



Novi plinski kombi-kogeneracijski blok u KKE EL-TO Zagreb

Mladen Beljo
dipl. ing.

mr. sc.
Vedran Jurić
dipl. ing.
mr. spec.

Bruno Antolović
dipl. ing.



▲ Vizualizacija
novog bloka CCGT
u EL-TO Zagreb

NAJVEĆA INVESTICIJA U HRVATSKOJ ENERGETICI U POSLJEDNJIH DESETAK GODINA

Nakon brojnih zahvata, dogradnji i rekonstrukcija tijekom svoje povijesti sada već duge 112 godina, Pogon Elektrana-toplana Zagreb nastavlja s ulaganjima i osuvremenjavanjem, u skladu s najnovijim tehničkim i tehnološkim rješenjima i s ciljem čiste, ekološki i ekonomski prihvatljive proizvodnje električne i toplinske energije, poštujući pri tome zahtjeve urbanog okruženja u kojem se nalazi. To će postati stvarnost kada se izgradi novi plinski kombi-kogeneracijski blok (CCGT CHP) u KKE EL-TO Zagreb, za što su ugovori potpisani potkraj srpnja prošle godine.

Zašto novi blok	52
Osnovne tehničke pojedinosti.....	53
Financiranje, isplativost i budućnost.....	57

ZAŠTO NOVI BLOK?

U svjetlu velikih neizvjesnosti u današnjem razvoju energetike u hrvatskom okruženju, poglavito oko buduće cijene konačnih proizvoda jedne termoelektrane ili termoelektrane-toplane, paralelnog razvoja većeg broja energetskih projekata u Hrvatskoj koji imaju različite dinamike i sudbine, pitanje opravdanosti gradnje novog bloka na bilo kojoj od lokacija termoelektrana i više je nego legitimno. Naime, pokazalo se da su brojne postojeće termoelektrane razmjerno malo iskorištene, s brojem sati rada koji je manji od uobičajenih dugogodišnjih prosjeka i koji još pokazuje trend opadanja. Cijene električne energije na burzama koje opskrbljuju hrvatsko tržište imaju snažne oscilacije pa svaku novu investiciju treba opravdati u svjetlu tržišnog trenutka, ali i prognoziranih projekcija.

Za razliku od kondenzacijskih termoelektrana, kogeneracijska postrojenja ne mogu se smjestiti na velikom broju lokacija. Njihova je funkcija prvenstveno proizvodnja toplinske, a tek potom električne energije. Smještaj je ograničen postojanjem 'realnog toplinskog konzuma' koji se uobičajeno kreće s razvojem lokacije termoelektrane-toplane, tako da ona s vremenom ostaje u 'srcu' toplinskog konzuma. Alternativa je neki složeniji sustav distribucije toplinske energije, npr. u konfiguraciji prstena, gdje se toplane postavljaju po obodu prstena.

U slučaju Elektrane-toplane Zagreb toplinski konzum se s vremenom nadograđivao, odnosno širio iz samog postrojenja pa se ono u smislu opskrbe toplinskom energijom može smatrati otočnim pogonom. Ono je ishodište tri parovoda i jednog vrelovoda vršnog toplinskog učina većeg od 300 MW t i kao takvo ima sve redundancije potrebne da bi u svim okolnostima uspješno opskrbiло toplinske potrošače, čak i u slučaju ispada pojedinih jedinica. U malome, ono predstavlja neovisan energetski sustav koji je samo rubno povezan s drugom zagrebačkom toplanom (TE-TO Zagreb) i to vrelovodom razmjerno malog učina, koji ljeti može preba-

civati tzv. sanitarni konzum između ta dva postrojenja. Izlaskom iz rada nekih jedinica Pogona EL-TO Zagreb u pitanje izravno dolazi opskrba potrošača, što zahtijeva da se te jedinice nadomjesti novim. Pri tome je veličina toplinskog konzuma značajna i za sada bez trenda značajnog smanjenja.

Dodatni problem mogućem daljnjem radu jedinica na lokaciji EL-TO Zagreb je sve stroža ekološka legislativa. Jedinice su u prosjeku dosta stare (s najstarijim blokom A iz 1970. godine) i konceptijski nisu građene kako bi zadovoljile današnje emisijske kriterije pa se zbog tehničko-tehnoloških razloga i suvremenih okolišnih standarda trebaju zamijeniti novima.

U skladu s time, HEP je potkraj srpnja 2018. godine potpisao četiri ključna ugovora za ostvarivanje projekta novog plinskog kombi-kogeneracijskog bloka (CCGT CHP) u KKE EL-TO Zagreb. To su ugovor o kreditu s Europskom bankom za obnovu i razvoj (EBRD), ugovor o kreditu s Europskom investicijskom bankom (EIB) te ugovor o izgradnji i ugovor o dugoročnom održavanju s talijanskom tvrtkom FATA (članicom grupe Danieli). Ukupna vrijednost oba ugovora o kreditu iznosi 130 milijuna eura, pri čemu za sredstva iz EIB-ovog kredita jamstva daje Europski fond za strateška ulaganja (EFSD), glavni nositelj Plana ulaganja za Europu koji je inicirala Europska komisija (tzv. Junckerov plan). Novi visokoučinkoviti blok, električne snage 150 MW t i toplinskog učina 114 MW t, kao gorivo koristiti će isključivo prirodni plin i bit će ekološki prihvatljiv i pouzdan oslonac opskrbe Zagreba toplinskom energijom i izvor električne energije za hrvatski elektroenergetski sustav.

U pripremnoj fazi projekta ishodaena je lokacijska dozvola, a projektna dokumentacija za građevinske dozvole je u konačnom stupnju izrade. Na lokaciji su pri kraju i radovi na pripremi zemljišta za izgradnju budućeg postrojenja. Radovi će započeti sredinom ove godine, a trebali bi biti završeni do kraja 2021.

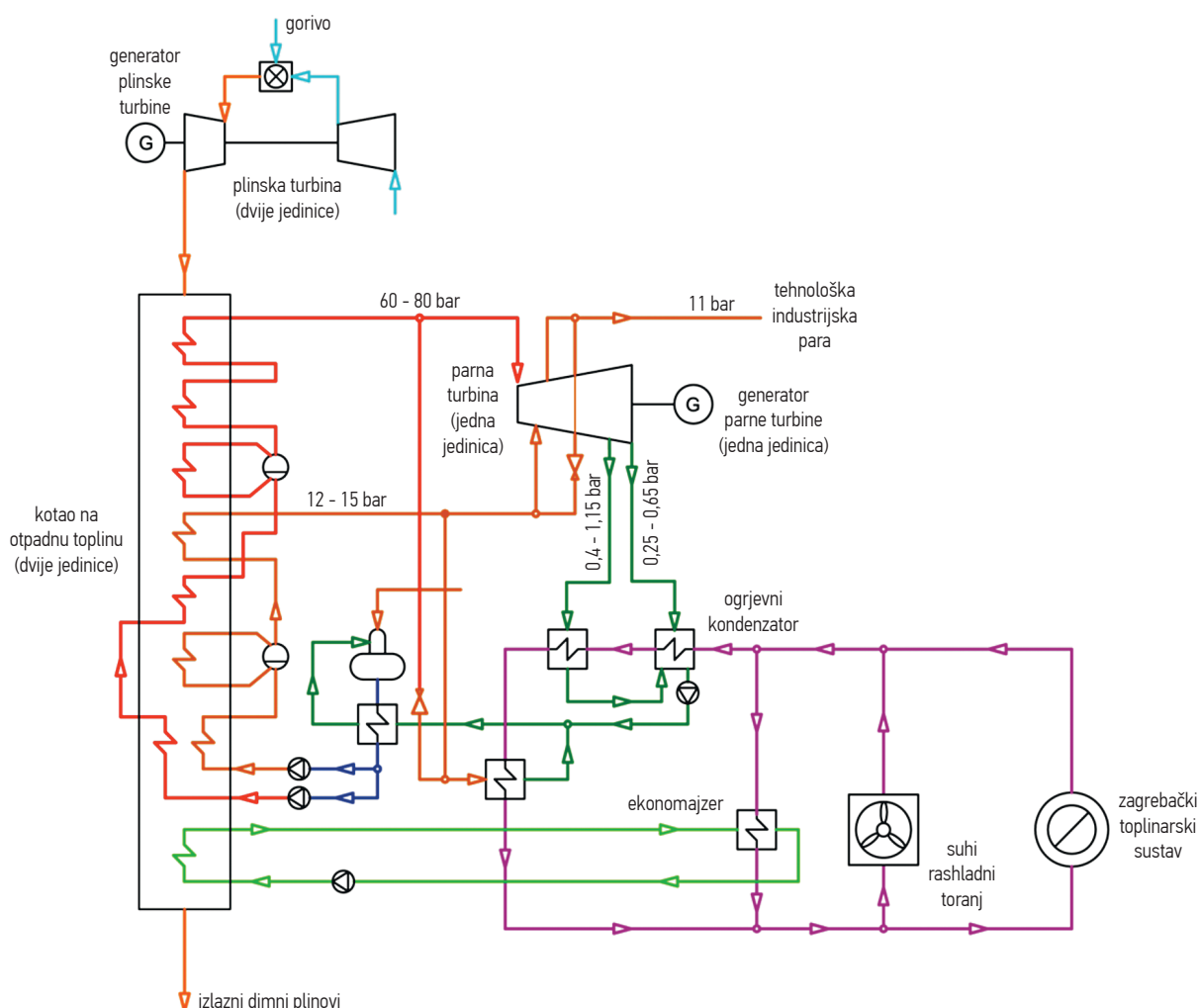
OSNOVNE TEHNIČKE POJEDINOSTI

IZBOR VARIJANTE BLOKA

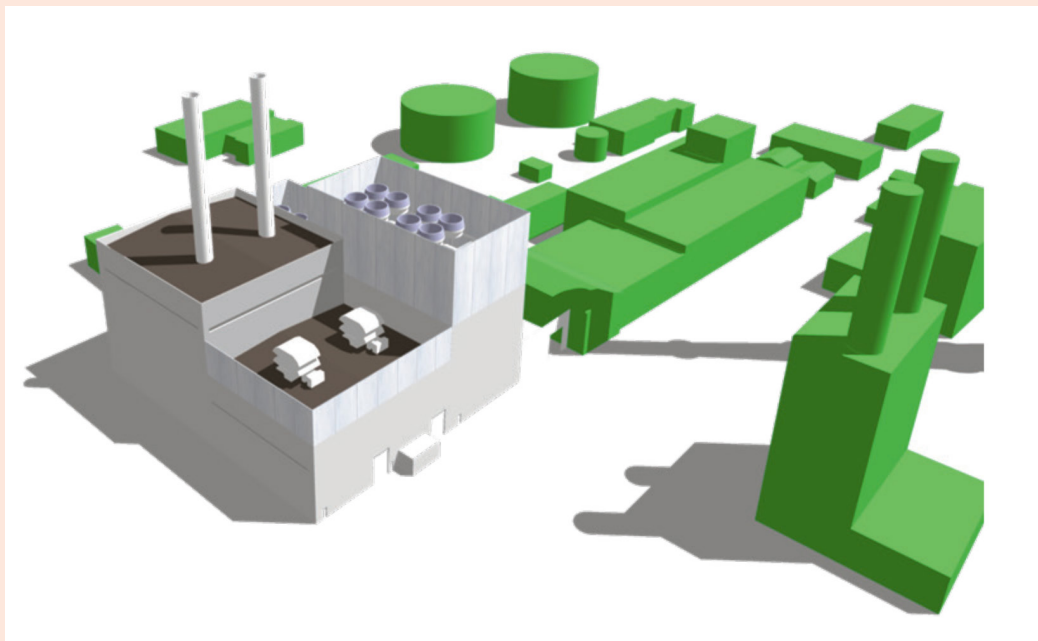
Pogon EL-TO nalazi se integriran u urbanom tkivu Zagreba koji ga je s vremenom svojim razvojem obuhvatio sa svih strana. Izvorno je Pogon izgrađen na gradskoj periferiji kao izvor energije za vodoopskrbu i javnu rasvjetu. Zbog toga je prostor na lokaciji ograničen i širenje izvan sadašnjih gabarita iznimno je otežano, a u daljnjem vremenskom horizontu izgradnje novog bloka praktično i nemoguće. Prostor je stoga bio jedan od bitnih ograničavajućih čimbenika u razvoju novog koncepta. Zbog određenog kašnjenja s početkom razvoja projekta nametnula se ideja da bi blok svojim gabaritima morao pripomoći i u zamjeni jedinica PTA1 i PTA2 koje neće moći raditi zbog Direktive 2010/75/EU o industrijskim emisijama (IED)

nakon 1. siječnja 2023. godine. Određeni pad toplinskog konzuma i potrošnje pare utjecajni su pak čimbenici suprotnog predznaka. Nužnost fleksibilnosti, tj. mogućnosti prilagodbe snažnim oscilacijama i toplinskog konzuma i cijena električne energije na liberaliziranom tržištu dovela je do razmatranja koncepta bloka koji se sastoji od više od jednog primarnog pogonskog stroja. Pri tome je eventualna izgradnja isključivo toplinske jedinice prepoznata kao nepoželjna i s regulatornog stajališta, jer ne odgovara strateškim opredjeljenjima Hrvatske i Europske unije o smanjenju emisija, i s gledišta sigurnosti lokacije. Naime, s vremenom bi gubitak proizvodnje električne energije na lokaciji mogao značiti i njezin trajan gubitak za vlasnika. S druge strane, izostanak kogeneracijskog koncepta doveo bi i do povećanja emisija

▼ **Ilustracija 1**
Osnovna tehnološka shema novog koncepta novog bloka EL-TO Zagreb...



► **Ilustracija 2**
... i njegova
vizualizacija

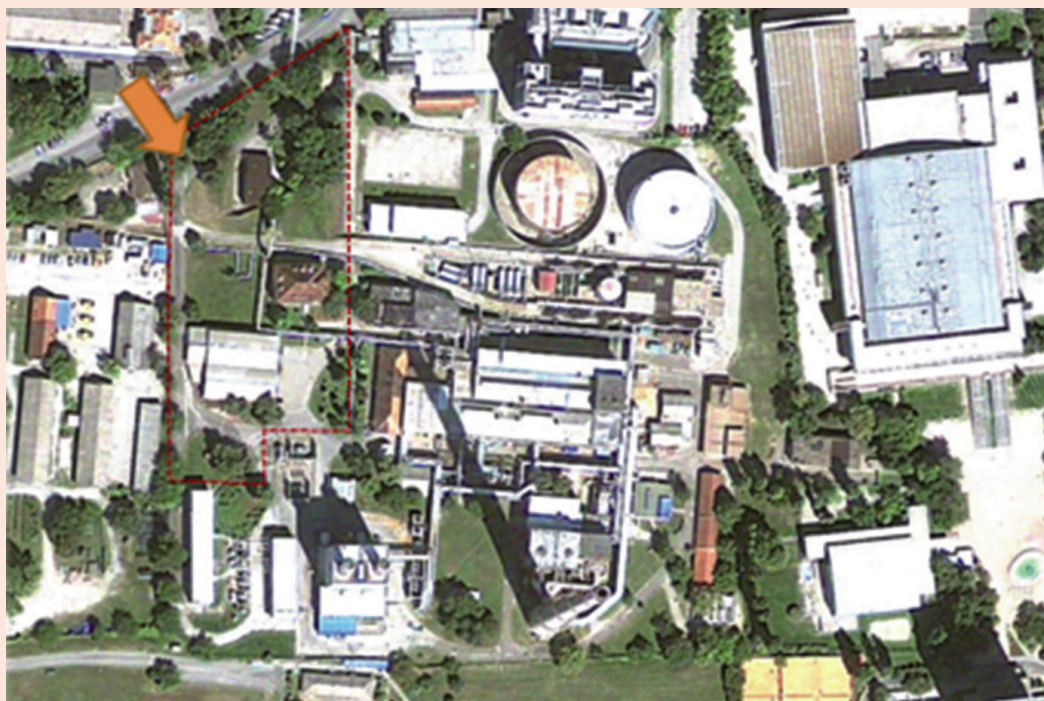


dušikovih oksida i ugljičnog dioksida pa je samim time suprotan klimatskim ciljevima. Zbog tih, ali i razloga raspoloživosti brojnih resursa, iskustva, adekvatnog prostora (mikrolokacija) i brojnih drugih, kao konačni koncept odabrana je izgradnja novog plinskog kombi-kogeneracijskog bloka s dvije plinske turbine, dva kotla utilizatora bez dodatnog loženja i parnom turbinom koja je pri tome zamišljena kao oduzimno-kondenzacijska u prvoj iteraciji. Takvo rješenje je vrlo fleksibilno, s procijenjenim postignutim stupnjem djelovanja (ukupnim, na godišnjoj razini) oko 84%. Rashladni sustav pri tome je razmatran u više varijanti, od vodenog hlađenja rijekom Savom, što bi pretpostavljalo gradnju vodne stepenice i oko 3 km tlačnog dvostrukog cjevovoda do obale rijeke, do suhih, hibridnih ili mokrih rashladnih tornjeva na samoj lokaciji.

Analizirana električna snaga obuhvaćena je u rasponu 90 - 150 MW e, a odgovarajući toplinski učin u rasponu 75 - 120 MW t. Oduzimanje tehnološke pare zamišljeno je na tlaku 11 bar i u maksimalnom iznosu 70 t/h. Taj je tlak nešto niži od sadašnjeg (17 bar), za što je razlog povećana proizvodnja električne energije koju para daje ekspanzijom između 17 i 11 bar. Određeno istraživanje stavova parnih potrošača s obzirom na to pitanje je napravljeno i utvrđeno je da nema prepreka za takvo snižavanje tlaka pare. Spoj postojećih kapaciteta na novi parovod od 11 bar riješio bi se preko jedne redukcijske stanice pa ne bi postojala dva tlaka pare na izlazu iz postrojenja.

Takvo zamišljeno rješenje imat će veliku fleksibilnost i stupanj djelovanja. U ljetnim režimima rada, kada je toplinski konzum manji od instaliranog toplinskog učina novog bloka, on po nalogu dispečera može povećati proizvodnju električne energije, a dio toplinske energije koji pri tome ne predaje vrelovodu ili parovodu predavati u okoliš preko rashladnog sustava.

Daljnijim razvojem projekta došlo je do određene promjene takve koncepcije. Naime, kada bi takav kondenzacijski režim novog bloka bio korišten, broj sati rada u godini bio bi razmjerno mali. Zbog tog se razloga postavio određeni optimizacijski problem koncepta bloka. Pojednostavljeno, trebalo je odlučiti: gubiti onaj dio topline koji kontinuirano odlazi na hlađenje zadnjeg stupnja lopatica parne turbine, što je karakteristika, tj. nedostatak kondenzacijske verzije parne turbine ili prijeći na protutlačnu izvedbu parne turbine i pri tome izgubiti mogućnost rada u kondenzaciji, što s druge strane povećava iskoristivost goriva. Pokazalo se da je srednje rješenje moguće i da već postoji izvedeno u praksi. Ono je pronađeno u prelasku na protutlačnu vrstu parne turbine (dvije takve turbine već postoje u Pogonu EL-TO Zagreb), uz određenu modifikaciju sustava hlađenja. Prelaskom na protutlačnu varijantu parne turbine nastaje problem 'krute veze' između proizvodnje električne energije i toplinskog opterećenja. No, rješenje za taj problem pronađeno je u konceptu 'ljetnog hladnjaka' što je jedinstveno u Hrvatskoj, barem za energetske projekte usporedivih snaga. Radi se



◀ **Ilustracija 3**
Raspoloživi prostor za
izgradnju novog bloka

Je li moguće izgraditi
novi blok?

Sobzirom na raspoloživi
prostor - DA!

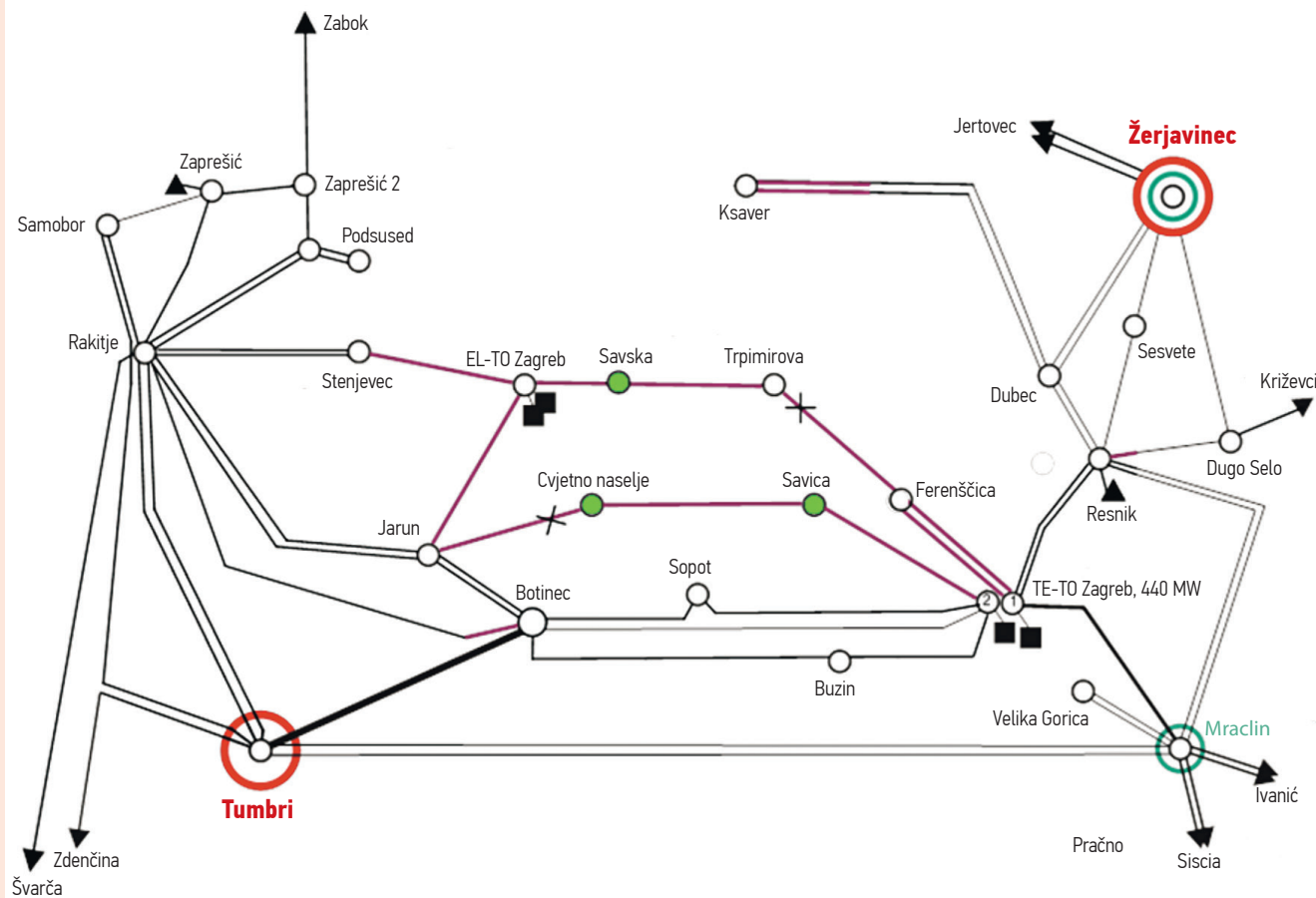
o suhim rashladnim tornjevima instaliranim na krov novog pogonskog objekta koji omogućuju povećanje proizvodnje električne energije u ljetnim režimima. Ti režimi su razmjerno kratkotrajni, ali su sada mogući. Pri tom je ukupni stupanj djelovanja postrojenja na godišnjoj razini narastao na oko 90% jer više ne postoje gubici energije pare koja prestrujava kroz zadnji stupanj parne turbine. Ostvareno povećanje godišnje iskoristivosti goriva je oko 7%, što je iznimno mnogo. Stupanj djelovanja u proizvodnji električne energije u 'kondenzacijskom' radu je nešto manji u odnosu na takav rad s klasičnim rashladnim sustavom. Razlog je temperatura kondenzacije pare iza parne turbine koja je značajno niža kod pravih rashladnih sustava, neovisno radi li se o vodenom ili zračnom hlađenju. No, očekivani broj sati rada u režimu proizvodnje električne energije veći od onoga za što postoji toplinski konzum je dovoljno malen da je spomenuto rješenje ocijenjeno optimalnim.

Na osnovi toga razrađena je osnovna tehnološka shema novog bloka (il. 1 i 2). U pogonu EL-TO Zagreb su 2016. godine ugrađene nove izmjenjivačke površine na izlazima iz kotlova UT1, UT2, K9, VK3, VK4 i K6. Pri tome se pokazalo da je koncept snižavanja izlazne temperature dimnih plinova gotovo do razine kondenzacije ostvariv i da funkcionira u praksi. Za očekivati je stoga da će i novi blok ostvarivati vrlo niske temperature dimnih plinova, posebice i zato što je prirodni

plin zamišljen kao jedino gorivo. To ostavlja eventualni dodatni prostor za povećanje iskoristivosti goriva i na više od spomenutih (i planiranih) 90 - 91 %. Naime, iskustva druge zagrebačke toplane (TE-TO Zagreb) pokazala su da se tekuće gorivo gotovo nikada ne koristi. Pri tome su gabariti opreme za tekuće gorivo značajni, cijena bloka raste, a i održavanje postaje skuplje. Razmišljanja o pojednostavljenju koncepta novog bloka primijenjena su i kod odluke o instaliranju kapaciteta za 'crni start' i otočni rad. Odlučeno je da novi blok ne treba imati te kapacitete zbog njihove cijene, kompleksnosti i problema resinkronizacije koji nije lako rješiv. Uostalom, HEP je vlasnik velikog broja hidroelektrana u Hrvatskoj pa se te usluge mogu kvalitetnije nabaviti iz drugih izvora.

MOGUĆNOSTI GRADNJE

Kako je lokacija ograničenih dimenzija, površine oko 74 000 m², ispresijecana prometnicama, prugom, kabelskim kanalima, plinovodima i sl., pravih parcela za izgradnju novog bloka bilo je zapravo vrlo malo (il. 3). Otegotna okolnost u planiranju gradnje je nužnost rada svih starih jedinica cijelo vrijeme gradnje novog bloka. Naime, zbog ugovornih obaveza o isporuci toplinske energije nije moguće prestati koristiti stare jedinice sve do puštanja u pogon novih. Nakon više analiza koje su, osim gabarita varijanti bloka, obuhvatile i različite varijante hlađenja, ali i eventualnu daljnju nužnost razvoja lo-



▲ Ilustracija 4

Uklapanje novog bloka u zagrebačku elektroenergetsku mrežu

kacije, iskristalizirala se svega jedna pogodna lokacija za smještaj predviđenog bloka. Radi se o mikrolokaciji na zapadu parcele EL-TO Zagreb, neposredno južno od pruge. Na toj lokaciji nalazilo su se glavno skladište i stara upravna zgrada koji su tijekom pripremnih radova uklonjeni. Ti su sadržaji predviđeni u novoj višefunkcijskoj zgradi planiranoj na samom ulazu u Pogon EL-TO Zagreb, umjesto sadašnjih skladišnih, radioničkih, parkirališnih, sportskih i drugih sadržaja.

S obzirom na činjenicu da se radi o postojećoj lokaciji s dugom tradicijom, na parceli EL-TO Zagreb već su u upotrebi brojni sadržaji koji će koristiti i novom bloku:

- opskrba plinom u obliku visokotlačnog plinovoda dovoljno visokog tlaka i kapaciteta
- opskrba velikim količinama demineralizirane vode
- spoj na visokonaponsko rasklopno postrojenje Hrvatskog operatora prijenosnog sustava
- opskrba sirovom vodom, strana para za start bloka prema potrebi, sustav za pročišćavanje otpadnih voda, kanalizacijski sustav, cestovna i željeznička infrastruktura,

hidrantska mreža, ishodište vrelovoda i parovoda, svi potrebni pomoćni sadržaji i osoblje koje je iskusno u radu sa visokotlačnim kotlovima, plinskim i parnim turbinama.

Prisutnost svih tih sadržaja jamči manje rizike pri izgradnji novog bloka pa i nižu cijenu. Gradnja na postojećoj lokaciji nosi pak neke rizike tla, poput eventualnog pronalaska neočekivanih i usporedivajućih elemenata pri obavljanju građevinskih radova.

Uklapanje u zagrebačku kabelsku mrežu rješivo je razmjerno jednostavno (il. 4). Prema Prethodnoj elektroenergetskoj suglasnosti, potrebno je izgraditi dva paralelna 110 kV kabla prema Trafostanici Stenjevec, poglavito radi zadovoljenja kriterija ($n - 1$).

Jedan od važnih čimbenika kod uklapanja takvog energetskog bloka u prostor je zadovoljavanje kriterija buke. Vidljivo je da se blok nalazi praktički na samoj granici parcele pa je margina za 'grešku' vrlo mala. Granica buke koju je potrebno postići iznosi 85 dB na zapadnoj strani, a u sklopu razrade pri izradi idejnog projekta pokazalo se da je problem buke rješiv pa će novi blok zadovoljiti postavljene kriterij.

FINANCIRANJE, ISPLATIVOST I BUDUĆNOST

ODABIR NAČINA FINANCIRANJA I POSTUPKA JAVNE NABAVE

U skladu s odlukom Uprave HEP-a da se u financiranje uključi EBRD, tenderska dokumentacija je prilagođena njezinim pravilima (EBRD Public Procurement Rules). Kod pripreme prijedloga ugovora o gradnji korišten je model FIDIC Silver Book (EPC/Turnkey), prilagođen činjenici da se postrojenje gradi na mjestu gdje su ranije bili objekti i infrastruktura u funkciji postojećeg postrojenja.

Kod pripreme tendera korišten je idejni projekt koji je poslužio kao podloga za ishođenje lokacijske dozvole 2016. godine, a koji se temelji na tehnološkom rješenju koje predviđa korištenje dvije plinske turbine SGT-800 proizvođača Siemens, kotlova na otpadnu toplinu proizvođača NEM i jedne parne turbine SST-300, također proizvođača Siemens.

Postupak pretkvalifikacije zahtijevao je inženjerska znanja sa sličnih projekata i poznavanje tržišta glavne opreme za elektranu (plinskih i parnih turbina, kotlova na otpadnu toplinu). Interes za nuđenje iskazalo je 17 tvrtki, od kojih se uspješno pretkvalificiralo njih devet kojima je upućen poziv za dostavu inicijalnih ponuda.

Šest od devet renomiranih tvrtki dostavilo je inicijalne ponude: tri izvorna proizvođača opreme plinskih turbina (eng. OEM, original equipment manufacturer) i tri tzv. EPC ugovaratelja (eng. engineering - procurement - construction) s provjerenim referencama i iskustvom suradnje s OEM-ima.

Postupak nabave i ugovaranja sastojao se od dva dijela: EPC ugovora za izgradnju i ugovora za dugoročno održavanje plinskih turbina (eng. LTSA, long term service agreement) i naručitelj je za oba dijela predvidio sklapanje ugovora s jednim poslovnim entitetom, kako bi rizici izgradnje i održavanja glavne opreme (plinskih turbina) bili zadržani na jednoj pravnoj osobi. Taj je koncept bio jednostavniji u opciji izbora OEM-a, a ponešto složeniji u opciji sklapanja ugovora s EPC ugovarateljima, koji su pri tome bili opterećeni uvjetima definiranja međusobnih odnosa s OEM-om.

Sve je to postalo vidljivo kada je kao najpovoljniji odabran EPC ugovaratelj.

Prvi stupanj nuđenja uključivao je evaluaciju isključivo tehničkog dijela ponuda, dok je financijski dio ostao nepoznat. To se pokazalo kao prednost jer su ponuditelji bili usmjereni na inženjering s ciljem zadovoljavanja vrlo detaljnih zahtjeva naručitelja, a ne na financijski dio ponude i kalkulacije. Svi ponuditelji morali su udovoljiti minimalnim tehničkim zahtjevima koje je tražio naručitelj i tek se tada moglo pristupiti vrednovanju ponuda.

Financijska komponenta ponuda postala je vidljiva tek u drugom krugu nabave, nakon predaje konačnih ponuda usklađenih sa zahtjevima naručitelja.

ISPLATIVOST BLOKA

Nefinancijski pokazatelji novog bloka su izrazito pozitivni. Tako je modelirani ukupni stupanj djelovanja velikih 89,3%, s prostorom za daljnji rast zbog grube razlučenosti modela kod kojeg je angažman plinskih turbina modeliran u svega četiri radne točke.

Projekt doprinosi povećanju vrijednosti tvrtke u vrlo širokom rasponu pretpostavljenih vrijednosti. Sve je to posljedica iznimno visokog stupnja iskoristivosti goriva, ali i razmjerno niskih investicijskih troškova u usporedbi s elektranama na ugljen ili obnovljivim izvorima energije. Pri tome uvijek treba imati na umu da u vijeku trajanja takvog bloka, koji iznosi i više od 20 godina korištenih u ekonomskom modelu, više od 80% ukupnih troškova čini trošak goriva. U takvim okolnostima isplativosti valja cijeniti napor za povećanjem ukupnog stupnja djelovanja kao primarnim ciljem optimiranja koncepcije bloka.

POSTUPAK EVALUACIJE

Šest inicijalnih ponuda trebalo je nakon usporedbe i nekoliko krugova odvojenih pregovora s ponuditeljima 'svesti na zajednički nazivnik', odnosno dati tehničko-tehnološkom rješenju elektrane kao cjelini ('power island') obilježja kojima mogu udovoljiti svi

►▼
Nekoliko
aktualnih
fotografija
s gradilišta



ponuditelji, a da se pri tome neka promjena ne smatra značajnim odstupanjem od izvornih zahtjeva naručitelja.

Izvornici:

- Krešimir Komljenović, Mladen Beljo i Vedran Jurić: 'Novi CCGT CHP blok na lokaciji EL-TO Zagreb', 13. savjetovanje HRO CIGRÉ, Split, studeni 2016.
- Bruno Antolović: 'Izazovi pripreme i vođenja postupka ugovaranja izgradnje novog kogeneracijskog postrojenja u EL-TO Zagreb po EBRD pravilima'

Nakon provedenih pregovora o inicijalnim ponudama sa svih šest ponuditelja utvrđeno je da su svi kvalificirani za upućivanje poziva za dostavu konačnih ponuda. Konačne ponude dostavilo je pet ponuditelja, od koji je najboljom ocijenjena ponuda talijanske tvrtke FATA (članice grupe Danieli) koja ima iznimno visoke reference u izgradnji i održavanju proizvodnih elektroenergetskih objekata diljem svijeta.

BUDUĆNOST

U sklopu izrade idejnog projekta blok je definiran u svojim smještajnim obilježjima. Kako su se pri izgradnji bloka morale srušiti postojeća stara upravna zgrada i postojeće skladište, na novoj mikrolokaciji, neposredno uz sadašnju glavnu portu Pogona EL-TO Zagreb planira se izgraditi novi objekt kombinirane namjere koji će, pored sadržaja koji se uklanjaju, uklopiti i sadržaje koji se gube na sadašnjoj lokaciji te nove zgrade. Uz to, nova zgrada predviđena je i sa značajnim brojem parkirnih mjesta, prostorom za radionice te s prostorom za novi Centralni kemijsko-tehnološki laboratorij i ona će svojim arhitektonskim rješenjem biti 'otvorena' prema javnosti. ■