

# Hibridna termoelektrana Slavonski Brod – energetska postrojenja za proizvodnju električne energije i topline iz prirodnog plina bez emisije stakleničkih plinova uz hvatanje i odvajanje CO<sub>2</sub> te proizvodnju i korištenja vodika

Hybrid power plant Slavonski Brod – gas-fired facility for power and heat generation without greenhouse gas emissions with carbon capture and hydrogen production and use

**Branko Radošević, dipl. ing.**  
Crodux-energetika d.o.o  
[branko.radosevic@crodux-energetika.hr](mailto:branko.radosevic@crodux-energetika.hr)



**Ključne riječi:** Termoelektrana Slavonski Brod, kogeneracijsko postrojenje, prirodni plin, električna energija, hvatanje i odvajanje ugljičnog dioksida, vodik, dekarbonizacija, održivi razvoj

**Key words:** power plant Slavonski Brod, cogeneration plant, natural gas, electricity, carbon capture, hydrogen, decarbonisation, sustainable development



## Sažetak

Projekt I. faze plinske termoelektrane u Slavonskom Brodu najveće je privatno ulaganje u energetici Republike Hrvatske, vrijednosti veće od 420 milijuna eura. Termoelektrana Slavonski Brod nužna je za sigurnost opskrbe električnom energijom, razvoj i prihvat energije iz obnovljivih izvora te za stabilnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava. Projekt se odnosi

na izgradnju tzv. hibridne elektrane na osnovnom konceptu plinske elektrane kombiniranog ciklusa (CCPP) snage 2x250 MW zajedno s postrojenjem za hvatanje, korištenje i skladištenje ugljičnog dioksida (CCUS-om) i postrojenjem za proizvodnju vodika (H<sub>2</sub>) elektrolizom.

Planirano je da se elektrana gradi u dvije etape te da se za svaku etapu izgradi postrojene za hvatanje ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) iz plinova nastalih izgaranjem na plinskim turbinama i proizvodnja vodika. Svaka etapa se sastoji od tri bloka; termoelektrane kombiniranog ciklusa (CCGT), postrojenja za hvatanje i odvajanje CO<sub>2</sub> (CC) i postrojenja za proizvodnju vodika. Ključno je za ovu „Hibridnu elektranu“ da će proizvoditi električnu energiju, toplinu, CO<sub>2</sub>, vodik, pružati pomoćne usluge elektroenergetskom sustavu **gotovo bez štetnih emisija stakleničkih plinova u atmosferu.**

Projekt je kompleksan, ekološki prihvatljiv i izuzetno inovativan te je pogodan za financiranje iz EU fondova jer zadovoljava sve kriterije niskouglične strategije.



## Abstract

Phase 1 of the gas-fired power plant project in Slavonski Brod is the largest private investment in the Croatian energy sector, worth over 420 million euro. The Slavonski Brod power plant will contribute to the security of supply, development and receipt of renewable energy resources and stability and reliability of the power supply system. The project includes the construction of the so-called hybrid power plant on the main concept of a 2x250 MW combined cycle power plant along with a carbon capture plant and an electrolysis unit for hydrogen production.

The phased construction of the plant is planned, each of the 2 phases including a plant for capturing CO<sub>2</sub> from flue gases and a hydrogen production unit. Each phase consists of three blocks: CCGT plant, CC plant and hydrogen production. The key characteristic of this 'hybrid power plant' is that it will produce electricity, heat, CO<sub>2</sub>, hydrogen, and provide ancillary services **with almost zero greenhouse gas emissions**.

This complex environmentally friendly and innovative project meets all criteria set out in the low carbon strategy and is eligible for EU funding.

## 1. Uvod

Jedna od posljedica globalnog razvoja je i povećana potrošnja energije. Pariškim sporazumom o klimatskim promjenama, **poticanje smanjenja emisija sta-**

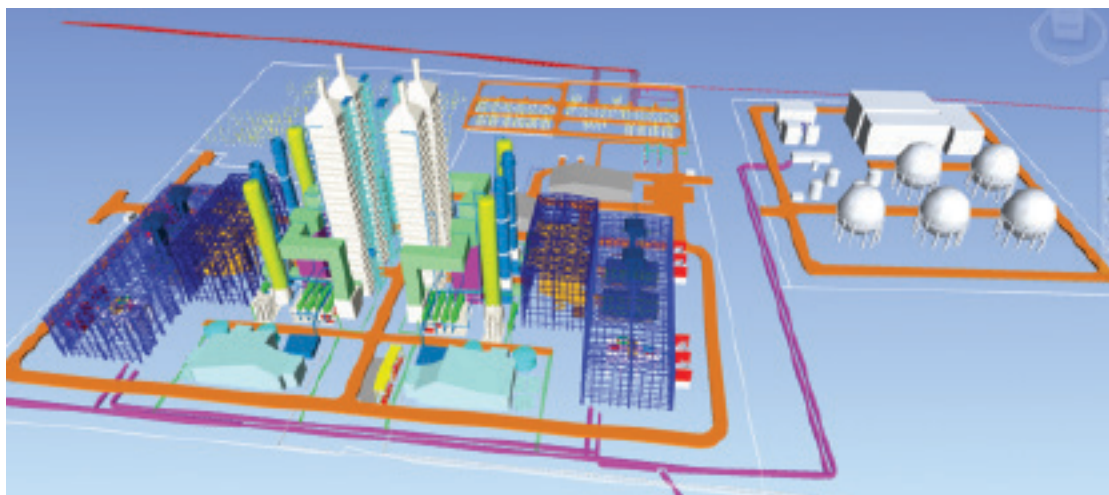
**kleničkih plinova** definirano je kao jedna od glavnih mjera za postizanje **održivog razvoja planeta Zemlje**.

U Strategiji energetskog razvoja RH do 2030. s pogledom na 2050. godinu („Narodne novine“ br.25/2020) i u Strategiji niskougličnog razvoja RH do 2030. s pogledom na 2050. godinu („Narodne novine“ br.63/2021), koje je obje donio Hrvatski sabor, **prirodni plin prepoznat je kao važan izvor energije u prijelaznom razdoblju prema ostvarenju vizije o niskoj razini ugljika**. Korištenje prirodnog plina također bi amortiziralo sve neizvjesnosti koje sa sobom donose nove tehnologije, posebno one koje se tek pojavljuju, a nisu dovoljno izučene. Svijet, Europa i RH svojim su se politikama odredile prema smanjenju emisija stakleničkih plinova u atmosferu kako bi 2050 postigli potpunu dekarbonizaciju.

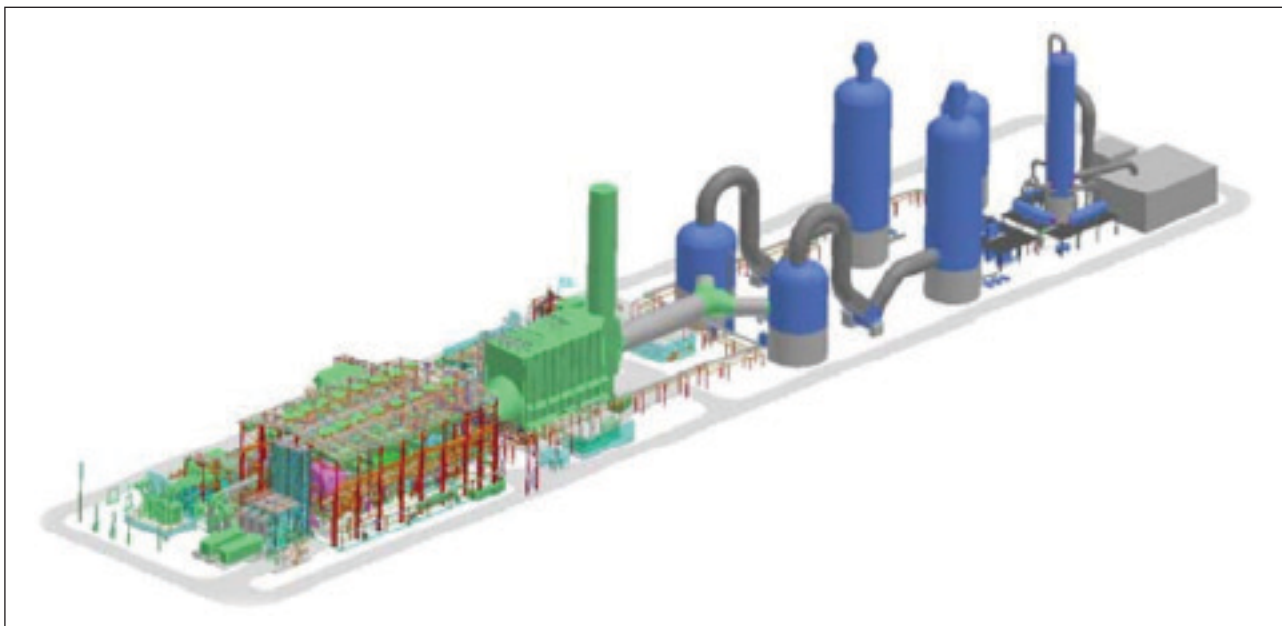
U Strategiji niskougličnog razvoja RH stavljen je naglasak na politiku smanjenja emisija CO<sub>2</sub> s ciljem postizanja potpune dekarbonizacije do 2050. godine. Uz sve to, a s obzirom na proizvodnju energije iz obnovljivih izvora energije, koji su u velikoj ekspanziji, te sve veću elektromobilnost, energetski sektor je pred promjenama kojima se mora prilagoditi i izazovima na koje mora dati odgovore.

Postizanje tog cilja, uz želju boljeg i komotnijeg života, što uzrokuje veću potrebu za energijom, podrazumijeva ogromna ulaganja u znanost ali i u razvoj novih tehnologija i tehničkih rješenja kako bi život na Zemlji bio ugodniji i dugoročno održiv. Energetski sektor jedan je od ključnih u postizanju ovih ciljeva; **proizvesti više energije, uz veću energetska učinkovitost u proizvodnji i potrošnji, bez štetnih emisija uz prihvatljivu cijenu!**

Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske postavlja tri glavna cilja: sigurnost opskrbe, konku-



Slika 1. 3D model Hibridne elektrane Slavonski Brod



Slika 2. Vizualizacija tehničkog rješenja

rentnost energetskeg sustava i **održivost energetskeg razvoja**. Sukladno Strategiji, a s ciljem smanjenja ovisnosti o uvozu električne energije, povećanja sigurnosti opskrbe, razvoja tržišta te razvoja gospodarstva i poduzetništva **Crodux-energetika**, razvila je projekt „Hibridna termoelektrana Slavonski Brod“, kao kompleksno kombinirano kogeneracijsko postrojenje za proizvodnju električne energije i topline iz prirodnog plina gotovo **bez emisije stakleničkih plinova u atmosferu** i uz mogućnost proizvodnje i korištenja vodika.

## 2. Hibridna termoelektrana Slavonski Brod – prva elektrana takve vrste u EU

Termoelektrana Slavonski Brod će kao energent koristiti **prirodni plin**, a po potrebi i vodik. Proizvodit će **električnu energiju, toplinu i vodik te pružati pomoćne usluge elektroenergetskom sustavu**, prvenstveno fleksibilnost i rezervu, **bez emisija stakleničkih plinova u atmosferu**, jer će hvatati i odvajati CO<sub>2</sub> koji će se trajno skladištiti u geološkim strukturama. Pored toga moguće je CO<sub>2</sub> koristiti u eksploataciji ugljikovodika što je dokazano i već se primjenjuje na eksploatacijskim poljima Republike Hrvatske metodom „enhanced oil recovery“ kojom se CO<sub>2</sub> utiskuje kroz bušotine u postojeće geološke strukture i time pridonosi iscrpku nafte. Visoka čistoća izdvojenog CO<sub>2</sub> (99% čistoće) čini ga pogodnim proizvodom za daljnju primjenu u industriji, poljoprivredi te ima svoju tržišnu vrijednost.

## 3. „Greenfield“ projekt inovativnog rješenja

Termoelektrana Slavonski Brod je tzv. „greenfield“ projekt koji je razvijen na 200 000 m<sup>2</sup> zemljišta u lučkom području luke Slavonski Brod, kojeg Crodux ima u koncesiji na rok od 35 godina. Na lokaciji su izvršene sve pripreme aktivnosti od geoloških, geomehaničkih, arheoloških ispitivanja, usklađivanja prostornih planova, priključaka na plinsku i elektro-prijenosnu mrežu do izgradnje sve potrebne infrastrukture za građenje (novi željeznički kolosijek, cesta i lučko pristanište za brodove i teglenice).

Dobro razvijen plinski transportni sustav omogućava sigurnu opskrbu prirodnim plinom kao gorivom putem spojnog plinovoda od MRS u neposrednoj blizini do lokacije elektrane.

Električna energije predavat će se u 110 kV prijenosnu mrežu Hrvatskog operatora prijenosnog sustava putem 110 kV kabela, rasklopišta na lokaciji elektrane i trafostanice u neposrednoj blizini. Radi se o jedinstvenom inovativnom rješenju, prvom ovakve vrste u Europi, koje je razvijeno na konceptu **plinske termoelektre kombiniranog ciklusa nazivne električne snage 250 MW** (u svakoj etapi) i za koju su u potpunosti završene sve aktivnosti **tehničke pripreme faze**.

**Ishođena je lokacijska dozvola kojoj je prethodila procjena utjecaja na okoliš i započeta je izrada glavnih projekata!**

Kompleks prve etape se sastoji od tri glavne cjeline:

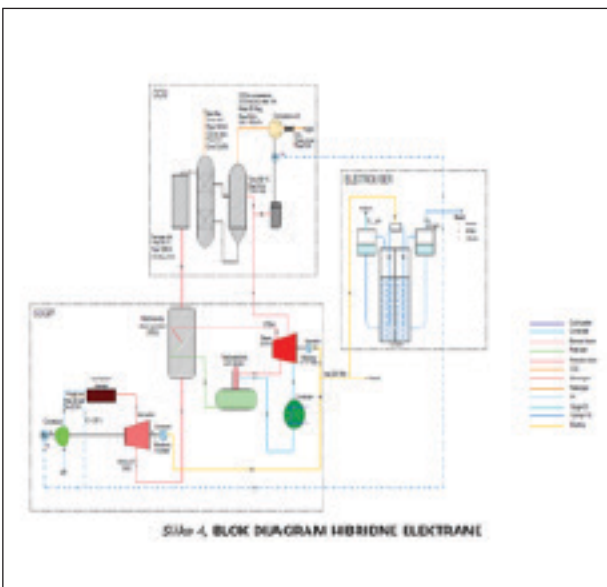




Slika 3. Lokacija – Luka Slavonki Brod

1. Osnovno višeosovinsko postrojenje s plinskom i parnom turbinom, kotlom utilizatorom, transformatorima, rasklopištem, spojnim kabelom, postrojenjem za dobavu, pripremu i obradu rashladne vode, spojnim plinovodom, te upravnom zgradom.
2. Postrojenje za hvatanje i odvajanje CO<sub>2</sub> s pomoćnim postrojenjima za pripremu i transport cjevovodom.
3. Postrojenje za proizvodnju, skladištenje i veleprodaju vodika.

Planirano je da se na lokaciji izgrade i blokovi za utilizaciju CO<sub>2</sub> na kao i IT blok koji bi osigurao kontinuirani rad elektrane.



Slika 4. Blok dijagram Hibridne elektrane Slavonki Brod

## 4. Inovativnost

Kako bi postigli i potpunu ekološku prihvatljivost projekta, prema najstrožim ekološkim standardima, prvenstveno prihvatljivu za financijske ulagače i banke, koji žele ulagati u **projekte koji nemaju ugljični otisak**, u suradnji s Norveškim istraživačkim i razvojnim centrom TCM u Mongstatu razvijeno je i postrojenje za hvatanje i odvajanje CO<sub>2</sub> na bazi amino procesa gdje će se putem solventa hvatati i odvajati CO<sub>2</sub>. Proces je poznat pod engleskim sinonimom **Post-Combustion Amine-Based CO<sub>2</sub> Capture**.

Tako odvojeni CO<sub>2</sub> priprema se za transport cjevovodom do lokacija za pohranu. Treba istaknuti da je lokacija termoelektrane izuzetno povoljna za povezivanje sa geološkim strukturama pogodnim za skladištenje CO<sub>2</sub>. Sama činjenica da Republika Hrvatska ima značajne kapacitete i potencijal za skladištenje CO<sub>2</sub> u geološkim strukturama ukazuje na to da je ovo jedna od prilika za ulaganja i stvarni početak hvatanja i pohrane CO<sub>2</sub>, što je jedan od glavnih ciljeva Republike Hrvatske i Europske Unije u energetskej politici ka potpunoj dekarbonizaciji.

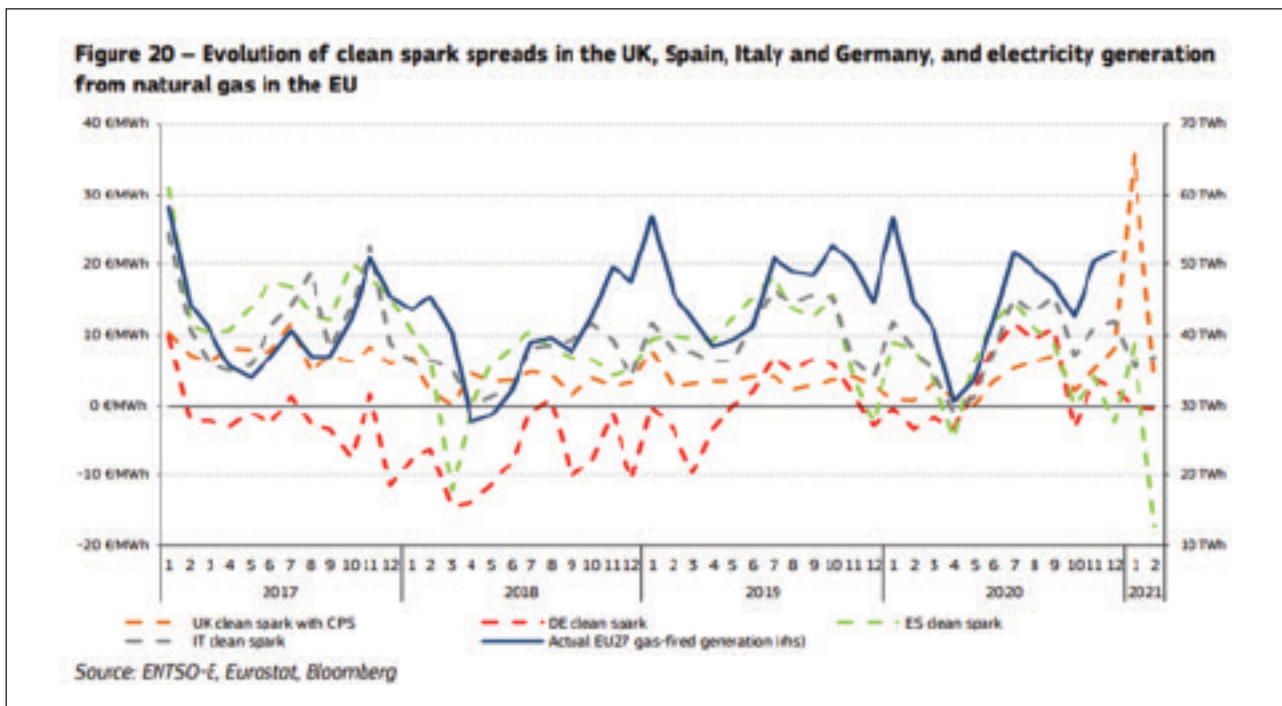
Ovdje se radi o stvarnom zbrinjavanju CO<sub>2</sub> iz plinova koji nastaju kao produkt izgaranja u plinskim turbinama. Za ovo rješenje značajno je i to što su plinske turbine koncipirane za izgaranje plina sa zrakom s malo kisika – primjenom recirkulacije plinova izgaranja u procesu zvanom. Exhausted Gas Recirculation (en. Allm Cycle).

Predviđeno je da bi ovim rješenjem hvatanja i odvajanja godišnje odvojili oko 500.000 t CO<sub>2</sub> čistoće 99%.

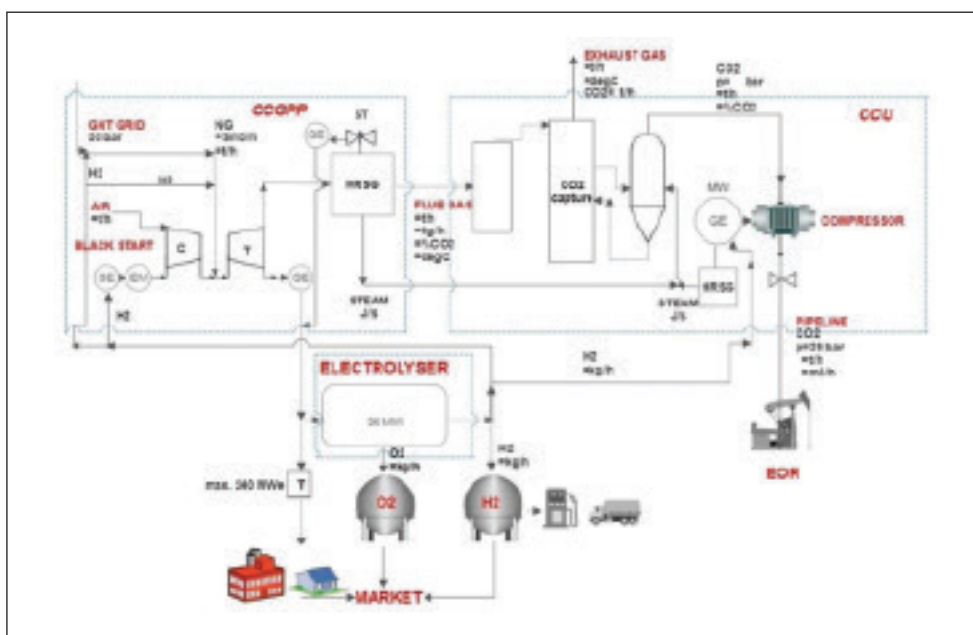
Ovaj je energetski objekt projektiran kao najsuvremenije termoenergetsko postrojenje čija je izvedba koncipirana potpuno u skladu s načelima i preporukama koje proizlaze iz uputa Europske unije o primjeni **najboljih raspoloživih tehnika (BAT)** na principima održivosti energetskog razvoja te je po prvi puta primijenjeno komercijalno hvatanje i odvajanje CO<sub>2</sub> iz plinova izgaranja na plinskim turbinama i plinskim termoelektranama.

## 5. Kapacitet Termoelektrane 2 TWh električne energije

Termoelektrana će imati kapacitet proizvodnje više od 2 TWh električne energije godišnje, a raspoloživost veću od 8000 sati godišnje. Za pogon elektrane



Slika 5. Clean Spark Spread



Slika 6. Blok dijagram Hibridne elektrane Slavonski Brod

osiguran je priključak na plinski transportni sustav s kapacitetom od 4 TWh prirodnog plina godišnje.

Termoelektrana Slavonski Brod je svojim tehničkim i dinamičkim karakteristikama pogodna za pružanje pomoćnih usluga potrebnih hrvatskom elektroenergetskom sustavu, prvenstveno zbog velike fleksibilnosti, a posebno u uvjetima većeg udjela nestalnih izvora proizvodnje električne energije, prvenstveno iz tzv. obnovljivih izvora energije.

Također s pozicije energetske sigurnosti i dostatnosti ova termoelektrana ima poseban značaj budući da Republika Hrvatska ima vlastitu proizvodnju prirodnog plina uz dokazane rezerve, dobro razvijen plinski transportni sustav za opskrbu plinom i dostatni skladišni kapacitet podzemnog skladišta plina za potrebnu fleksibilnost i sigurnost opskrbe prirodnim plinom. U konačnici tu je i novoizgrađeni hrvatski LNG terminal koji dodatno osigurava tržišne uvjete i sigurnost opskrbe!

## 6. Proizvodnja vodika

Kako bi optimizirali režime rada termoelektrane, povećali njenu iskoristivost i raspoloživost, predviđena je i dogradnja sustava za proizvodnju vodika. Predviđa se ugradnja elektrolizera snage 17,5 MW za proizvodnju vodika koji bi proizvodio oko 340 kg/h vodika u uvjetima smanjene potražnje i niskih cijena električne energije. To bi u naravi bio vodik proizveden elektrolizom, a električna energija će biti proizvedena gotovo bez emisija štetnih plinova u atmosferu ( $<2tCO_2/tH_2$ ). Također, planira se i izgradnja IT centra koji će koristiti proizvedenu električnu energiju na lokaciji elektrane što će omogućiti kontinuirani rad elektrane i njenu spremnost za pružanje najzahtjevnijih usluga elektroenergetskom sustavu.

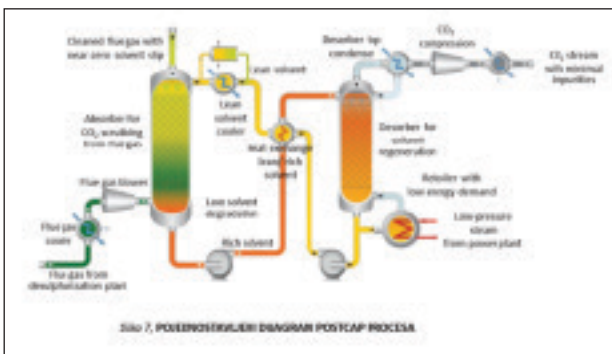
## 7. Vrijednost investicije oko 420 milijuna EUR-a

Vrijednost ove investicije procijenjena je na oko 420 mil EUR-a! Budući se radi o privatnoj investiciji financijska konstrukcija se zatvara privatnim ulaganjem kroz financiranje od strane banaka, financijskih institucija, fondova i akumuliranog vlastitog kapitala investitora.

Projekt je kompleksan, ekološki prihvatljiv i izuzetno inovativan te je pogodan za financiranje iz EU fondova jer zadovoljava sve kriterije niskouglične strategije gotovo bez ugljičnog otiska!

## 8. Poslovni model

Razvoj tržišta energije, a time i tržišta prirodnog plina i električne energije nameće nova pravila ponašanja, pruža nove mogućnosti i postavlja nove izazove. Poslovni model i poslovno okruženje, u kojemu će projekt dugoročno ostvariti pozitivne poslovne rezultate, ovisi o interesu subjekata uključenih u projekt i njihovim



Slika 7. Pojednostavljeni dijagram Postcap procesa

poslovnim odnosima odnosno poslovnom modelu koji će svima dugoročno osigurati benefite od projekta.

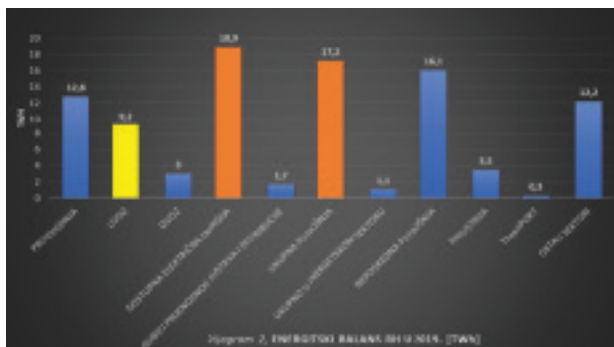
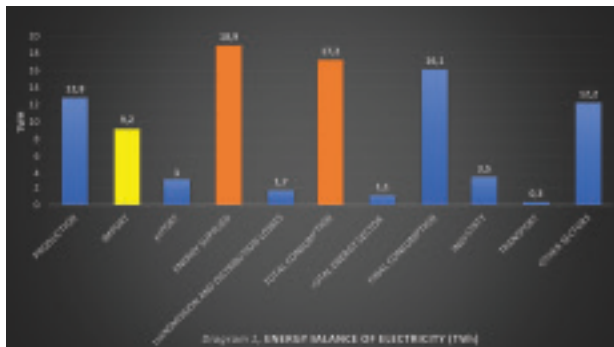
Iako je tendencija trgovanja s energijom na burzama u realnom vremenu, što može uzrokovati velike poremećaje i nesigurnost opskrbe, praksa, koju provode velike i ozbiljne energetske kompanije, je još uvijek okrenuta ugovaranju dostatnih količina temeljenom na bilateralnim ugovorima prvenstveno radi sigurnosti opskrbe gdje je raspon ugovorenih cijena doista velik, a ovisi o nizu faktora. Cijena vršne energije u pojedinim razdobljima doseže visoke iznose. Koncept ove elektrane, kao pametne, je u tome da je u mogućnosti raditi onda kada joj je cijena prihvatljiva odnosno kada je Clean Spark Spread (CSS) pozitivan!

## 9. Nužnost potrebe za ovakvom elektranom

Svjedoci smo turbulentnih gospodarskih prilika koje su se odrazile i na odnose u energetske sektoru i naznačile nove smjerove vođenja dugoročne poslovne i energetske politike, kako u primjeni EU direktiva i paketa energetske zakona tako i po pitanju stvaranja dugoročnih poslovnih odnosa partnera u projektu. Postojeći modeli i odnosi poslovnih partnera nisu dali adekvatne odgovore na novonastale izazove te su uzrokovali stagnaciju u razvoju i investicijama i ugrozili dugoročnu energetske stabilnost i sigurnost kao i načela poduzetništva, zaštite kapitala i ulaganja.

Činjenica da iako RH ima dostatne proizvodne kapacitete za proizvodnju električne energije isti su često nekonkurentni tako da RH uvozi više od 40% e.e. (9 TWh u 2020.godini). Također radi starosti i zastarjelosti dio postrojenja uskoro izlazi iz proizvodnje, a dio je već duže vrijeme izvan redovne proizvodnje te je predviđen za dekomisiju. Veliki zamah u izgradnji postrojenja za proizvodnju električne energije iz tzv. obnovljivih izvora energije (OIE) posljedica je ponajprije subvencija i poticajne politike, a ne energetske politike zasnovane na ekonomičnosti, učinkovitosti i konkurentnosti, a ima za posljedicu povećanje cijene električne energije, povećanu potrebu za uravnoteženje elektroenergetskog sustava s osnova potrebe i potražnje s obzirom i na nestalne i često nepredvidive okolnosti takve strukture proizvodnje kao i promjene strukture i dinamike potrošnje, posebno s pozicije povećane potražnje radi poticaja elektromobilnosti.





Radi svega gore navedenog novi proizvodni blok elektrane kao CCPP SB nužan je za hrvatski energetski sustav, a budući je RH dobro povezana s ES JIE dobro bi se uklopila i u regionalno tržište i zadovoljila potrebe EES regije.

## 10. Zaključak

Ovo rješenje dokazuje da se, primjenom znanosti, novih tehnologija i tehničkih rješenja, može **iz prirodnog plina proizvesti električna energija bez štetnih emisija u atmosferu**, ali naravno, to ima svoju cijenu.

Svjesni smo da hvatanje CO<sub>2</sub> umanjuje učinkovitost u proizvodnji **električne energije** i da to ima svoju cijenu u **investiciji, u operativnim troškovima** i konačno u **cijeni proizvoda**, ali to je jedini pravi način da, u uvjetima **povećanja potrošnje električne energije**,

**stvarno utječemo** na smanjenje emisija stakleničkih plinova, koristeći **prirodni plin** koji je prihvaćen kao **ekološki najprihvatljiviji energent u tranzicijskom razdoblju do potpune dekarbonizacije i osiguramo dostatnost i sigurnost elektroenergetskog sustava!**

Moramo biti realni i odgovorni kao struka i moramo javnosti prikazati i objasniti činjenice, a one su prvenstveno da ako želimo **rast gospodarstva, bolji standard, veću potrošnju, za posljedicu imamo veću potražnju za energijom**. Energetska učinkovitost sama za sebe ne može nadomjestiti povećanu potražnju, a uz to korištenje električne energije, kao krajnjeg oblika je komotno, ali nije uvijek najučinkovitije i ekološki najbolje rješenje.

Prirodni plin je energent za kojega se svi slažu da je ekološki najprihvatljivije gorivo na bazi ugljikovodika i da ga ima dovoljno za više od 200 godina, i to potvrđenih rezervi, a prihvaćen je kao energent u tranzicijskom razdoblju do potpune dekarbonizacije. Taj resurs je Hrvatskoj na raspolaganju i objektivno dostupan te je potrebno voditi energetske i razvojne politike kako bi ga najbolje moguće koristili u interesu gospodarstva i građana RH.

Interesne skupine, često intenzivno, nameću svoja rješenja ne vodeći računa o posljedicama te na globalnoj razini, tako prečesto populistički prezentiraju svoje opcije koristeći se pojmovima EKO i BIO pa i OIE koje su sve samo ne dobrobit za čovječanstvo jer često koriste resurse koji su prirodno namijenjeni za opstanak života na Zemlji, a ne za energiju! Mnoge aspekte i posljedice ovih opcija još nismo ni sagledali jer je teško predvidjeti kuda će koja opcija krenuti. Tek kada se stvori kritična masa problema pojedine opcije (npr. korištenje eko sustava zemlje koji je namijenjen za prehranu i život, zbrinjavanje otpada istrošenih postrojenja, deficit pojedinih sirovina i resursa...) počeo će se javno pričati o tome i pokušati rješavati, ali tada će već biti prekasno!