

KONCEPCIJSKA STUDIJA O REFERENTNOJ ELEKTRANI RKW NRW

Vladimir D o k m a n o v i ć, Zagreb

UDK 621.311.22
PREGLEDNI ČLANAK

U članku je sažeto prikazana koncepcijska studija referentne termoelektrane bruto snage 600 MW, neto stupnja djelovanja oko 46%. Prikazana je tehničko-ekonomski i ekološki optimirana elektrana za uvjete njemačke zemlje Nordrhein-Westfalen. Referentna elektrana je koncipirana na temelju razvoja potrošnje električne energije i cijene energenata.

Ključne riječi: potrošnja električne energije, cijena energenata, stupanj djelovanja, vrijeme izgradnje, novi materijali, tehnička rješenja, okoliš i zaštita klime, ekonomičnost i pogonska prihvatljivost, investicije.

Uvod

Koncept referentne elektrane (RKW NRW) temelji se na elektrani na kameni ugljen, bruto snage 600 MW s optimiranim postrojenjem s neto stupnjem korisnog učinka 45.9 posto. S određenim tehničkim mjerama moguće je dosegnuti stupanj korisnog učinka preko 48 posto. To doduše zahtijeva druge lokacijske uvjete i druge ekonomske okvirne uvjete, koji trenutno ne postoje na tržištu električne energije. Sa stupnjem korisnog učinka od 45.9 posto, referentna elektrana značajno premašuje učinkovitost postojećih elektrana na kameni ugljen u Njemačkoj (38 posto) i u svijetu (30) posto. Referentna elektrana može značajno doprinijeti ostvarivanju ciljeva usmjerenih na smanjenje CO₂ emisije.

Investicijska ulaganja bez troškova za prethodne, pripreme i nepredviđene radove u referentnu elektranu snage 600 MW iznose oko 480 milijuna eura. Ta investicijska sredstva bi omogućila zaposlenost 6 160 djelatnika u tijeku tri godine izgradnje, od kojih bi 3 600 djelatnika bilo zaposleno na gradilištu, a 2 560 djelatnika bi bilo zaposleno u projektnim i znanstvenim institucijama, te u proizvodnim pogonima isporučitelja opreme.

Studija je pokazala da tehničko-ekonomski i ekološki optimirana elektrana na bazi kamenog ugljena ima dobre izgleda za primjenu. Ako se otklone nesigurnosti glede CO₂ opterećenja usmjerenog na zaštitu klime, proizvođači električne energije će moći donositi odluke o izgradnji novih proizvodnih jedinica na ekonomskim kriterijima i tržišnim uvjetima. Važna podloga za odlučivanje o izgradnji nove elektrane na bazi kamenog

ugljena je koncepcijska studija referentne elektrane. Studija opisuje ostvarivu tehnologiju suvremene elektrane za kratko- i srednjoročno razdoblje izgradnje. U studiji je pored ostalog detaljno predočeno optimiranje pojedinih komponenti i sustava elektrane, prezentirani su pojedini tehnološki sustavi, smještaj objekata, te predočen detaljan terminski okvir izgradnje elektrane. Navedene teme se iz tehničkih razloga neće obrađivati u ovom članku. Stručnjaci koje će zanimati specifičnosti referentne elektrane, mogu nabaviti studiju "Langfassung Konzeptstudie Referenzkraftwerk NRW" na adresi: VGB Power Tech, Fax: +49 201 8128 329.

1. PROVEDBA PROJEKTA I OKVIRNI UVJETI

Sigurnost opskrbe, stavljanje na raspolaganje jeftine električne energije i štednja postojećih fosilnih resursa su osnovni zahtjevi koji se postavljaju pred proizvođače energetske opreme i proizvođače električne energije. S ciljem da se razvije koncept elektrane na kameni ugljen, koji će biti dugoročno konkurentan i ekološki prihvatljiv i koji će zadovoljiti navedene zahtjeve, izrađena je studija pod nazivom "Koncepcijska studija referentne elektrane Nordrhein-Westfalen", skraćeno nazvana RKW NRW. Studiju je financirala vlada njemačke zemlje Nordrhein-Westfalen i Europska unija (Europski fond za regionalni razvoj EFRE). Bitan cilj koncepcijske studije bio je odgovor na pitanje, je li moguće izgraditi suvremenu elektranu na kameni ugljen s bitno smanjenim emisijama, koja će moći ostvarivati pozitivan ekonomski rezultat u trenutnim nepovoljnim ekonomskim uvjetima, koji vladaju na liberaliziranom europskom tržištu električne energije.

U koncept postrojenja elektrane uključeno je mnoštvo inovativnih prijedloga. Te su inovacije vrednovane i birane prema ekonomičnosti i njihovoj primjenjivosti s obzirom na raspoložive materijale i tehnologije.

Studiju su izradili proizvođači opreme Babcock Borsig Power Systems i Siemens AG. Okvirne uvjete za dimenzioniranje elektrane predložili su operatori elektrana koncerna E.ON Kraftwerke, Mark-E, RWE Power i STEAG. Ekonomske, ekološke i strukturno-političke aspekte su istraživali "Lehrstuhl für Energiewirtschaft der Universität Duisburg, Essen", Wuppertal Institut für Klima, Umwelt Energie" i Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung". VGB Power Tech je kao međunarodna udruga za proizvodnju električne i toplinske energije imala ulogu koordinatora.

Energetsko-politički okvirni uvjeti

Poduzeća, koja se bave opskrbom energijom stoje danas pred izazovom da smanje CO₂ emisiju uzrokovanu proizvodnjom električne energije iz fosilnih goriva i da ekonomično proizvode električnu energiju.

S ciljem proizvodnje električne energije bez CO₂ emisije, uložena su u Njemačkoj značajna investicijska sredstva u postrojenja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora.

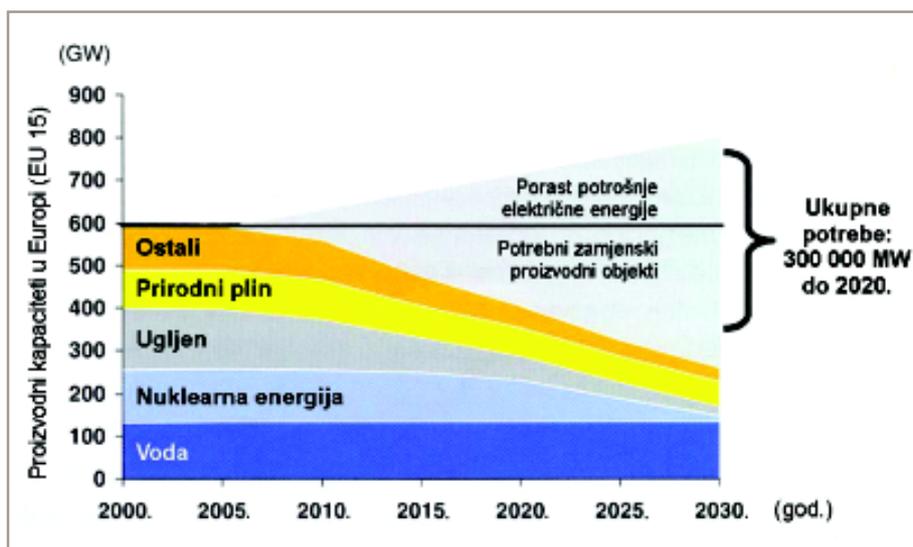
U Njemačkoj se pokazalo da nije moguće, u razdoblju od 2010. do 2020. godine izgraditi novi zamjenski proizvodni park od 40 000 MW, uvjetovan starošću postojećih elektrana, isključivo na bazi obnovljivih izvora energije. Dodatnom izgradnjom postrojenja za proizvodnju električne energije na bazi obnovljivih izvora može se povećati instalirana snaga, ali se ne može dobiti očekivana sigurnost opskrbe. Za održavanje sigurnije opskrbe električnom energijom, zbog promjenljive proizvodnje električne energije vjetroelektrana, u sustavu moraju biti raspoložive fleksibilne klasične elektrane, koje svojom regulacijskom snagom drže trajnu

ravnotežu između potrebne i stvarno raspoložive snage. To ustvari znači da za određeni kapacitet vjetroelektrane mora biti raspoloživo oko 85 posto proizvodnih kapaciteta u klasičnim elektranama. Da bi se jamčila sigurnost opskrbe proizvedene električne energije iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana, moraju se osigurati dvostruke investicije u proizvodne kapacitete; najprije za postrojenja iz obnovljivih izvora, zatim dodatno za elektrane koje isporučuju zamjensku energiju za obnovljive izvore. Povrh toga moraju se osigurati dodatne investicije za izgradnju mreže, koja se mora prilagoditi novoj proizvodnoj strukturi.

Često se misli da je elektrane na ugljen lako nadomjestiti kombi elektranama na prirodni plin. S gospodarskog stajališta, zamjena starih postrojenja kombi elektranama je rizična. Proizvodni troškovi kombi elektrana u velikoj mjeri (65%) ovise o troškovima goriva, tako da električna energija iz kombi elektrana može biti konkurentna ugljenu samo s niskom cijenom prirodnog plina. Po pričuvama, kameni ugljen je najznačajniji primarni izvor energije, s nalazištima rasprostranjenim diljem svijeta. Za razliku od prirodnog plina, kameni ugljen je karakterističan po povoljnoj strukturi dobavljača i stabilnim cijenama koje se neznatno mijenjaju.

2. RAZVOJ POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U EUROPI I NJEMAČKOJ

U Europi (EU 15) je instalirano u elektranama za opću opskrbu oko 600 000 MW. Od toga je šestina snage instalirana u Njemačkoj. Iako trenutačno u europskom sektoru električne energije postoji tržišna konkurencija u proizvodnji električne energije, od 2010. godine će se situacija bitno promijeniti, jer će trebati izgraditi značajne zamjenske kapacitete zbog starosti postojećeg proizvodnog parka.



Slika 1. Potrebni zamjenski i dodatni proizvodni kapaciteti u EU 15

U Njemačkoj će biti još izraženiji manjak proizvodne snage, naročito u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, i zbog obustavljanja pogona postojećih nuklearnih elektrana. Pored toga, prognoziran je u idućem desetljeću kontinuirani rast potrošnje električne energije. Za Njemačku će prema dugoročnim prognozama godišnja potrošnja rasti između 0.5 i 1 posto, a za Europu između 1.5 i 2.0 posto. U razdoblju između 2010. i 2020. će u Njemačkoj nedostajati oko 40 000 MW zbog starosne strukture postojećeg proizvodnog parka i rasta potrošnje električne energije, a u Europi 300 000 MW (slika 1).

U Njemačkoj će do 2020. godine biti dostignut 40 godišnji tehnički životni vijek elektrana instalirane snage od oko 40 000 MW. Političkom odlukom o obustavljanju pogona nuklearnih elektrana do 2025. godine će dodatno biti obustavljeno 21 700 MW (slika 2). Nejasno je, kako je moguće dugoročno nadomjestiti taj manjak snage. I kratkoročno postoje problemi. Na dan najvećeg vršnog opterećenja (10. 12. 2002.) preostala rezervna snaga u njemačkom sustavu iznosila je samo 1 700 MW, što je 1.6% ukupne instalirane snage.

3. OKOLIŠ I ZAŠTITA KLIME

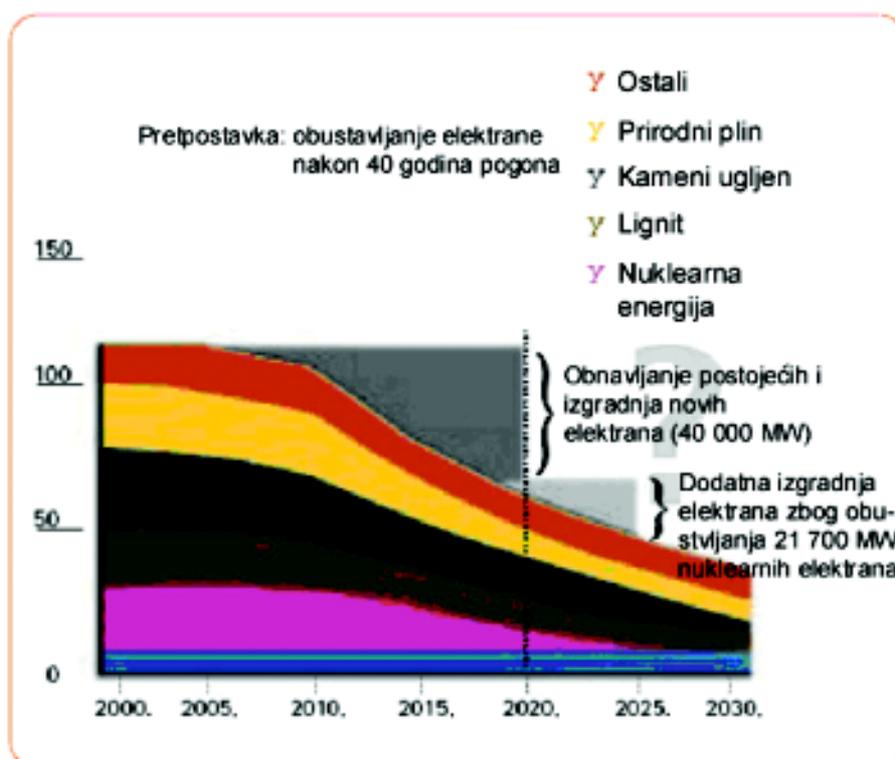
U svijetu i nadalje raste CO₂ emisija nastala izgaranjem fosilnih goriva. Prema analizama Međunarodne agencije za energiju (IAE), 40 posto CO₂ emisije uzrokuje opskrba električnom energijom. 70 posto te emisije

nastaje proizvodnjom električne energije u elektranama koje koriste ugljen kao pogonsko gorivo.

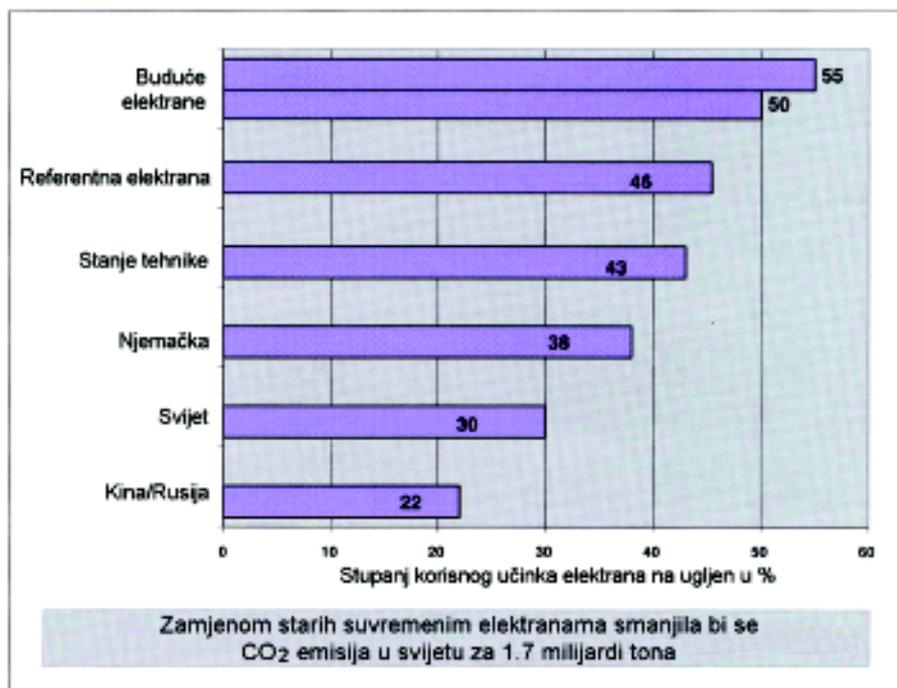
Odlučujuće za visok udio CO₂ emisije uzrokovane proizvodnjom električne energije, globalno gledano, je niski stupanj iskorištenja ugljena kao primarnog goriva i njegov visoki specifični emisijski CO₂ faktor. Slika 3. predočuje prosječni stupanj korisnog učinka elektrana na kameni ugljen u svijetu.

Prosječni stupanj korisnog učinka elektrana na ugljen u svijetu je oko 30 posto. Pored nastojanja, diljem svijeta, usmjerenog na štednju energije i posebice električne energije, te pojačanog korištenja obnovljivih izvora, nužno je trajno povećanje stupnja korisnog učinka pretvorbe fosilnih goriva u električnu energiju, da bi se ograničio očekivani rast CO₂ emisije u svijetu. Jedan jednostavan, iako teoretski proračun pokazuje, da bi se pri potpunoj zamjeni postojećih elektrana na ugljen u svijetu, današnjim na tržištu najboljim raspoloživim tehnologijama, s stupnjem korisnog učinka 43 posto*, ostvarilo trenutačno smanjenje CO₂ emisije za gotovo 1.7 milijardi tona godišnje (oko 6 posto svjetske CO₂ emisije). Zbog toga, porast učinkovitosti elektrana na ugljen u svijetu ima značajnu ulogu u zaštiti klime.

* Pri veoma povoljnim uvjetima (npr. hlađenje kondenzatora morskom vodom), danas je moguće s postojećom tehnologijom dostići i veću učinkovitost elektrana (npr. > 47 posto Nordjyllandsværket u Danskoj)



Slika 2. Razvoj proizvodnog parka elektrana u Njemačkoj od 2000. do 2030. godine



Slika 3. Prosječni stupanj korisnog učinka elektrana na kameni ugljen u svijetu

4. ZNAČAJ UČINKOVITIH ELEKTRANA NA UGLJEN ZA ZAŠTITU KLIME

World Energy Council (WEC) i Internationale Energieagentur (IEA) računaju na kontinuitet sadašnje energetske politike do 2020. godine i na globalni rast CO₂ emisije, sa 24.5 milijardi tona (stanje 2000.) na 36.6 milijardi tona. To odgovara 50 postotnom povećanju u samo 20 godina. Udio emisije nastao proizvodnjom električne energije će u tom razdoblju porasti s 5.6 milijardi na 9.1 milijardi tona CO₂ ili za 63 posto. Značajan udio te emisije bi nastao u elektranama na kameni ugljen, koja bi se udvostručila u odnosu na današnju razinu. Izgradnjom elektrana na kameni ugljen s povećanim stupnjem korisnog učinka, poput referentne elektrane s minimalnim stupnjem korisnog učinka od 46 posto bi se CO₂ emisija u 2020. godini smanjila s prognoziranih 9.1 milijarde tona na 6.7 milijardi tona. Prognozirano povećanje CO₂ emisije elektrana na kameni ugljen dalo bi se na taj način smanjiti za 2.4 milijarde tona, odnosno ukupno povećanje CO₂ emisije iz elektrana na kameni ugljen bilo bi u 2020. godini 20 posto.

5. DODATNI ZAHTJEVI NA ELEKTRANE NA UGLJEN

Pored zahtjeva koji se postavljaju na ekonomičnost i pogonsku prihvatljivost elektrana na ugljen, postoje specifični zahtjevi na elektrane. Pri tome se ne radi samo o maksimalnom povećanju stupnja korisnog učinka i raspoloživosti elektrane, već i o njenom uklapanju u elektroenergetski sustav:

- traži se visoka regulacijska sposobnost i visok stupanj korisnog učinka pri djelomičnom opterećenju, široki raspon promjene snage i visoka dinamička svojstva (brzina promjene opterećenja, kratka vremena ulaska i izlaska iz pogona), kao i pogon elektrane s promjenljivom snagom, kao dopunskom i pričuvnom za izravnavanje neravnomjerne proizvodnje vjetroelektrana i sunčanih elektrana
- mogućnost istodobnog korištenja drugih vrsta (biogenih) goriva i istodobno korištenje sunčane energije za zagrijavanje napojne vode.

Za referentne elektrane se pored toga mora ostaviti mogućnost kompatibilnosti i dogradnje uređaja za separiranje CO₂ iz dimnih plinova mokrim postupkom, što je prema današnjim saznanjima skupa i energetske zahtjevna tehnologija. Na osnovi ekonomskih i ekoloških kriterija može se separiranje CO₂ provesti i prijelazom na druge tehnologije, kao što je integrirano rasplinjavanje ugljena.

6. TEHNIČKO-EKONOMSKO OPTIMIRANJE ELEKTRANE

Cilj konceptijske studije referentne elektrane je razvoj koncepta još učinkovitije elektrane koja bi se trebala potvrditi i dokazati na postojećem tržištu i u postojećim još uvijek nepovoljnim energetske- gospodarskim okvirnim uvjetima.

U studiji se polazi od pretpostavke da referentna elektrana ulazi u probni pogon 2008. godine. Stoga se koncept postrojenja isključivo temelji na materijalima i

tehnologijama, koje su već sada raspoložive i sigurno izvedive.

Za tehničko-ekonomsko optimiranje elektrane su određeni vrijednosni faktori za poboljšanje stupnja korisnog učinka, smanjenje vlastite potrošnje i rast raspoloživosti elektrane. Na taj način utvrđeni tehničko-ekonomski optimirani koncept cijelog postrojenja, nazvan je preferentnom varijantom.

U početnoj fazi izrade studije prikupljeno je i tehničko-ekonomski obrađeno i vrednovano oko 80 inovativnih prijedloga iz područja projektiranja, procesne tehnike, kotla, strojarstva, elektrotehnike, vođenja i generatora.

U tablici 1 je predočen primjer dizajniranja, odnosno vrednovanja sustava zagrijavanja napojne vode.

Istražene su sljedeće karakteristične inovacije:

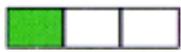
- Analizirana je izlazna ispušna površina niskotlačne turbine od 16 m² s ciljem povećanja snage turbine.
- Istraživani su razni koncepti smještaja turbine s ciljem smanjenja investicijskih troškova. Razmotren je smještaj turbinskog stola na visinama od 8, 16 i 60 metara. Visina turbinskog stola utječe između ostalog i na dužinu i izbor materijala cjevovoda između generatora pare i turbine.
- Također su istražene i vrednovane izvedbe kotla (toranjska, dvosmjerna i vodoravna izvedba).

Tehničko-ekonomski optimirani koncept elektrane odlikuje se sljedećim značajkama:

Bruto snaga:	600 MW
Tip kotla:	toranjski, s okomitim cijevima ložišta i parnim zagrijačem zraka (Luvo)
Iskorištavanje suviška topline sustava za pripremu goriva predajom iste radnom mediju voda – para:	predajom topline zraka na napojnu vodu se regulira temperatura zraka za sušenje
Odvođenje dimnih plinova:	preko rashladnog tornja
Tip turbine:	H 30-40/M 30-63/N 30-2x16 m ²
Parametri svježe pare:	285bar/600°C/620°C
Tlak u kondenzatoru:	45 mbar
Generator:	hlađenje vodom i vodikom
Stupnjevi zagrijavanja napojne vode:	8 zagrijača + vanjski završni regulirajući
Temperatura napojne vode:	303.4 °C
Koncept napojnih pumpi:	3x50% elektro napojne pumpe, regulacijska spojka s planetnim prigonom.

Pored navedenih karakteristika, na preferentnu varijantu elektrane su postavljeni, kao opcija, dodatni zahtjevi glede povećanja fleksibilnosti elektrane:

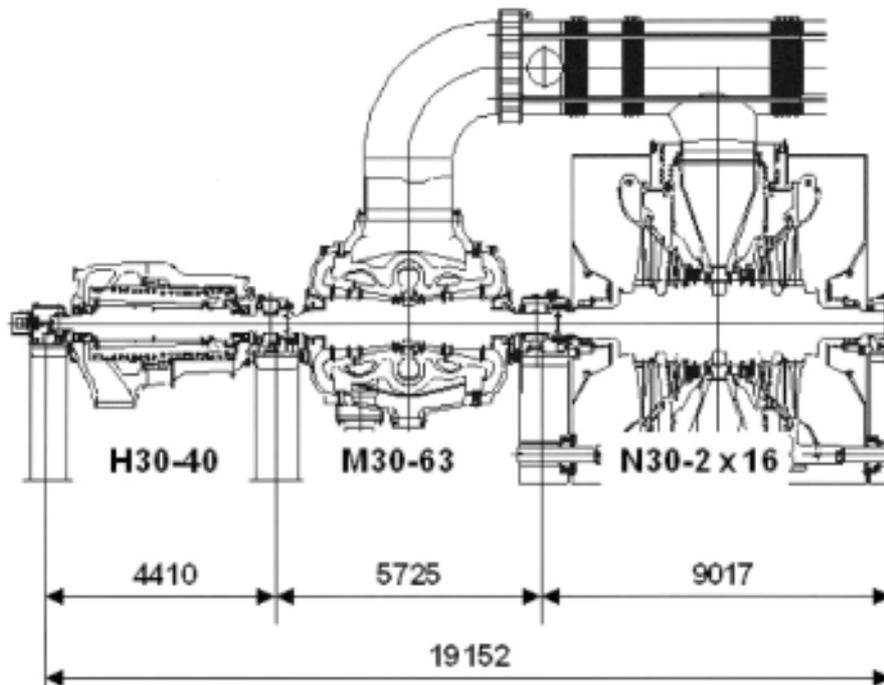
Tablica 1. Primjer dizajniranja sustava zagrijavanja napojne vode

Varijanta	Vanjski zagrijač napojne vode na 303.4 °C*	Vanjski zagrijač napojne vode na 320.0 °C*	Termokompresija**	Devet zagrijača napojne vode
Potrošnja topline turbine	oko 9 kJ/kWh	oko 24 kJ/kWh	oko 12 kJ/kWh	oko 11 kJ/kWh
Povećana ulaganja	oko 400 000 EUR	oko 2 100 000 EUR	oko 840 000 EUR*	oko 710 000 EUR
Rezultat				
Preporuka			Razmatranje samo za vanjski smještaj zagrijača vode	



* površinski hladnjak pregrijane pare oduzete iz parne turbine s reguliranim protokom napojne vode

** iskorištavanje otpadne topline dimnih plinova ili otparka sušenja ugljena u pripremi dodatne napojne vode na principu rada toplinske pumpe



Slika 4. Uzdužni presjek i dimenzije HMN-turbine proizvodnje Siemens

- brzo aktiviranje podrške frekvenciji prema zahtjevima njemačkog "Grid Code" - ("Mrežno-sistemska pravila njemačkog operatora sustava")
- mogućnost davanja dodatne snage u mrežu (5 posto bruto snage proizvodne jedinice u tijeku 30 sekundi) djelomičnim izvrštavanjem visokotlačnog zagrijača napojne vode i sustava otpreme kondenzata iz kondenzatora
- izvedbom visokotlačnog zagrijača napojne vode s cijevnim komorama.

Na taj način je omogućeno da operator elektrane raspolaže proizvodnom jedinicom za pokrivanje temeljnog dijela dijagrama potrošnje, ali i za fleksibilniji pogon elektrane prema zahtjevima elektroenergetskog sustava i tržišta električne energije.

7. KRATKI OPIS GLAVNIH KOMPONENTI REFERENTNE ELEKTRANE

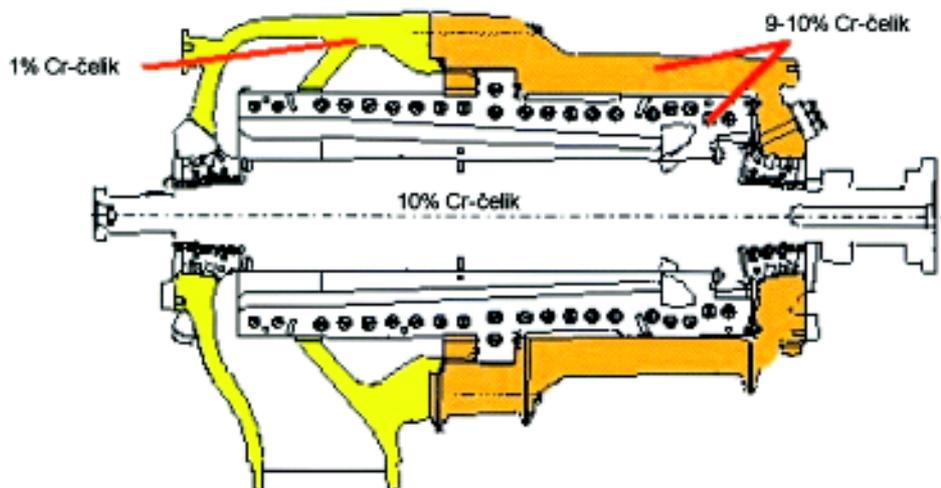
7.1. Turbinsko postrojenje

Za turbinu je odabrana Siemens turbina, tipa HMN s odvojenim visokim, srednjim i niskotlakotlačnim kućištem. Turbina se postavlja u strojarnicu na turbinski stol na visini (+16 m), odvojen od ostalog građevinskog dijela strojarnice.

Uzdužni presjek s dimenzijama turbine predočen je na slici 4.

7.1.1. Visokotlačni dio turbine

Za visokotlačni dio turbine odabran je tip H30-40.



Slika 5. Materijali za visokotlačni dio turbine

Ulazna temperatura svježe pare u visokotlačni dio turbine iznosi 600 °C pri 285 bar. Visokotlačni dio turbine je u lončastoj izvedbi.

Parametri pare od 600 °C/285 bar zahtijevaju izvedbu turbine s unutrašnjim plaštem.

Materijali glavnih komponenti visokotlačnog dijela turbine su predočeni na slici 5.

Materijali za rotorske i statorske lopatice su isključivo visoko legirani krom čelici, sa sadržajem kroma od 10% – 12%.

7.1.2. Srednjotlačni dio turbine

Srednjotlačni dio turbine je tipa M30-63. Predočena je na slici 6. Ulazni parametri jednostrukog međupregrijanja u srednjotlačni dio turbine su 620 °C i 60 bar.

Srednjotlačni dio turbine izveden je kao dvostrupni s dva plašta. Materijali osovine i unutrašnjeg plašta su visokolegirani krom čelici. Vanjsko kućište se izrađuje od legiranog čeličnog lijeva s kuglastom grafitnom strukturom (slika 7).

Do sada je srednjotlačni dio turbine bio konstruiran i izveden za maksimalnu temperaturu svježe pregrijane pare od 610 °C (Elektrana Isogo, Japan). Za temperaturu međupregrijanja od 620 °C predviđen je materijal 10% krom-čelik s borom.

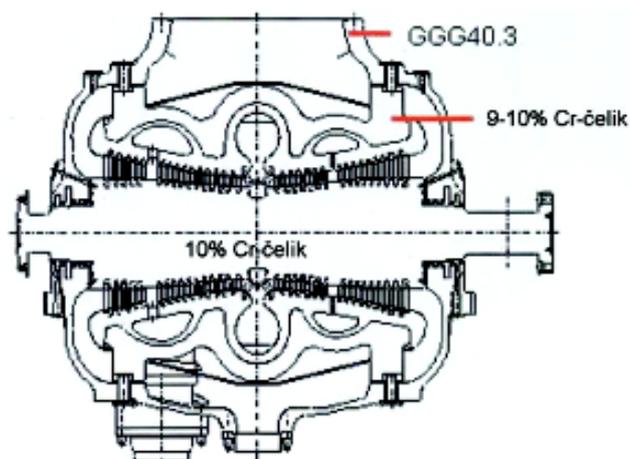
Prva tri stupnja lopatica rotora su izvedena na bazi legure nikla (nimonic). Ostale lopatice, rotora i statora su izvedene od visokolegiranog krom čelika sa sadržajem kroma od 10 do 12%.

7.1.3. Niskotlačni dio turbine

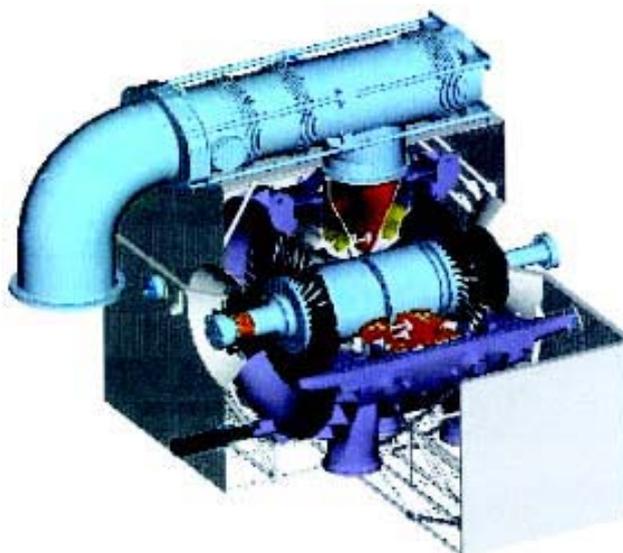
Niskotlačni dio turbine je novo razvijeni dio turbine N30-2x16 m². Na slici 8 predočen je 3D prikaz turbine.



Slika 6. Srednjotlačni dio turbine M30-63



Slika 7. Materijali srednjotlačnog dijela turbine



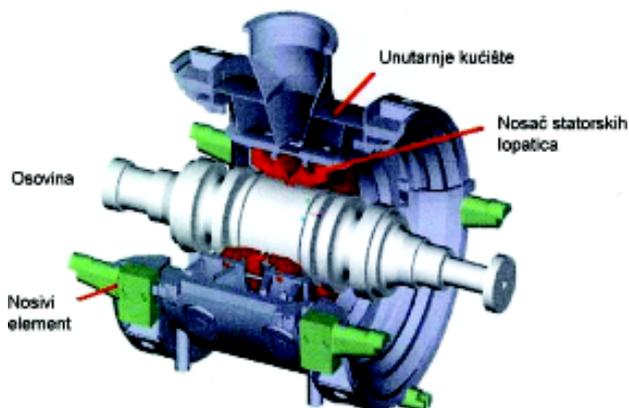
Slika 8. Niskotlačna turbina N30-2x16 m²

Niskotlačna turbina N30-2 x 16 m² je izvedena kao dvosmjerna s dva plašta. Tehničko-tehnološki razvoj lopatica dužine 1 400 mm omogućuje pouzdan rad rotora turbine promjera oko 1900 mm, pri brzinama od 750 m/s na obodu lopatica i povećanje izlaznog presjeka, a time i smanjenje broja kućišta niskog tlaka (ranije 4x8 m²)

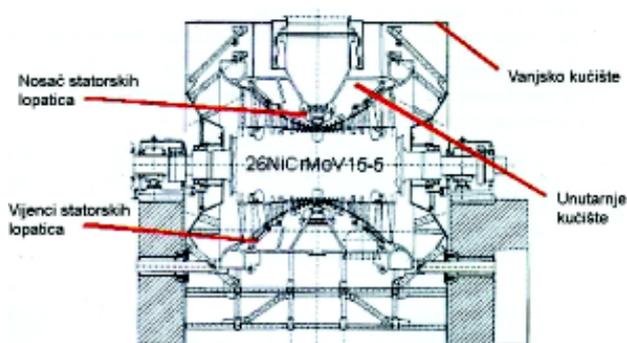
Osovina, unutrašnji plašt i nosač statorskih lopatica, predočeni su na slici 9.

Unutrašnji plašt je u zavarenoj izvedbi s umetnutim nosačem statorskih lopatica. Vanjski plašt je potpuno odvojen od unutrašnjeg. Glavne komponente turbine su predočene na slici 10.

Zbog velikog opterećenja, lopatice krajnjeg stupnja moraju biti izrađene od legure titana.



Slika 9. Unutrašnji plašt niskotlačne turbine



Slika 10. Glavne komponente niskotlačne turbine

7.2. Generatorsko postrojenje

Generatorsko postrojenje se sastoji od neposredno spojenog s turbinom dvopolnog turbogeneratorsa, statičke uzbude, dvokanalnog digitalnog regulatora napona, i pomoćnih opskrbnih uređaja za brtveno ulje, vodik i rashladnu vodu.

Statorski namot se neposredno hladi vodom, a rotorski vodikom.

Predviđen je statički sustav uzbude s uzbuđnim transformatorom i tiristorskim slogom u mosnom spoju.

7.3. Kotao

Ekonomskim vrednovanjem varijanti kotla odabrana je kao preferentna toranjska izvedba kotla. Ta izvedba kotla ispunjava pored ekonomskih zahtjeva i tehničke kriterije koje su postavili operatori elektrana i instituti uključeni u izradu studije (slika 11).

Da bi se ostvario stupanj korisnog učinka kotla od 95 posto optimirano je ložište kotla i smanjena temperatura izlaznih dimnih plinova.

Toranjski kotao se ponajprije gradi s kvadratičnim presjekom ložišta. Ta izvedba kotla pruža veliku fleksibilnost pri odabiru broja gorača i mlinova.

Tri mlina sa po šest gorača predstavljaju u projektnoj fazi optimalan ložišni koncept.

Zbog visokih parametara pare membranski zidovi ložišta su izvedeni iz materijala 7 CrMoVTiB10. S tim materijalom dozvoljene su maksimalne temperature cijevnih stijena od 540 °C.

Nakon provedene usporedbe i odabira toranjske izvedbe kotla, u daljnjoj obradi projekta definirana je kao optimalna bruto snaga bloka od 600 MW.

Proizvodna jedinica radi s kliznim tlakom do 40 posto opterećenja. Pogon kotla ispod 40 posto moguć je s konstantnim tlakom, pri čemu se smanjuju brzine međija.

Kotlovsko postrojenje je dimenzionirano za količinu pare od 435 kg/s (1556 t/h).

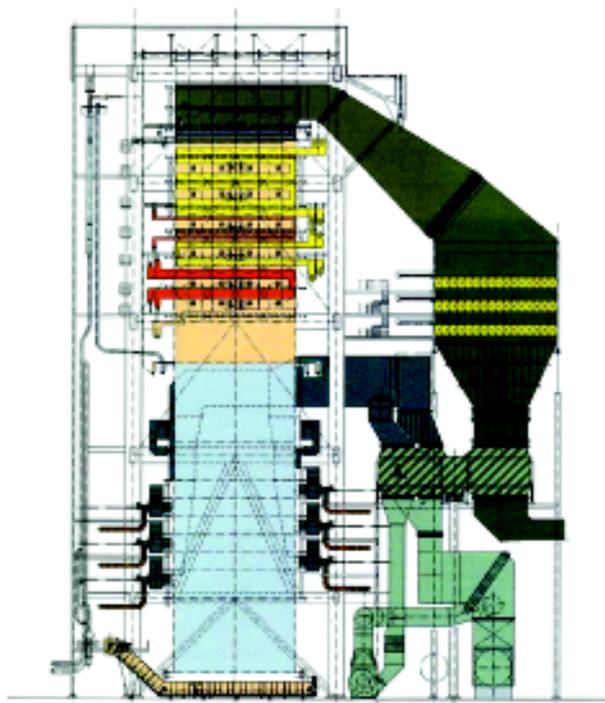
Izborom visokih parametara pare od 600 °C/620 °C/292.5 bar, u obzir dolaze materijali kao što su TP 347HFG, Super 304 H, HR3C, odnosno AC66.

Relativno nisko legirani čelici X3CrNiMoN17 13 (01.4910) koriste se samo za temperature do 560 °C.

Optimiranim dimenzioniranjem ložišnog sustava uključujući geometriju ložišnog prostora, smještaj goriionika, uređaje za opskrbu zrakom, ostvaren je udio nesaгорivih čestica u pepelu manji od 3 posto, što smanjuje gubitke u procesu izgaranja.

Sa 18 gorača smještenih u tri razine po 6 gorača ostvaruje se toplinska snaga ložišta od 1210.3 MW.

Regulacijsko područje loženja ugljenom je 1 : 4, tj. minimalna snaga loženja je 25 posto, pri korištenju specifičnog garantnog ugljena.



Slika 11. Toranjska izvedba kotla



Slika 12. Mlinovi s valjcima (MPS) i gorači s postupnim uvijanjem plamena (DS)

Ložišni uređaji se dimenzioniraju za 100% snagu parogeneratora, i sva tri mlina istodobno u pogonu.

Dimni plin se oslobađa dušičnih oksida u DENOX postrojenju. Nakon DENOX-a se veliki dio topline dimnih plinova predaje zagrijaču zraka (Luvo). Ohlađeni plin na 115 °C se vodi u elektrofiltre, u kojim se oslobađa od krutih čestica i tako očišćen odvodi u postrojenje za odsumporavanje.

U sve tri varijante primijenjeni su mlinovi s valjcima, gorači sa zakretnim plamenom i malom emisijom dušičnih oksida (slika 12).

8. KVALITETA UGLJENA

Pretpostavljena je sljedeća kvaliteta ugljena (tablica 2):

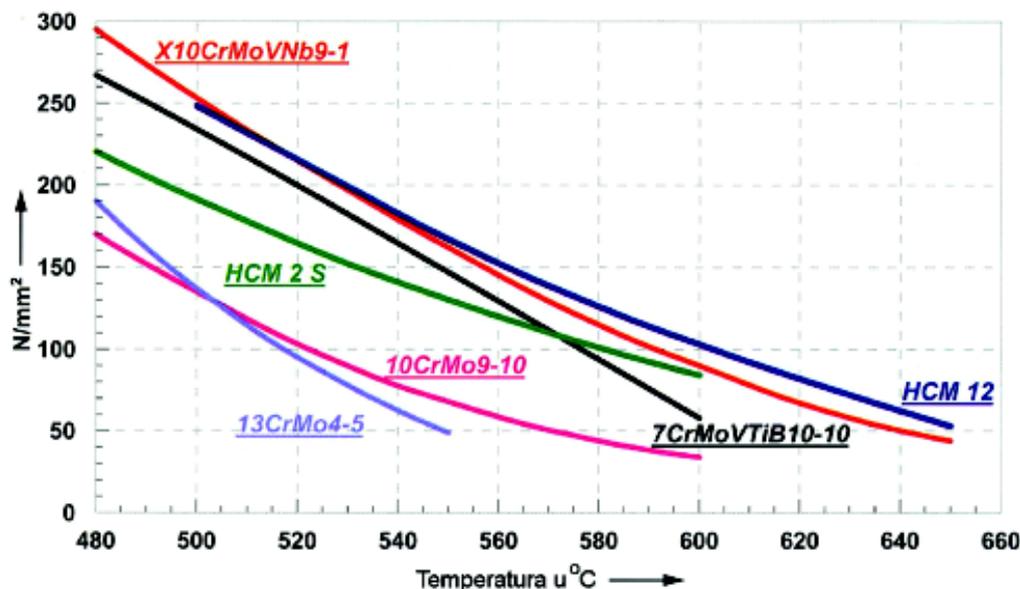
Tablica 2. Pretpostavljena kvaliteta ugljena

Parametri	Jedinice	Ugljen mjerodavan za određivanje glavnih značajki bloka. Garantirani ugljen	Raspon kvalitete ugljena relevantan za projektiranje o njemu ovisnih podsustava
Ogrjevna vrijednost Hu	MJ/kg	25.0	21.0 – 29.0
Vlaga	%	7.5	7.0 – 18.0
Pepeo	%	14	5.0 – 22.0
Hlapivi sastojci (waf)	%	30	23.0 – 47.0
Ugljik	%	1.5	< 2
Sumpor	%	0.6	< 1.5
Klor	%	< 0.01	< 0.3
Faktor nadimanja	–	0	0.0 do < 5.0
Meljivost	°H	50	40 – 80
Temperatura omekšavanja	°C	1270	> 1150
Temperatura polukugle	°C	1410	> 1300

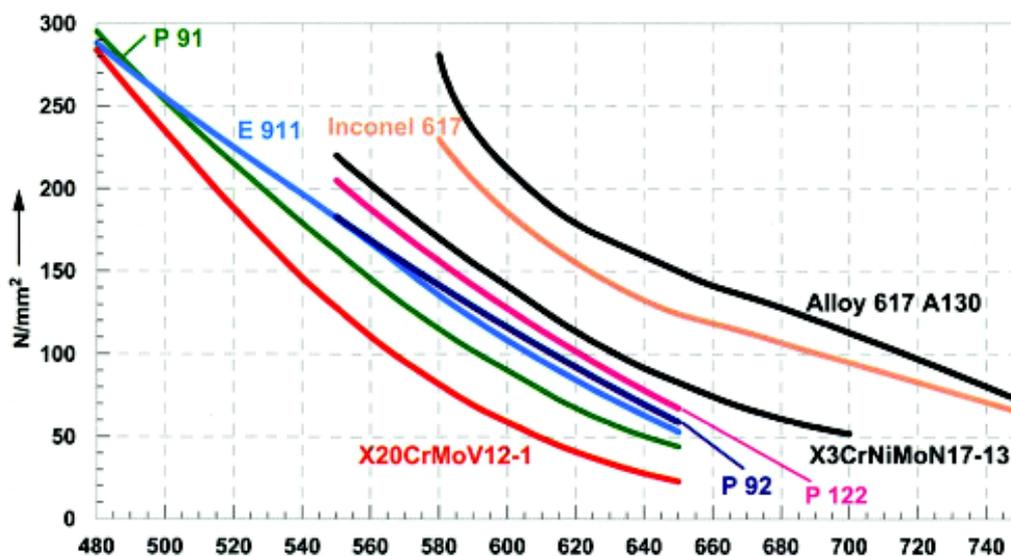
9. NOVI MATERIJALI

Na slici 13 predočeni su materijali za membranske zidove, a na slici 14 materijali za sabirnike i spojne cjevovode.

Pri određivanju granične temperature pare za pojedine grupe materijala uzima se u obzir vremenska otpornost materijala, visokotemperaturna korozija i stvaranje oksida na unutrašnjim stjenkama cijevi. Ljuštenje sloja oksida može izazvati značajna oštećenja unutrašnje površine stjenke cijevi pregrijača i ako je dimenzioniranje provedeno sukladno (ISO/DIN) normativima. Razloge često treba tražiti u stvarnim pogonskim temperaturama, često višim od proračunskih, koje uzrokuju ubrzano stvaranje oksida. Ono se prema najnovijim spoznajama može usporiti brzom difuzijom kroma (Cr)



Slika 13. Materijali za membranske zidove – srednje vrijednosti vremenske izdržljivosti materijala 100 000 sati



Slika 14. Materijali za sabirnike i cjevovode – srednje vrijednosti vremenske izdržljivosti materijala 100 000 sati

iz strukture osnovnog materijala (VGB Power Tech 7/ 2004, str. 94).

Za preferentnu varijantu izabrani su sljedeći najnoviji materijali:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| – isparivač-pregrijač | 7 CrMoVTiB1010 |
| – pregrijač 1 | HCM 12 |
| – pregrijač 2 | super 304H ili TP 347 HFG |
| – pregrijač 3 | HR3C ili AC66 |
| – visokotlačni izlazni sabirnik | P92 |
| – međupregrijač 1 – izlaz | 7CrMoVTiB1010, HCM 12 |
| – međupregrijač 2 | HR3C ili AC66 |
| – međupregrijač – izlazni sabirnik | P92 |

10. POGONSKI KONCEPT ELEKTRANE

Zadani su sljedeći bitni okvirni uvjeti pogona proizvodne jedinice:

- životni vijek: 200 000 sati
- pogon u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja za prvih 15 godina sa 7 500 sati pogona nazivnom snagom godišnje, zatim pogon u srednjem dijelu dijagrama opterećenja s 5 500 sati pogona godišnje nazivnom snagom
- pogon s kliznim tlakom
- minimalno opterećenje 40 posto
- klizna temperatura međupregrijanja
- podrška frekvenciji prema Grid Code 2 000.

Na osnovi krivulja ulaska kotla i turbine u pogon i pretpostavljenog režima pogona referentne elektrane s 2 860 startova u životnom vijeku dobiju se sljedeća vremena ulaska u pogon:

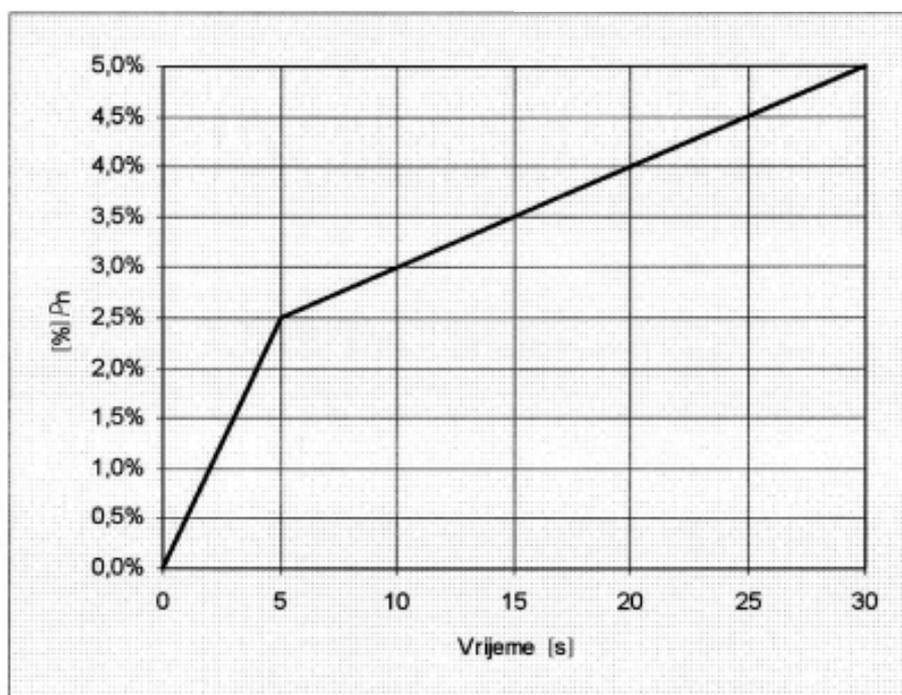
Vrsta starta	Vremena ulaska u pogon ¹	Broj startova
Hladni start nakon < 72 sata stajanja	400 min	120
Topli start nakon < 48 sata stajanja	280 min	430
Vrući start nakon < 8 sati stajanja	115 min	2 080
Ponovni start nakon < 2 sata stajanja		230

¹ Vremena ulaska u pogon vrijede od potpale goraa do 100% opterećenja

Pripreme mjere za startanje jedinice nisu uključene u vremena ulaska jedinice u pogon.

11. ZAHTJEVI NJEMAČKOG GRID CODE 2000 NA POGON REFERENTNE ELEKTRANE

Za referentnu elektranu, koja je koncipirana kao kondenzacijska za pogon u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, predviđen je regulacijski koncept, koji omogućuje pogon jedinice, koji može podržavati frekvenciju prema njemačkom Grid Code 2000 (slika 15).



Slika 15. Preporuka UCTE, VDN-a i NORDEL-a za osposobljenost elektrane na kameni ugljen za povećanje električne snage u prvih 30 sekundi nakon poremećaja frekvencije

12. SMJEŠTAJ OBJEKATA

Smještaj pojedinih objekata je bio uvjetovan zahtjevom da se dizajnira kompaktna i ekonomična elektrana na bazi dosadašnjih iskustava na izvedenim novijim elektranama na kameni ugljen. Izabranim rasporedom rashladnog sustava turbine i smještajem kotla, ostvareni su kratki cjevovodi. Povoljno je riješen i odvod električne energije u mrežu preko rasklopnog postrojenja. Postavljanjem rashladnog tornja bočno od elektrofiltra, omogućeno je ekonomično odvođenje otpadnih dimnih plinova preko rashladnog tornja. Ostvarena je i optimalna dužina cjevovoda glavnog rashladnog sustava. U studiji je prezentiran detaljan smještaj objekata i prometnica.

13. TERMINSKI PLAN

Izgradnja elektrane i njeno puštanje u probni pogon moglo bi se ostvariti u roku od 36 mjeseci. Nakon završetka izgradnje i puštanja u pogon planirana su dva mjeseca za primopredajna ispitivanja i probni pogon. Pregledni terminski plan je izrađen na temelju sljedećih pretpostavljenih okvirnih uvjeta:

Tip ugovora:	“ključ u ruke”
Početak izvedbe:	1. 1. 2005.
Potrebno vrijeme za izgradnju i probni pogon:	36 mjeseci + 2 mjeseca za probni pogon i ispitivanja
Početak komercijalnog pogona:	1. 3. 2008.

14. PROCJENA INVESTICIJSKIH ULAGANJA I TROŠKOVA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Pri proračunu troškova proizvodnje referentne elektrane pošlo se od troškova građenja nove elektrane. Za referentnu elektranu instalirane bruto snage 600 MW, procijenjeni su investicijski troškovi na oko 480 milijuna eura, a jedinična cijena iznosi 798 euro/kW. U toj broji nisu sadržani troškovi prethodnih i pripremnih radova, procijenjenih na 5 posto troškova opreme i montaže, te nepredviđeni troškovi, procijenjeni na 3 posto troškova opreme i montaže. Ukupna investicijska ulaganja od 517 milijuna eura su osnova za proračune cijene proizvodnje električne energije.

14.1. Osnovni podaci o investicijskim ulaganjima

Tablica 3. Osnovni podaci o investicijskim ulaganjima

Oznaka	Jedinica	Iznos
Jedinična cijena	euro/kW (bruto)	798
Instalirana bruto snaga	MW	600
Ukupno	milijuna eura	478.8
Trajanje pogona jedinice	godina	35
Troškovi investitora	milijuna eura	23.9
Nepredvidivi paušalni troškovi	milijuna eura	14.4
Ukupna investicija	milijuna eura	517.1
Specifične investicije	euro/kW	861.8

14.2. Osnovni podaci za određivanje pogonskih troškova referentne elektrane

Tablica 4. Osnovni podaci za određivanje pogonskih troškova referentne elektrane

Parametri/cijene/troškovi	Jedinica	Iznos
Instalirana bruto snaga	MW	600
Električna vlastita potrošnja	% bruto snage	7.4
Električna vlastita potrošnja	MW	44.4
Održavanje	%/godišnje	1.5
Osoblje	Broj zaposlenika	70
Troškovi osoblja po zaposleniku	euro/godišnje	70 000
Cijena goriva	euro/toni	41.00
Cijena goriva	euro/t SKE	48.00
Pomoćni i pogonski materijali	euro/MWh	1.00

14.3. Cijene ugljena i prirodnog plina

U studiji je pretpostavljeno da se cijena kamenog ugljena može održati nepromijenjena u tijeku cijelog životnog vijeka elektrane, na razini od 48 euro/t SKE (SKE – ekvivalentna jedinica kamenog ugljena), 1 tona SKE = 29 304 MJ. Budući da će se u referentnoj elektrani koristiti ugljen s prosječnom ogrjevnom vrijednosti od 25 000 kJ/kg, izvedena cijena ugljena za navedenu prosječnu ogrjevnju vrijednost je 41 euro/t ili 1.64 euro/GJ. Pretpostavljena je cijena prirodnog plina od 1.2 centa/kWh ili 3.33 euro /GJ (s uključenim porezima). Proračuni su izvedeni pod pretpostavkom godišnjeg rasta cijene prirodnog plina od 1.0 posto.

14.4. Potreban broj djelatnika

Za pogon elektrane planirano je 70 djelatnika. U tijeku pogonskog vijeka elektrane može se računati da je za obavljanje svih aktivnosti u elektrani potrebno oko 200 djelatnika.

15. REZULTATI PRORAČUNA TROŠKOVA PROIZVODNJE

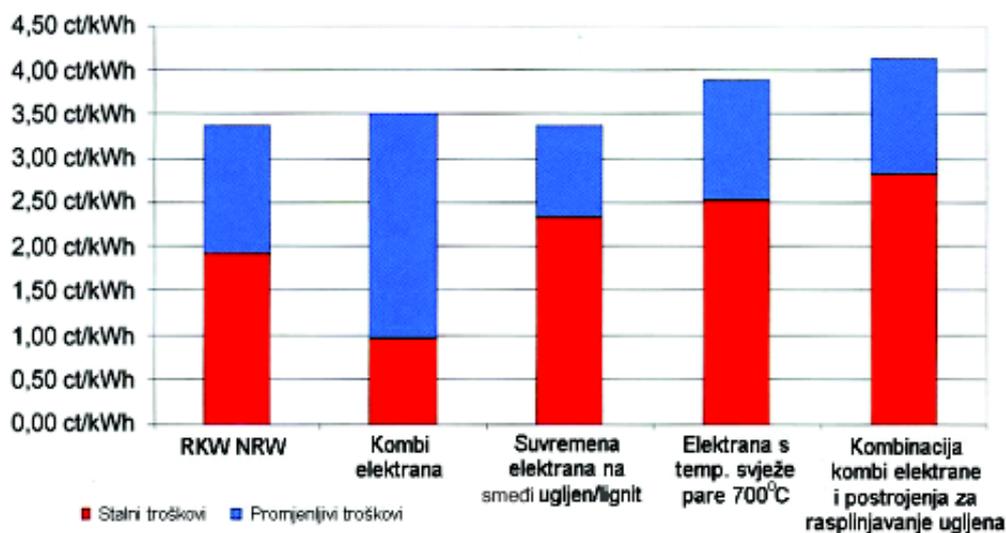
Na slici 16 predočeni su troškovi proizvodnje električne energije referentne elektrane i proizvodnih alternativa. Oni za referentnu elektranu, koja nakon prvih 17 godina pogona u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, prelazi u srednji dio dijagrama opterećenja, iznose između 3.3 i 3.5 euro/kWh. Njeni troškovi proizvodnje su niži od ostalih proizvodnih alternativa osim elektrane na smeđi ugljen (klasifikacija UN – ECE), za koju je pretpostavljen bazni pogon u cijelom životnom vijeku, što je rezultiralo nižim proizvodnim troškovima za 0.1 euro ct/kWh.

16. OSJETLJIVOST TROŠKOVA PROIZVODNJE NA PROMJENE ULAZNIH PARAMETARA

Zbog neizvjesnosti u pogledu kretanja cijena goriva, kao i CO₂ opterećenja elektrana na fosilna goriva, ekonomičnost relevantnih proizvodnih alternativa je razmotrena pri varijacijama ulaznih parametara (slike 17, 18, 19).

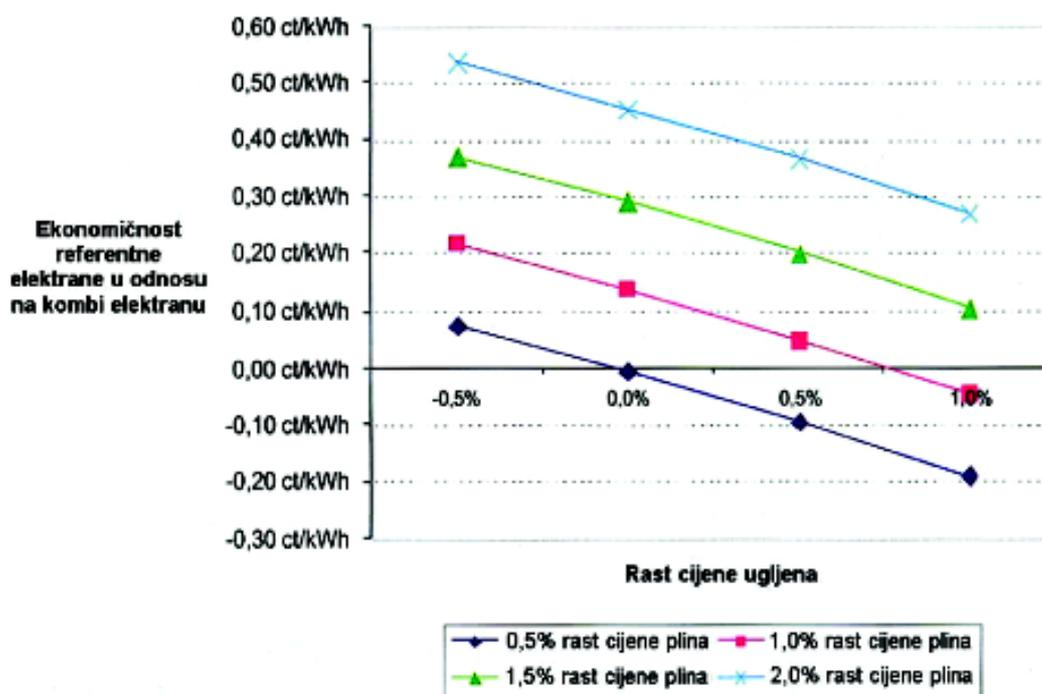
Provedene su sljedeće varijacije parametara:

CO₂ opterećenje (stvarno): 0 euro/t, 5 euro/t, 10 euro/t
 Povećanje cijene plina: 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% godišnje
 Povećanje cijena ugljena: -0.5%, 0%, 0.5%, 1.0% godišnje

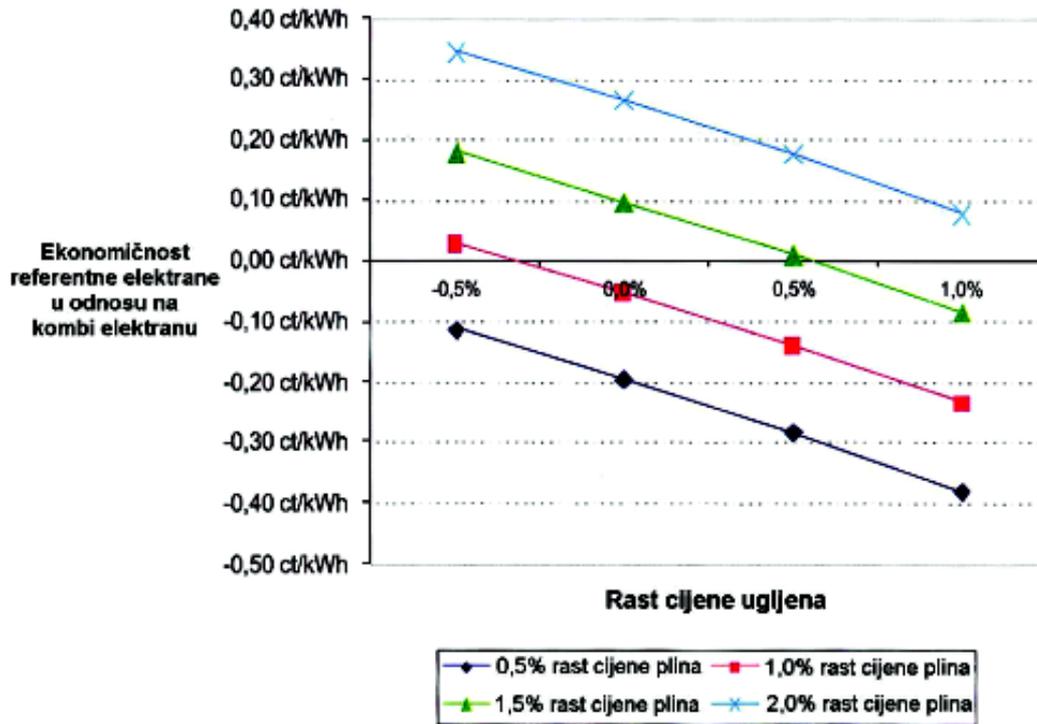


Bez CO₂ opterećenja i uz cijenu prirodnog plina od 1.2 euro ct/kWh (s porezima), te s realnim godišnjim povećanjem cijene plina za 1.0%, cijena kamenog ugljena 48 eura/t SKE ostaje nepromijenjena u životnom vijeku elektrane, cijena smeđeg ugljena je 31 eura/t SKE, nepromijenjena u životnom vijeku elektrane

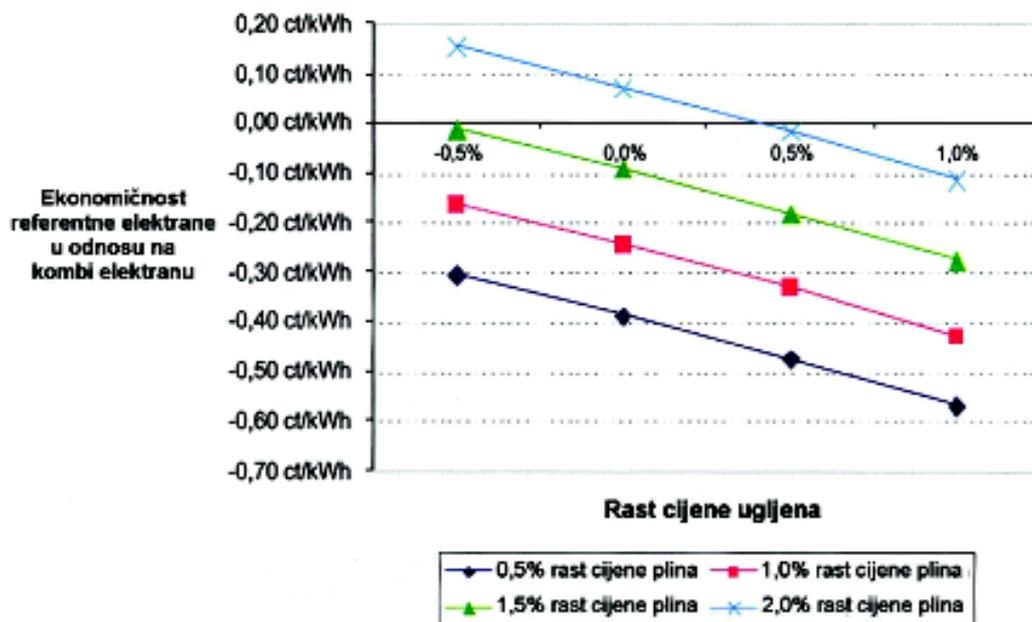
Slika 16. Troškovi proizvodnje – referentni slučaj



Slika 17. Usporedba ekonomičnosti referentne i kombi elektrane bez CO₂ opterećenja za obje proizvodne alternative



Slika 18. Usporedba ekonomičnosti referentne i kombi elektrane pri CO₂ opterećenju od 5 euro/t za obje proizvodne alternative



Slika 19. Usporedba ekonomičnosti referentne i kombi elektrane pri CO₂ opterećenju od 10 euro/t za obje proizvodne alternative

Nulta crta ordinate predstavlja kritičnu vrijednost promjene relativne ekonomičnosti proizvodnih alternativa, tj. pozitivne vrijednosti znače prednost referentne elektrane, a negativne vrijednosti, prednost kombi elektrane. Da bi se odredila ukupna prednost ili nedostatak pojedinog scenarija u milijunima eura, treba nanesene vrijednosti u dijagramu pomnožiti s faktorom 400. Tako se dobije za CO₂ opterećenje od 5 euro/t, pri porastu cijena plina za 1.0% i nepromijenjenoj cijeni ugljena, vrijednost od -0.05 euro ct/kWh, tj. troškovi proizvodnje kombi postrojenja su niži za 0.05 euro ct/kWh. Ako se u danom slučaju operator elektrane odluči za izgradnju referentne elektrane na kameni ugljen, on gubi 20 milijuna eura u životnom vijeku elektrane.

Kao što se može lako uočiti, već CO₂ opterećenje od 5 euro/t daje prednost kombi elektrani u odnosu na referentnu elektranu, uz pretpostavku rasta cijene plina od 1.0%/godišnje i pri smanjenju cijena ugljena za 0.5% godišnje. Tek pri godišnjem povećanju cijene prirodnog plina većem od 1.5%, situacija se popravlja u korist ugljena. Pri CO₂ opterećenju od 10 euro/t prednost je na strani kombi elektrane zbog manjeg sadržaja ugljika u prirodnom plinu i većeg stupnja korisnog učinka kombi elektrane.

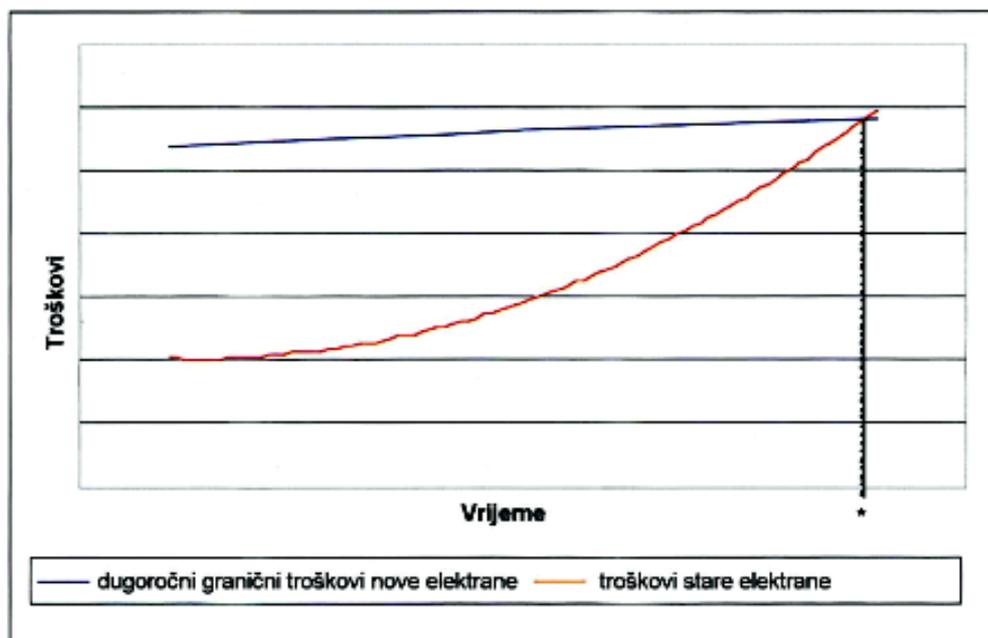
To znači da se potencijalni investitori ne bi smjeli odlučivati za izgradnju elektrane na kameni ugljen, ako u tijeku pogona elektrane moraju računati s CO₂ opterećenjem, osim u slučaju da ona iznose manje od 5 euro/t CO₂. Veoma je nesigurno buduće kretanje CO₂ opterećenja fosilno loženih elektrana u uvjetima aktiviranja EU sustava trgovine emisijom. Ne može se isključiti mogućnost da srednjoročno CO₂ opterećenje premaši vrijednost od 10 euro/t.

U studiji je navedeno, da za pretpostavljeno investicijsko ulaganje u referentnu elektranu, pri CO₂ opterećenju od 5 euro/t treba ili smanjiti investicijsko ulaganje s 798 euro/kW bruto instalirane snage, na 774 euro/kW, ili povećati stupanj korisnog učinka referentne elektrane, da bi bila bolja relativna ekonomičnost referentne elektrane u odnosu na kombi elektranu. Ako se ne mijenjaju investicije i stupanj korisnog učinka, trebala bi pri realno nepromijenjenoj cijeni ugljena, godišnje porasti cijena prirodnog plina najmanje 1.2 posto, da bi referentna elektranu ostala u prednosti pri CO₂ opterećenju od 5 euro/t. Prema provedenim proračunima, CO₂ opterećenje od 3.8 euro/t je gornja granica ekonomičnosti referentne elektrane u odnosu na kombi elektranu.

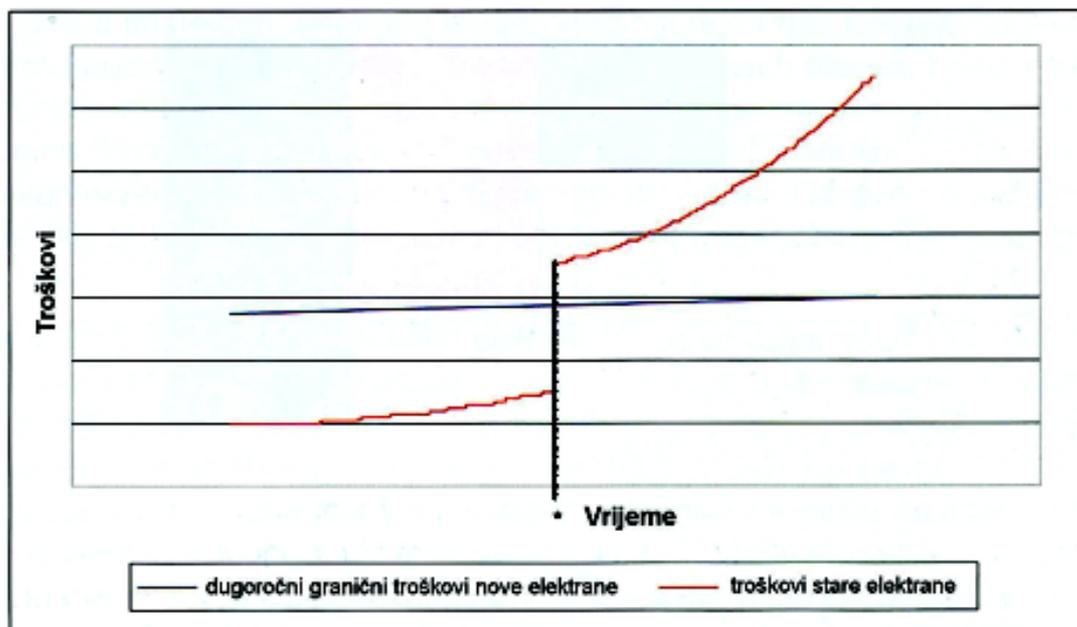
17. ODREĐIVANJE APSOLUTNE EKONOMIČNOSTI

Trenutačna prosječna razina cijena na tržištu električne energije ne osigurava prihod koji bi pokrio dugoročne granične troškove nove referentne elektrane. Nije moguće predvidjeti ekonomski opravdan trenutak ulaska nove elektrane u pogon.

Ekonomski je racionalno izgraditi novo proizvodno postrojenje tek tada kad je nova elektranu ekonomičnija od postojećih elektrana. Ukupni troškovi novog postrojenja se uspoređuju s troškovima postojećih elektrana, koji se praktički svode na troškove goriva i održavanja. Samo neproporcionalan porast troškova starih elektrana zbog ulaganja u povećanje njihovog stupnja korisnog učinka ili povećanih troškova za popravke, treba usporediti s graničnim troškovima nove elektrane. Optimalni trenutak za izgradnju nove elektrane je kad troškovi stare elektrane premaše granične troškove nove (slika 20).



Slika 20. Rastući tijekom troškova stare elektrane



Slika 21. Skok troškova stare elektrane

Kao što razni proračuni pokazuju za kratko- i srednjoročno razdoblje, prednost novih elektrana može se ostvariti samo u slučaju većih dodatnih investicija u postojeće proizvodne objekte, koje bi uvjetovale nagli skok njihovih troškova (slika 21).

Na trenutak ulaska nove elektrane u pogon utječu sljedeći faktori:

- razvoj potrošnje električne energije i krivulje opterećenja
- buduće kretanje uvoza i izvoza električne energije
- obustavljanje starih proizvodnih kapaciteta i strateški razvoj ponude iz posebnih izgradnja (obnovljivi izvori, industrijska i ostala decentralizirana proizvodna postrojenja)
- nacionalno ustrojstvo i razvoj europske trgovine emisijama (broj besplatnih certifikata i cijena certifikata).

Kao prvi indikator budućeg razvoja cijena električne energije mogle bi biti Forward cijene na burzi električne energije. Tek od listopada 2003, situacija s cijenom električne energije se mijenja. Očito je, da rastu izgledi, da se krajem desetljeća ostvari razina cijena električne energije, koja će pokrivati granične troškove novih elektrana.

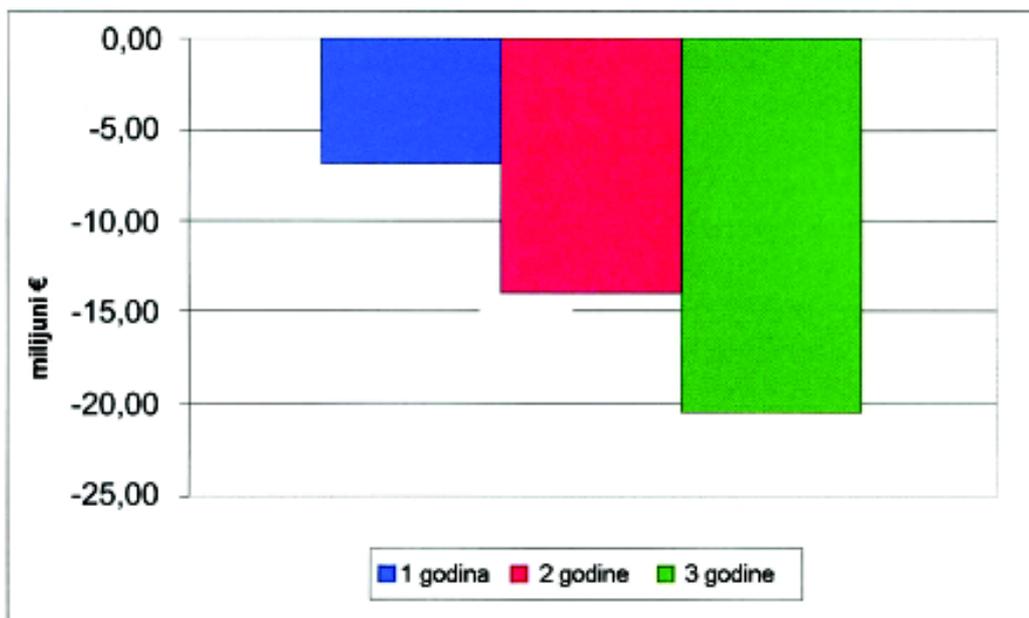
Za referentni slučaj su provedena tri proračuna ekonomičnosti, u okviru kojih je pretpostavljeno, da će ciljane razine prosječne cijene električne energije na tržištu linearno rasti od 30 euro/MWh, tako da će dostići granične troškove referentne elektrane u 2009, 2010 ili 2011. godini. Ako se pretpostavi da će realna cijena električne energije godišnje rasti po stopi od samo 1.5%, trebalo bi za dostizanje potrebne razine cijena čekati do 2016. godine.

Na slici 22 predočeni su gubici, koje bi referentna elektrana ostvarivala za slučaj prijevremenog donošenja odluke o izgradnji. Izgradnjom elektrane tri godine prije dostignute razine cijena kojom se pokrivaju granični troškovi referentne elektrane donijeli bi investitoru gubitke preko 20 milijuna eura.

18. BITNI REZULTATI KOMPARATIVNE ANALIZE

Referentna elektrana predstavlja izglednu, već danas ostvarivu alternativu, koja je pri optimalnom stupnju korisnog učinka od 46 posto (na lokaciji s rashladnim tornjem), za 20 posto većim od prosječnog stupnja elektrana na kameni ugljen u Njemačkoj, ekonomski atraktivno i klimatski prihvatljivo rješenje. Stvarne alternative u području fosilno loženih velikih elektrana predstavljaju samo napredni koncepti na bazi smeđeg ugljena (FBA), s jedne strane, i plinska elektrana bazirana na kombi procesu, s druge strane. U ekonomskoj usporedbi između tih alternativa, jedino je u prednosti elektrana na smeđi ugljen (FBA), zbog niskih i stabilnih cijena smeđeg ugljena. Referentna elektrana je pri pogonu u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja troškovno povoljnija od kombi elektrane, unatoč većem stupnju korisnog učinka i nižim investicijskim ulaganjima u kombi elektrane.

Treba istaknuti da se je u ekonomskim proračunima pošlo od cijene kamenog ugljena od 48 euro/t SKE (ekvivalentnog ugljena), koji će zbog svoje široko rasprostranjene resursne osnove u svijetu, nepostojanja barijera za pristup tržištu i konkurentski strukturiranom tržištu, imati u tijeku pogonskog vijeka elektrane, rela-



Slika 22. Gubici zbog prijevremene izgradnje elektrane

tivno zanemariv porast cijena. Samo ako bi protivno očekivanju cijena kamenog ugljena godišnje rasla za 1.0 posto, a cijena plina 0.5 posto, tada bi prednost bila na strani kombi elektrane.

Taj pozitivan rezultat, brzo se preokrene, ako se fosilno ložene elektrane, u tijeku pogona, opterete s troškovima CO₂ emisije. Već pri CO₂ opterećenju od 5 euro/t CO₂, referentna elektrane na kameni i smeđi ugljen se pokazuju ekonomski inferiornim prema kombi elektrani. Ako bi se CO₂ opterećenje povećalo na 10 euro/t CO₂, godišnji rast cijena plina bi trebao biti 1.8 %, da bi referentna elektrana bila ekonomski superiornija.

To znači da bi referentna elektrana mogla ostati ekonomski atraktivna i pri CO₂ opterećenju, samo pri značajnijem rastu cijena plina.

Suvremene referentne elektrane s visokim stupnjem korisnog učinka, kojim se štede fosilni resursi i štiti klima, realistički gledano, moći će se graditi samo ako to omoguće političke odluke, s ciljem da ugljen doprinese uravnoteženom miksu proizvodnje električne energije, a time i sigurnosti opskrbe.

Ako bi izgradnja takve elektrane bila politički podržana kao poželjna i pri tome bila rezultat čisto poduzetničke odluke o izgradnji, ona bi mogla ići na mrežu već 2008 godine ili nekoliko godina kasnije. S današnjeg gledišta, nije sigurno da bi se u navedenim rokovima ostvarila željena razina prihoda na veletržištu električne energije, koja bi opravdala jednu takvu investicijsku odluku. Već bi vremenska neusklađenost između stvarnog i optimalnog trenutka ulaska 600 MW elektrane u pogon od tri godine, mogla uzrokovati gubitke u dvoznamenkastim milijunima eura.

19. ZAKLJUČNO RAZMATRANJE

Potreba obnavljanja proizvodnog parka, uvjetovanog starošću postojećih elektrana, u razdoblju od 2010. do 2020. godine, (Njemačka 40 000 MW), Europa (300 000 MW) nalaže, pri rastućim zahtjevima na zaštitu klime, povećanju sigurnosti opskrbe, pravodobnu raspoloživost novih, još učinkovitijih i fleksibilnih elektrana na ugljen. U kojoj mjeri će one moći zamijeniti postojeće elektrane, ovisi o tome kako će izgledati odredbe o zaštiti klime. Ako se uspije riješiti ekonomski i ekološki prihvatljivo zbrinjavanje CO₂, mogao bi se bitno povećati prostor za izgradnju elektrana na ugljen.

Na osnovi postojećih visokih zahtjeva za zaštitu klime, referentna elektrana može biti prvi korak u trajnom razvoju elektrana na bazi ugljena. Paralelno se treba usmjeriti i na razvoj naprednih elektrana na ugljen druge, odnosno treće generacije.

Sigurnost opskrbe, stavljanje na raspolaganje jeftine električne energije, čuvanje okoliša i štednja raspoloživih fosilnih resursa su središnji zahtjevi koji se postavljaju pred poduzeća koja se bave proizvodnjom električne energije. Cilj konceptijske studije je bio istražiti ostvarivost suvremene elektrane s bitno smanjenim emisijama, uvažavajući postojeće i buduće uvjete na liberaliziranom tržištu električne energije.

Na početku studije predočena je faza prikupljanja i vrednovanja inovacijskih ideja u područjima planiranja i projektiranja postrojenja, procesne tehnike, kotla, strojarske tehnike, elektrotehnike, vođenja, i generatora. Odluku o primjeni pojedine inovacije u fazi koncipiranja referentne elektrane donosili su zajednički

operatori elektrana i proizvođači energetske opreme. Za optimiranje koncepta elektrane utvrđeni su, na bazi postojećih okvirnih tržišnih uvjeta, vrijednosni faktori za povećanje stupnja korisnog učinka, smanjenje vlastite potrošnje i povećanje raspoloživosti elektrane. Pomoću tih vrijednosnih faktora temeljenih i na iskustvi-

ma operatora i proizvođača opreme izvršeno je optimiranje cijelog postrojenja.

Tehničko-ekonomski optimirani koncept elektrane nazvan u studiji kao “preferentna varijanta” karakteriziran je sljedećim podacima:

Tablica 5. Osnovni tehnički podaci preferentne varijante referentne elektrane

– Bruto snaga:	600.0 MW
– Neto snaga:	555.5 MW
– Neto stupanj korisnog učinka:	45.9%
– Parametri svježe pare:	285 bar/600 °C/620 °C
– Temperatura napojne vode:	303.4 °C:
– Tlak u kondenzatoru:	45 mbar, povratno hlađenje preko rashladnog tornja
– Ukupna ulaganja bez troškova investitora:	478.5 milijuna eura
– Specifična ulaganja:	798 euro/kWbruto
– Tip kotla:	Benson - toranjski s okomitim cijevnim sustavom
– Korištenje otpadne topline:	Korištenje suviška topline zraka mlina za sušenje, ovisno o kakvoći ugljena
– Pročišćavanje dimnih plinova:	SCR-DENOX, E-filtar, mokro odsumporavanje s vapnencem
– Odvođenje dimnih plinova:	preko rashladnog tornja
– Parna turbina:	trokucišna, s jednim međupregrijanjem
– Generator:	hlađen vodom i vodikom
– Broj zagrijača napojne vode:	8 + vanjski regulirani zagrijač
– Koncept napojnih crpki:	električne 3x50%, regulacijska spojka s planetnim prigonom

Optimalni koncept elektrane za trenutačne tržišne uvjete ima stupanj korisnog učinka od 45.9 posto. Cijena elektrane, manja od 800 euro/kW bruto instalirane snage, na razini je pri kojoj referentna elektrana može konkurirati drugim opcijama proizvodnje električne energije. Odlučujuće za visok stupanj korisnog učinka su parametri procesa, kao što su visoki tlak i temperatura od (285 bar/600 °C/620 °C).

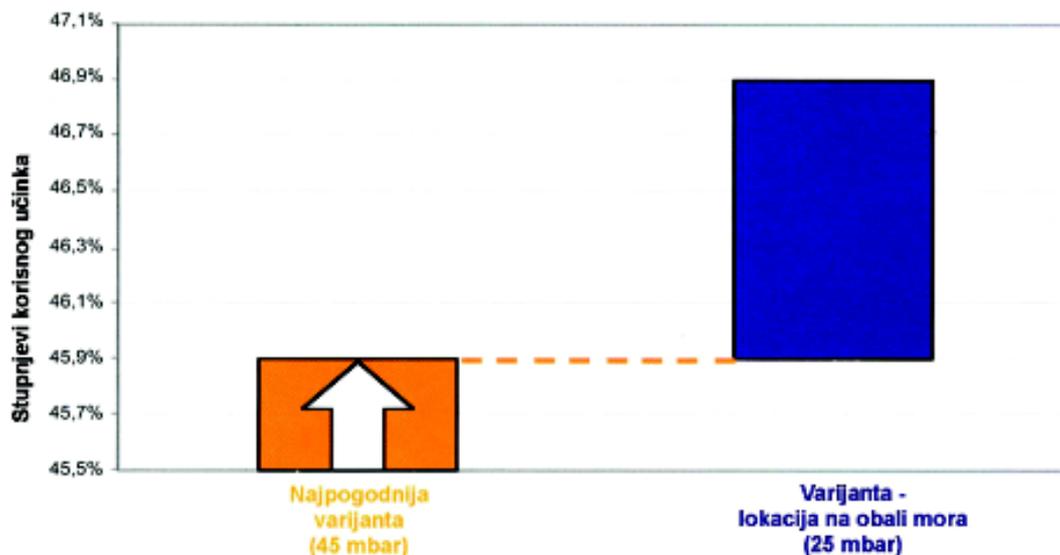
Budući da danas nije moguće u njemačkoj zemlji-državi Nordrhein-Westfalen, koja je naručila izradu ove studije, locirati elektranu s hlađenjem riječnom ili morskom vodom, za referentnu elektranu je predviđeno povratno hlađenje preko rashladnog tornja. Rashladni toranj istodobno služi i za odvođenje dimnih plinova u atmosferu, prethodno oslobođenih od krutih čestica, sumpornih i dušičnih oksida u skladu s najnovijim usvojenim zahtjevima o zaštiti okoliša EU.

Riječnim hlađenjem mogao bi se stupanj korisnog učinka povećati za 1 postotni poen, na oko 47 posto (slika 23).

Referentnom elektranom sa stupnjem korisnog učinka od 46 posto, mogla bi se prognozirana CO₂ emisija iz elektrane na ugljen smanjiti s 9.1 milijarde tona (prosječni stupanj korisnog učinka od 34 posto) na 6.8 milijardi tona CO₂. Na taj način ne bi se povećala CO₂ emisija iz elektrane na kameni ugljen, u razdoblju od 2000. do 2020, za očekivanih 63 posto, već za 21 posto.

Provedena istraživanja pokazuju da je referentna elektrana na bazi kamenog ugljena u prednosti u odnosu na druge proizvodne opcije, ako ne dođe do značajnijeg opterećenja elektrane na fosilna goriva zbog CO₂ emisije.

Usporediva ekonomska rješenja u području velikih elektrane na fosilna goriva su elektrane na smeđi ugljen i kombi elektrane na prirodni plin. U ekonomskoj usporedbi proizvodnih alternativa jedino je elektrana na smeđi ugljen povoljnija od referentne elektrane zahvaljujući niskim i stabilnim cijenama smeđeg ugljena u tijeku cijelog životnog vijeka elektrane. Elektrane na smeđi ugljen su interesantne samo poduzećima kojima



Slika 23. Skok stupnja korisnog učinka – lokacija na obali mora

S određenim tehničkim mjerama mogao bi se stupanj korisnog učinka povećati na preko 48 posto, što zahtijeva druge uvjete, koji se trenutačno ne mogu ostvariti na tržištu električne energije. Učinak drugog međupregrijanja nije istraživao, jer se povećane investicije ne mogu ekonomski opravdati povećanim stupnjem korisnog učinka od 0.5 posto.

Sa stupnjem korisnog učinka od 45.9 posto referentna elektrana značajno premašuje trenutačni prosječni stupanj korisnog učinka elektrane na kameni ugljen u Njemačkoj i svijetu.

Ako bi se proizvodnja električne energije na bazi kamenog ugljena u svijetu u 2020. godini zamijenila re-

ferentno korištenje smeđeg ugljena ili lignita. Kada referentna elektrana, kao rezultat čisto poduzetničke odluke, može ići na mrežu, u najvećoj mjeri ovisi o očekivanim prihodima te elektrane na veletržištu električne energije, koji trenutačno nisu dovoljni da bi opravdali i pokrivali investicijska ulaganja.

U cjelini, na osnovi pretpostavljenih uvjeta, dobije se razina troškova proizvodnje električne energije za novoizgrađenu elektranu za pogon u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja, koja nakon 17 godina pokriva srednji dio dijagrama opterećenja, reda veličine između 3.3 i 3.5 ct/kWh. Referentna elektrana je pri predviđenom načinu rada troškovno povoljnija od su-

vremene kombi elektrane na bazi prirodnog plina, unatoč znatno većem stupnju korisnog učinka i bitno nižim investicijskim troškovima kod kombi elektrana. Pri tome se pošlo od cijene kamenog ugljena od 41 euro/t (ogrjevna vrijednost garantnog ugljena od 25 MJ/t), nabavna cijena po toni ekvivalentnog ugljena je 48 eura. Zbog rasprostranjenosti ugljena diljem svijeta, bez pristupnih tržišnih barijera i snažne tržišne konkurencije, pretpostavljeno je, da će cijena ugljena neznatno rasti u tijeku životnog vijeka elektrane. Ako bi mimo očekivanja cijena kamenog ugljena realno rasla više od 1 posto/godišnje (cijena plina istodobno ne više od 0.5 posto godišnje, kombi elektrana bi bila povoljnija od referentne elektrane.

Te ekonomske prednosti postoje samo ako se zanemari moguće opterećenje elektrana na ugljen zbog provedbe mjera za smanjenje CO₂ emisije. Već pri realnom CO₂ opterećenju od 5 eura po ukupno emitiranoj toni CO₂, referentna elektrana gubi ekonomsku prednost u odnosu na kombi elektranu. Najsuvremenije elektrane na ugljen s visokim stupnjem korisnog učinka usmjerenog na štednju resursa i zaštitu klime, mogu se samo tada graditi kada se stvore prikladni politički okviri uvjeti. Zbog CO₂ opterećenja bi bilo otežano investiranje u daljnji razvoj te tehnologije i istodobno potaklo dodatnu izgradnju kombi elektrana s posljedicama trajnog smanjenja sigurnosti opskrbe i rastućom ovisnosti o cijenama plina.

LITERATURA

- [1] "Konzeptstudie Referenzkraftwerk Nordrhein-Westfalen (RKW NRW)" – VGB Power Tech e.V. Stand: Februar 2004
- [2] H.-J. MEIER, VGB Power Tech, M. ALF, Siemens AG, M. FISCHEDICK, Wuppertal Institute for Climate Environment Energy, B. HILLEBRAND, Reinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, H. LICHTER, Mark – E AG, J. MEIER, Babcock Hitachi Europe, M. NEUBRONNER, E.ON Kraftwerke, D. SCHMITT, University Duisburg, W. VICTOR, STEAG AG, M. WAGNER, RWE Power AG: "Reference Power Plant North Rhine – Westphalia (RPP NRW)" – VGB Power Tech 5/2004
- [3] K. JOPP: "Referenzkraftwerk NRW: Höchste Effizienz bei Steinkohleverbrennung angestrebt – ew" Jg. 103 (2004), Heft 11

CONCEPT STUDY ON REFERENT POWER PLANT RKW NRW

In the paper a concept study of referent thermal power plant of gross 600 MW and net efficiency degree of 46 is presented in short. Technically and economically optimised power plant for the conditions of the German Nordrhein-Westfalen region is given. The referent power plant is based on the development of electric energy consumption and energy resource prices.

ABHANDLUNG ÜBER EINEM RKW-NRW REFERENZKRAFTWERK

Im Artikel ist die Abhandlung über einem RKW-NRW Referenzkraftwerk mit 600 MW Bruttoleistung und 46 % Wirkungsgrad in kurzer Fassung vorgeführt. Dargestellt ist ein -für die Umstände im deutschen Bundesland Rheinland Westfalen- technologisch und wirtschaftlich optimiertes Kraftwerk. Dieses Referenzkraftwerk wurde auf Grund der Entwicklung des Stromverbrauchs und der Energieträgerpreise verfasst.

Naslov pisca:

**Vladimir Dokmanović, dipl. ing.
Nalješkovićeva 15
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2004 – 09 – 20.