Termoenergetski blokovi sa ultra-super-kriti nim parametrima pare

MERIM M. ALI I , JP Elektroprivreda BiH,
ZD Rudnici "Kreka" u Tuzli, Bosna i Hercegovina
SANDIRA S. ELJŠAN, Univerzitet u Tuzli,
Mašinski fakultet, Tuzla, Bosna i Hercegovina
INDIRA H. BULJUBAŠI , Univerzitet u Tuzli,
Mašinski fakultet, Tuzla, Bosna i Hercegovina

Pregledni rad
UDC: 621.311.22
DOI: 10.5937/tehnika1606833A

Od termoelektrana novije generacije zahtijeva se da pored povećanja stepena korisnosti imaju smanjenu emisiju polutanata, da bi se došlo do optimalnog rješenja, kako sa tehničkog tako i sa ekonomskog gledišta. Jedan od načina za postizanje većeg stepena korisnosti je rad postrojenja pri super-kritičnim (SC) ili ultra-super-kritičnim parametrima pare (USC). Međutim, postizanje visokih parametara uslovljeno je ugradnjom novih materijala, koji imaju bolje osobine na visokim temperaturama i pritiscima, korištenju novih tehnologija zavarivanja i rješavanjem problema korozije. U radu je dat prikaz nekih od postrojenja sa ovim parametrima.

Ključne riječi: termoenergetska postrojenja, ultra-super-kritični parametri pare, materijali za ultra-super-kritične parametre pare, stepen korisnosti

1. UVOD

Pod kritičnim parametrima parnog ciklusa podrazumijevaju se parametri pri kojima se voda direktno pretvara u paru bez promjene specifične zapremine i imaju vrijednosti: $t=374,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $p=221,2\text{ bar}$.

Posljednjih godina u svijetu se rade elektrane sa super-kritičnim ili ultra-super-kritičnim parametrima.

U tabeli 1. prikazana je podjela parametara za podkritična, super-kritična ili ultra-super-kritična postrojenja:

Tabela 1. Parametri za podkritična, super-kritična i ultra-super-kritična postrojenja

Parametar	Jedinica	Podkritični parametri pare	Super-kritični parametri pare SC	Ultra-super-kritični parametri pare USC
Pritisak	bar	od 100-220	od 220-255	od 255-350
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	do 540	do 580	od 590 do 720
Stepen korisnosti bloka %	%	do 39	do 44	> 45

Značajno je da USC parametri u odnosu na SC parametre omoguće uštedu od 7-8% u potrošnji goriva za istu snagu elektrane, a time se smanjuje potreba za rashladnom vodom, kretnjakom, kao i količine nusprodukata procesa kao što su šljaka i pepeo, otpadne vode, gips, te emisije u okoliš. U odnosu na podkritične parametre USC parametri omoguće uštedu veću od 20% u potrošnji goriva za istu snagu elektrane, a ostali uticaji se mijenjaju u skladu sa pre-

thodno spomenutom usporedbom.

Povećanjem radnih parametara povećava se i stepen korisnosti bloka, jer je termodinamički ciklus efikasniji pri povećanim početnim parametrima pare. Postizanje visokih parametara uslovljeno je ugradnjom novih materijala, koji imaju bolje osobine na visokim temperaturama i pritiscima, korištenju novih tehnologija zavarivanja i rješavanje korozivnih pojava. Može se reći da su danas prethodno spomenuti problemi uglavnom riješeni.

Povećan stepen korisnosti postrojenja vodi ka smanjenoj potrošnji uglja po kWh proizvedene električne energije, što je praćeno manjom emisijom CO_2 i drugih polutanata.

Adresa autora: Ali i Merim, JP Elektroprivreda BiH, ZD Rudnici "Kreka", Tuzla, Mije Keroševića Guje 1, Bosna i Hercegovina

Rad primljen: 25.08.2015.

Rad prihvaćen: 26.10.2016.

Smanjenja emisija polutanata danas ima veliki značaj u doprinosu očuvanja životne sredine što je i obaveza u radu svih savremenih termoenergetskih postrojenja. Na slici 1 prikazan je način djelovanja stepena korisnosti na smanjenje emisije CO₂ u izlaznim dimnim plinovima.

Slika 1 - Uticaj stepena korisnosti termoenergetskog postrojenja na smanjenje emisije CO₂

2. MATERIJALI ZA USC PARAMETRE PARE

Od ranije je poznato da su ograničavajući faktori u razvoju kotlova i turbina, koji rade pri visokim parametrima pare, mehanička i termička svojstva materijala. Ranije su se uglavnom za kotlove i parne turbine koje rade sa nadkritičnim parametrima pare koristili austenitni čelici. Razvojem novih materijala, pogotovo feritnih i martenzitnih legiranih čelika omogućena je gradnja komercijalnih postrojenja sa SC parametrima

pare do 290 bar i 580 °C, te stepenom korisnosti od 47%. Očekuje se da će korištenje novih superlegiranih čelika s niklom, te novih tehnologija obrade ovih materijala omogućiti gradnju postrojenja sa USC parametrima pare, pritiskom pare od 375 bar uz temperaturu od 700°C, što će rezultirati povećanjem stepena korisnosti sa 47% na 50%, odnosno smanjenjem emisije CO₂ za 15%. Temperatura svježeg pare, danas najmodernijih USC termoenergetskih postrojenja dostiže 630°C (300/350 bar), što predstavlja porast za oko 90 °C posljednjih 30 godina. Očekuje se da će u narednih 15–30 godina izlazna temperatura pare da poraste za dodatnih 40–110°C.

Osnovni pristup koji će dovesti do uspješne implementacije USC tehnologije je identifikacija, evaluacija i kvalifikacija potencijalnih materijala neophodnih za konstrukciju svih kritičnih komponenti kotla i turbine, koji će biti sposobni da rade u uslovima ekstremno oštrog radnog parametara u poređenju sa uslovima kojima su izloženi materijali sadašnje generacije termoenergetskih postrojenja SC parametara. Posebna pažnja je posvećena istraživanjima novih materijala za izradu cijevi isparivača, pregrijača/meupregrijača, kao i parovoda svježeg pare i pripadajućih kolektora.

U tabeli 2 dat je prikaz korištenih materijala sa preporučenom primjenom u izradi pojedinih elemenata sa njihovim granicama temperatura.

Tabela 2. Materijali za USC parametre pare [2]

Klasa materijala	Materijal	Nominalni sastav	Preporučena Primjena*	Granica temperatura metala
FERITNI ČELICI	HCM2S	2,25 Cr, 1,5 W, V	IS, P	do 620 °C
	Tempaloy F-2W	2Cr, 1W, V, Nb	IS, P	
	HCM12	12Cr, 1Mo, V, Nb	IS, P	
	NF12	11Cr, 2,6W, 2,5 Co, V, Nb, N	K	
	SAVE 12	12Cr, W, Co, V, Nb, N	K	
	NF 616 (P92)	9Cr, 2W, Mo, V, Nb Co, N	K	
	HCM12 A(P122)	12Cr, 1,5W, Mo, V, Nb, N, Cu	K	
	E911	9Cr, 1W, 1 Mo, V, Nb, N, Cu	K	
AUSTENITNI ČELICI	SAVE 25	23Cr, 18Ni, 1,5W, Nb, N, Cu	C	620 - 670 °C
	NF709	20Cr, 25Ni, Nb, Ti, N	C	
	HR3C	25Cr, 20Ni, 1,5W, Nb, N	C	
	SUPER304 A	18Cr, 8Ni, 1W, Nb, N	C	
	347HFG	18Cr, 10Ni, Nb, N	C	
	800HT	21Cr, 32Ni, Al, Ti	C	
	HR120	Ni, 33Fe, 25Cr, N	C	
LEGURE NA BAZI NIKLA	INCO 740	25Cr, 20Co, 2Ti, 2Nb, Al, Ti	PC	675 - 788 °C
	230	22Cr, 14W, 2Mo, La	PC	
	MARCO ALOY	Modif IN617	PC	
	625	21,5Cr, 9Mo, 5Fe, 3,6Nb, Al, Ti	PC	
	617	22Cr, 12,5Co, 9Mo, Al	PC	
	HR6W	23Cr, 6W, Nb, Ti	PC	
	45TM	27Cr, 23Fe, 2,75Si	PC	

*- K- Kolektori; IS- Isparivač; C- Cijevi pregrijača i meupregrijača; P- Parovodi

Na slici 2 dat je prikaz turbine sa ultra-super-kriti nim parametrima pare 280 bar/600°C/610°C, što ukazuje na aktivnosti koje bi u skorijoj budućnosti dovele do izgradnje termoelektrani od kojih se očekuje da rade pri temperaturi pare od 700°C i

Slika 2 - Istorijski razvoj stepena korisnosti parnog bloka i primjenjenih materijala

3. PRIMJERI BLOKOVA SA USC PARAMETRIMA PARE

3.1. Termoelektrana Niederaussem u Njemačkoj, blok 1000 MW

Blok snage od 1.000 MW u TE Niederaussem je do 2003. god. bio najveći i pojedinačni blok u svijetu koji za sagorijevanje koristi lignit. Ulaskom ovog bloka isključeno je iz pogona šest blokova izgrađenih krajem 50-ih godina 20. vijeka.

U tabeli 3 data je usporedba svih blokova u TE Niederaussem sa stanovišta stepena korisnosti kao i specifične potrošnje uglja.

Slika 3 - Blokovi termoelektrane Niederaussem u Njemačkoj

Tabela 3. Porast stepena korisnosti blokova TE Niederaussem u Njemačkoj

Naziv	Jedinica	1963.god	1971.god	1974.god	2002.god
Snaga	MW	150	300	600	1.000
Stepen korisnosti bloka	%	33	35	36	43
Specifična potrošnja uglja-lignit	kg/kWh	1,2	1,1	1,1	0,9

Za blok od 1000 MW sa USC parametrima pare izvršena je modifikacija sušenja rovnog uglja na otpadnu toplinu uz sagorijevanje u fluidiziranom sloju. Time je povećan stepen korisnosti bloka za 10%, sa 33% na 43%, što se vidi u tabeli 3.

3.2. Termoelektrana Jaworžno III u Poljskoj, blok 900 MW

Termoelektrana Jaworžno III radi na izgradnji zamjenskog bloka 7 – snage 900 MW na bazi mrkog uglja, sa USC parametrima pare.

Planirano puštanje u rad ovog bloka je 2018. god, sa stepenom korisnosti bloka od 45%.

Slika 4 - Model bloka 900 MW termoelektrane Jaworžno III u Poljskoj

Tabela 4. Porast stepena korisnosti u Termoelektrani Jaworžno III sa gradnjom bloka 900 MW

NAZIV	Blok 1	Blok 2	Blok 3	Blok 4	Blok 5	Blok 6	Blok 7
Snaga bruto MW	225	225	225	225	220	225	900
Stepen korisnosti bloka %	33	33	33	33	33	33	45
Godina puštanja u pogon	1976	1976	1976	1976	1976	1976	2018
Godina gašenja	2018	2018	2018	2018	2018	2018	2058

3.3. Termoelektrana Šoštanj u Sloveniji, blok 6, 600 MW

Termoelektrana Šoštanj je poela izgradnju bloka

6 – 600 MW jedini ne snage na bazi lignitnog uglja sa USC parametrima pare sa stepenom korisnosti bloka od 43 %. Planirano je probno puštanje 2015.god.

Slika 5 - Gradnja bloka 6, 600 MW, TE Šoštanj u Sloveniji

Tabela 5. Porast stepena korisnosti u termoelektrani Šoštanj sa gradnjom blokova ve e snage

Naziv	Blok 3	Blok 4 + PT	Blok 5 + PT	Blok 6
Snaga bruto MWe	75	275+48	345+48	600
Stepen korisnosti bloka %	26	31 ; 35	32 ; 36	43
Godina puštanja u pogon	1960	1972,2008	1978,2008	2015
Godina gašenja	2014	2016	2028	2065

3.4. Termoelektrana Tuzla u Bosni i Hercegovini, blok 7- 450 MW

Prate i svjetske trendove Bosna i Hercegovina planira graditi blokove ve e snage sa USC parametrima pare i sa ve im stepenima korisnosti. Zamjenski blok 7 snage 450 MW planiran je za izgradnju u okviru

Termoelektrane Tuzla. Obezbije eni su svi ulazni resursi - ugalj, voda, priklju ak na EES kao i infrastruktura za daljinsko grijanje u okolnim gradovima.

Na bloku 7 planirana je tehnologija sagorijevanja sprasenog uglja u letu i USC parametri 600/610°C i 275 bara, sa stepenom korisnosti od 42 %.

Tabela 6. Pregled puštanja u rad pojedinih blokova i njihova obustava

NAZIV	Blok 3	Blok 4	Blok 5	Blok 6
Snaga bruto MW	100	200	200	215
Stepen korisnosti bloka %	28	29	30	33
Godina puštanja u pogon	1966	1971	1974	1978
Godina gašenja	2016	2019	2023	2028

Slika 6 - Model planiranog bloka 7 Termoelektrane Tuzla

4. ZAKLJUČAK

Cilj današnjih termoelektrana koje rade uz odgovarajuća ograničenja tržišta je da obezbijede visok stepen korisnosti i smanje negativne uticaje na okoliš uz istovremeno poboljšanje ekonomskih parametara u poređenju sa postojećim alternativama. Trenutne izvedbe SC termoelektrana imaju troškove izgradnje samo 2% veće od elektrana sa podkritičnim parametrima. Istovremeno, troškovi goriva su znatno niži zbog povećanog stepena korisnosti a operativnih troškova koji su isti kao kod termoelektrana sa podkritičnim parametrima. Zbog gore navedenog danas u svijetu postoji preko 500 SC elektrana uglavnom u razvijenim zemljama. Dodatna istraživanja i razvoj se vrše i za USC postrojenja uz očekivano povećanje stepena korisnosti i do 50%. Osim toga, jedna od značajnijih prednosti SC i USC postrojenja je mogućnost jednostavnije promjene opterećenja bloka (zbog konstrukcije kotla bez bubnja), pri čemu je potreban upravljački sistem sa većom osjetljivošću i brzinom odziva.

SUMMARY

THERMAL POWER BLOCKS WITH ULTRA-SUPER-CRITICAL STEAM PARAMETERS

New generation of thermal power plants are required to have increased utilization rates, in addition to reduced emissions of pollutants, in order to reach optimal solutions, from both technical and economic point of view. One way to achieve greater utilization efficiency is operation of the plant at super critical (SC) or ultra super critical steam parameters (USC). However, achieving high parameters depends on use of new materials, which have better properties at high temperatures and pressures, use of new welding technologies and by solving the problem of corrosion. The paper gives an overview of some of the plants with these parameters.

Key words: thermal power plants, ultra super critical steam parameters, materials for ultra super critical steam parameters, utilization efficiency

LITERATURA

- [1] Moll W, Actual and future lignite fired power plants at RWE Power, 2008. Dostupno na: <http://www.rwe.com>
- [2] Šijački V, Novi materijali za kotlove – novi izazovi za inženjere održavanja. Dostupno na: <http://e2010.drustvo-termicara.com/>
- [3] Viswanathan R., Sarver J., Tanznosh J.M., "Boiler materials for Ultra-Supercritical Coal Power Plants" Dostupno na: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/>
- [4] Viswanathan R., Bakker W.T., Materials for Boilers in Ultra Supercritical Power Plants", Proceedings of 2000 International Joint Power Generation Conference, Miami Beach, Florida, 23-26 July, 2000.
- [5] Masuyama F, New Developments in Steels for Power Generation Boilers, *Advanced Heat Resistant Steels for Power Generation*, London, pp 33-48, 1999.
- [6] Hladki D, Ultra super kritične termoelektrane i teplota kao primjer najmodernije tehnologije koja koristi ugljen kao energent, *Meunarodni kongres Dani inženjera strojarstva* 2013. Dostupno na <http://www.hkis.hr/>
- [7] Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants July 2006. Dostupno na: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>
- [8] Merić J, Novi investicioni ciklus u JP EP BiH sa posebnim osvrtom na izgradnju zamjenskog bloka 7-450 MW 2; *Meunarodna konferencija ENERGA Tuzla* 2011, Bosna i Hercegovina, pp 1-32, 4-6 Juli 2011