

Višekriterijumska analiza kod izbora optimalne varijante snabdevanja apsorbentom termoelektrane Ugljevik

Cvjetko P. Stojanović

Mješoviti Holding „Elektroprivreda Republike Srpske“ Matično preduzeće a.d. Trebinje i Zavisno preduzeće Rudnik i Termoelektrana Ugljevik a.d., Ugljevik, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

Izvod

U ovom radu dat je istorijski prikaz razvoja projekta odsumporavanja dimnih gasova (ODG) termoelektrane Ugljevik, sa specifičnostima izabrane tehnologije, te prikaz metodologije kod izbora najpovoljnije opcije za snabdevanje apsorbentom kao najznačajnijim faktorom u projekciji operativnih troškova rada ODG postrojenja. Primenjeni višekriterijumski postupak kod donošenja odluke razvijen je pomoću analitičkog hijerarhijskog postupka ocene (AHP). Proces donošenja odluke kao i korišćeni kriterijumi i podkriterijumi predstavljeni su kroz primere rađene u okviru različitih studija za potrebe definisanja, kako same tehnologije, tako i pitanja obezbeđenja apsorbenta za postupak odsumporavanja dimnih gasova. Takođe, dat je prikaz ekonomskih efekta odabranog rešenja.

Ključne reči: višekriterijumska analiza, analitički hijerarhijski postupak, desumporizacija, apsorbent.

Dostupno na Internetu sa adresu časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Danas je zaštita okoline međunarodni standard i obaveza. Usvajanjem Direktive o integrisanoj kontroli i prevenciji zagađenja (IPPC direktiva – IPPC, *Integrated Prevention Pollution Control* 96/61/EC) [1], Evropska Unija je postavila ambiciozni cilj visokog nivoa zaštite okoline u celini i uvela koncept održivog razvoja za široki spektar zagađujućih industrijskih aktivnosti uključujući rudarstvo i metalurgiju, energetiku, i niz drugih oblasti.

Fundamentalni i esencijalni element IPPC direktive predstavlja upotreba najboljih raspoloživih tehnika (*Best Available Techniques* – BAT) koje čine najefikasnije i najnaprednije faze u razvoju aktivnosti i njihovih operativnih metoda.

Termoelektrana Ugljevik (TE Ugljevik), instalisane snage 300 MW, kao gorivo koristi rovni mrki ugalj, koji se eksploatiše iz površinskog kopa Bogutovo Selo. Ugalj sadrži visok nivo sumpora (približno 5–6%) i ima kaloričnu vrednost od 10.000–13.000 kJ/kg.

Prolazeći kroz jedan veoma dug period, od skromno prezentovanih prvih razmišljanja o potrebi zaštite vazduha i životne sredine, pa sve do aktivnosti koje sasvim realno vode ka ostvarenju ove ideje, konstantno je prisutan dualizam neophodnosti preduzimanja ovih mera i činjenice da je odsumporavanje dimnih gasova jedan skup proces, koji trajno opterećuje proizvodnu cenu električne energije. Poslednji period, obeležen trendom globalizacije, kao i jasno opredjeljenje za evropskom budućnošću zemalja regiona, donose i obaveze koje

STRUČNI RAD

UDK 621.311.22:502/504

Hem. Ind. 69 (5) 443–452 (2015)

doi: 10.2298/HEMIND140617058S

više nije moguće izbeći ni u jednoj sferi života, a pogotovo ne u zaštiti životne sredine, i koje se nalaze visoko na lestvici prioriteta EU.

Sve navedeno, bilo je zamajac za konačno finaliziranje ideje, o izgradnji postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova, pogotovo što je postojala, i postoji, opasnost zaustavljanja rada i pre isteka životnog veka Termoelektrane.

U cilju rešavanja ovog pitanja, obezbeđen je kredit japanske vlade, odnosno od *Japan International Cooperation Agency* (JICA), urađena je konceptualna studija, Studija izvodljivosti o izgradnji sistema za odsumporavanje dimnog gasa, kao i sproveden postupak pretkvalifikacije potencijalnih izvođača za izgradnju postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova (ODG), a u završnoj fazi je izrada tenderskog dokumenta za prikupljanje ponuda iz reda kvalifikovanih ponuđača.

Konceptualnom studijom, Odsumporavanje dimnih gasova Termoelektrane Ugljevik, *Japan International Cooperation Agency* (JICA) iz 2006. godine, odabran je mokri postupak, a kao mogući apsorbent krečnjak ili kreč, sa gipsom kao finalnim proizvodom. Zbog izuzetno visokog sadržaja sumpora u uglju, zaključeno je da ostali procesi nisu izvodljivi te su navedenom studijom razmatrani samo mokri procesi.

Vlažni postupak ODG trenutno se smatra najefikasnijim i u svetu se najviše koristi u termoenergetskim objektima. Ovaj postupak zasniva se na raspršivanju suspenzije krečnjaka u dimni gas, s ciljem konverzije SO₂ u potencijalno komercijalan krajnji proizvod. Princip rada je jednostavan: nakon što je leteći pepeo u najvećoj meri odstranjen iz dimnog gasa u elektrofiltrerskom postrojenju, sorbent, koji uglavnom pred-

Prepiska: Neznanih junaka 7/14, 76300 Bijeljina, Bosna i Hercegovina.

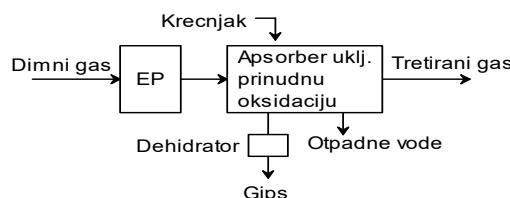
E-pošta: cvele.stojanovic@gmail.com

Rad primljen: 17. jun, 2014

Rad prihvaćen: 9. jul, 2014

stavlja suspenziju krečnjaka, se unutar apsorbera raspršuje u dimni gas. Sorbent reaguje sa SO_2 u struji gasa formirajući nusproizvod koji je sulfatnog karaktera, kalcijum-sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tj. gips. Kalcijum-sulfat se iz pomenutog produkta taloži, dok se većina vode reciklira.

Na slici 1 data je pojednostavljena tehnološka šema postupka odsumporavanja dimnih gasova mokrim postupkom, a na slici 2 tehnološka šema sa glavnom opremonom.



Slika 1. Tehnološka šema postupka odsumporavanja dimnih gasova mokrim postupkom.

Figure 1. Process flow diagram of wet Flue Gas Desulphurisation process.

Prema navedenoj studiji, glavna oprema sistema za odsumporavanje dimnih gasova mokrim postupkom sadrži:

- sistem dimnog gasa,
- sistem za dopremanje krečnjaka,
- sistem za apsorpciju i oksidaciju – apsorber,
- sistem za suspenziju gipsa,
- pomoći sistemi,
- sistem za pražnjenje,
- sistem za ispuštanje dimnog gasa – dimnjak,
- sistem deponovanja gipsa i tretiranje otpadnih voda i
- sistem kontrole i upravljanja.

U Tabeli 1 dat je prikaz osnovnih karakteristika procesa odsumporavanja dimnih gasova mokrim krečnjackim postupkom.

U cilju dizajniranja sistema za dugoročno snabdevanje apsorbentom detaljno su analizirani brojni ulazni podaci, a nakon razmatranja niza uticajnih faktora izvršen je konačan izbor apsorbenta – drobljeni karbonat, sa veličinom frakcije, maksimalne krupnoće 20–30 mm, koja bi se dopremala u krug termoelektrane, dok bi se finalna mikronizacija obavljala u mlinskom postrojenju kao integralnom delu ODG postrojenja.

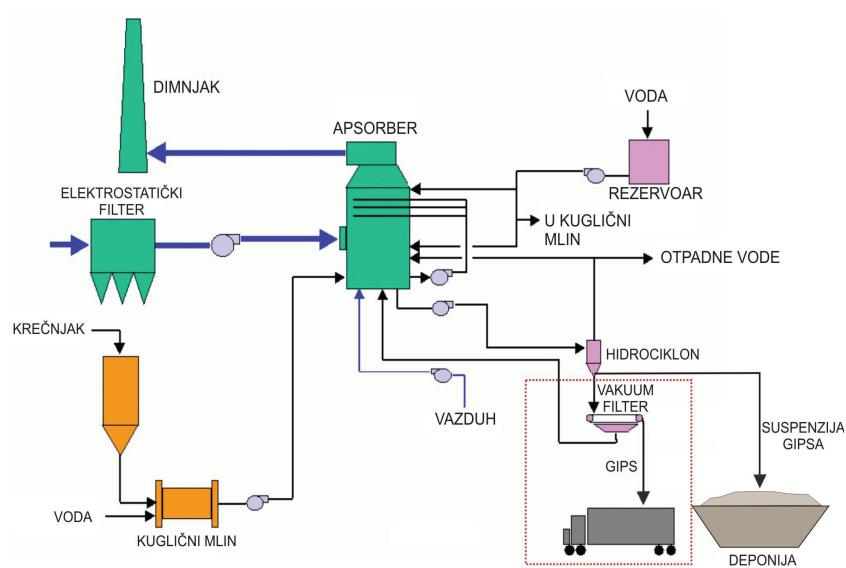
Ovakvo rešenje je nastalo kao plod sagledavanja niza faktora od kojih su, kao najuticajni, izdvojeni sledeći:

– Primarna prerada van termoelektrane bi u znatnoj meri smanjila uticaj pripreme apsorbenta na životnu sredinu, odnosno olakšala aktivnosti na ispunjavanju ekoloških normi.

– Mlinsko postrojenje, za finalnu mikronizaciju karbonata, već je definisano kao integralni deo ukupnog ODG postrojenja unutar Termoelektrane, kako u pogledu prostornog razmeštaja, tako i u smislu dostupnosti potrebne infrastrukture.

Sam izbor postupka proistekao je iz razrade operativnih troškova uz zadovoljenje osnovnog cilja, postizanja traženih izlaznih vrednosti dimnih gasova, odnosno koncentracije SO_2 u istim. Pri tome, investicioni troškovi nisu procenjeni, jer ponude potencijalnih dobavljača postrojenja za ODG nisu dostupne u ovoj fazi projekta. Procenjeni su preliminarni troškovi rada kako bi se pronašlo optimalno rešenje između više mogućih varijanti.

Poseban akcenat stavljen je na dostupnost karbonata kao apsorbenta, uz činjenicu da kada se uzmu u obzir različite varijante razmeštaja i različita rešenja



Slika 2. Tehnološka šema postupka odsumporavanja dimnih gasova mokrim postupkom sa glavnom opremom [2].

Figure 2. Process flow diagram of wet Flue Gas Desulphurisation process with main equipment [2].

Tabela 1. Osnovne karakteristike procesa odsumoravanja dimnih gasova mokrim krečnjačkim postupkom
Table 1. Basic features of wet limestone Flue Gas Desulphurisation process

Proces	Sistem krečnjak–gips
Prikaz	Sumpor-dioksid u dimnom gasu se apsorbuje u mulj koji se sadrži u krečnjaku kroz povezivanje sa dimnim gasom u upijaču/apsorberu. Gips se javlja kao nusprodukt u dehidratoru. Hemijska reakcija: $\text{SO}_2 + \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
Efikasnost	90–98%
Apsorbent	Krečnjak; lako se obezbeđuje i nabavlja
Nusproizvod	Gips; koristi se kao dodatak cementu, gipsu/gipsanim pločama, poboljšanju kvaliteta zemljišta, itd.
Lokacija postrojenja	Krug termoelektrane
Reprezentativna iskustva	Mnoga iskustva zbog raširenosti ODG tehnologije širom sveta
Specijalne osobine	– Jeftin apsorbent – Nusprodukt koji se može prodati
Prednosti	– Zahteva se tretiranje otpadnih voda – Zahteva se dogревač dimnog gasa
Mane	– Zahteva se tretiranje otpadnih voda – Zahteva se dogревač dimnog gasa
Primena	Široka primjena za postrojenja ODG gde se zahteva visoka efikasnost uklanjanja SO_2 i/ili relativno veći kapacitet, zbog lakog nabavljanja krečnjaka

ispuštanja dimnih gasova, kao najekonomičnije rešenje odabran je vlažni postupak sa krečnjakom kao apsorbentom.

Uzimajući u obzir minimalno potrebnu čistoću krečnjaka od 95,0% CaCO_3 , procenjeno je da prosečna godišnja potrošnja ove sirovine može da dostigne i do 183.000 t/godišnje, saglasno ulaznim parametrima dimnih gasova u ODG postrojenje prema Tabeli 2.

Tabela 2. Potrebne količine apsorbenta na osnovu količine polutanata [2]

Table 2. Required quantities of absorbent based on pollutant amount [2]

Parametar	Polutant	Apsorbent
	SO_2	
Protok mase	16.600 kg/h	–
Efikasnost uklanjanja	98,5%	25.548 kg/h
	SO_3	
Protok mase	420 kg/h	–
Efikasnost uklanjanja	50%	263 kg/h
	HCl	
Protok mase	60 kg/h	–
Efikasnost uklanjanja	95%	78 kg/h
	HF	
Protok mase	10 kg/h	–
Efikasnost uklanjanja	95%	24 kg/h
Ukupnokarbonata($100\%\text{CaCO}_3$)	–	25.913 kg/h

Uvažavajući činjenicu da je udeo apsorbenta u ukupnim operativnim troškovima budućeg ODG postrojenja najdominantniji (50% i više), bilo je neophodno uraditi opsežna istraživanja u smislu pribavljanja relevantnih informacija kao što su: potencijalni dobavljači,

rezerve i kvalitet mineralne sirovine, cena, pouzdanost snabdevanja, logistika, itd.

U okviru razmatranja idejnih rešenja ukazala se potreba za identifikacijom ležišta krečnjaka, odnosno potencijalnih dobavljača koji mogu zadovoljiti specifične kriterijume za odabranu tehnologiju odsumopravanja.

Opis primenjene metodologije

Savremeni pristup procesu izbora optimalne varijante podrazumeva postupak višekriterijumske odlučivanja sa konačnim brojem alternativa, koje moraju biti kategorisane s obzirom na mnogo različitih kriterijuma.

Prednost ovih metoda je u tome što one mogu istovremeno da razmatraju i finansijske i nefinansijske faktore pri postupku izbora. Najpoznatije od ovih metoda su modeli ocenjivanja, analitički hijerarhijski proces – AHP, analitičke mreže procesa – ANP, TOPSIS, ELECTRE i PROMETHEE.

Pre nego što se izabere i primeni odgovarajuća metoda višekriterijumske odlučivanja za izbor optimalne varijante, neophodno je detaljno razmotriti sve elemente i faktore vezane za konkretnu situaciju [3, 4].

U procesu višekriterijumske odlučivanja adekvatno određivanje značaja kriterijuma je veoma bitno. Pretходno navedene metode, osim AHP metode, ne uključuju postupak za određivanje značaja kriterijuma. Bitarafan i Ataei [5] koristili su različite fazi metode u cilju grupisanja kriterijuma pri procesu donošenja odluka.

U cilju rešavanja postavljenog zadatka bilo je neophodno kreirati odgovarajući hijerarhijski postupak ocene na osnovu koga bi se izvršilo rangiranje odnosno izvršio izbor najpovoljnije varijante. U nastavku rada dat je prikaz višekriterijumskega postupka kod donošenja odluke pri izboru optimalne varijante snabdevanja

apsorbentom za potrebe odsumporavanja dimnih gasova TE Ugljevik korišćenjem analitičkog hijerarhijskog postupka (AHP).

Kratak opis AHP metode

U stručnoj terminologiji, veoma poznat izraz, multi kriterijumski način donošenja odluke (*Multi Criteria Decision Making – MCDM*) u osnovi počiva na korišćenju AHP metode.

Može se slobodno reći da je jedan od najčešće korišćenih metoda koji se koriste prilikom donošenja odluka o različitim pogodnostima je „*Analytic Hierarchy Process*“ (AHP), odnosno Analitički hijerarhijski postupak ocene. Ovaj metod razvijen od strane Satija [6] kao moćan alat za višekriterijumsko odlučivanje.

Lee i sar. definišu AHP kao kvantitativnu tehniku koja omogućava strukturisanje složenog višekriterijumskog problema i kao metodologiju koja ima široku primenu pri donošenju odluka [7].

AHP uključuje dekompoziciju složenog problema višekriterijumskog odlučivanja u višedimenzionalnu hijerarhijsku strukturu ciljeva, kriterijuma i alternativa. Dekompozicija se vrši na bazi prethodnih studija, istraživanja i empirijskog iskustva. Nakon što je hijerarhija razvijena, vrši se procena uticaja kriterijuma, onda se upoređuju alternative u odnosu na svaki kriterijum i utvrđuje ukupni prioritet za svaku alternativu i konačno rangiranje alternativa [8].

S obzirom na to da su principi AHP metode poznati stručnoj javnosti i dostupni na brojnim internet stranicama u tekstu koji sledi dat je kraći prikaz primene AHP metode kod izbora optimalne varijante snabdevanja krečnjakom za potrebe odsumporavanja dimnih gasova TE Ugljevik. Zbog obimnosti materijala prikazan je samo deo kalkulacija sa konačnim rezultatima izbora optimalne varijante.

Kratak prikaz AHP kalkulacija

Prilikom postupka ocene pogodnosti ležišta krečnjaka, odnosno potencijalnog snabdevača apsorbentom, osnovni kriterijumi podeljeni su na tehničke, ekonomski i kriterijume pouzdanosti, koji su dalje podeđeni na više podkriterijuma kako je to prikazano na slici 3.

Tehnički podkriterijumi su uglavnom diktirani ograničenjima koja su postavljena usvojenom tehnologijom odsumporavanja. U tom smislu bilo je neophodno detaljno poznavanje problema tehnološkog postupka kako bi se identifikovali kriterijumi i podkriterijumi, za svako od ležišta krečnjaka, odnosno potencijalnog dobavljača.

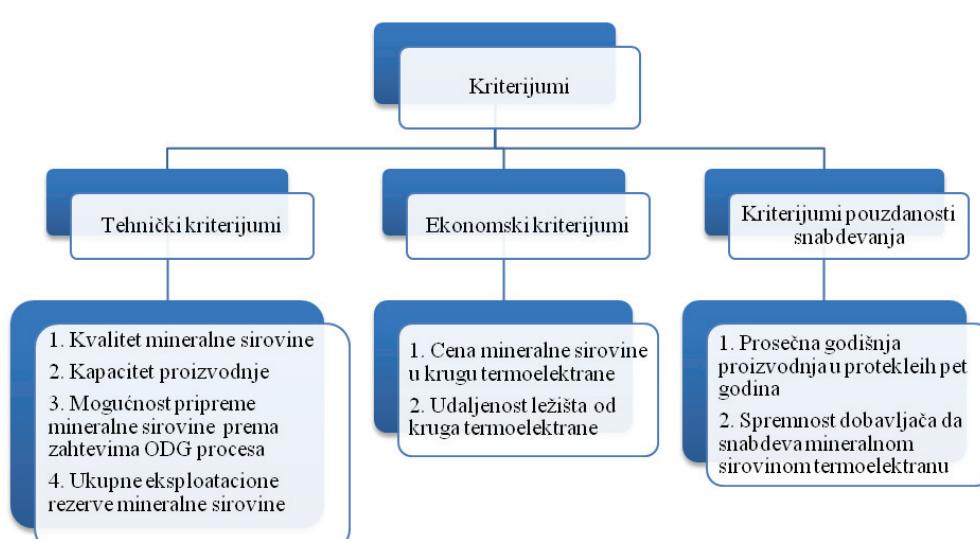
Imajući u vidu da različite tehnologije odsumporavanja postavljaju različite zahteve u pogledu ispunjenja tehničkih kriterijuma granični uslovi vezani za kvalitet krečnjaka za odabranu tehnologiju odsumporavanja, dati su u tabeli 3.

Tabela 3. Zahtevani kvalitet krečnjaka za odabranu tehnologiju [2]

Table 3. Required limestone quality for technology selected [2]

Komponenta	Granične vrednosti, %
CaCO ₃	Min. 96,0
MgO	Maks. 3,0
SiO ₂	Maks. 2,0
Al ₂ O ₃	Maks. 0,5
HCl	Maks. 3,0
Fe ₂ O ₃	Maks. 0,1
Vлага	Maks. 0,5

Vrednost svakog od podkriterijuma za pojedinačno ležište dobijena je na osnovu ocene ispunjenosti postavljenih graničnih uslova kako je to dato u Tabeli 4.



*Slika 3. Osnovni kriterijumi sa podkriterijumima.
Figure 3. Basic criteria with subcriteria.*

*Tabela 4. Ocena kriterijuma
Table 4. Criteria rating*

Ispunjenošć uslova	Definicija
0	Eliminatori kriterijum nije ispunjen
1	Kriterijum je ispunjen
2	Kriterijum je ispunjen sa značajnom sigurnošću
3	Kriterijum je ispunjen višestruko

Iz Tabele 3 vidljivo je da je kvalitet krečnjaka, neophodan za odabranu tehnologiju, definisan graničnim vrednostima (minimumima i maksimumima) koje je vrlo lako u okviru ocene definisati kao eliminatore u pogledu ispunjenja zahtevanog kvaliteta.

Prilikom razmatranja potrebnih količina mineralne sirovine neophodno je bilo razmatrati rezerve ležišta sa stanovišta ukupnih potreba za period od 25 godina (planirani životni vek Termoelektrane do 2039. godine) kao i proizvodnih mogućnosti potencijalnih dobavljača.

Svakom od navedenih podkriterijuma dodat je i težinski faktor te je na taj način dobijena konačna ocena ležišta sa aspekta potencijalnog snabdevača, tabela 5.

*Tabela 5. Težinski faktor podkriterijuma eliminatori kriterijumi
Table 5. Weight factor of subcriteria, elimination criteria*

Podkriterijum	Težinski faktor	Eliminatori kriterijum
T1	0,25	Da
T2	0,10	Ne
T3	0,05	Da
T4	0,25	Ne
E1	0,10	Ne
E2	0,05	Ne
P1	0,15	Ne
P2	0,05	Da

Podkriterijum i pripadajući težinski faktor razložen je na sve elemente koji grade razmatrani podkriterijum. Npr. tehnički podkriterijum T1, čiji težinski faktor iznosi 0,25, razložen je na kriterijume zahtevanog kvaliteta datih u tabeli 3.

Ukoliko je neki od eliminatornih podkriterijuma ocenjen sa nula (0) krajnji rezultat je eliminacija potencijalnog snabdevača.

Konačna ocena potencijalnog snabdevača dobijena je primenom formule:

$$P_{uk} = \sum P_k \times T_f \quad (1)$$

gde su: P_{uk} – ukupna pogodnost snabdevača, P_k – ocena snabdevača po određenom kriterijumu i T_f – težinski faktor po određenom kriterijumu.

Nakon okončanog postupka evaluacije prema opisanoj metodologiji izvršeno je rangiranje potencijalnih snabdevača prema broju bodova.

Opis analitičkog postupka ocene za definisane kriterijume

Tehnički kriterijumi (T)

T1. Kvalitet krečnjaka. U okviru podkriterijuma T1 obrađeni su svi elementi iz tabele 5, a težinski faktor (0,25) je raspoređen između njih. Ukoliko bilo koji od kriterijuma kvaliteta nije ispunjen potencijalni snabdevač je eliminisan iz dalje analize.

T2. Kapacitet proizvodnje. U zavisnosti od potreba termoelektrane izvršena je minimalna procena potencijalne proizvodnje na osnovu instalisanih kapaciteta za svako od analiziranih ležišta.

T3. Mogućnost pripreme mineralne sirovine na potrebnu granulaciju. Imajući u vidu da je u okviru idejnih rešenja predviđena instalacija postrojenja za pripremu apsorbenta u krugu termoelektrane (fina mikronizacija) svi potencijalni snabdevači imali su isti status kod ocene, a zahtevana granulacija apsorbenta je u granicama od 20–30 mm.

T4. Ukupne rezerve ležišta. Ukupne rezerve su razmatrane za period planiranog radnog veka termoelektrane od minimalno 25 godina i prosečnim radnim satima od 7.000 h godišnje. Za ocenu ovog kriterija, u obzir su uzete eksploataционе rezerve mineralne sirovine.

Ekonomski kriterijum (E)

E1. Cena. Jedan od najvažnijih kriterijuma, pored kvaliteta i pouzdanosti u snabdevanju, je svakako cena krečnjaka sa isporukom u krug Termoelektrane. Što se transporta mineralne sirovine tiče, od mesta proizvodnje do termoelektrane, isti se može obavljati isključivo drumskim saobraćajem, jer ne postoji drugi oblik (železnički kolosek niti plovni put).

E2. Udaljenost ležišta od termoelektrane. Ocena je izvršena na osnovu udaljenosti ležišta od termolektrane i to na način da je sa maksimalnom vrednošću ocenjeno ležište koje je najbliže, dok se ocena ostalih ležišta zasnivala na odnosu najbližeg ležišta i razmatranog ležišta.

Kriterijum pouzdanosti (P)

P1. Prosečna godišnja proizvodnja. Kriterijum pouzdanosti je razmatran sa aspekta mogućnosti ostvarenja kontinuiteta isporuke u skladu sa potrebama termoelektrane za mineralnom sirovinom (krečnjakom).

P2. Spremnost potencijalnih dobavljača da snabdeva mineralnom sirovinom termoelektranu. S obzirom da pojedini potencijalni dobavljači imaju već obezbeđeno tržište isti su tretirani za nijansu niže od onih koji imaju potencijal, ali ne i razvijeno tržište, tj. imaju primaran interes da snabdevaju Termoelektranu sa sirovinom.

REZULTATI OCENE

Na osnovu sprovedene detaljne analize izvršeno je rangiranje potencijalnih dobavljača, kako je dano u tabeli 6. Kao što se može videti kao najpovoljnija opcija pokazala se varijanta novog površinskog kopa krečnjaka u okviru poslovnog sistema Rudnik i termoelektrana Ugljevik (RiTE Ugljevik).

Tabela 6. Konačna ocena potencijalnih snabdevača krečnjakom
Table 6. Final evaluation of prospective limestone suppliers

Snabdevač	Konačno rangiranje
Novi površinski kop ZP RiTE Ugljevik	1
RUDING AD Ugljevik	2
RAVNAJA Mali Zvornik	3
CARMEUSE Doboј	4
NEXE JELEN DO AD Jelen Do	5

Ovako značajna količina (26 t/h, odnosno blizu 5.000 tona nedeljno potrebnog apsorbenta u krugu termoelektrane), kao i veoma uticajan faktor transporta, sa aspekta ukupnih troškova, nametnule su potrebu da se rešenje pronađe, na užem prostoru Ugljevika. Ovo pogotovo zbog činjenice proistekle iz zaključka idejne studije o podobnosti karbonata sa širem prostora eksplotacionog polja Rudnika za potrebe odsumporavanja dimnih gasova TE Ugljevik.

U zaključku Elaborata o kvalitetu i rezervama karbonata Ugljevika kao sirovinske baze za proces odsumporavanja dimnih gasova iz TE Ugljevik naglašeno je da na prostoru Ugljevika postoji više karbonatnih ležišta koja kvalitativnim i kvantitativnim karakteristikama predstavljaju realnu osnovu za eksplotaciju u svrhu snabdevanja termoelektrane apsorbentom.

Za svako potencijalno odabrano ležište postoje osnovne pozitivne postavke, koje bi se trebale detaljno razraditi i na kraju dokazati istražnim geološkim radovima.

Uvažavajući niz bitnih faktora (udaljenost, naseljenost, povezanost sa već otvorenim površinskim kopom i odlagalištima, transport, itd.) izvršen je izbor lokacije ležišta karbonata, za koje se smatra da može zadovoljiti zahteve za potrebnim apsorbentom budućeg postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova TE Ugljevik.

Na osnovu raspoloživih podataka, posebno obrađenih u Elaboratu o kvalitetu i rezervama karbonata Ugljevika kao sirovinske baze za proces odsumporavanja dimnih gasova iz TE Ugljevik, sa sigurnošću se može reći da istraživani deo terena, odnosno rudno telo sadrži oko $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ karbonata.

Prema preliminarnim ispitivanjima izabrano ležište sadrži visok procenat korisne mineralne komponente (CaCO_3), visoku reaktivnost i male vrednosti štetnih primesa, kao i relativno nizak indeks meljivosti (Bondov

Index) koji je ispod 10 KWh/t, što je sa ekonomskog aspekta od izuzetnog značaja.

Usled specifičnosti projekta dugoročnog snabdevanja apsorbentom za potrebe TE Ugljevik, isključiva uloga novog površinskog kopa karbonata je obezbeđivanje potrebnih količina za nesmetano funkcionisanje ovog procesa.

Iz navedenih razloga projektovana dobit na godišnjem nivou iskazana je na ostvarenoj uštedi, koja proističe iz razlike između procenjene proizvodne cene karbonata na novom površinskom kopu, i najpovoljnije trenutne cene u okruženju i šire.

Na osnovu prikupljenih ponuda potencijalnih dobavljača utvrđeno je da je najniža cena za isporuku u krugu TE Ugljevik iznosi 11 konvertibilnih maraka po toni. Tehnoekonomskom analizom ukupnih troškova [8] novog površinskog kopa karbonata došlo se do jedinične cene od 5,5 KM/t ili 2,8 evra po toni (odnos 1 evro = 1,955 KM).

Kao što se može videti, razlika između najpovoljnije cene potencijalnih snabdevača i cene karbonata iz „vlastitih izvora“, iznosi 5,5 KM. Na osnovu potrebne količine karbonata za ODG sistem, od oko 200.000 t godišnje, došlo se do godišnje dobiti u iznosu od 1.100.000 KM godišnje ili oko 560.000 evra.

Ocena efikasnosti projekta

Opšte je poznato, da se investicioni projekti ocenjuju na osnovu dva tipa ocene: prema statičkoj i dinamičkoj oceni efikasnosti projekta.

Statička ocena efikasnosti

Statička ocena bazira se na pokazateljima koji se izvode iz podataka iz novčanih tokova (bilansa uspeha i finansijskog toka) u reprezentativnoj godini životnog veka projekta, a obično se uzima godina kada je postignut projektovani kapacitet.

U praksi postoji veliki broj pokazatelja, a za ovaj projekt dati su sledeći statički pokazatelji [8]:

- Rentabilnost = neto dobit/ukupne investicije = 12,3%
- Ekonomičnost = neto dobit/ukupan prihod = 40,9%
- Reproduktivnost = (neto dobit+amortizacija)/ukupne investicije = 12,3%
- Prosečna profitna stopa investicionog projekta: 14,4%

Generalna ocena bilansa uspeha i finansijskog toka

Kako se radi o investicionom projektu koji je praktično vezan za snabdevanje poznatog potrošača (ODG postrojenje TE Ugljevik), a finansiraće se vlastitim sredstvima, nema negativnog finansijskog rezultata, u godinama intenzivnog ulaganja. Umesto toga postoje određena smanjenja neto dobiti zbog povećanih troškova.

Prag rentabilnosti

Utvrdjeni prag rentabilnosti, uz proizvodne troškove od 5,5 KM/t, je godišnja proizvodnja od oko 60.000 tona karbonata.

Proizvodni troškovi mogu da porastu od 5,5 do 11 KM/t, za puni kapacitet, od 200.000 tona godišnje, a da projekat bude rentabilan.

Projekat je rentabilan i u slučaju da nabavna cena karbonata se smanji na nivo do 5,5 KM/t za puni kapacitet.

Investiciona ulaganja mogu da porastu i do 35%, a da projekat bude rentabilan.

Troškovi koncesione naknade za pravo korišćenja (jednokratna naknada) projektovani su u iznosu od 16.500 KM, a obračunati su na osnovu Pravilnika o načinu utvrđivanja visine koncesione naknade za korišćenje mineralne sirovine (Službeni glasnik RS, br. 5/03), dok su troškovi koncesione naknade za proizvedenu mineralnu sirovину (godišnji) obračunati u iznosu 4% od projektovanog prihoda (110.000 KM/god) i iznose 44.000 KM, za projektovani kapacitet.

Dinamička ocena efikasnosti investicije

Kod dinamičke ocene efikasnosti investicije generalno postoje tri osnovne metode: Povraćaj (PB – Pay Back); Neto sadašnja vrednost (NPV – Net Present Value) i Interna stopa povraćaja (IRR – Internal Rate of Return). Sve analize zavise od predviđanja troškova i dobiti i dinamičkog plana trošenja i priliva novca, tako da se isti princip koristi bilo da se odluka odnosi na opravku ili zamenu opreme, povećanje proizvodnje ili bilo koje druge investicione aktivnosti.

Metoda roka otplate – povratka ulaganja (Pay Back period – PB)

Po ovoj metodi određuje se vreme za koje projekat vraća uložena sredstva, odnosno to je godina veka projekta u kojoj kumulativ neto priliva postaje pozitivan. Poželjno je da ovaj period bude što kraći, a ne sme biti duži od ekonomskog veka projekta. Obračun ovog pokazatelja je jednostavan: iznos ukupnih ulaganja se umanjuje za godišnje iznose neto-priliva iz ekonomskog toka.

Kao prvi korak potrebno je da se postavi plan sa jednakim vremenskim periodima, a ukupan broj vremenskih perioda treba da bude jednak veku projekta.

Kako je za ovu investiciju potrebno 7.300.000 KM, povraćaj se računa tako što se iznos investicije podeli sa godišnjim prosekom realizacije, tj. ostvarenom dobiti koja iznosi 1.100.000 KM, tj. $7.300.000 \text{ (KM)} / 1.100.000 \text{ (KM/god.)} = 6,6 \text{ godina}$

U slučaju da postoji više alternativnih projekata kao najbolji uzima se onaj koji je po broju godina povraćaja najkraći.

Kao što se iz prikazanog primera može videti, ovo je relativno jednostavan i lako razumljiv kriterijum, pa se

vrlo često koristi u praksi, naročito kod manjih projekata, a isto tako može se koristiti i kod većih, gde predstavlja prvi kriterijum na koji se nadograđuju složeniji pokazateli. Analiza povraćaja odražava kratak rok i to joj je osnovna slabost. Sa povećanjem ulaganja i dužim rokom potrebno je razmatranje obima ulaganja i vremenske vrednosti novca. U tom cilju koristi se analiza Neto sadašnja vrednost, ili skraćeno NPV analiza.

Neto sadašnja vrednost projekta (Net Present Value – NPV)

Neto sadašnja vrednost predstavlja sposobnost projekta da vrati uložena sredstva. Finansijsko tumačenje je sledeće: kada investitor odlučuje o tome da li će da investira ili ne, on treba da odluči da li mu se više isplati da sredstva deponuje u banku i obezbedi određen siguran prinos ili da ih uloži u planirani projekat. Odluka će biti u prilog ulaganju u projekat samo ako on obezbedi prinos veći od kamate na koju može sa sigurnošću računati ukoliko su sredstva u banci. Po ovome diskontna stopa bi trebalo da bude najmanje jednakam kamatnoj stopi koja se sa velikom sigurnošću može obezrediti u pouzdanim bankarskim institucijama, uvećana za faktore rizika od ulaganja.

U tabeli 7 dat je primer samo sa dva slučaja, sa diskontnim stopama od 8 i 15%.

Navedeni broj godina predstavlja period od početka rada ODG sistema (2016. godina) do kraja životnog veka Termoelektrane (2039. godina).

Analizom tabele 7 može se zaključiti sledeće:

a) Kada se zahteva stopa povratka od 8%, investicija je opravdana, jer je sadašnja vrednost celog projekta veća od vrednosti početnog ulaganja za 4.108.165 KM.

b) Kada se zahteva stopa povratka od 15% investicija nije opravdana, jer je sadašnja vrednost celog projekta manja od vrednosti početnog ulaganja za 261.279 KM.

U suštini koncept sadašnje vrednosti znači da se za neki projekat svaki priliv po godinama, odnosno odliv, diskonтуje faktorima unapred zadate stope povratka i svodi na sadašnju vrednost. Ta stopa treba da bude tako određena da bi mogla da reprezentuje obim investicija, vrednost novca u funkciji vremena, kao i stepen poslovnog rizika projekta koji se razmatra.

Projekat se usvaja ako je sadašnja vrednost veća od nule, a odbija se ako je jednak nuli ili je manja od nule. Dakle, kod ovakvog pristupa vrlo je važno odabrati stopu povrata.

Interna stopa povrata (IRR)

Interna stopa povrata (Internal Rate of Return – IRR) ili interna stopa prinosa po definiciji je stopa koja sadašnju vrednost projekta svodi na nulu. To praktično znači da bi se izračunala IRR neophodno je naći diskontnu stopu koja će izjednačiti sadašnju vrednost

Tabela 7. NPV Analiza
Table7. NPV analysis

Godina	Finansijski rezultat (Dobit) $\times 10^{-3}$	Diskontna stopa 8%	Sadašnja vrednost budućih dobitaka (KM $\times 10^{-3}$)	Diskontrastopa 15%	Sadašnja vrednost budućih dubitaka (KM $\times 10^{-3}$)
1.	1100	0,925925926	1018,519	0,86956522	956,522
2.	1100	0,85733882	943,073	0,75614367	831,758
3.	1100	0,793832241	873,215	0,65751623	723,268
4.	1100	0,735029853	808,533	0,57175325	628,929
5.	1100	0,680583197	748,642	0,49717674	546,894
6.	1100	0,630169627	693,187	0,4323276	475,560
7.	1100	0,583490395	641,839	0,37593704	413,531
8.	1100	0,540268885	594,296	0,32690177	359,592
9.	1100	0,500248967	550,274	0,28426241	312,689
10.	1100	0,463193488	509,513	0,24718471	271,903
11.	1100	0,428882859	471,771	0,21494322	236,438
12.	1100	0,397113759	436,825	0,18690715	205,598
13.	1100	0,367697925	404,468	0,16252796	178,781
14.	1100	0,340461041	374,507	0,14132866	155,462
15.	1100	0,315241705	346,766	0,12289449	135,184
16.	1100	0,291890468	321,080	0,10686477	117,551
17.	1100	0,270268951	297,296	0,09292589	102,218
18.	1100	0,250249029	275,274	0,08080512	88,886
19.	1100	0,231712064	254,883	0,07026532	772,92
20.	1100	0,214548207	236,003	0,06110028	67,210
21.	1100	0,198655748	218,521	0,05313068	58,444
22.	1100	0,183940507	202,335	0,04620059	50,821
23.	1100	0,170315284	187,347	0,04017443	44,192
Ukupno			11.408,165		7.038,721
I Varijanta			11.408,165 – 7.300 = 4.108,165 $\times 10^3$ KM, prihvatljiva varijanta		
II Varijanta			7.038,721 – 7.300 = -261,279 $\times 10^3$ KM, neprihvatljiva varijanta		

očekivanih troškova sa sadašnjom vrednošću očekivanih koristi. Ukoliko je neto sadašnja vrednost projekta pozitivna, jasno je da će ova stopa biti veća od diskontne stope.

Interna stopa povrata projekta izračunava se metodom pokušaja i greške. Pretpostavi se jedna diskontna stopa i na osnovu nje se izračuna neto sadašnja vrednost projekta. Ako se dobije pozitivna vrednost, postupak se nastavlja tako što se diskontna stopa povećava sve do momenta dok se ne dobija negativna neto sadašnja vrednost projekta, zatim se interpolacijom u okviru ove dve diskontne stope traži interna stopa povrata koja neto sadašnju vrednost projekta svodi na nulu.

Koristi se poznata formula za interpolaciju:

$$IRR = d_p + (d_n - d_p)(NPV_p/(NPV_p - NPV_n)) \quad (2)$$

gde su: d_p = diskontna stopa koja daje pozitivnu neto sadašnju vrednost projekta, d_n = diskontna stopa koja daje negativnu neto sadašnju vrednost projekta, NPV_p = pozitivna neto sadašnja vrednost projekta i NPV_n = negativna neto sadašnja vrednost projekta.

Za investicioni projekat proizvodnje karbonata potrebnog za dugoročno snabdevanje ODG postrojenja na slici 4 izračunata je interna stopa povrata – $IRR = 14,38\%$.

ZAKLJUČAK

Uspeh svakog investicionog projekta procenjuje se njegovom efikasnošću u određenom vremenskom periodu koja proizilazi iz odnosa koristi i troškova projekta.

Da bi se izrazila i komparirala efikasnost pojedinih projekata, koriste se različiti investicioni kriterijumi. Pored kriterijuma, neophodno je definisati i adekvatne metode za utvrđivanje rentabilnosti investicionih projekata, te utvrditi način na koji će se izvršiti izbor između više mogućih varijanti pri datom kriterijumu.

U ovom radu, primenjena je višekriterijumska metoda donošenja odluke u cilju izbora optimalne varijante snabdevanja apsorbentom (krečnjakom) za potrebe osumporavanja dimnih gasova TE Ugljevik. Izbor optimalne varijante snabdevanja apsorbentom je jedna od najznačajnijih odluka u toku implementacije ovog

Godina	Očekivana dobit	Diskontni faktor za diskontnu stopu 14%		Diskontni faktor za diskontnu stopu 14,5%		Diskontni faktor za diskontnu stopu 14,383453%	
		Sadašnja vrednost	Diskontni faktor za diskontnu stopu 14%	Sadašnja vrednost	Diskontni faktor za diskontnu stopu 14,5%	Sadašnja vrednost	Diskontni faktor za diskontnu stopu 14,383453%
1	1.100.000	0,877193	964.912	0,873302	960.699	0,874252	961.678
2	1.100.000	0,789468	846.414	0,782762	839.038	0,784317	840.749
3	1.100.000	0,674972	742.469	0,666168	732.784	0,668206	735.027
4	1.100.000	0,592080	651.288	0,581806	639.986	0,584181	642.599
5	1.100.000	0,519369	571.308	0,508127	558.940	0,510721	561.793
6	1.100.000	0,455587	501.145	0,443779	488.157	0,446499	491.149
7	1.100.000	0,399637	439.601	0,387580	426.338	0,390363	429.388
8	1.100.000	0,350559	385.615	0,338498	372.348	0,341267	375.394
9	1.100.000	0,307508	338.259	0,295631	325.195	0,298354	328.189
10	1.100.000	0,289744	296.718	0,285193	284.013	0,280836	288.920
11	1.100.000	0,238617	280.279	0,225498	248.048	0,228037	250.840
12	1.100.000	0,207559	228.315	0,196940	216.634	0,199362	219.298
13	1.100.000	0,182069	200.276	0,172000	189.200	0,174292	191.722
14	1.100.000	0,159710	175.681	0,150218	165.240	0,152376	167.613
15	1.100.000	0,140096	154.108	0,131195	144.315	0,133215	146.536
16	1.100.000	0,122892	135.181	0,114581	126.039	0,116463	128.110
17	1.100.000	0,107800	118.580	0,100071	110.078	0,101818	112.000
18	1.100.000	0,094561	104.017	0,087398	96.138	0,089015	97.918
19	1.100.000	0,082948	91.243	0,076330	83.963	0,077821	85.604
20	1.100.000	0,072762	80.038	0,066664	73.330	0,068036	74.839
21	1.100.000	0,063826	70.209	0,058222	64.044	0,059480	65.428
22	1.100.000	0,055988	61.587	0,050849	55.933	0,052001	57.201
23	1.100.000	0,049112	54.023	0,044409	48.850	0,045462	50.008
Ukupno:	25.300.000		7.471.262		7.249.309		7.300.000
Sadašnja vrijednost ulaganja			7.300.000		7.300.000		7.300.000
Neto sadašnja vrijednost projekta			171.262		-50.691		0
Određivanje IRR interpolacijom			=14+(14,5-14)*(171.262/(171.262-50.691))= 14,3858067%				
Diskontna stopa određena uz pomoć excel formule			= 14,383453%				

Slika 4. Kalkulacije za određivanje Interne stope povrta – IRR.

Figur 4. IRR calculations.

projekta koji za preduzeće ima strateški karakter. Sam proces izbora zahteva, pre svega, definisanje mogućih varijanti sa poređenjem primenljivih opcija u skladu sa odgovarajućim kriterijumima kako bi se došlo do optimalnog rešenja.

LITERATURA

- [1] Directive 2008/11 EC of the European parliament and of the council of 15 Jan, 2008, Official Journal of the European Union, 1.24/8)29.1.2008.
- [2] Japanska agencija za spoljnu trgovinu (JETRO), Studija izvodljivosti o izgradnji sistema za odsumporavanje dimnog gasa na termoelektrani Ugljevik, 2006.
- [3] A. Bufardi, R. Gheorghe, D. Kiritsis, P. Hirouchakis, Multi Kriterijum decision-aid approach for product end-of-life alternative selection, Int. J. Prod. Res.**42** (2004) 3139–3157.
- [4] I. Mergias, K. Moustakas, A. Papadopoulos, M. Loizidou, Multi-Kriterijum decision aid approach fort he selection

of the best compromisemanagement scheme for ELVs: The case of Cyprus, J. Hazard. Mater. **147** (2007) 706–717.

- [5] M.R. Bitarafan, M. Ataei, Mining method selection by multiple Kriterijum decision making tools, J. S. Afr. I. Min. Metall. (2004) 493-498.
- [6] T.L. Saaty, The Analytical Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [7] W.B. Lee, H. Lau, Z. Liu, S. Tam, A fuzzy analytical hierarchy process approach in modular product design, Expert Syst. **18** (2001) 32-42.
- [8] C. Stojanović, D. Bogdanović, S. Urošević, Open pit mining technology selection by multicriteria analysis of decision making process, TTEM **9** (2014) 86–94.
- [9] C. Stojanović, B. Borović, S. Stević, Z. Ječmenica Z. Malović, Studija ekonomske opravdanosti za dodjelu koncesije za istraživanje i eksploraciju karbonata za potrebe odsumporavna dimnih gasova termoelektrane Ugljevik, Sektor za investicije, razvoj i projektovanje RiTE Ugljevik, 2013.

SUMMARY

MULTI CRITERIA ANALYSIS WITH REGARDS TO SELECTING OPTIMAL ABSORBENT SUPPLY OPTION TO UGLJEVIK THERMAL POWER PLANT

Cvjetko P. Stojanović

Mixed Holding „Power Utility of the Republic of Srpska“ joint stock company Trebinje and Subsidiary Company „Mine and Thermal Power Plant“ Ugljevik

(Professional paper)

Concept of sustainable development implies an effective long-term development, both in developed and developing countries, and must be based on three pillars: environmental protection, economic development and social cohesion, both on the state and on a global level. This clear definition of sustainable development suggests a necessity of a combined action on environmental protection, economic development and the achievement of social cohesion. As a rule, by investing in environmental protection projects, power generation companies implement previously defined growth targets, development policies and business strategies. Investment projects for the given coal type are considered as the capital ones, for they use great financial resources, significant resources and are long-lasting. The companies undertake investing in such projects to be affirmed in the new business environment, adapt to anticipated changes or to overcome the handicaps of their current position and thus adjust their production capabilities with the opportunities offered by the market. All the above implies that environmentally based capital project investments are the prerequisite of existence, sustainable growth and the acquisition of competitive advantages. However, investing in such projects is a very complex process comprised of multidimensional testing activities of all relevant determinants of future conditions and changes that the project entails. Bearing in mind that such projects are associated with the company's strategic development objectives, in the realization of such projects all the internal and external factors of development shall be taken into account, as well as a number of constraints arising from the socio-economic environment.

Keywords: Multi criteria analysis • Analytical Hierarchy Process • Desulphurization • Absorbent