrijednost manju od 300 mg/m³ (do 40 %), a zatim kroz sekundarne mjere za smanjenje emisije NO_x, koje se primjenjuju iza zone sagorijevanja, a što uključuje selektivnu nekatalitičku redukciju (SNCR) kojom se

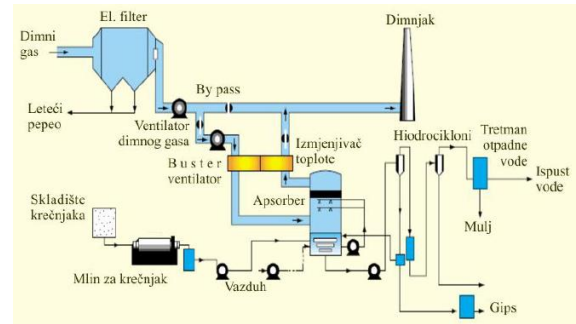
amonijak uvodi u generator pare na mjestu gdje vladaju temperature dimnih plinova od 850 do 900 °C, čime se postiže smanjenje emisije od oko 70 % (uvođenjem katalizatora ostvaruje se selektivna katalitička redukciju (SCR), kojom se smanjuju emisije NO_x i do 90 %);



a) suve metode (proces dodavanja suvog sorbenta - hidratirani kreč, Dry sorbent Injection Process - DSIP)



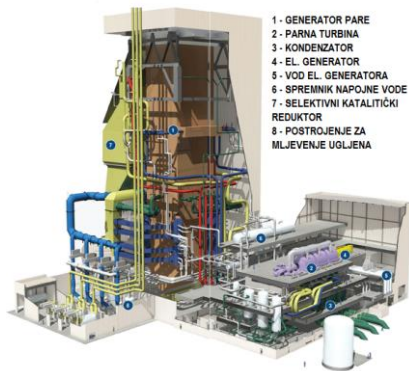
b) polusuve metode sa ESF/VF (1- sabirni sud, 2- ESF, 3- reaktor, 4- VF)



c) mokre metode (mokri proces sa krečnjakom - Wet Process with Limestone - WPL, alternativno sa by-passom)

Sl. 4. Tehnologije sa odsumporavanjem, [8] i [9]

- e) *tehnologije sa povećanjem termičkog iskorišćenja postrojenja*, počev od današnjih TEP na ugalj u radu, koja predstavljaju u većini slučajeva konstrukcije stare 20÷40 godina, sa podkritičnim parametrima pare (530÷540 °C i 14,0÷18,0 MPa) i sa stepenom termičkog iskorišćenja 33 do 39% (neostvareni projekt Lukovo Šugarje je predviđao SKD veći od 43%, dok zadnje izgrađene njemačke i danske elektrane na kameni ugalj ostvaruju maksimalne SKD od 47%, pri čemu najnovije konstrukcije elektrana na ugalj sa ultra-nadkritičnim parametrima pare (> 600 °C i > 30,0 MPa) predviđaju stupene korisnog dejstva veće od 50%, [7]-[9] i [15]), slika 5;



a) parni kotao sa nadkritičnim parametrima pare



b) demonstraciona termoelektrana klase 700 °C

Sl. 5. Prikaz elektrana na ugljal sa ultra-nadkritičnim parametrima pare (>600 °C i >30,0 MPa)

buduća postrojenja ostvarivati stupanj iskoristivosti 50÷60%);



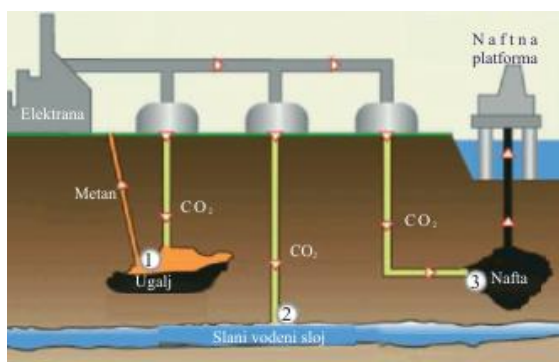
Sl. 6. Tehnologije sa kosagorijevanjem biomase i uglja

- f) *tehnologije sa dodatnim sagorijevanjem biomase*, koju čine različiti proizvodi biljnog i životinjskog svijeta (poput granja, piljevine, ostataka žetve ili berbe plodova, životinjski izmet, komunalni i industrijski otpad), neutralne sa stanovišta proizvodnje CO₂ (nastala uzimanjem CO₂ iz prirode, iako se dio CO₂ proizvodi tokom kultiviranja, berbe i transporta biomase ili materijala iz kojega je nastala, pri čemu se proces spaljivanja biomase s ugljem smatra prelaznom fazom u procesu zamjene fosilnih goriva i redukcije CO₂), pri čemu dosadašnja iskustva pokazuju da se može spaljivati do 10 % biomase s ugljem bez nepoželjnih efekata, a dalja istraživanja teže ka podizanju udjela biomase i do 50%, čime bi korišćenje biomase s tehnologijama izdvajanja i skladištenja CO₂ moglo osigurati čišćenje atmosfere od CO₂, slika 6;
- g) *tehnologija gasifikacije (rasplinjavanja) uglja*, koja po mnogima ima veliku perspektivu da nadomjesti današnje konvencionalne tehnologije spaljivanja uglja (koristi se u sklopu kombinovanog postrojenja gasne i parne turbine, pri čemu se ugljal ne spaljuje potpuno već se rasplinjava uz nedostatak kisika te u reakciji s vodom stvara sintetski gas bogat vodikom, danas postoje samo četiri postrojenja u svijetu koja koriste kombinovani ciklus s integrisanim rasplinjavanjem uglja za proizvodnju električne energije i SKD od 37÷45%, pri čemu neke procjene govore da će

- h) *tehnologije sa sagorijevanjem u fluidizovanom sloju*, sa tipovima ložišta: *Fluidized Bed Combustion - FBC*, koji se odvija pri atmosferskom pritisku, a u generatoru pare se stvara para pogodna za pogon parne turbine, *Pressurized Fluidized Bed Combustion - PFBC*, sa sagorijevanjem na povišenom pritisku, što poboljšava pogonske karakteristike FBC (u ovu grupu pripada i *Circulation Fluidized Bed Combustion - CFBC*, kod kojega fluidizirani sloj zbog velike brzine upuhivanja zraka cirkuliše te se odneseni materijal i gorivo odvajaju iz dimnih gasova i vraćaju u ložište), *Gasification Fluidized Bed Combined Cycle - GFBC*, koja se zasniva na PFBC tehnologiji, sa dodatim rasplinjačem radi stvaranja sintetičkog gasa, pri čemu se toplota rasplinjavanja koristi za proizvodnju pare za parnu turbinu, dok sintetički gas sagorijeva u gasnoj turbini (postrojenje ima vrlo visoki SKD od 57 do 59 %);
- i) *tehnologije sa izdvajanjem CO₂ iz dimnih gasova*, koje još nisu optimizirane za potpunu primjenu u TEP na ugljal, jer je njihov razvoj bio više usmjeren na dobijanje čistog CO₂ za industrijske potrebe nego na smanjivanje emisije CO₂ iz energetskih postrojenja (tipovi: postrojenje sa integrisanim rasplinjavanjem u kombinovanom ciklusu (IGCC) koristi ugljal i vodenu paru da bi proizvelo vodonik i ugljen monoksid (CO) koji se zatim spaljuju u gasnoj turbini kombinovanog postrojenja s parnom turbinom, radi proizvodnje električne energije (ako se IGCC postrojenje napaja kisikom umjesto vazduhom, dimni gasovi sadrže visokokoncentrični CO₂ u dimnim gasovima koji se lagano može odstraniti postupkom "pranja" u aminovoj otopini, za otprilike pola cijene u odnosu na postrojenje koje koristi sagorijevanja sa vazduhom; razvoj IGCC postrojenja koja za sagorijevanje koriste čisti kiseonik predviđa uključivanje reaktora za oksidaciju CO s vodom (Shift-reaktor), tako da će se nastali gas sastojati samo od CO₂ i vodonika, pri čemu prije sagorijevanja vodonika odvajati će se CO₂ iz smješe tako da će se za proizvodnju električne energije koristiti

kao gorivo samo vodonik, dok će se komprimirani CO₂ odlagati, tehnologija sagorijevanja s čistim kisikom (oxy-fuel) mogla bi se koristiti za obnavljanje postojećih postrojenja na ugljenu prašinu koja su okosnica proizvodnje električne energije u mnogim zemljama, pa time značajno doprinijeti smanjenju ispuštanja CO₂ u atmosferu), sa trenutnim SKD IGCC postrojenja od oko 45 %);

- j) *tehnologije geološkog skladištenja CO₂ (sekvencijacija)*, koja podrazumijeva odvajanje CO₂ te različite varijante za njegovo skladištenje duboko u zemljinoj unutrašnjosti s ciljem sprječavanja prodora u atmosferu (CO₂ se komprimira u napušteni rudnik ugljena iz kojega potiskuje CH₄ (metan) koji se može koristiti kao gorivo, CO₂ se skladišti pod tlakom u geološkom sloju zasićenom slanom vodom, CO₂ se komprimira u naftnu bušotinu poboljšavajući iscrpljivanje nafte), pri čemu su dosadašnja istraživanja pokazala da su prikazane tehnologije skladištenja ugljika tehnički izvodljive, a potrebno je uložiti napore da se dokaže njihova komercijalna isplativost za količine koje se proizvode u velikim energetskim i industrijskim postrojenjima ([11]-[15]), slika 7.



Sl. 7. Prikazi mogućeg skladištenja CO₂, [10]-[13]

B. Prednosti i nedostaci tehnologija "čistog" uglja

Razvoj tehnologija čistog uglja predstavlja odgovor na zahtjeve vezane za zaštitu životne sredine, posebno prema smanjenju CO₂ 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_x. Transportovani ugalj sa nesagorljivim mineralnim sadržajem i drugim štetnim sastojcima se na termoelekttranama dodatno čisti, slika 2. Nakon usitnjavanja na sekundarnoj drobilici, ugalj se uvodi u spororotirajući bubanj sa tečnosti veće gustine, koja omogućava da ugalj pluta, dok teži mineralni materijal tone na dno, odakle se dalje odvodi iz bubnja. Prečišćeni ugalj se zatim melje u mlinovima u finu prašinu, pogodnu za proces sagorijevanja u sprasenom stanju (klasično sagorijevanje).

Tehnologije prečišćavanja dimnih gasova na klasičnim termoelekttranama odvajanjem čvrstih čestica korištenjem elektrostatskih ili vrećastih filtera (slika 3), ugradnjom

postrojenja za odsumporavanje (ODG sistemi) i DeNOx postrojenja (primarne i sekundarne mjere), kao i povećanje termičke iskoristivosti postrojenja imaju više svoju primjenu u procesu ostvarivanja preduslova za produženi životni vijek postojećih postrojenja, [15]. Za prečišćavanje dimnih gasova iz parnih kotlova TEP koriste se *mehanički* i *elektrostatički otprašivači*. Mehanički otprašivači, koji imaju primjenu kod manjih kotlovskih postrojenja ili u kombinaciji sa elektrostatičkim otprašivačima, dijele se na *suve* (rade na principu dejstva centrifugalne i inercijalne sile) i *mokre* (sa kvašenjem površina na koje se čestice pepela lijepe). U suve otprašivače spadaju cikloni, multicikloni i žaluzinski otprašivači. Elektrostatički otprašivači (elektrofilteri) rade na principu korišćenja osobina električnog polja, slika 3.a. Kao najefikasniji otprašivači, oni se najviše i koriste kod TEP najvećih snaga. Prečišćavanje dimnih gasova elektrofilterima zasniva se na stvaranju neravnomjernog električnog polja visokog napona i koronarnog razređenja pri atmosferskom pritisku između elektroda koje se nalaze u kućištu. Pod pojmom koronarnog razređenja podrazumijeva se samostalno električno razređenje u gasu karakteristično za sistem elektroda sa nejednakim poljem, u kojem je odnos maksimalnog prema srednjem naponu veći ili jednak 4. U opštem slučaju, najčešće se razmatraju dva tipa filtera: *vrećasti filteri* (VF) i *pulsni filteri* (PF). Glavna razlika između ova dva tipa filtera je da kod vrećastog tipa tok dimnog gasa ide od unutrašnjosti ka spoljašnjosti filter-kese (slika 3.b), a kod pulsno filtera tok ide u obrnutom smjeru. Za velike količine dimnog gasa za kese filtera koriste se različit spektar modernih tipova materijala (tekstil, tkani fiberglas i sl.). Filter od tekstila služi za kontrolisano odvajanje čestica njihovom separacijom iz gasnog toka, prilikom prolaska gasa kroz tkaninu filtera od unutrašnjosti ka spoljašnjom dijelu ili obrnuto, pri čemu materijal filtera vrši sakupljanje prašine. Prašina na filteru formira sloj, što filtriranje čini još efikasnijim. Kada se čestice skupe na tkanini filtera moraju se odstraniti duvanjem u obrnutom smjeru. Skupljene i odstranjene čestice padaju u lijevke filtera silom zemljine težje. Lijeve se prazne odgovarajućim sistemom opreme. Za velike količine gasa potreban je specijalne konstrukcije sa većim brojem komora. Korišćenjem većeg broja komora dobija se i veća raspoloživost.

Svi postupci za smanjenje emisija sumpornih oksida nakon sagorijevanja uslovno se, prema kriterijumu dobijenog agregatnog stanja jedinjenja nastalih reakcijom aktivne materije i sumpor-dioksida, mogu podijeliti na suve, polu-suve i mokre procese (slika 4), s tim da se procesi sa raspršivanjem ponekad izdvajaju kao posebna grupa postupaka odsumporavanja. Sa aspekta obnavljanja aktivne materije, ovi postupci mogu biti regenerativni i neregnerativni. Kod *suvih metoda*, dimni gas dolazi u dodir sa suvim apsorcentom udvanim u konvektivni gasni kanal ispred zagrijača vode, u dimni kanal između kotla ili elektrofiltera ili u prvu sekciju elektrofiltera. Većina mokrih postupaka kao aktivnu materiju koristi alkalnu suspenziju, najčešće na bazi krečnjaka i kreča. Kod mokrih procesa, dimni gas dolazi u dodir sa apsorbujućom tečnošću ili suspenzijom. Odsumporavanje se

dešava u tečnoj fazi. U zavisnosti od sorbenta, ovi procesi stvaraju različite krajnje produkte. Kod metoda sa raspršivanjem, sorbent (kreč ili kalcijum-hidroksid) se raspršuje u obliku suspenzije vode u absorber. Tokom isparavanja vode u suspenziji, SO_2 reaguje sa sorbentom. Rezultujući produkt je smjesa fine granulacije, koja se skuplja u filteru. U većini termoelektrana koje se danas nalaze u eksploataciji, dimni gasovi se odsumporavaju putem *mokre metode* sa emulzijom krečnjaka kao sorbentom i gipsom kao završnim produktom. Tako se u Njemačkoj ovaj metod koristi za tretiranje dimnih gasova iz elektrana ukupnog kapaciteta većeg od 40.000 MW_{el} (što čini cca 90 % svih procesa odsumporavanja). Prema saznanjima, većina ovako proizvedenog gipsa koristi se u cementarama i gipsarama. *Polusuvu procesi* rade po principu apsorpcije raspršivanjem. Suspenzija se raspršuje u dimne gasove, kapljice apsorbuju gasovite komponente i istovremeno teče proces sušenja. Na kraju procesa se dobija osušena čestica. U odnosu na mokre postupke, kod polusuvih postupaka prečišćavanja dimnih gasova nije potrebno dogrijavanje dimnih gasova. Minimalna temperatura dimnih gasova je 120 °C. Time se obezbjeđuje dobijanje čvrstih produkata reakcije (bez tečne faze) i sprečava niskotemperaturna korozija. Dakle, u odnosu na vlažne postupke, kod polusuvog prečišćavanja dimnih gasova nisu potrebni uređaji za prijem i preradu otpadnih voda. Ovaj postupak se naziva i *postupkom sprej-spsorpcije*. Osnovni kriterijumi za polusuvu postupak su kvalitet raspršivanja sredstva za apsorpciju, površina kontakta kapljica sredstva za apsorpciju i gasne struje. Glavni problem polusuvih postupaka (sprej-apsorpcija) je način raspršivanja sredstva za apsorpciju. Često se javlja i taloženje čvrste faze na zidovima aparata i dimnih kanala. Primjenjuju se mlaznice za raspršivanje i rotacioni raspršivači. Ugaona brzina rotacionih raspršivača je 100 do 140 l/s. Za izdvajanje čvrstih čestica iz dimnih gasova koriste se elektrostatski filteri (ESF) i rukavni ili vrećasti filetri (VF). U cilju smanjenja eksploatacionih troškova vrši se recirkulacija čvrstog ostatka u procesu prečišćavanja. Daleko najviše postrojenja za odsumporavanje dimnog gasa u elektranama su mokri sistemi i većina njih radi u skladu sa mokrim procesom s krečnjakom, koji koristi suspenziju kreča kao sorbent, a proizvodi gips kao nusprodukt. Pri ovom procesu krečnjak (CaCO_3), koji se koristi kao sorbent, reaguje sa SO_2 i kiseonikom da bi stvorio gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Proces odsumporavanja se vrši u absorberu ("Scrubber"), gdje SO_2 iz dimnog gasa u reakciji sa reagensom u vidu suspenzije stvara kalcijum-sulfit i kalcijum-sulfat. Da bi se završilo oksidiranje u sulfat, dodatno se u absorber udvava vazduh (*forsirana oksidacija*). Suspenzija u absorberu se recirkuliše i dolazi do približno adijabatskog hlađenja dimnog gasa. Na taj način dimni gas prima određenu količinu vode koja ispari iz sorbenta. Prije upotrebe u procesu odsumporavanja dimnog gasa, krečnjak se drobi i priprema se njegova suspenzija za uvođenje u absorber. Kao što je prikazano na slici 4.b, dimni gas kruži iz elektrostatičkog filtera do izmjenjivača toplote. Dimni gas se hladi čistim gasom koji dolazi iz apsorbera. Ohlađeni dimni gas ulazi u absorber, gdje struji u smjeru suprotnom od toka strujanja

suspenzije. Istovremeno, dimni gas se hladi do temperature adijabatskog zasićenja. Reakcija odsumporavanja se odvija u apsorberu, pri čemu SO_2/SO_3 iz dimnog gasa i suspenzija reaguju i stvaraju kalcijum sulfit ($\text{CaSO}_3 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) i kalcijum sulfat ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Razmatrani proces takođe eliminiše i kisele komponente u dimnom gasu, prvenstveno HCl i HF .

Postupci za smanjenje emisije azotnih oksida pri sagorijevanju ugljenog praha se mogu podijeliti u dvije grupe: *primarne*, koji u suštini predstavljaju modifikaciju procesa sagorijevanja i *sekundarne*, koji se odnose na prečišćavanje dimnih gasova. Primarni postupci su zasnovani uglavnom na sniženju temperature sagorijevanja i smanjenju koeficijenta viška vazduha (kao dva najvažnija faktora nastanka azotnih oksida), korišćenjem višestepenog dovođenja vazduha u ložište, recirkulacijom dimnih gasova niske temperature u gorionike ili jezgro plamena, višestepenim uvođenjem goriva i primjenom gorionika sa niskom emisijom azotnih oksida (tzv. "Nisko NO_x " gorionici). Druga grupa postupaka zasniva se na preduzimanju određenih radnji na polju dimnog gasa (mjere nakon sagorijevanja ili sekundarne mjere), u svrhu odstranjivanja NO_x između zone sagorijevanja u kotlu i dimnjaka, a nakon što dođe do stvaranja NO_x . Od sekundarnih mjera, uglavnom su procesi SNCR (selektivna nekatalitička redukcija) i SCR (selektivna katalitička redukcija) dostigli visok tehnološki status razvoja, kao i široku primjenu. Drugi procesi, poput mokrih procesa odstranjivanja NO_x ili proces elektronski snop ("Electron Beam - EB"), nisu pronašli svoju praktičnu primjenu. *Selektivna katalitička redukcija (SCR)* predstavlja proces koji uz pomoć amonijaka razlaže okside azota na azot i vodenu paru. Proces se naziva selektivnim, jer se istovremeno ne odvajaju i ostali gasovi (npr. SO_2 i/ili NH_3). Temperatura procesa treba biti pažljivo kontrolisana, s ciljem obezbjeđenja uslova odvijanja reakcije u pravom smjeru. Naime, u slučaju preniske temperature NO_x prelazi u NH_3 i obratno. Efikasnost ovog postupka je oko 50 %, potrošnja energije manja od 0,2 % od ukupno proizvedene energije. Problemi koji se javljaju kod korišćenja ovih postupaka su ispuštanje amonijaka, velika osjetljivost na uslove rada, manja efikasnost, veći potrošak hemikalija i stvaranje N_2O . Prednosti ovog postupka u odnosu na onaj sa katalizatorom su jednostavnost, manji zahtjevi prostora, te manji operativni troškovi. *Selektivna nekatalitička redukcija (SNCR)* se ugrađuje za redukciju sadržaja NO_x , u cilju osiguranja emisije prema lokalnim zahtjevima. SNCR sistem se isporučuje uz kotao. Selektivna nekatalitička redukcija (SNCR) predstavlja proces zasnovan na redukciji oksida azota amonijakom u homogenoj reakciji gasa i na visokoj temperaturi. Prilikom glavne reakcije, oksidi azota se pretvaraju pomoću NH_3 u azot i vodenu paru. Traženi opseg temperature za efikasnu eliminaciju NO_x veoma je uzak, a optimalna temperatura je 950 °C. Snižanjem temperature rapidno opada brzina reakcije homogenog gasa, a time i stepen redukcije NO_x . Na temperaturama iznad optimuma dolazi do porasta nivoa oksidacije NH_3 uz stvaranje NO , što na sličan način dovodi do smanjenja efikasnosti odstranjenja NO_x . Amonijak, kao redukujući agens, skladišti se u tečnoj formi pod pritiskom ili kao 25 % rastvor NH_3 (nije pod pritiskom). Nakon isparavanja

redukujućeg agensa, dodaju mu se vazduh ili para, a rezultujuća smjesa (udio $\text{NH}_3 < 5\%$) se tada ubrizgava u kotao. S jedne strane, ključno je da se ubrizgavanje izvede u okviru traženog temperaturnog opsega, dok je s druge strane ključno da se osigura efikasna i stalna distribucija redukujućeg agensa u protoku dimnog gasa. SNCR proces je sam po sebi prilično jednostavan, ali njega komplikuje činjenica da se pozicija optimalnog temperaturnog opsega mijenja u skladu sa opterećenjem kotla. Pored toga, neregularnosti (disbalansi) temperature i koncentracije NO_x javljaju se duž kotla. Zato je obično neophodno obezbijediti veći broj nivoa ubrizgavanja na relativno velikoj površini. S druge strane, kao neophodno pojavljuje se potreba dodatne podjele svakog nivoa na veći broj polja, svako sa posebnim mjerenjem NH_3 . Ovakve karakteristike procesa stvaraju visok nivo kompleksnosti kod sistema mjerenja i regulacije procesa. Pošto se u praksi rijetko pokazuje da je moguće optimalno podesiti i uskladiti sve ove faktore, efikasnost odstranjivanja NO_x koja se može postići sa SNCR procesom često je ograničena na srednje vrijednosti. Jedan problem sa SNCR procesom je pojava poznata kao "iskliznuće amonijaka". Udio nekonvertovanog amonijaka raste u skladu sa sljedećim uslovima: padom temperature ubrizgavanja ispod optimalne proces ubrizgavanja je nestalniji, odnosno što je ubrizgavanje manje prilagođeno asimetričnim temperaturama i koncentraciji NO_x veća je namjeravana efikasnost odstranjenja NO_x . Nakon pojave iskliznuća amonijaka, javljaju se dodatni problemi vezani za ostatak toka dimnog gasa. Problemi sa prljanjem moraju se očekivati u zagrijaču vazduha, jer se pomoću SO_3 i vlage iz dimnog gasa NH_3 kondenzuje u hladnijim dijelovima u obliku amonijum-vodonik-sulfata. Kao rezultat obično ljepljivog taloga, povećava se prljanje letećim pepelom. Posljedica toga je korozija i potreba da se zagrijač vazduha češće čisti (i da se voda za pranje prerađuje i odstranjuje). Povećanje NH_3 u pepelu može da ograniči upotrebljivost samog pepela ili da iskomplikuje način postupka s pepelom (npr. problemi sa neugodnim mirisom nakon vlaženja). Konačno, porast NH_3 može kao rezultat da ima korespondentno visok sadržaj amonijaka u vodi za ispiranje postrojenja ODG. Teško je dati neku generalnu ocjenu o efikasnosti odstranjenja NO_x koja se može postići putem SNCR procesa. U svakom slučaju, neophodni troškovi i opisani posljedični problemi povećavaju se sa većom traženom efikasnosti odstranjenja NO_x . Sa povećanjem efikasnosti takođe raste i specifična potrošnja NH_3 i znatno je veća nego kod SCR procesa. Kao opšte načelo može se reći da je pri molarnom odnosu $\text{NH}_3/\text{NO}_x=1$, moguće postići redukciju NO_x do 50 % (u zavisnosti od početne vrijednosti NO_x , kvaliteta ubrizgavanja i miješanja, i sl.). Veće efikasnosti redukcije, do 80 % teorijski su moguće, uz povoljne uslove, ali sa nesrazmjerno velikim molarnim odnosom $\text{NH}_3/\text{NO}_x=2$ do 3 i korespondentno visokim porastom NH_3 . Iz ovih razloga, efikasnost redukcije NO_x kod primjene SNCR procesa u elektranama treba ograničiti na srednje vrijednosti od cca 50 %.

Azot u dimnim gasovima po izlasku iz SCR reaktora prolazi kroz uređaje za smanjenje emisija, u kojima se uklanja iz dimnih gasova, te na izlasku iz dimnjaka ostaju njegove

zanemarljive količine. Po izlasku iz SCR reaktora, dimni gasovi prvo prolaze kroz predgrijač vazduha. Zbog sniženja temperature dimnih gasova dolazi do formiranja azotnog bisulfata (reakcija preostalog azota i SO_3 nastalog oksidacijom SO_2 u katalizatoru), koji se taloži na stjenkama uređaja. Očekuje se uklanjanje 20 do 25 % preostalog azota u formi naslaga azotovog bisulfata. Nakon predgrijača vazduha, dimni gasovi prolaze kroz elektrostatski filter (ESF), u kojem se iz dimnih gasova uklanja prašina (pepeo). S prašinom se uklanja i dio preostalog azota, koji se veže za čestice i to oko 80 %. Garantovani udio azota u pepelu će biti niži od 90 ppm, čime se ne očekuje negativni utjecaj na mogućnosti njegovog zbrinjavanja ili upotrebe u cementnoj industriji. Nakon ESF-a, azot iz dimnih gasova se, zajedno sa sumponim oksidima i prašinom spira u postrojenju za mokro odsumporavanje. U dimnim gasovima, koji izlaze iz dimnjaka, tako ostaje zanemarljiva količina azota. Emisija gasovitog azota u vazduh može se javiti i iz sistema iskrcavanja i skladištenja vodenog rastvora azopta. Međutim, ova emisija je eliminisana kroz način iskrcavanja primjenom cijevi za povrat para, te opremanjem skladišnog spremnika apsorpcijskim spremnikom napunjenim demineralizovanim vodom za apsorpciju ispuštenih para azota.

Posmatrajući pravce razvoja energetskih postrojenja tokom njihove eksploatacije, lako se može uočiti tendencija povećanja radnih parametara pare. Osnovni razlozi za ovo proizilaze iz činjenice da se povećanjem radnih parametara povećava i SKD, jer je termodinamički ciklus efikasniji pri povećanim početnim parametrima pare. Za unaprijeđena USC postrojenja (projekti sa ultra super-kritičnim parametrima pare) za sagorijevanje uglja u letu predviđa se povećanje SKD na vijednosti preko 50%, slika 5. Postizanje visokih parametara uslovljeno je ugradnjom novih konstruktivnih materijala koji imaju bolje osobine na visokim temperaturama. Iako ti materijali danas još uvijek imaju znatno veću cijenu koštanja u odnosu na dosada korištene, ekonomska opravdanost izgradnje USC postrojenja postiže se kroz smanjenu potrošnju uglja po jednom kWh električne energije. Smanjena potrošnja uglja po kWh električne energije praćena je i manjom emisijom CO_2 i drugih štetnih gasova, što danas ima veliki značaj koji se ogleda u doprinosu očuvanju životne sredine i smanjenju efekta staklene bašte. Sam proces generisanja pare u oblasti ultra super-kritičnih parametara, sa termodinamičkog stanovišta, je manje kompleksan nego proces koji se odvija neposredno u području subkritičnih parametara bliskom kritičnoj tački, jer se sa "udaljavanjem" od kritične tačke postiže veća uravnoteženost termodinamičkih veličina vode, pri kontinuiranom prelazu iz tečne faze u stanje pare. Ovakvim režimom ublažavaju se rizici od pregrijavanja materijala cijevi koji su izraženi upravo u zoni visokih specifičnih toplota, odnosno u području bliskom kritičnoj tački. Ta činjenica predstavlja još jedan u nizu razloga koji opravdavaju razvoj ovih postrojenja. Veću prepreku u daljem razvoju, uslovno rečeno, može predstavljati nedostatak materijala za konstrukciju, pa se uporedo razvijaju i novi konstrukcioni materijali koji mogu da zadovolje sve potrebne zahtjeve pri parametrima ranga 700-760 °C pritiska 35-38,5 MPa.

Tehnologije suspaljivanja biomase predstavljaju direktno suspaljivanje u velikim postrojenjima na uglj i trenutno predstavljaju najefikasnije korišćenje biomase za proizvodnju električne energije, slika 6. Efikasnost iskorištavanja biomase iznosi 35 do 45 %. Međutim, u većini slučajeva udio biomase je ograničen na otprilike 5÷10 %. Najveći problemi javljaju se vezano uz pepeo nastao sagorijevanjem. Iz toga razloga razvijene su tehnologije koje omogućavaju izbjegavanje ovakvog onečišćenja, no trenutno su ovakve tehnologije još uvijek dosta skupe. Pri indirektnom suspaljivanju vrši se rasplinjavanje biomase prije suspaljivanja s ugljem, dok se kod paralelnog suspaljivanja biomasa sagorijeva u odvojenom kotlu, ali koristeći paru proizvedenu unutar glavnog parnog kotla u postrojenju. U slučaju proizvodnje električne energije troškove ulaganja treba razgraniti na postrojenja koja proizvode električnu energiju isključivo iz biomase, te na postrojenja koja proizvode električnu energiju suspaljivanjem biomase sa fosilnim gorivima. Pri tome, postrojenja za proizvodnju električne energije isključivo iz biomase zahtijevaju složenije kotlove, što povećava investicijske troškove. Glavna komponenta varijabilnih troškova u postrojenjima za proizvodnju električne energije je trošak goriva (biomase), čak i u slučaju inustrijskog otpada. Uzimajući u obzir veliku potrošnju biomase u ovakvim postrojenjima, uticaj snabdijevanja je prilično velik, što implicira i veliki uticaj troškova prijevoza na konačnu cijenu biomase. Za postrojenja koja koriste suspaljivanje, trošak ulaganja svodi se na trošak opreme koja je namijenjena pripremi biomase za ubrizgavanje u kotao, te na prepravljavanje postojećih kotlova i priključnih elemenata. Ostala oprema jednaka je kao i u tradicionalnim postrojenjima. Ova vrsta proizvodnje električne energije omogućava veću instalisanu snagu i do 30% veću efikasnost u odnosu na 23% u specifičnim ili inustrijskim pogonima.

Gasifikacija (rasplinjavanje) uglja predstavlja postupak nepotpunog sagorijevanja pomoću reakcionih sredstava gasovitog oblika, pri čemu se proces gasifikacije može da izvodi podzemno (u sloju) i nadzemno (u gasogeneratorima). Svi ugljevi se mogu podvrgnuti procesu gasifikacije, pri čemu na kvalitet utiču od starost uglja, sadržaj vlage, ponašanje uglja pri zagrijavanju, topivost pepela, sadržaj sumpora, itd. Sredstva za gasifikaciju su vazduh, kiseonik, vodena para, vodonik, a dobijeni produkti gasifikacije je gas (visokokalorični prirodni gas 33 do 37 MJ/m³, srednjekalorični prirodni gas 15 do 19 MJ/m³ i niskokalorični gas 5 do 10 MJ/kg). Podzemna gasifikacija uglja, autotermički proces, obuhvata proces degasacije, odnosno pirolize i samu gasifikaciju. Ti procesi nastaju kao rezultat uticaja visoke temperature i upravljanja sagorevanja uglja pri dovođenju sredstava za gasifikaciju, koja je najčešće vazduh, vodena para sa vazduhom u određenom odnosu, te vazduh ili vodena para obogaćeni kiseonikom, ili pak sam kiseonik. Danas uglavnom egzistiraju dve poznate metode PGU: metoda bez podzemnih prostorija, koja se zasniva na bušenju bušotine sa površine kroz slojeve i provođenjem gasifikacije dovođenjem gasifikujućeg agensa kroz bušotinu, odnosno kanala, a odvođenjem produkta gasifikacije kroz produkcionu bušotinu,

kao i metode iz podzemnih prostorija u kojoj se sloj, preostao nakon izrade sigurnosnih stubova, gasificira korišćenjem izrađenih prostorija. Prva grupa metoda (bušotinska PGU) je uglavnom aktuelna za korišćenje vanbilansnih rezervi uglja, a druga za gasifikaciju zaostalih sigurnosnih stubova, odnosno otkopnih ostataka bilansnih rezervi, posle završene jamske eksploatacije. Od bušotinskih metoda obično su u primjeni filtraciona, kanalna i protočna metoda (uglavnom je rasprostranjena filtraciona metoda, nakon prethodnog zapaljenja reakcione zone). U eksperimentima izvedenim u SAD-u primenjuje se kanalna metoda, s tim, da se kanali zapaljuju filtracionom metodom. Podzemna gasifikacija uglja, karakteriše se stepenom iskorišćenja uglja, koji predstavlja odnos gasifikovanog uglja prema ukupno raspoloživoj količini uglja za PGU. Termička efikasnost procesa je definisana odnosom toplotne moći dobijene gasne smeše prema toplotnoj moći uglja, iz koga je nastala smeša, svedeno na ekvivalentne dimenzije, što zavisi od vrste gasifikujućeg agensa, njegovog pritiska i temperature, te osobine uglja za gasifikaciju, dubine zaleganja sloja, vlažnosti uglja, kao i tektonskih uslova u ležištu. Kada se radi o povećanju efikasnosti konverzije hemijske energije goriva u toplotnu energiju, uz ostvarenje što bolje zaštite životne sredine i ekonomičnije proizvodnje, prisutna su dva osnovna pravca razvoja i to kroz usavršavanje klasičnih tehnologija sagorijevanja sprasenog goriva (*Pulverized Coal - PC*) i razvoj novih čistih tehnologija sagorijevanja uglja (*New Clean Coal Combustion*).

Paralelno sa usavršavanjem klasičnih tehnologija sagorijevanja sprasenog goriva i tehnologija za prečišćavanje dimnih gasova od čestičnih i gasovitih influenata iz ovih postrojenja, u razvoju je niz novih čistih tehnologija za sagorijevanje uglja koje, u odnosu na klasičnu tehnologiju sagorijevanja uglja, potencijalno nude veću energetsku efikasnost, bolje ekološke i ekonomske efekte. Pored razlika u stepenu efikasnosti, stepenu emisije štetnih materija, potrošnji vode, količinama otpadnih čvrstih materija, investicionih troškova i troškova održavanja, veličine, fleksibilnosti u eksploataciji, nove tehnologije se razlikuju i u stepenu razvoja i stepenu komercijalne primijene. Sagorijevanje uglja u fluidizovanom sloju pod atmosferskim pritiskom, sagorijevanje uglja u fluidizovanom sloju pod pritiskom većim od atmosferskog (PFBC) ili čak sa nadkritičnim parametrima i sagorijevanje u cirkulirajućem fluidizovanom sloju (CFBC) se danas širom svijeta smatraju kao komercijalno raspoložive tehnologije. Tehnologije sagorijevanja u fluidizovanom sloju kao takve imaju prednost jer koriste čvrsta goriva niže toplotne moći i veće granulacije zrna u odnosu na tehnologije sagorijevanja u vidu ugljene prašine. Takođe, kod fluidne tehnologije mogu da se koriste abrazivni ugljevi ili ugljevi sa visokim sadržajem pepela. Sagorijevanje uglja u fluidizovanom sloju (lebdeći sloj) predstavlja prelazni proces između sagorijevanja uglja u sloju i sagorijevanja uglja u letu. Tehnologije od kojih se puna konkurentnost klasičnoj tehnologiji sagorijevanja uglja očekuje u prvoj polovini 21-og vijeka su sagorijevanje u fluidizovanom sloju (*Fluidized Bed Combustion - FBC*) i

integrirani gasifikacioni i kombinovani ciklusi (*Integrated Gasification Combined Cycle - IGCC*).

Tehnologije, čija se primjena u velikoj energetici ne očekuje prije 2020. godine, obuhvata gorivne ćelije i magnetno-hidrodinamički generator (MHD). Tehnologija IGCC se zasniva na gasifikaciji uglja i dobijanju sintetičkog gasa koji sagorijeva u komori gasne turbine. Osnovne komponente postrojenja su gasifikator, postrojenje za prečišćavanje sintetičkog gasa, gasna turbina sa komorom za sagorijevanje, kotao utilizator i parno-turbinsko postrojenje. Uz danas ostvarenu efikasnost kombinovanog gasno-parnog ciklusa sa prirodnim gasom od $52 \div 58$ % i efikasnost gasifikacionog procesa od $75 \div 90$ %, komercijalno je ostvarena efikasnost IGCC postrojenja od preko 42 %. IGCC tehnologija sa kvalitetnijim ugljem se nalazi u fazi dokazivanja potencijala na postrojenjima srednje snage (primjeri: Tampa Electric, USA, 260 MWe, 1996.; SUV/EGT, Češka, 250 MWe, 1996.; Buggenum, Holandija, 2x250 MWe, 1998.; Puertolano, Španija, 300 MWe, 2000.), dok sa kod lignita radi o malim snagama (primjeri: Schwarze Pumpe, Njemačka, 40 MWe, 1996.; IBIL/Sanghi, Indija, 60 MWe, 1998.). Njeno uvođenje sa komercijalnim garancijama na tržište tehnologija se očekuje do 2020. godine. Puna konkurentnost tehnologije IGCC klasičnoj i drugim novim tehnologijama očekuje u trećoj dekadi 21-og vijeka.

Sekvestracija (*sequestration*, [10]-[13]) ili geološko skladištenje CO₂ (*geological storage of CO₂*, [14]) je jedna od tehnologija čistog uglja, koja podrazumijeva skladištenje već odvojenog CO₂ duboko u zemljišnjoj unutrašnjosti, a s ciljem sprečavanja zagađenja atmosfere, slika 7. Slika pokazuje različite mogućnosti skladištenja: sabijanje CO₂ u napušteni rudnik uglja iz kojeg potiskuje metan (CH₄) koji se može koristiti kao gorivo, skladištenje CO₂ pod pritiskom u geološkom sloju zasićenom slanom vodom i sabijanje CO₂ u naftnu bušotinu, poboljšavajući tako njenu eksploataciju, [13]-[19]. Iako su ove tehnologije primjenljive, neophodno je u narednom periodu postići i njihovu komercijalnu isplativost za količine proizvedene u velikim energetske-procesnim postrojenjima. Komercijalnost je već dokazana kod poboljšavanja vađenja nafte (Zapadni Teksas, Great Plains Synfuels Plant u Sjevernoj Dakoti i sl.). Uz postizanje komercijalne isplativosti, neophodno je sljedećim istraživanjima dati i odgovore na pitanja ostvarivanja potrebne sigurnosti i trajnosti odlaganja

IV. ČISTE TEHNOLOGIJE U PROIZVODNJI KORISNIH OBLIKA ENERGIJE U REPUBLICI SRPSKOJ

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 Rep. Srpskoj odnosno BiH kao cjelini zavisna je dosta od fosilnih goriva, a najviše od uglja. Povećanje energetske efikasnosti podrazumeva korištenje ukupne toplotne energije u okviru energetske 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 toplana (TE-TO). Primjena kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije omogućuje uštedu primarne energije u odnosu na odvojenu proizvodnju toplotne i električne energije. U Republici Srpskoj prvi planirani (ali i nerealizovani) je projekat rekonstrukcije toplane u Doboju u TE-TO Doboj instalisane snage 34,8 MWe i 27,5 MWt. Imajući u vidu izraženu tendenciju korišćenja obnovljivih izvora energije u zemljama EU, 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.

Prema planu proizvodnje drvnih sortimenata (JP „Šume Republike Srpske“ a.d. Sokolac), plan proizvodnje ogrijevnog drveta za 2017. godinu iznosi 980.749 m³ ogrijevnog drveta. Na osnovu ranijih anketa koje su provedene u urbanom i ruralnom dijelu Republike Srpske, procjenjuje se da će potrošnja ogrijevnog drveta u 2017. godini, preračunato u energiju, iznositi oko 16,7 PJ. Većina potrošnje u domaćinstvima se odnosi na potrošnju ogrijevnog drveta (primarna čvrsta biomasa), dok se procjenjuje da se manji dio troši kao biomasa (drvni i biljni otpaci). Ipak, podaci o proizvodnji i potrošnji ogrijevnog drveta i drvnog otpada, moraju se uzeti s rezervom, najprije zbog nepouzdanosti podataka o proizvodnji drvnog otpada. Posmatrajući energetske vrijednosti koja se dobije sagorijevanjem ogrijevnog drveta, vidi se da čak i pri niskom stepenu iskorišćenja (65 %), ovakav rezultat predstavlja značajan energetske podatke, tako da se u vođenju energetske politike u Republici Srpskoj mora imati u vidu na koji način se u budućnosti planira vršiti toplifikacija. Značajnije korišćenje biomase u vidu industrijskih drvnih i biljnih otpadaka i drveta za proizvodnju toplotne energije je prisutno kod toplana u Banja Luci (kotlovnice „Starčevica“ i „Kosmos“, nova kotlovnica u izgradnji na lokaciji postojeće toplane Banja Luka), Prijedoru, Sokocu, Palama i Gradišci, [19].

U sektoru daljinskog grijanja grije se oko 40 hiljada stanova ukupne površine oko 2,3 miliona m² i 460 hiljada m² poslovnog prostora, [19]. Isključivo se vrši isporuka toplote za grijanje prostora i nema snabdjevanja potrošnom toplom vodom. Kao primarno gorivo koriste se mazut, ugalj, prirodni gas i drvni otpad i drvo. Kao primarni energent najzastupljeniji je mazut sa ukupnim učešćem od 40%. U odnosu na prethodnu godinu, gdje je učešće mazuta bilo 42%, u 2017. godini će doći do daljeg smanjenja korišćenja ovog energenta u korist drvnog otpada i drveta. Osnovni nosioci toplifikacije u Republici Srpskoj su toplane, organizovane kao javna preduzeća i trenutno u Republici Srpskoj uslugu daljinskog grijanja pruža 13 toplana sa ukupnom instalisanom

snagom od 406,7 MW. Pored 13 javnih toplana, u sistem snabdijevanja je uključena i TE „Ugljevik“ koja obezbjeđuje toplotnu energiju za potrebe Ugljevika. Djelatnost distribucije i snabdijevanja toplotnom energijom nije razdvojena od proizvodnje. Predviđeno je da ukupna bruto proizvedena toplota za grijanje u 2017. godini iznosi 1.761 TJ od čega će toplane proizvesti 1.731 TJ, a TE Ugljevik za grijanje grada Ugljevika 30 TJ. Gubici u prenosu i distribuciji toplote iznose 297 TJ, a sopstvena potrošnja u toplanama je 84 TJ. Finalna potrošnja toplotne energije je 1.380 TJ, od čega industrija 30 TJ, domaćinstva 1.032 TJ i ostali 318 TJ, [19].

Ukupna finalna potrošnja energije u Republici Srpskoj u 2017. godini planirana je u iznosu od oko 50 PJ, [19]. Treba imati u vidu činjenicu da osim niza aproksimacija i procjena koje su korišćene pri izradi energetske bilansa Republike Srpske za 2017. godinu, čak i broj stanovnika (sa svim ratnim i posleratnim uticajima) predstavlja stvar procjene kroz dugi niz godina, mora se uvažiti realna potreba da se sa obezbjeđenjem pouzdanijih ulaznih podataka u narednom periodu vrše korekcije bilansnih veličina (rebalansi).

V. ZAKLJUČAK

Održivi razvoj na principima ekonomskog rasta uz imperativ očuvanja okoline i uvažavanja socijalnog aspekta, suština je energetske i razvojne politike Europske unije. Rastuće cijene energije i ovisnost od uvoza energije ugrožavaju stabilnost isporuke energije, kao i konkurentnost Europe. Osim toga, negativni uticaji na okolinu i postepeno iscrpljivanje rezervi fosilnih goriva, ključni su problemi u energetici EU danas. Dodatni problem je imperativ smanjenja emisija, kao i borba protiv klimatskih promjena. Zbog toga centralni ciljevi energetske politike EU su: stabilnost snabdijevanja (donosi smanjenje ovisnosti od uvoza energenata), konkurentnost (omogućava ekonomski rast) i održivost (omogućava očuvanje okoline i socijalnu prihvatljivost. Reforma elektroenergetskog sektora BiH kroz implementaciju strateških projekata, koji imaju za cilj obezbjeđenje visokog kvaliteta univerzalne usluge isporuke energije i snabdijevanja i zaštite krajnjih kupaca tj. potrošača, stvorice preduslove za regionalnu saradnju na energetskom tržištu u skladu sa Ugovorom o Energetskoj zajednici Jugoistočne Evrope. Iako je trenutna prednost Republike Srpske suficit električne energije, postepena i planirana liberalizacija tržišta energije će ukinuti privilegije monopolskog položaja, a uvesti oštru konkurenciju tržišnog nadmetanja koja ne trpi statične i neprilagodljive sisteme, o čemu će se morati voditi računa u budućnosti. Politika očuvanja klime pretpostavlja radikalno smanjenje emisija CO₂ i ostalih uticaja na okolinu. Zbog toga se, osim do sada korištenih ograničenja koja proizlaze iz »energetsko – tehnološko-lokacijskih« karakteristika postrojenja, uvodi i dominantno ograničenje - kumulativno pravo na emisije stakleničkih gasova koje ima silazni karakter. Može se očekivati da će do 2030. godine prava na emisiju stakleničkih gasova biti najmanje prepolovljena u odnosu na početnu 1990. godinu, što će uticati na strukturne promjene u proizvodnji i potrošnji energije. Obaveze radikalnog smanjenja emisija CO₂

i drugih stakleničkih gasova zahtijevat će povećanje korištenja nefosilnih goriva, prije svega obnovljivih izvora kao što su voda, vjetar, sunce, biomasa, te povećanje energetske efikasnosti i primjenu novih tehnologija. Energetska efikasnost je posebno potencirana kao ekonomski najefektivniji način da se smanje emisije, poboljša energetska stabilnost i konkurentnost, obezbjedi dostupnost energije za potrošače, kao i povećana zaposlenost. Energetski sektor u Republici Srpskoj i BiH u cjelini ima značajan razvojni potencijal. Republika Srpska i BiH trenutno u regiji su rijetki primjeri cjelina koje imaju pozitivan elektroenergetski bilans. Neadekvatan institucionalni i pravni okvir, politička nestabilnost, nedefinisane procedure autorizacije za izgradnju i odabir investitora, uz poznati problem komplikovanih i dugotrajnih procedura za dobivanje velikog broja dozvola i saglasnosti, predstavljaju prepreku značajnijim ulaganjima u energetski sektor u Republici Srpskoj i BiH u cjelini. Treba istaći i da BiH značajno kasni u ispunjavanju obaveza preuzetih potpisivanjem međunarodnih ugovora i sporazuma. Ugovor o energetskoj zajednici predviđa kreiranje pravnog okvira za uspostavljanje slobodnog energetskeg tržišta, promociju investicija u energetski sektor, te pomoć energetskom sektoru zemalja u tranziciji. Sporazum o stabilizaciji i pridruživanju (SAA) također zahtijeva usvajanje europskih direktiva i standarda vezanih za energetiku. Razvoj MH Elektroprivreda Republike Srpske, sa akcentom na buduću proizvodni portfolio kompanije, treba biti trasiran uzimajući u obzir navedene ciljeve EU i pravno naslijeđe (stečevinu) EU, te uvažavajući polazno i buduće tehnološko, ekonomsko, pravno-regulatorno i društveno političko stanje u Republici Srpskoj, kao i okvirne stavove vezane za BiH. Pri tome je posebno važno iskoristiti vlastite energetske resurse i potencijale raspoložive u Republici Srpskoj kao način za razvoj privrede, za rast zapošljavanja i poboljšanja socijalnih prilika.

Polazne analize na osnovu prethodnih sagledavanja upućuju da je za MH Elektroprivreda Republike Srpske optimalan i realan razvojni scenarij sa uključenim miksom obnovljivih izvora energije (hidro, vjetar, sunce, biomasa, geotermalna energija i sl.) i zamjenskih i modernizovanih elektrana na domaći ugalj. Takav miks podrazumijeva optimizirane udjele pojedinih OIE i elektrana na ugalj u funkciji najnižih troškova elektroenergetskog sistema, kao i u funkciji drugih ciljeva koji se odnose na ekološki aspekt (rast obnovljivih, rast efikasnosti, smanjenje emisija) i sigurnost snabdijevanja i energetske nezavisnost. Energetska efikasnost postala je jedna od ključnih tema današnjice. Uštede energije kao posljedica efikasnijeg korištenja energenata, ima značajan uticaj na ekonomsko-finansijski aspekt poslovanja kompanija, ali i život potrošača. Povećanje energetske efikasnosti doprinosi smanjenju emisije stakleničkih gasova (prevažodno CO₂), pa su efikasnija proizvodnja i racionalnija potrošnja energije zapravo ključne mjere u borbi protiv globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena. Povećanje energetske efikasnosti treba sagledati i u kontekstu sigurnosti snabdijevanja energijom, kao i očuvanja energenata za buduće generacije, odnosno u funkciji održivog razvoja. EU potencira

energetsku efikasnost kao ekonomski najefektivniji način da se smanje emisije, poboljša energetska stabilnost i konkurentnost, dostupnost energije za potrošače, kao i da se poveća zaposlenost. EU planira da energetsku efikasnost ugradi u sve relevantne politike, uključujući i provođenje edukacije i treninga kako bi se promijenile navike spram energije.

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 sa unaprijeđenim lakovodnim reaktorima, nuklearne elektrane sa visikotemperaturnim reaktorima, nuklearne elektrane sa brzim oplodnim reaktorima). Element koji je zajednički u svim dugoročnim strategijama razvoja energetskog sektora predstavlja usmjeravanje na proizvodne sisteme i na potrošnju sa visokom efikasnošću i niskim troškovima energije i materijala.

LITERATURA

- [1] Z. Milovanović, S. R. Dumonjić-Milovanović, "Energetska efikasnost kogeneracijske proizvodnje energije i ograničenja u Republici Srpskoj", ENEF, Banja Luka, 2015., str. 26-39
- [2] Z. Milovanović, D. Miličić, „Monografija Energetske mašine - Parne turbine za kogeneracijsku proizvodnju energije“, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, Banja Luka, 2012., 520 str.
- [3] Z. Milovanović, „Mogući rizici tokom projektovanja, izgradnje i eksploatacije termoenergetskih postrojenja“, *EEE - Energija, ekonomija, ekologija*, List SE, Broj 1-2, Godina X, 2008., str. 046-052
- [4] Đ. Bašić i drugi, „Nacionalni program energetske efikasnosti - mogućnost korišćenja gasnih motora za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije“, Novi Sad, 2003., 47 str.
- [5] J. Bugge, R. Blum, „High-efficiency coal-fired power plants development and perspectives“, www.dongenergy.com/SiteCollection/Documents/NEW%20Corporate/PDF/Engineering/45.pdf, 15 str.
- [6] L. Busse, R. Šindelar, „Sekunden - Leistungsreserve und Wärmeverbrauch bei Verschiedenen Betriebsarten von Dampfturbinen“, *VGB Kraftwerkstechnik*, Nr. 9, 1989., pp. 892-895
- [7] Z. Milovanović and I. Smajević, „Thermo - energy potential of Bosnia and Herzegovina - today and projections for the future“, Academy of Sciences and Arts of BiH, Scientific Colloquium „Decision Making Principles in Building of Electric Power Sources, Sarajevo, March 27-28, 2008, 33 pages
- [8] Z. Milovanović, „Monografije Energetska i procesna postrojenja, Tom 1: Termoenergetska postrojenja - Teoretske osnove“, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, Banja Luka, 2011.
- [9] Z. Milovanović, „Monografije Energetska i procesna postrojenja, Tom 2: Termoenergetska postrojenja - Tehnološki sistemi, projektovanje i izgradnja, eksploatacija i održavanje“, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, Banja Luka, 2011.
- [10] B. Robyns, B. Francois, G. Delille, C. Saudemont, „Energy Storage in Electric Power Grids“, ISTE Ltd i John Wiley & Sons Inc., London i Hoboken, 2015.
- [11] Global Energy Network Institute "Energy Storage Technologies and their Roll in Renewable Energy Integration", 2012.
- [12] J. Mikulović, "Skladištenje energije kao dio EES", Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu <http://elementarium.cpn.rs/elementi>, septembar 2016.

- [13] E. Malagić, "Vrste energetskih skladišta u distribucijskim mrežama", Zagreb 2010.
- [14] A. Ter-Gazarian, "Energy Storage for Power Systems", Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 1994.
- [15] S. Dumonjić-Milovanović, Z. Milovanović, D. Knežević, A. Milašinović, Čiste tehnologije za proizvodnju korisne energije i njihova primjena u Republici Srpskoj, Energija, ekonomija, ekologija, Časopis SE Srbije, Broj 1, Beograd, 2016.
- [16] Studija o utjecaju na okoliš zahvata Rekonstrukcije TE Plomin – zamjena postojeće TE Plomin 1 u cilju modernizacije i povećanja kapaciteta, Knjiga 1/4 (Poglavlja 1. - 3.3.), EKONERG - Institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o., Zagreb, 2011.
- [17] S. Dumonjić-Milovanović, Prilog optimizaciji hibridnog sistema za proizvodnju električne energije na bazi primarne energije Sunca i vjetra sa analizom primjenljivosti na područje Banje Luke, Magistarski rad, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2013.
- [18] F. Begić, Metoda procjene stepena održivosti energetskih postrojenja različitih izvora u Bosni i Hercegovini, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 2003.
- [19] Energetski bilans Republike Srpske za 2017. godinu, Vlada Republike Srpske, Banja Luka, 2016.
- [20] F. Barbir, Obnovljivi izvori energije i održivi razvoj, Rekapitulacija – Zaključci, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, <http://marjan.fesb.hr/~fbarbir/PDFs%20Obnovljivi%20izvori/Zakljucci.pdf>, Split, 2011.

ABSTRACT

Currently, the energy needs are mostly being settled from conventional energy sources (fossil fuels: coal, oil, natural gas, hydro energy – hydroelectric power plants, and also nuclear fuels for fission processes). As fossil and nuclear fuels belong to the group of nonrenewable energy sources, their reserves are limited, so it is essential to have in mind the possibility of their exhaustion. To ensure safer future regarding the energy, research in the field of theoretical possibility and real, rational usage of energy sources, go in two directions – prolonging the possibility of usage of nonrenewable sources and leaning towards energy sources and technologies which have minimal impact on the environment, so called clean technologies. So, it is necessary to provide continuous growth of energy production, in compliance with growth of the industry and social standard, with, at the same time, searching for adequate technological processes for rational usage of renewable energy sources (the alternative for nonrenewable ones) and improving efficiency of nonrenewable sources exploitation in plants with, so called small scale waste technologies with the least harmful impact on the environment.

Key words: Energy needs; Clean technologies; Sustainable development; Republic of Srpska; Environment protection;

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR USEFUL FORMS OF ENERGY PRODUCTION - CLEAN TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Zdravko N. Milovanović, Svetlana R. Dumonjić-Milovanović, Aleksandar N. Milašinović, Darko M. Knežević, Jovan B. Škundrić