

ALGORITAM POSTUPKA OPTIMIZACIJE IZBORA LOKACIJE NOVIH TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA (TEP) I ENERGETSKA EFIKASNOST

Zdravko N. Milovanović, *Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka*
Svetlana R. Dumonjić-Milovanović, *Partner inženjering d.o.o. Banja Luka*

Sadržaj – Donošenje odluke o lokaciji za buduće TEP predstavlja jednu od najbitnijih poslovnih odluka potencijalnog investitora. U procesu valorizacije i izbora prihvatljivih potencijalnih mikrolokacija za TEP u okviru odabrane makrolokacije neophodno je primijeniti određeni postupak, koji će biti uniforman u svim svojim aspektima. U okviru rada dat je prikaz algoritma faznog postupka izbora lokacije TEP na uglj. Realizacijom prve faze određuju se eliminacioni kriterijumi za izbor lokacije, proizašli iz zakonske legislative, primjene domaće i svjetske prakse, te tehničko-tehnoloških zahtjeva samog energetskeg objekta, i valorizuje širi prostor. Pri tome se odbacuju područja koja su neprihvatljiva po barem jednom eliminacionom kriterijumu. Preostale potencijalne lokacije u širem području idu u dalje dodatno vrednovanje i međusobno poređenje. Pravila za vrednovanje potencijalnih mikrolokacija, koja trebaju biti unaprijed definisana, predstavljaju kriterijume za poređenje, a obično se daju u formi zahtjeva za postizanje unaprijed definisanog cilja. Dati različiti kriterijumi mogu biti i međusobno suprotstavljani, pa je potrebno za vrednovanje alternativa raspolagati i metodom kojom bi se omogućila njihova simultana obrada. Proces inženjerske optimizacije predstavlja sistemsko traženje optimalnog rješenja zadatog inženjerskog problema uzimajući u obzir definisane kriterijume optimalnosti, a u uslovima zadovoljavanja zadatih ograničenja. Optimalno rješenje mora biti i energetska efikasno.

1. UVOD

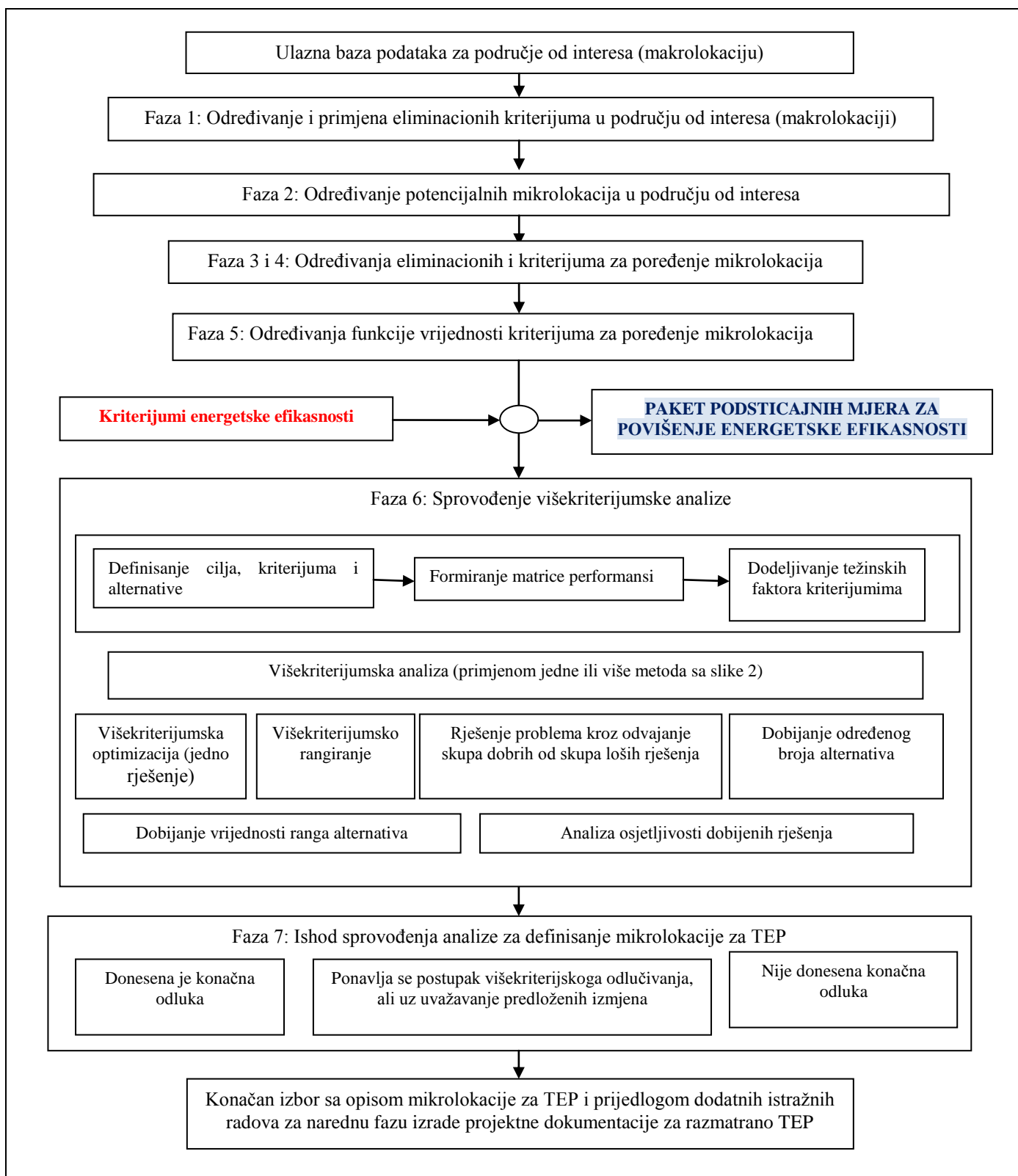
Donošenje odluke o lokaciji za buduće TEP predstavlja jednu od najbitnijih poslovnih odluka vezanih za cjelokupan postupak koji prati najranije etape njihovog životnog ciklusa - pripremu za projektovanje, proces projektovanja i izgradnje, pa sve do puštanja u rad i njihovog probnog pogona. U procesu valorizacije i izbora prihvatljivih potencijalnih mikrolokacija za TEP u okviru odabrane makrolokacije neophodno je primijeniti određeni postupak, koji će biti uniforman u svim svojim aspektima. Da bi se ovakav cilj i ostvario neophodno je definisati opšte kriterijume za izbor i međusobno poređenje izabranih mikrolokacija u okviru ranije utvrđene makrolokacije pomoću primjene metode višekriterijalne optimizacije. Proces donošenja odluke o lokaciji usko je determinisan sa donošenjem drugih odluka, od kojih su posebno bitne definisanje namjene TEP (proizvodnja samo električne ili električne i toplotne energije) i izbor sirovinke baze kod TEP. Algoritam postupka izbora lokacije dat je na slici 1. Pristupanje ozbiljnijoj izradi projektnog zadatka i potrebne (zakonom propisane) projektne dokumentacije zahtijeva prethodno definisanu ulaznu bazu podataka. Eventualne potrebne dodatne podloge, ostala projektna i druga dokumentacija, kao i druge informacije od važnosti za izradu dalje projektne dokumentacije definišu se

nakon obavljenih preliminarnih analiza i tokom postupka postepene izrade dokumentacije (niži nivo projektne dokumentacije determiniše obim i sadržaj istražnih radnji potrebnih za naredni viši nivo dokumentacije). U slučaju neraspoloživosti nekih od podloga, investitor i projektant zajedno ocjenjuju uticaj neraspoloživosti podloge na očekivane rezultate i dinamiku izrade dokumentacije, rizik i način prevazilaženja problema. Izbor lokacije termoelektrane prvenstveno zavisi od snabdijevanja i raspoloživih količina goriva i vode, dok izbor lokacije toplane ili energane podređen je prvenstveno potrošačima koje treba snabdijevati sa toplotnom energijom. U okviru Faze 1 određuju se eliminacioni kriterijumi za izbor lokacije, proizašli iz zakonske legislative, primjene domaće i svjetske prakse, te tehničko-tehnoloških zahtjeva samog energetskeg objekta, i valorizuje širi prostor, pri čemu se odbacuju područja koja su neprihvatljiva po barem jednom eliminacionom kriterijumu. Glavni cilj realizacije ove faze je da se eliminiše što veći dio područja od interesa i pojednostavi proces traženja i vrednovanja potencijalnih mikrolokacija u okviru šire makrolokacije. U slučaju da na stadiju razrade i projektovanja ne postoje dovoljno dobri kvalitetni i pouzdani podaci za primjenu eliminacionih kriterijuma za izbor mikrolokacija isti se ne koriste, uz obavezu njihove realizacije po sprovedenim dodatnim terenskim istraživanjima. Cilj je sprečavanje nepovratnog odbacivanja potencijalno dobrih, ali dovoljno neistraženih, lokacija, dok eventualni prolazak "loših" lokacija u sljedeću fazu istraživanja sigurno će biti "otkriven" i "sankcionisan" u daljim fazama postupka izbor lokacije primjenom višekriterijalnih metoda odlučivanja. U okviru Tabele 1 dat je pregled eliminacionih kriterijuma za potrebe izbora lokacije TEP na uglj i gas. Po realizaciji ove faze određuju se potencijalne lokacije u širem području koje nije eliminisano, tzv. globalno vrednovanje ("Site Screening"). Lokacije koje ostanu nakon Faze 2 neophodno je dodatno vrednovati i najčešće i porediti, s ciljem njihovog rangiranja prema povoljnostima lokacija za smještaj TEP. Pravila za vrednovanje potencijalnih mikrolokacija, koja trebaju biti unaprijed definisana, predstavljaju kriterijume za poređenje (KP), a obično se daju u formi zahtjeva za postizanje nekakvog cilja. Kriterijumi za poređenje se obično grupišu, Tabela 2. Povećanje nivoa uticaja energetskeg objekata i postrojenja na degradaciju životne sredine zahtijeva podjednako i od razvijenih i zemalja u razvoju usklađivanje potreba između zahtjeva konzuma i proizvodnje energije, uz poboljšanje energetskeg opcija za održivi razvoj.

Usklađivanjem ciljeva zaštite vazduha, vode, zemljišta, flore, faune i pejzažnih karakteristika sa društveno-ekonomskim ciljevima ima za osnovni cilj maksimizaciju neto ekonomskog blagostanja razvoja energetike, uz zadržavanje zalihe ekonomskih, ekoloških i sociokulturnih vrijednosti za buduće generacije i osiguravanje mreže za pokrivanje osnovnih potreba i zaštititi kategorije siromašnih.

Održivost izabranih energetske opcija zahtijeva detaljni i integrisani okvir za analizu i proces odlučivanja, sa više kriterijuma i više nivoa odlučivanja, kao i uz mnogo objektivnih i subjektivnih ograničenja. Polazeći od ranijeg principa planiranja razvoja energetike, koji je podrazumijevao zadovoljenje zahtjeva konzuma za energijom

sa minimalnim ekonomskim troškovima, neophodno je dodatno uključiti i zahtjeve vezane za životnu sredinu i samo društvo, počev od najranije etape razrade i izrade projektne dokumentacije, gdje je izbor mikrolokacije važan preduslov za osiguranje održivog energetskog razvoja, [3].



Sl. 1. Algoritam postupka izbora lokacije novih TEP.

Tabela 1. Prikaz eliminacionih kriterijuma za izbor lokacija TEP na ugalj/gas/mazut.

Oznaka	Opis	Podkriterijumi
Grupa EK 0	Usklađenost sa planskom dokumentacijom	EK 0.1. Usklađenost sa prostornom planskom dokumentacijom, EK 0.2. Usklađenost sa strategijama razvoja energetskog sektora, EK 0.3. Usklađenost sa ekonomskom politikom i sl.
Grupa EK 1	Potreban prostor za smještaj objekata i postrojenja GPO i pomoćne opreme	EK 1.1. Glavni pogonski objekat (GPO): kotao, turbine, električni generator, EK 1.2. Pomoćna postrojenja (HPV-hemijska priprema vode, dobava osnovnog i pomoćnog goriva, otprema nus proizvoda nastalih u procesu eksploatacije, ekološki sistemi - otpadne vode, ESF, dimnjak i sl., sistem tehničkih gasova, elektro oprema - rasklopna postrojenja, transformatori i dr.)
Grupa EK 2	Konflikti sa drugim prostornim sadržajima	EK 2.1. Područja posebnih namjena (vojni objekti i postrojenja), EK 2.2. Postojeća i planirana naseljenost područja, EK 2.3. Turističko-rekreaciona područja, EK 2.4. Manevarske zone aerodroma, EK 2.5. Saobraćajna infrastruktura (putevi i željezničke pruge), EK 2.6. Zaštitne zone od drugih industrijskih i privrednih objekata, EK 2.7. Ostalo (poljoprivredni sadržaji, sistemi za vodosnabdijevanje i sl.)
Grupa EK 3	Tehničko-tehnološki aspekti	EK 3.1. Količina i transport potrebne rashladne vode, EK 3.2. Opasnost od plavljenja, EK 3.3. Elektroenergetski aspekti vezivanja na prenosnu mrežu, EK 3.4. Naselja - gasna mreža, EK 3.5. Naselja - toplifikaciona mreža, EK 3.6. Naselja - vodovodna mreža EK 3.7. Eksploatacija ruda i minerala
Grupa EK 4	Ekonomsko-finansijski aspekti izgradnje i/ili rada i okvirna energetska efikasnost i održivost	EK 4.1. Investicioni troškovi EK 4.2. Troškovi eksploatacije (rada) i održavanja, EK 4.3. Troškovi goriva i potrošnog materijala, EK 4.4. Troškovi vezani za uticaj ograničenja emisije gasova sa efektom staklene bašte, EK 4.5. Ekonomski vijek elektrana, EK 4.6. Ekonomska profitabilnost ulaganja u elektrane, EK 4.7. Odnos vraćene i uložene energije (Okvirna energetska efikasnost)
Grupa EK 5	Sigurnosni aspekti i rizik	EK 5.1. Seizmotektonika, EK 5.2. Neotektonika, EK 5.3. Hidrogeologija, EK 5.5. Litološke i geomorfološke karakteristike, EK 5.6. Topografija, EK 5.7. Naselja - gustoća i sigurnosni aspekti lokacije
Grupa EK 6	Ekološki aspekti i zaštita životne sredine u periodima tokom životnog ciklusa (izgradnja, rad, revitalizacija, rekonstrukcija i modernizacija i uklanjanje objekata)	EK 6.1. Zaštita prirodne baštine, EK 6.2. Zaštita kulturne baštine, EK 6.3. Zaštita biološko-ekoloških vrijednosti, EK 6.4. Socijalni aspekti, EK 6.5. Sociološke vrijednosti ugrožavanja prirode

Tabela 2. Prikaz kriterijuma za poređenje kod izbora lokacija TEP na ugalj/gas/mazut

Oznaka	Opis	Podkriterijumi
Grupa PK 0	Prostorno-planski uslovi	PK 0.1. Potencijal konflikta u prostoru sa drugim korisnicima prostora, PK 0.2. Odnos lokacije prema zaštićenim dijelovima prostora na lokaciji i u njenoj blizini, PK 0.3. Namjena i korišćenje prostora (demografija i naselje, poljoprivreda i šumarstvo, industrija i rudarstvo, školstvo i obrazovanje)
Grupa PK 1	Geološko-seizmološki pokazatelji	PK 1.1. Seizmološki i seizmotektonski pokazatelji, PK 1.2. Lokalni geološki pokazatelji, PK 1.3. Hidrogeološki pokazatelji, PK 1.4. Hidrološki pokazatelji (disperzija otpadne toplote, disperzija u vodi, udaljenost površinskih tokova od odlagališta otpada i sl.), PK 1.5. Meteorološki aspekti (stanje zadirmljenja, smog, stanje tišine i ostalih nepovoljnih meteoroloških stanja)
Grupa PK 2	Tehničko-tehnološki pokazatelji	PK 2.1. Transport (rashladna voda, VN dalekovod, ugalj/gas/mazut, tehnički gasovi, šljaka i leteći pepeo, saobraćajna pristupačnost, građevinski material i dr.), PK 2.2. Meteorološki i hidrološki aspekti (sigurnost od plavljenja, ekstremne meteorološke pojave i uticaj), PK 2.3. Geologija i seizmologija (seizmotektonika i seizmika, inženjerska geologija - mehanika tla i temeljenje, litologija i geomorfologija, neotektonska aktivnost)

Grupa PK 3	Sigurnosno-bezbjedonosni pokazatelji	PK 3.1. Uslovi za dopremu opreme PK 3.2. Uslovi za dopremu sirovina i potrošnog materijala, PK 3.3. Procjena rizika u okolini PK 3.4. Blizina i opasnost od uticaja drugih industrijskih i ostalih rizičnih objekata i postrojenja
Grupa PK 4	Ekonomsko-finansijski pokazatelji i energetska efikasnost	PK 4.1. Opis obračunskih jedinica za cost-benefit analizu (analiza investicionih troškova, troškova eksploatacije i održavanja, troškova rekonstrukcije, revitalizacije i modernizacije i troškova uklanjanja objekta ili promjene njegove namjene), PK 4.2. Analiza društvenih tokova (ocjena distorzije cijene ulaganja, plata, fiskalni aspekti), PK 4.3. Analiza društvene koristi (distorzija cijene učinak/rezultata, društvena korist od zaposlenosti, spoljašne koristi, ekonomska neto sadašnja vrijednost - NSV i isplativosti - Isp), PK 4.4. Analiza dodatnih kriterijuma za procjenu, sa aspekta prezentacije rezultata sa stanovišta opštih ciljeva standarada EU, povećanja GDP-a, povećanje zaposlenosti i dr., PK 4.5. Mogućnost izgradnje kogenerativnih/hibridnih postrojenja, kao i drugih kompatibilnih objekata PK 4.6. Analiza indikatora energetske efikasnosti
Grupa PK 5	Ekološki aspekti i održivi razvoj	PK 5.1. Vizualni uticaj i uticaj na pejzaž, PK 5.2. Biološko-ekološka osjetljivost lokacije i njene neposredne okoline, PK 5.3. Zaštita životne sredine (priroda i kulturna baština, ekološko-biološke karakteristike, radiološki aspekti, kvalitet voda, stanje tla-hemijska agresivnost)
Grupa PK 6	Posebni pokazatelji sa aspekta održivog prostornog razvoja	PK 6.1. Očuvanje vrijednosti prostora za prioritete djelatnosti područja, PK 6.2. Mogućnost korišćenja ekološki povoljnijih energenata, PK 6.3. Nogućnost korišćenja novih tehnologija sa višim stepenom korisnog dejstva (kogeneracija, trigeneracija, kombinovana parno-gasna postrojenja za proizvodnju električne energije, hibridni sistemi u kombinaciji sa obnovljivim izvorima i sl.), PK 6.4. Zadržavanje ili smanjenje opterećenja već opterećenog područja, PK 6.5. Prvenstveno otklanjanje konflikata i njihovo usklađivanje sa interesima zaštite prirodne baštine, uz potrebu valorizaciju krajolika (pejzaža) i relevantnih ekoloških komponenti, PK 6.6. Sanacija devastiranih područja i prostora bez drugih djelatnosti, PK 6.7. Mogućnost zapošljavanja i privredni razvoj depopulacijskih područja

2. ENERGETSKA EFIKASNOST I LOKACIJA TEP

Grupa kriterijuma, označena kao PK 4, obuhvata analizu ekonomsko-finansijskih pokazatelja, kao i energetske efikasnosti sistema u cjelini. Društveno-ekonomska analiza opravdanosti troškova (Cost-benefit analiza) obuhvata analizu investicionih troškova, troškova eksploatacije i održavanja, troškova rekonstrukcije, revitalizacije i modernizacije i troškova uklanjanja objekta ili promjene njegove namjene, zatim analizu društvenih tokova (ocjena distorzije cijene ulaganja, plata, fiskalni aspekti), društvene koristi (distorzija cijene učinak/rezultata, društvena korist od zaposlenosti, spoljašne koristi, ekonomska neto sadašnja vrijednost (NSV) i isplativosti (Isp), kao i dodatnih kriterijuma za procjenu, sa aspekta prezentacije rezultata sa stanovišta opštih ciljeva standarda EU, povećanja GDP-a, povećanje zaposlenosti i dr. Prilikom kreiranja politike energetske efikasnosti, polazeći od stanja na tržištu energije, potrebno je definisati mjere mogu stimulisati ulazak na tržište i koje mogu ubrzati komercijalizaciju ili povećati prodor energetski efikasnih proizvoda i usluga na tržište, [4, 5]. Prije definicije paketa instrumenata podsticajne politike potrebno je provesti detaljnu analizu, koja najčešće obuhvata:

- analizu neposredne potrošnje energije u zadnjih minimalno deset godina (odrediti istorijske trendove te ispitati različite moguće razvojne scenarije),
- proračun indikatora energetske efikasnosti na makroekonomskom i sektorskom nivou (energetska intenzivnost, specifična potrošnja, indeks energetske efikasnosti, prilagođene indikatore prema klimatskim uslovima, difuzijske indikatore i CO₂ indikatore,

- Benchmark uporednu analizu, analizu sa referentnim zemljama ili sa vrijednošću prosjeka za EU-15,
- određivanje nacionalnog cilja za poboljšanje energetske efikasnosti kako za cjelokupnu potrošnju, tako i za svaki sektor posebno.

Ciljevi se postavljaju za cjelokupnu potrošnju energije, kao i za svaki sektor moraju biti SMART (specifični, mjerljivi, ambiciozni, realistični i ostvarivi u određenom vremenu). Na osnovu rezultata analize tržišta definišu se podsticajne mjere i uspostavlja prihvatljiva teorija o načinima na koje će instrumenti politike dovesti do ostvarenja ciljeva, odnosno utvrđuju se načini na koje će upravo određeni instrument dovesti do ekonomski isplativih poboljšanja energetske efikasnosti (pristup poznat kao “*ex ante* evaluacija”).

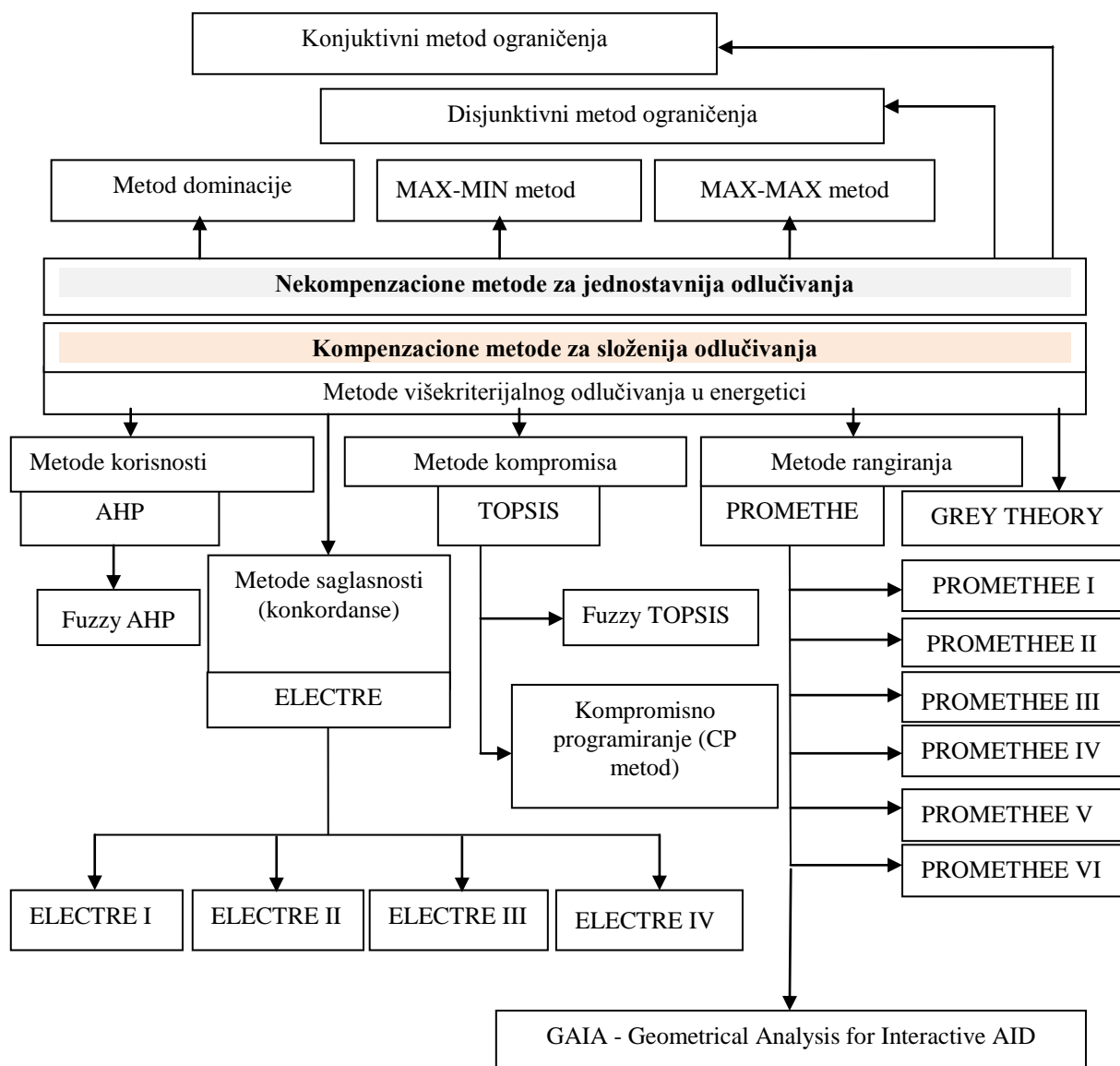
3. MODELI ODLUČIVANJA I FAZE REALIZACIJE PROBLEMA IZBORA LOKACIJE

Postojanje teškoća u vrednovanju određenih ekoloških i društvenih uticaja razvoja novih energetskih objekata i veliki broj mogućnosti za izbor njihove lokacije zahtjeva primjenu metode višekriterijumske analize, a ne samo primjenu konvencionalne metode analize troškova i dobiti. Zbog osiguranja većeg obima prihvatljivih alternativa izbora lokacije, od posebne važnosti je identifikacija mogućih kriterijuma (eliminacioni i kriterijuma za poređenje), koji u osnovi moraju zadovoljavati elemente održivog razvoja - ekonomiju, životnu sredinu, energetsku efikasnost i društvo.

Korišćenje metoda višekriterijalnog odlučivanja treba da obezbijedi pomoć donosiocima odluka u slučaju kada postoji

veliki izbor alternativa za problem koji se rješava. Pri tome, proces odlučivanja i izbora optimalnog rješenja prilikom projektovanja energetskih postrojenja je višekriterijumskog tipa, pri čemu je potrebno u obzir uzeti veći broj faktora i interesa različitih grupacija i nivoa društvene zajednice (često i međusobno suprotstavljenih), uz učešće više interesnih grupa u procesu odlučivanja, [2]. Postavlja se pitanje kako pomiriti sve ove kriterijume, sa aspekta različitih preferencija i često međusobno suprotstavljenih interesa. Prilikom izbora varijantnih rješenja kod energetskih postrojenja, idealan slučaj bi odgovarao situaciji kod koje bi se svi kriterijumi u problemu mogli klasifikovati u dvije kategorije: profitnu kategoriju, gdje se kriterijumi maksimiziraju, pri čemu kriterijum ne mora nužno biti profitni i troškovnu kategoriju, gdje se kriterijumi minimiziraju. Idealno rješenje bilo bi ono

koje omogućava maksimiziranje svih profitnih i minimiziranje svih troškovnih kriterijuma, što je u praksi veoma teško postići. Kako idealno rešenje nije moguće postići, potrebno je tražiti tzv. nedominiranih rješenja (rješenje je dominirano ako postoji bar jedno drugačije rješenje, koje je bar po jednom atributu bolje od posmatranog, uz uslov da je po drugim atributima bar jednako). Treću kategoriju čine tzv. zadovoljavajuća rješenja, kao redukovani podskup mogućih rješenja. Konačno, postoje poželjna rješenja koja su nedominirana, a najbolje zadovoljavaju očekivanja donosioca odluke. U principu razlikuju se dvije grupe metoda - jednostavne nekompensacione metode za jednostavnija odlučivanja i preciznije kompensacione metode za složenija odlučivanja, slika 2.



Sl. 2. Hijerarhijski pregled metoda odlučivanja u energetici, [1].

Polazeći od tri najčešća tipa višekriterijumskih zadataka moguće je izdvojiti višekriterijumsku optimizaciju (jedno rješenje), višekriterijumsko rangiranje (rangirano više rješenja) i višekriterijumsko odvajanje skupa dobrih iz skupa loših rješenja (podskup za dalje rješavanje problema), [6, 7].

Pri tome se posmatra konačan skup alternativa (odluka, akcija, potencijalnih rješenja) $A_j \in A$ (taj broj u praksi najčešće ne prelazi 4), gdje se svaka od alternativa opisuje sa više kriterijuma (atributa, pokazatelja) $PK_j \in PK$. Za konkretni slučaj izbora lokacije TEP alternative i kriterijumi

se uređuju u matricnom obliku. Svaki od tih kriterijuma je ili maksimizacionog (max) ili minimizacionog (min) tipa, dok je sa x_{ij} data vrijednost i -te alternative prema j -tom kriterijumu i sa W_j težinom kriterijuma (ocjena njegove važnosti). Na osnovu većeg broja publikovanih radova, može se zaključiti da AHP predstavlja pogodan i veoma prilagodljiv sistem za podršku odlučivanju kod različitih problema pri varijantnom odlučivanju sa više kriterijuma, a koji sa druge strane se realizuje kao softver za PC platforme sa kompletnom tehničkom podrškom u oblasti višekriterijumskog odlučivanja. Kod rješavanja nekih problema može se pojaviti određena nesigurnost u odlučivanju, pa se koristi tzv. *fuzzy* višekriterijalno odlučivanje, [9]. Ta nesigurnost može biti uzrokovana na dva načina: prvi način, za slučaj kada donosilac odluke nije 100% siguran pri donošenju neke subjektivne procjene, a naziva se nesigurnost subjektivne prosudbe, i drugi, kada informacije o nekim kriterijima nisu potpune ili nisu dostupne uopšte, a naziva se nesigurnost zbog nedostatka podataka ili nepotpunih informacija. U principu, za rješavanje takvih problema koriste se izvedbe običnih metoda višekriterijalnog odlučivanja koje su namijenjene problemima definisanim s određenom nesigurnosti (*fuzzy* izvedenice metoda, kao što su: *fuzzy* AHP, *fuzzy* TOPSIS, itd.), [1, 6-10]. Grey theory (siva teorija) je metoda koja se koristi za proučavanje nesigurnosti, posebno kod realizacije matematičkih analiza tehničkih sistema sa ulaznim neizvjesnim informacijama, posebno problema nesigurnosti, koje su uzrokovani diskretnim podacima i nepotpunim informacijama. Izvorni koncept ove metode razvijen je od strane prof. Denga 1982. godine, [1]. Koristi se kod rješavanja problema odlučivanja koji su definisani sa relativno malo ulaznih informacija i podataka, poznatih na specifičnoj ljestvici i nepoznatih na specifičnoj ljestvici, [8]. *Grey theory* se bavi visokom matematskom analizom sistema, koji su djelomično poznati i djelomično nepoznati, a definisani su s nedovoljno podataka i nedovoljno znanja. Kada proces odlučivanja nije jasan, *grey theory* ispituje interakcijsku analizu između velikog broja međusobno različitih i nepotpunih ulaznih podataka. Pored višekriterijumskog odlučivanja, ova metoda se koristi se i kod računarske grafike, prognoze te kontrole sistema u cjelini, [8]. *Grey theory* metod korišćen je pored ostalog u radovima Ozcana i kod izbora lokacije skladišta ([9]), a pod određenim uslovima primjenljiv je i kod analize izbora makro i mikrolokacije za složene energetske objekte.

3.1. Faze rješavanja problema

Osnovne faze rješavanja problema sastoje se od određenih modula, koji su međusobno uslovljeni. Izgradnja konkretnog modela višekriterijalne analize za rješavanje problema u energetici započinje definisanjem nivoa na koju se model odnosi, tj. za strateški nivo odlučivanja skup kriterija i generisanje akcija (alternativa) će imati sigurno različit postupak u odnosu na niže nivoe odlučivanja. Polazeći od podjele na strateški, taktički i operativni nivo odlučivanja (politički nivo odlučivanja je izvan razmatranog konteksta problema), onda se strateškom nivou odlučivanja može opredijeliti makro teritorijalni pristup u definisanju akcija, kao i vremenski period koji se odnosi na 3 do 5 godina. Za niže nivoe odlučivanja karakterističan je mezo i mikro teritorijalni pristup (konkretno teritorij jedne regije ili

njenog dijela, te opštine ili njenog dijela), odnosno vremenski periodi manji od 3 godine pa do nekoliko mjeseci.

3.2. Dimenzija problema i preliminarne težine grupa kriterijuma za vrednovanje

Konkretna primjena višekriterijalne analize na vrednovanje procedure izbora lokacije u okviru predinvesticionih i investicionih studijskih analiza projekata TEP posebno izdvaja prostorno-geološki segment analize (kriterijumi grupe PK 0 i PK 1), ekonomsko-finansijski segment analize (kriterijumi grupe PK 4), tehničko-tehnološki segment analize (kriterijumi grupe PK 2), društveno-politički segment analize (kriterijumi grupe PK 6) i ekološko-sigurnosni segment analize (kriterijumi grupe PK 3 i PK 5). Prethodno se podrazumijeva da su izabrane mikrolokacije u okviru šire makrolokacije u potpunosti zadovoljile eliminacione kriterijume iz Tabele 1. Navedenim segmentima analize ravnomjerno bi dodjeljivali po 20% vrijednosti sume težina, a unutar segmenta analize za raspodijele težina pojedinim kriterijima, koristili bi se najčešće anketom ekspertnih timova. Pojedini autori su ukazivali na potrebu dodjeljivanja većih težina grupi ekološko-sigurnosnih kriterija, te kriterijima koji su se odnosili na legislativu i pravnu regulativu za njihovo ispunjenje. Za realizaciju potrebnih građevina u okviru energetskih sistema u cjelini, Tavares (1999.) razvija tri karakteristične glavne grupe kriterijuma - kriterijumi koji utiču na proces izgradnje građevina iz dispozicionog plana TEP, kriterijumi koji govore o samom sistemu u cjelini, kriterijum koji se odnose na integraciju sistema u okolinu, društvo, politiku, kulturu, itd. Prema [2], kriterijumi za poređenje termoelektrane na uvozni ugalj i domaći ugalj dobijen iz jamske eksploatacije grupisani su prema prevladavajućim karakteristikama u tri grupe - tehničko-tehnološke (A), sigurnost i prihvatljivost uže lokacije (C) i prihvatljivost šire lokacije (D). Slično, kriterijumi za gasne termoelektrane grupisani su prema prevladavajućim karakteristikama u dvije grupe - tehničko-tehnološki aspekti (A) i prihvatljivost lociranja (B). Sunil Ghose (2008.) uvodi metodu sa 21 kriterijumom za izbor lokacije za novi termoenergetski objekat snage 750 MW: namjena ili dostupnost zemljišta (Land Availability), seizmička stabilnost (Seismic Stability), plavno područje (Floodplain), karakteristike vremena na lokaciji (Weather), postojeća područja opasnosti (Existing Site Hazards), postojeće korišćenje zemljišta (Existing Land Use), ograničenost vazdušnog prostora (Restricted Air Space), kulturna dobra (Cultural Resources), endemične i ugrožene vrste (Threatened and Endangered Species), blizina javnog područja (Proximity to Public Access Areas), državni/lokalni uslovi za zaštitu životne sredine (State/Local Environmental Requirements), blizina klase I vidljivosti (zasićenosti) područja (Proximity to Class I Visibility Areas), blizina zemljišta sa posebnim vlasništvom (Proximity to Tribal Lands), pristup rashladne vode (Access to Cooling Water), ekološki aspekt snabdijevanja gorivom (Fuel Supply Environment), pristup na električnu mrežu (Access to Grid), prava služnosti (Rights of Way), opcije transporta na raspolaganju (Transportation Options Available), dostupnost izvođača i zahtijevanih vještina za realizaciju projekta (Labor and Skills Availability) i troškovi i ekonomija vezana za privredno okruženje (Cost and Economic Environment). Kao posebno značajni izdvajaju se sljedeći kriterijumi: dostupnost

i način realizacije sistema hlađenja objekata TEP (Cooling Water Consumption & Availability), transport i skladištenje CO₂ (CO₂ Transportation and Storage), dostupnost i namjena zemljišta (Land Availability), dostupnost za realizaciju planiranih radova i potrebnih vještina (Labor and Skills Availability) i razmatranje dostupnosti goriva (Fuel Supply Consideration).

3.3. Definisanje i usaglašavanje težina kriterija i tipova preferencije za svaki pojedinačni kriterijum

Višekriterijalni problem izbora lokacije za TEP sadrži više različitih, ponekad i konfliktnih kriterija koji mogu biti od različite važnosti za donosioca odluke za konkretni projekat. Za procjenjivanje stepena važnosti kriterija postoje metode zavisne do sposobnosti eksperta donosioca odluke ili grupe eksperata (sudaca). Pri tome, uobičajno je da se relativna važnost kriterija izrazi u terminima prioriteta (slučaj kada su kriteriji poredani po važnosti) ili težina odnosno pondera (koriste da bi se brojčano, najčešće u procentima, izrazila važnost kriterija ili da bi se razlikovala relativna važnost nekoliko kriterija unutar istog prioriteta). U prvom slučaju, postupak se sprovodi planiranim redosljedom na bazi važnosti, pri čemu sljedeći, manje važan, kriterijum uopšte ne ulazi u igru, sve dok se važniji kriterijum s višeg nivoa ne uzme u razmatranje. Težine kriterijuma oslikavaju stavove donosioca odluka, koji imaju veoma visok uticaj na konačne odluke za izbor lokacije. Važan aspekt koji je prilikom određivanja težina kriterijuma potrebno razmotriti predstavlja subjektivizam donosioca odluka, koji se donekle može smanjiti uz istovremeno obezbjeđivanje mogućnosti da se stavovima konsultovanih eksperata iz oblasti projektovanja energetskih postrojenja obezbijedi znatno veći značaj u odnosu na stavove početnika prilikom određivanja težina kriterijuma, koji je delimično prilagođen u cilju primene grupnog odlučivanja u slučaju grupe sa različitim značajima dodeljenim učesnicima grupe. Postupci za određivanje težina kriterijuma obično ne predstavljaju sastavni dio metoda višekriterijumskog odlučivanja. Metode za grupno ocjenjivanje predstavljaju metode pomoću kojih se u višekriterijalnim problemima određuju važnosti kriterija, čija je osnovna prednost nad individualnim mišljenjem širi spektar informacija, stručnost i iskustvo u analizi. Međutim, postoje i problemi kao što su utrošak vremena, dominacija pojedinih autoritativnih osoba ili sposobnost uvjeravanja nekog člana grupe, koja može odvesti diskusiju u nebitnom smjeru. U literaturi se razmatra više načina za određivanje težina kriterijuma, među kojima izdvajamo postupak poređenja po parovima, metodu rangiranja, metodu ocjenjivanja, sukcesivno poređenje, Entropy i Delphi metodu. Neke od metoda koje se koriste za izbor najbolje alternative su i metode jednostavnog zbrajanja težina i metoda PROMETHEE. Svaki od navedenih načina ima svoje prednosti, specifičnosti ali možda i određene slabosti. Metoda jednostavnog zbrajanja težina (Simple Additive Weighting Method - SAW) je poznata i široko korištena metoda višeatributnog odlučivanja, gdje se svakom kriteriju (atributu) u toj metodi pridružuje ponder važnosti (težina), dobijen direktno od donosioca odluke ili nekom od metoda za određivanje težina kriterija. Težine svakog kriterija postaju koeficijenti varijabli iz matrice odluke na način da se ukupni skor za svaku pojedinu alternativu dobiva jednostavno množeći podatke iz matrice odluke za svaki atribut s težinom

tog atributa. Zbrajajući te umnoške preko svih atributa dobiva se konačna ocjena svake alternative. Alternativa sa najvećim skorom (najveći ponderirani prosjek) predlaže se donosiocu odluke. Metoda PROMETHEE razvijena je s namjerom da pomogne donosiocu odluke u rješavanju problema višekriterijalnog odlučivanja. Ova metoda vrši poređenje i rangiranje različitih alternativa istovremeno vrednovanih na bazi više kvantitativnih ili kvalitativnih kriterija (atributa).

3.4. Usaglašavanje težina kriterija za poređenje mikrolokacija TEP

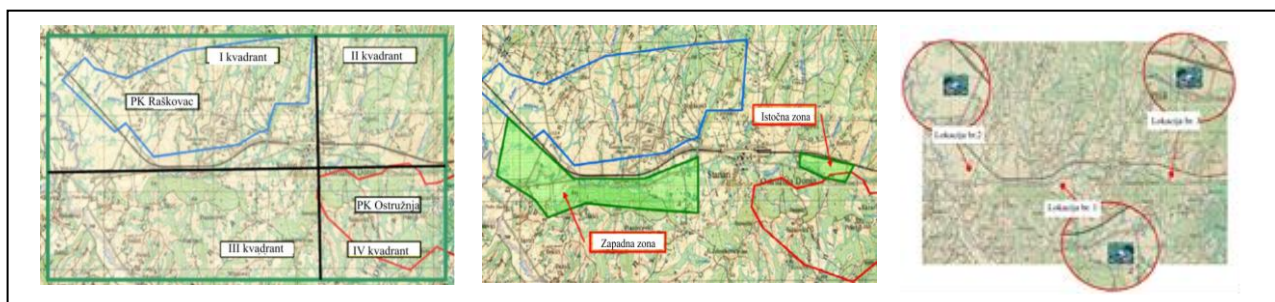
Polazeći od perspektiva i potreba za razvojem TEP nije teško zaključiti da dobro odabrana lokacija predstavlja važnu mjeru sigurnosti, pa je iz tih razloga je veoma bitan segment kod realizacije preinvesticione projektne dokumentacije. Makrolokacija za svaki od kopova uglja iz posmatranog regiona je definisana određenim strateškim dokumentima na nivou republičkog ili lokalnog nivoa. Ponekad su ova rješenja veoma skupa i ne prate trend razvoja novih tehnologija i korišćenja nove opreme u oblasti termoenergetike i energetike u cjelini, pa je neophodno dodatno izvršiti ocjenu varijantnih rješenja prema određenim kriterijumima i uslovima, koji će se primjenjivati u postupku poređenja i izbora odabranih mikrolokacija za realizaciju TEP u okviru unapred odabrane makrolokacije. Ovi kriterijumi, osim svoje različitosti, mogu biti i međusobno suprotstavljene, pa je potrebno za vrednovanje alternativa u višekriterijumskoj analizi raspolagati i metodom kojom bi se omogućila njihova simultana obrada, uz uvažavanje inherentnih mogućnosti svakog tehnološkog pristupa i njihove relativne međusobne važnosti prema kriterijumima. Odgovarajućim izborom tehničkih rješenja nekada je moguće lokacije svesti na približno iste ukupne uticaje na okolinu, pa se one mogu rangirati po obimu ovih rješenja i potrebnim ulaganjima. Međutim, nekada je, zbog zatečenog stanja, nemoguće u posmatrani prostor uklopiti zadati objekat, bez nedozvoljenog nivoa štetnih uticaja. Metode koje se koriste za uspoređivanje i rangiranje alternativa na bazi ulaznih podataka za odlučivanje moraju uzeti u obzir prednosti koje neka alternativa ima u odnosu na ostale i izvršiti poređenje prednosti s njezinim nedostacima. Ukoliko kriteriji imaju različite važnosti, treba uzeti u obzir i njihove težine. Metode koje se mogu upotrebiti u ovoj situaciji zasnivaju se na određenim pretpostavkama koje se matematički karakteriziraju. Zavisno od težine i složenosti datog modela neophodno je poznavati odgovarajuću matematičku teoriju da bi se on riješio. Postupkom za računanje težina kriterija i prioriteta alternativa iz poređenja u parovima računaju se prioriteta alternativa i težine kriterija, čije vrijednosti u najvećoj mjeri zadovoljavaju uslove zadate međusobnim odnosima i čija ukupna suma je jednaka jedinici. U okviru prvog koraka formira se matrica (tablica) odnosa prioriteta (težina). U *i*-tom redu i *j*-toj koloni te matrice nalazi se vrijednost procijenjenog odnosa prioriteta alternativa. Ukoliko se daju procjene relativnih važnosti kriterija, onda je to vrijednost odnosa njihovih težina. Izračunate vrijednosti odgovaraju težinama kriterija, odnosno prioritetima kriterijuma kod ocjene alternativa. Ovaj postupak u slučaju konzistentnih procjena odnosa veličina daje njihove tačne vrijednosti. Kao kontrola, u procjeni vrijednosti odnosa težina kriterija i važnosti alternativa pomaže nam Saaty-eva skala.

Na osnovu sprovedene analize prezentovane u okviru [8], može se zaključiti da se po oba koncepta (težinski i koeficijenti iz Saaty-eve skale) daje prednost za tri kriterija kod vrednovanja potencijalnih lokacija za TEP na ugajl: PK4 – ekonomsko-finansijski uslovi, PK5 - ekološki uslovi i uslovi održivog razvoja i PK3 – sigurnosno-bezbjedonosni pokazatelji (pouzdanost, održavanje i rizik). Rezultat prethodnog izbora je i usvojen kao optimalan i primijenjen u procesu dalje izrade projektnog rješenja TE Stanari instalisane snage 300 MW, slika 3. Za kombinovane parno-gasne elektrane najčešće se koriste sljedeći kriteriji: uslovi životne sredine na licu mjesta, kvaliteta vazduha posebno, trošak proizvodnje električne i toplotne energije, socio-ekonomski problemi, blizina dostupnih dalekovoda, razmatranja transportnog sistema, dostupnost goriva, voda i kanalizacija potrebe, prevoz, dostupnost nekretnine.

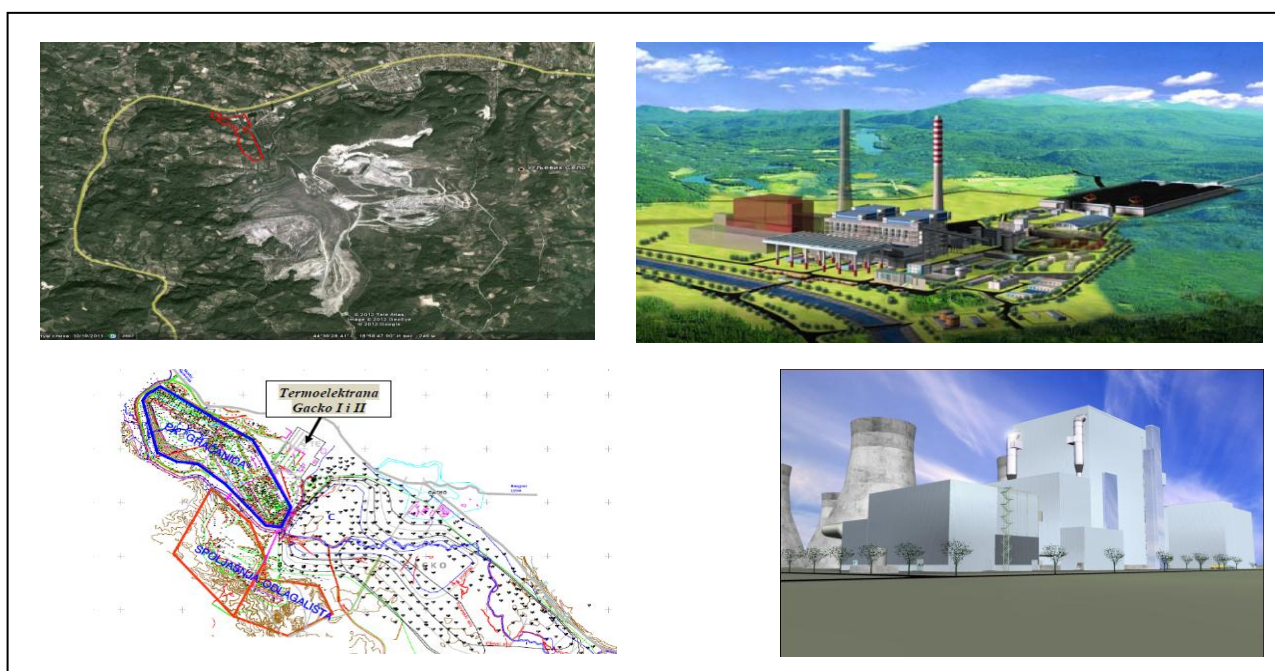
Prema istraživanjima datim u okviru [11], a prema Delphi i AHP metodologiji dobijeni su težinske vrijednosti za sledeća 4 kriterijuma za poređenje: Faktori vezani za prirodu A – 0,232 (geološki parametri – 0,433, voda – 0,048, hidrološki i geološki – 0,520), Tehnički faktori B - 0,083 (dužina infrastrukturne mreže za pristup sistemu (Route Length of the Access System) 0.049, pristup dalekovodnom i mrežnom sistemu (Access Systems Line Voltage) 0.738, stvarna snaga (Actual Power) 0.138, stanje u saobraćaju

(Traffic Conditions) 0.078, Ekonomski faktori C – 0,046 (ukupna sredstva potrebna za finansiranje projekta (The Total Project Funding) 0.125, potreban period za pripremu i izgradnju (Construction Period Interest) 0.067, period povraćaja kapitala (Payback Period) 0.071, ROI 0.612, investicioni količnik (Net Profit Ratio of Capital) 0.125, Sigurnosni parametri vezani za radioaktivnost – 0,639 (osnovni pravni zahtjevi, engl. Basic Legal Requirements 0.632, rezervni planovi, engl. Contingency Plans 0.229, gustina naseljenosti i distribucija oko lokacije, engl. Population Density and Distribution around the Site 0.082, uticaj spoljašnjih događaja na nuklearnu elektranu, engl. The Impact of External Events on the Nuclear Power Plant 0.05).

Prostor planiran za izgradnju novog bloka termoelektrane Ugljevik III obuhvata zemljište površine od 30,14 ha, a nalazi se van urbanog područja naselja Ugljevik. Za datu lokaciju i realizaciju planiranih sadržaja, riješeni su imovinsko-pravni odnosi, odnosno otkup zemljišta koje je bilo u vlasništvu fizičkih lica. Dio parcela čini i zemljište koje predstavlja vlasnički udio ZP RiTE Ugljevik. Za potrebe izgradnje novog bloka termoelektrane Ugljevik 3, na prostoru užeg obuhvata biće zauzeto zemljište za izgradnju stambenog dijela, tj. kampusa za smještaj radnog osoblja koje će biti angažovano na izgradnji predmetnog postrojenja, slika 4.



Sl. 3. Makrolokacija za TE Stanari instalisane snage 300 MW, [1].



Sl. 4. Satelitski snimak i situacioni pregled sa prikazom prostora, predviđenog za blokove TE Ugljevik III i TE Gacko II, [1].

Projektne rješenja eksploatacije uglja u Gatačkom ugljenom basenu treba posmatrati kroz važeća projektne rješenja za PK "Gračanica", sa aspekta razvoja idejnih rješenja za novu TE "Gacko 2". U procesu valorizacije i izbora prihvatljivih potencijalnih mikrolokacija za TE "Gacko 2" primijenjen je sličan postupak kao i za TE Ugljevik 3. S obzirom da je makrolokacija i mikrolokacija novih energetske kapaciteta definisana u dokumentaciji Rudnika i TE Gacko 1, glavni pogonski objekat (GPO) druge faze TE Gacko projektovan je na prostoru koji se naslanja na GPO postojeće TE Gacko 1 u pravcu zapada. Lokacija je optimizirana uzimajući u obzir klimatske, geološke, ekološke, sociološke, tehnološke i druge uticaje na naseljena mjesta Opštine Gacko i u dosadašnjoj eksploataciji Rudnika i TE Gacko 1, pokazala se kao dobro odabrana. Svi pomoćni objekti nalaze se u krugu TE Gacko 1 u blizini GPO. Iz ovih razloga, rezervne varijante lokacije za TE Gacko 2 nisu razmatrane, pa nije bilo potrebne ni za sprovođenje dodatne analize i rangiranja više mikrolokacija u okviru makrolokacije.

4. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj rada bio je analiza mogućnosti i izrade matematičkog modela primjene modifikovane višekriterijumske metode za određivanje prioriteta između pojedinih alternativa realizacije izbora optimalne mikrolokacije u već zadatim okvirima (definisana makrolokacija), u situaciji odlučivanja gde učestvuje veći broj donosilaca odluke različite specijalnosti, uz osiguranje energetske efikasnosti i održivog rješenja. Postupak izbora lokacije TEP, do unošenja preferentnih lokacija u prostorni plan neke zemlje ili npr. entiteta u BiH, sastoji se od dvije faze: faza globalnog vrednovanja državnog/entitetskog teritorija prema eliminacijskim kriterijumima i faze međusobnog poređenja na taj način utvrđenih potencijalnih područja s ciljom dodatnog njihovog vrednovanja i konačnog izbora. Cilj prve faze je utvrditi ona šira područja, koja ispunjavanju zahtjeve svih usvojenih eliminacionih kriterija. Ova potencijalna područja predstavljaju bazu za naredna istraživanja. Područja koja ne ispunjuju zahtjeve barem po jednom od eliminacionih kriterija odbacuju se, a izdvojena potencijalna područja u drugoj fazi postupka se podvrgavaju dodatnom vrednovanju kriterijima za njihovo međusobno poređenje, te detaljnoj komparativnoj analizi primjenom težinskih kriterijuma. Na taj način se unutar širih potencijalnih područja (makrolokacije) izdvajaju manje površine, tzv. potencijalne lokacije ili mikrolokacije (jedične površine 0,5 do 20 km²). Konačno, detaljnim vrednovanjem potencijalnih lokacija se određuju one najoptimalnije ili preferentne lokacije. Ciljevi u okviru povišenja energetske efikasnosti postavljaju se za cjelokupnu potrošnju energije, kao i za svaki sektor. Oni moraju biti SMART, tj. specifični, mjerljivi, ambiciozni, realistični i ostvarivi u određenom vremenu. Na osnovu rezultata analize tržišta definišu se podsticajne mjere i uspostavlja prihvatljiva teorija o načinima na koje će instrumenti politike dovesti do ostvarenja ciljeva, odnosno utvrđuju se načini na koje će upravo određeni instrument dovesti do ekonomski isplativih poboljšanja energetske efikasnosti (pristup poznat kao "ex ante evaluacija"). Kako su metode višekriterijumske analize

zasnovane na značajnom učešću donosioca odluka odnosno projektanta, neophodno je dobro poznavanje problema i učešće više donosioca odluke različite specijalnosti, kako bi se dobio optimalan redoslijed kriterijuma po kojoj se i bira konačna mikrolokacija za dalju razradu dokumentacije. Nivo razvoja na kome se nalaze metode višekriterijumske analize i dobijeni rezultati primjene modela omogućavaju postizanje dobrih rezultata kod izbora optimalne mikrolokacije za konkretno termoelektrično postrojenje.

5. LITERATURA

- [1] Z. Milovanović, S. Dumonjić-Milovanović, A. Milašinović, D. Knežević, „Primjena višekriterijumskog odlučivanja za izbor mikrolokacije novih termoelektričnih postrojenja (TEP), *Tematski zbornik "Analitički hijerarhijski proces - teorijske osnove i primena u energetici, zaštiti radne i životne sredine i obrazovanju"*, Matematički institut SANU Beograd, 2015.
- [2] Vlada Republike Hrvatske. Zaključak o utvrđivanju kriterija za izbor lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte. Narodne novine, broj 78/92, Zagreb, 1992.
- [3] L.R. Bishnoi, P.C. Basu, "Siting of Nuclear Installations", *Nuclear India*, Vol 38, No.7-8, pp. 8-10, 2005.
- [4] *Energy Information Administration Energy Outlook*, DOE/EIA-0383(2009), 2009.
- [5] Update Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants, *Energy Information Administration 12*, 2013.
- [6] Z. Milovanović, F. Begić, M. Samardžić, D. Jeremić, S. Dumonjić-Milovanović, J. Škundrić, „Optimizacija izbora mikrolokacije termoelektričnog postrojenja „Stanari” metodom višekriterijalnog rangiranja“, *Termotehnika*, vol. 37, no. 1, pp. 85-101, 2011.
- [7] Z. Milovanović, F. Begić, M. Samardžić, D. Jeremić, S. Dumonjić-Milovanović, J. Škundrić, „Optimizacija izbora mikrolokacije termoelektričnog postrojenja metodom višekriterijalnog rangiranja - Teorijske osnove“, *Termotehnika*, vol. 37, no. 1, pp. 29-40, 2011.
- [8] G. D. Li, D. Yamaguchi, M. Nagai, „A Grey based Approach to Suppliers Selection Problem“, *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications*, vol. 2, 2006.
- [9] T. Ozcan, N. Celebi, S. Esnaf, „Comparative Analysis of Multi-criteria Decision Making Methodologies and Implementation of a Warehouse Location Selection Problem“, *Expert Systems with Applications*, vol. 38, Elsevier, 2011.
- [10] T. L. Saaty, „How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process“, *European Journal of Operational Research*, vol. 48, pp. 9-26, North-Holland, 1990.
- [11] Wu Yun-na, Yi-li Han Narenmandula, „The Study on the Site Selection of Nuclear Power Plants Based on

Optimized Fuzzy Comprehensive Evaluation“, *Communications in Information Science and Management Engineering CISME*, vol. 2, no. 6, pp. 35-38, 2012.

- [12] S. Sener, E. Sener, B. Nas, R. Karaguzel, „Combining AHP with GIS for Landfill Site Selection: A Case Study in the Lake Beysehir Catchment Area (Konya, Turkey)“, *Waste Management*, vol. 30, pp. 2037–2046, 2010.
- [13] W. Guiqin, Q. Li, L. Guoxue, C. Lijun, „Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies and AHP: A Case Study in Beijing, China“, *Journal of Environmental Management*, vol. 90, pp. 2414–2421, 2009.

Abstract – Making decision regarding future TEP location is one of the most important business decisions potential investor is about to make. Inside the process of valorization and selection of acceptable potential micro locations for TEP on previously selected macro location it is of high importance to implement certain method which will be uniform in all the aspects. Inside this paper the algorithm of phase method for coal burning TEP location selection is described. Through fulfillment of the first phase, the

eliminating criteria for selection are being determined. Those criteria are result of legal legislative, of implementation of domestic and global practice, and so of technical and technological demands of specific energetic facility. Therein locations which do not meet any of eliminating criteria are being rejected. The rest of potential locations in wider region are further being evaluated and compared between themselves. Rules for evaluating potential micro locations, which should be previously defined, represent criteria for comparison and are usually given in form of demand for achieving previously defined goal. Since different criteria can collide with each other, a method for their simultaneous processing should also be available. Process of engineering optimization represent systematic seek for optimal solution for the given engineering problem with respect to defined criteria for optimal solution and given limits. The optimum solution must be energy efficient.

**ALGORITHM FOR OPTIMIZATION METHOD OF
NEW THERMOENERGETIC POWER PLANT (TPP)
AND ENERGY EFFICIENCY**

Zdravko N. Milovanovic
Svetlana R. Dumonjić-Milovanovic