

TERET ZAGAĐENJA OTPADNIH VODA

Mirza MUJČIĆ¹⁾, Emina HADŽIĆ²⁾, Hata MILIŠIĆ²⁾

¹⁾Institut za hidrotehniku Sarajevo,

²⁾Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet

REZIME

Monitoring emisija zagađujućih tvari ključni je segment sistema upravljanja kvalitetom voda i zaštite okoliša, te se njegovo provođenje mora realizirati kontinuirano i u skladu s važećom regulativom, posebno Uredbom o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije. U ovom radu prikazana je kvantifikacija opterećenja okoliša termoelektrane Kakanj kroz određivanje ekvivalentnog broja stanovnika (EBS), u skladu sa zakonskim okvirom Federacije Bosne i Hercegovine. Analiza je izvršena na osnovu monitoringa ključnih parametara kvaliteta otpadnih voda (temperatura, proticaj, ukupni fosfor, ukupni azot i dr.) tokom 48-satnog uzorkovanja u 2020. godini.

Dobijeni rezultati omogućuju pouzdanu procjenu ukupnog zagađivačkog tereta u navedenom periodu, što ujedno čini osnovu za obračun posebne vodne naknade. Utvrđeno je da su izmjerene vrijednosti emisija tehnoloških otpadnih voda u okviru zakonski propisanih graničnih vrijednosti, pri čemu najveći doprinos ekvivalentu štetnosti potiče od prisutnosti toksičnih supstanci. Nadalje, racionalizacija potrošnje vode i unapređenje tretmana otpadnih voda predstavljaju ključne mjere koje će dugoročno doprinijeti poboljšanju ekološkog statusa površinskih vodotoka.

Ključne reči: monitoring, termoelektrana Kakanj, teret zagađenja, tretman otpadnih voda

1. UVOD

Vodotoci i njihovi slivovi podložni su stalnim, a nerijetko i naglim promjenama koje su uzrokovane prirodnim, ali sve češće i antropogenim utjecajima. Posljedice ovih utjecaja – naročito dugoročne – teško je, a često i nemoguće precizno predvidjeti i kontrolisati. Promjene geomorfološke strukture riječnih korita direktno utiču na uslove transporta nanosa koji sadrže hranjive tvari i mikroorganizme, čime se remeti osnova hranidbenog lanca vodenih ekosistema. Redistribucija ili zaustavljanje nanosa duž riječnog toka značajno utiče na stanišne uslove i opstanak pojedinih vrsta [1].

Antropogeni zahvati, iako nisu nužno destruktivni po prirodu, često nose sa sobom neželjene posljedice koje je potrebno sistematski razumjeti i predvidjeti. Ključni preduvjet za to je uspostava sveobuhvatnog i kontinuiranog monitoringa hidroloških, ekoloških i bioloških parametara i procesa. Samo kroz analizu pouzdanih i vremenski konzistentnih podataka moguće je razumjeti složene interakcije između vodotoka i njegovog ekosistema [1].

Toplotna zagađenja prirodnog i antropogenog porijekla dodatno komplikuju stanje kvalitete voda. Industrijski ispusti i termalne vode uzrokuju porast temperature vodotoka, što dovodi do smanjenja koncentracije rastvorenog kiseonika, čime se ugrožava prirodna biocenoza. Na ovim lokacijama se formiraju osiromašene biološke zajednice koje čine organizmi otporni na ekstremne uslove, što ukazuje na ozbiljne promjene u strukturi vodenih ekosistema [2].

Kontrola kvaliteta ispuštenih voda vrši se kroz ovlaštene laboratorije, koje primjenjuju standardizirane metodologije u cilju utvrđivanja kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika otpadnih voda, kao i ukupnog tereta zagađenja [2].

Podaci o prihvatanju članka

Primljen: 11.6.2025.

Ispravljen: -

Prihvaćen: 2.7.2025.

Kontakt: mirza_mujcic@outlook.com

Onečišćenje voda u užem smislu podrazumijeva degradaciju kvaliteta vode do nivoa koji onemogućava njeno korištenje za piće ili je čini štetnom po ljudsko zdravlje, bilo da se radi o fizičkim, hemijskim, biološkim ili radiološkim uzročnicima [3]. Prema obliku emisije, izvori zagađenja klasifikuju se na tačkaste, linijske i plošne. Tačkasti izvori, kao što su kanalizacijski ispusti, septičke jame ili industrijski ispusti, najčešće su rezultat direktnih djelatnosti privrednih subjekata [4].

Industrijski zagađivači, koji otpadne vode ispuštaju u javne kanalizacione sisteme ili direktno u prirodne recipijente u skladu s važećim vodnim dozvolama, predstavljaju značajan izvor tačkastog onečišćenja. Industrijske otpadne vode obuhvataju sve vode koje nastaju kao rezultat tehnoloških procesa, kao i oborinske vode koje otječu sa površina unutar zakonskih granica privrednih subjekata.

Prema dostupnim podacima, ukupni teret zagađenja iz industrijskih izvora u Federaciji BiH procjenjuje se na približno 2.300.000 ekvivalent stanovnika (ES), što je gotovo jednak teretu zagađenja iz cjelokupnog stanovništva [5]. Oko 90% industrijskih zagađivača locirano je na području podsliva rijeke Bosne, 9% na slivu rijeke Neretve, dok je ostatak raspoređen širom ostalih slivova.

Zakonom o vodama Federacije BiH iz 2006. godine [6] uspostavljen je savremeni okvir za upravljanje vodnim resursima, koji uključuje integrisani pristup na nivou riječnih slivova, uz posebnu pažnju prema zaštiti životne sredine i ekosistemskom pristupu. Vode su ovim zakonom proglašene općim dobrom, što podrazumijeva njihovu zaštitu na svim nivoima vlasti: državnom, entitetskom, kantonalnom i lokalnom.

Jedan od ključnih elemenata za efikasno upravljanje vodama jeste uspostava i stalno ažuriranje registra industrijskih zagađivača, koji omogućava kvalitetno učešće sektora voda u procesima izdavanja prethodnih vodnih saglasnosti i okolišnih dozvola. Dodatno, sistem kontinuiranog samomonitoringa od strane zagađivača, uz paralelni kontrolni monitoring nadležnih institucija, osigurava transparentnost i vjerodostojnost podataka o ispuštanju otpadnih voda [5].

1.1 KONCEPT ODRŽIVOG RAZVOJA I PROCES MONITORINGA

Koncept održivog razvoja danas zauzima centralno mjesto u planiranju upravljanja prirodnim resursima, s posebnim fokusom na očuvanje vodnih tokova i

njihovih ekosistema. Dugoročna upotreba vodnih resursa mora biti u skladu s principima zaštite okoliša, očuvanja kapaciteta obnovljivih izvora i minimiziranja negativnih utjecaja na hidrološke i ekološke funkcije vodotoka.

Integralno upravljanje vodotocima podrazumijeva koordinirano upravljanje korištenjem, zaštitom i razvojem vodnih resursa, uzimajući u obzir međusobne utjecaje unutar slivnog područja. Takav pristup omogućava optimizaciju koristi za društvo, uz istovremenu zaštitu ekosistema i prirodnog okruženja.

Održivo upravljanje vodama treba biti zasnovano na sljedećim ključnim principima [7]:

- Zaštiti okoliša
- Ne ugrožavanja prava budućih generacija
- Pravednoj raspodjeli bogatstava
- Opreznom postupanju s resursima
- Integralnom rješavanju problema.

Dosadašnji pristupi i rješenja vezani s najšire shvaćenim pojmom upravljanja vodotocima pokazali su se nedovoljno učinkovitim u smislu postizanja ciljeva održivog razvoja.

U znanstvenoj i stručnoj zajednici postignut je konsenzus o tome da integralno upravljanje otvorenim vodotocima omogućava istovremeno ispunjavanje ciljeva socio-ekonomskog razvoja i zaštite okoliša.

1.2 ONEČIŠĆENJE VODE, SA OSVRTOM NA TOPLINSKO ZAGAĐENJE

Zagađenje vode predstavlja jedan od najvažnijih ekoloških problema današnjice, čije posljedice direktno utiču na životnu sredinu i ljudsko zdravlje širom svijeta. U kategoriji tačkastih izvora zagađenja spadaju zagađivači koji svoje otpadne vode ispuštaju u recipijent direktno putem kanalizacijskih kolektora i ispusta iz postrojenja za prečišćavanje. Najznačajnije vrste onečišćivača u ovoj skupini pored stanovništva koje je priključeno na sisteme odvodnje otpadnih voda (u aglomeracijama > 2000 st.), su industrijski zagađivači koji ispuštaju otpadne vode. U nadležnoj Agenciji za vodno područje rijeke Save je utvrđeno 76 „značajnih“ industrijskih zagađivača za koje ovlaštene laboratorije ispituju kvalitet otpadnih voda. Industrijski sektor utječe na kvalitet voda ispuštanjem onečišćenja iz privrednih subjekata koji na osnovu vodne dozvole svoje otpadne vode ispuštaju u sisteme javne odvodnje ili direktno u okoliš [8].

Prema Pravilniku o ispuštanju otpadnih voda definisan je način ispitivanja industrijskih otpadnih voda. Veliki zagađivači (sa teretom zagađenja većim od 500 ES) su dužni dostavljati «Elaborate o rezultatima ispitivanja tereta zagađenja otpadnih voda» urađenim od strane ovlaštenih laboratorija. Ispitivanje kvaliteta otpadnih voda se vrši prema tačno propisanoj metodologiji. U cilju utvrđivanja stepena zagađenja prate se: protok, temperatura, suspendovane materije, hemijska potrošnja kisika, petodnevna biohemijska potrošnja kisika, ukupni azot, ukupni fosfor, kao i specifični parametri (pH, mutnoća, elektroprovodljivost, ulja, masti, hloridi, nitrati, nitriti, isparni ostatak, pepeo itd.), te ispitivanje toksičnosti otpadne vode pomoću test organizma *Daphnia magna*.

Danas je poznato više hiljada zagađujućih materija u industrijskim otpadnim vodama, među kojima najčešće figuriraju deterdženti, rastvarači, cijanidi, teški metali, neorganske i organske kiseline, NH_3 i druga jedinjenja azota, masti, soli, sredstva za bijeljenje, boje i pigmenti, fenol-na jedinjenja, sredstva za štavljenje, sulfidi, i mnoga druga jedinjenja. Veliki broj pomenutih jedinjenja je biocidan (uništava određene vrste živih bića) i toksičan. I pored njihove velike raznovrsnosti, brojne industrijske otpadne materije mjerljive su pomoću istih parametara koji se primjenjuju i na gradske otpadne materije. Ti zajednički parametri su: BPK, hemijska potrošnja kiseonika iz nekog jakog oksidacionog sredstva (HPK), mutnoća, suspendovane materije, pH i drugi [9].

Navedeni parametri će biti predmet analize ovog rada, u poglavlju 3.

Specifično, za termoelektre, je proces generisanja toplote u termoelektrenama, koja se zatim pretvara u električnu energiju. Da bi se održali optimalni uslovi za efikasno funkcionisanje, ove elektrane zahtijevaju velike količine vode za hlađenje. Kada se voda koristi za rashlađivanje, ona se značajno zagrije prije nego što se vrati u okolne vodotoke, čime se povećava temperatura vode u tim ekosistemima.

Fizičko onečišćenje manifestira se kao povećanje temperature vode, pojava mutnoće vode, pojava boje vode i mirisa i okusa vode. Povećanje temperature vode najčešće je posljedica ispuštanja rashladnih voda iz industrijskih (željezare, rafinerije nafte, fabrike celuloze i papira i dr.) i energetskih objekata, kao što su termoelektre (koji su prethodno opisani) i nuklearne elektrane u površinske vode bez prethodnog hlađenja. Promjena temperature utječe na fizikalno-hemijska

svojstva vode kao i na ekološke uvjete u vodnom sistemu [10].

Od fizikalno-hemijskih svojstava vode s promjenom temperature mijenja se gustoća, kinematička viskoznost, površinska napetost, sadržaj otopljenog kisika pri normalnom atmosferskom pritisku i difuznost kisika.

Posebno je važan drastičan pad koncentracije otopljenog kisika u „zagrijanim“ vodama, jer se zbog toga znatno smanjuje mogućnost razgradnje organske tvari u vodi, pa se u vodama, koje su rashladne vode primaju i otpadne vode, te se znatno smanjuje sposobnost samopročišćavanja. Mutnoća vode posljedica je prisutnosti sitnih čestica u vodi, koje s vodom čine suspenzije ili koloidne otopine. U površinskim vodama, odnosno rijekama, to je česta pojava i gotovo uvijek prati poraste vodostaja nakon jakih kiša ili naglog topljenja snijega. Zbog procesa filtracije za vrijeme prolaza podzemne vode kroz vodonošni medij, mutnoća podzemne vode relativno je rijetka. [11].

Toplinsko zagađenje vode predstavlja ozbiljan ekološki izazov koji proizlazi iz povećanja temperature vodotoka uslijed ljudskih aktivnosti. Jedan od glavnih izvora ovog zagađenja su termoelektre, čije operacije direktno utiču na lokalne vodene ekosisteme.

Zbog prethodnog navedenog, kao bitan parametar u pogledu definisanja stanja okoliša, izdvaja se temperatura vode. Temperatura vode s jedne je strane posljedica brojnih utjecaja okoliša, dok s druge strane ona značajno utječe na taj isti okoliš. Bez detaljnih poznavanja režima temperature vode, nije moguće razumjeti i objasniti složene ekološke procese unutar sistema vodotoka. Porast temperature vode do maksimalno 30°C utječe na povećanje broja vrsti algi. Ako temperatura prijeđu granicu od 30°C , započinje proces njihovog smanjivanja [1].

Povišena temperatura vode, posljedica je ispuštanja procesnih otpadnih voda, npr. rashladnih voda iz industrijskih postrojenja, posebice termoelektrana i nuklearnih elektrana, kao i iz prehrambene industrije [12].

Priobalna vegetacija kod malih otvorenih vodotoka može značajno pomoći smanjenju negativnih učinaka zagrijavanja. S povećanjem važnosti ekologije i intenziviranjem njenog izučavanja, a posebno razvojem ekohidrologije, došlo je do intenzivnijeg izučavanja temperature vode u otvorenim vodotocima i njenog povezivanja s ekološkim i biološkim procesima [1].

2. TOPLINSKO ZAGAĐENJE NA PRIMJERU TERMOELEKTRANE (TE) KAKANJ

Proizvodnja električne energije je počela 1956. godine puštanjem u pogon blokova 1 i 2. Izgradnjom i puštanjem u pogon proizvodnih jedinica 3,4,5,6 i 7, dodatno je uvećana je instalirana snaga TE „Kakanj“. Povećanje instalirane snage TE „Kakanj“ slijedi izgradnjom i puštanjem u pogon ostalih proizvodnih jedinica 3,4,5,6 i 7. Danas, blokovi 1,2,3, i 4 su stavljeni van pogona. Električnu energiju TE „Kakanj“ proizvodi u termoblokovima 5,6 i 7. U ZDK (Zeničko-Dobojskom kantonu) se proizvodnja električne energije skoro u potpunosti obavlja u TE Kakanj.

U poslijeratnom periodu izvršena je rekonstrukcija i modernizacija blokova 5 i 6 (110 MW) te djelomična rekonstrukcija bloka 7 (230 MW) i rashladnog sistema blokova 5 i 6 – prelazak sa poluotvorenog na zatvoreni sistem hlađenja [13].

Zatvoreni sistem s recirkulacijom je rashladni sistem u kojem voda cirkulira u zatvorenom rezervoaru sa zanemarivim isparavanjem ili izlaganjem atmosferi ili drugim utjecajima koji bi mogli utjecati na hemiju vode u tom sistemu. Ovi sistemi su ekonomični budući da je potrebno malo ili nimalo svježe vode osim u slučaju problema na pumpama, prevelikih dotoka vode u rezervoare i površinskog isparavanja kroz ventile u sistemu. Povremeno dopunjavanje svježe vode zahtjeva redovite analize radi kontrole i korekcije kakvoće vode [14].

Zbog gotovo nepostojećeg kontakta cirkulacijske vode sa vanjskim okolišem i zrakom, zatvoreni sistemi imaju naizgled puno više prednosti od nedostataka. Smanjenja je mogućnost biološkog, hemijskog i fizikalnog zagađenja vode. Reducirana je pojava korozije u sistemu jer voda nije konstantno obogaćivana kisikom iz zraka kao što je to slučaj u otvorenom sistemu. Jedina mjesta ulaza kisika u sistem su na površini napojnog spremnika, kod cirkulacijskih pumpi i vode za nadopunu (vrlo male količine). Potrebni su jednostavni tretmani za skoro potpunu eliminaciju korozije i nakupljanja korozivnih produkata [15].

Realizacijom navedenih investicija proizvodni vijek postrojenja produžen je za 15 godina, poboljšana je pogonska spremnost, povećan stepen korisnog djelovanja i smanjena emisija polutanata. Pored proizvodnje električne energije za potrebe EES, TE „Kakanj“ Kakanj proizvodi i isporučuje toplotnu

energiju za daljinsko grijanje dijela općine Kakanja i šljaku i pepeo tvornici cementa Kakanj. [13]

Tehnološke otpadne vode od hemijske pripreme vode nastaju u procesu dekarbonizacije tehnološke vode, pranja pješčanih filtera i tokom regeneracije jonoizmjenjivača u procesu demineralizacije dekarbonizirane vode. Otpadne vode od demineralizacije se neutraliziraju a potom odvođe u uređaj za tretman otpadnih voda, dok ostale se direktno odvođe na tretman. Uz dodavanje odgovarajućih hemikalija vrši se tretman u uređaju za tretman otpadnih voda (koagulacija i flokulacija). Izbistrena voda se odvodi u recirkulaciju preko rashladnih tornjeva ili u rijeku Bosnu. Vraćanjem rashladne vode u recirkulaciju znatno je smanjena količina zahvaćene vode iz rijeke Bosne (cca 10-15 puta) [16].

Većina Termoelektranskih postrojenja (TEP-ova) s recirkulacijskim hlađenjem hlade se vodom u kondenzatorskom krugu iz kojeg topla voda ide u rashladni toranj. Gubici nastali zbog hlađenja vode u rashladnim tijelima pokriveni su manjim količinama vode pa ovakav sistem ima značajno manji utjecaj na hemijsko-biološki sastav izvornog tijela vode. Nadalje, zbog povoljnijeg utjecaja na okoliš i strogih propisa o zaštiti okoliša i ekosistema u prirodnim izvorima vode, ovakav sistem se primjenjuje tamo gdje je moguć i, toplinski učinkovitiji, protočni sistem hlađenja TEP-a [15].

Za proizvodnju električne energije na blokovima 5,6 i 7 koriste se mješavina ugljeva srednjobosanskog ugljenog bazena. Pripremljena mješavina uglja se doprema do kotla u kojem se vrši njeno sagorijevanje. Oslobodena toplota prilikom izgaranja uglja dovodi do intenzivnog isparavanja vode koja se nalazi u cijevnom sistemu kotla. Nastala vodena para se pregrijava i odvodi na turbogeneratore blokova na kojem se vrši transformacija mehaničkog rada turbine u električnu energiju.

Za potrebe tehnološkog procesa proizvodnje električne energije u TE „Kakanj“ koristi se sirova voda zahvaćena iz rijeke Bosne, a otpadne vode i muljevi koje nastaju odvijanjem proizvodnog procesa, prije ispuštanja u rijeku Bosnu, prečišćavaju se u postrojenju za tretman otpadnih voda. Tri su osnovna dijela postrojenja za obradu otpadnih voda, odnosno tri grupe otpadnih materijala koje zahtijevaju zaseban tretman:

- otpadne vode zagađene čvrstim i suspendiranim materijama,
- otpadni muljevi i
- otpadne sanitarno-fekalne vode.

Ukupno gledano, otpadne vode se javljaju kao:

- otpadne vode zagađene čvrstim i suspendiranim materijalima, hemijski zagađene otpadne vode,
- otpadne vode zagađene uljima i mastima (nisu predmet ovog razmatranja),
- sanitarno-fekalne otpadne vode.

U otpadne muljeve spadaju:

- karbonatni mulj od odmuljenja reaktora postrojenja dekarbonizacije i

- mulj iz koagulatora (taložnika) - dijela postrojenja za tretman otpadnih voda zagađenih čvrstim i suspendiranim materijama

Prerađene otpadne vode se ispuštaju na nekoliko mjesta duž obale rijeke Bosne na dijelu oko pogona i postrojenja TE „Kakanj“ [17].

Prikaz postrojenja termoelektrane Kakanj dat je na slici 1.



Slika 1. Šire područje (mikrolokacija) TE „Kakanj“ (položaj pogona sa pozicijom objekata) [17].

Određivanje tereta zagađenja otpadnih voda utvrđivanjem ekvivalentnog broja stanovnika – EBS, radi određivanja vodoprivrednih naknada, potrebno je izvršiti na 4 lokacije (emisije u površinske vode):

- Tehno ispust T1 (Ispust tehnoloških otpadnih voda u rijeku Bosnu).
- Ispust P1 (Ispust sa otpadnih sanitarno – fekalnih voda u rijeku Bosnu. Prečišćavanje sanitarnih otpadnih voda vrši se u posebnom uređaju, tzv. „PUTOX“).
- Mjerno mjesto S-1 Slapnica uzvodno.
- Mjerno mjesto S-2 Slapnica nizvodno.

3. ISPITIVANJE TERETA ZAGAĐENJA OTPADNIH VODA TERMoelektrane „KAKANJ“

Prva mjera koja mora da se sprovede je uspostavljanje sistematskog monitoringa na svim ispustima industrijskih otpadnih voda. Razvoj i upravljanje vodosnabdijevanjem industrije i tretmanom industrijskih otpadnih voda, mora se posmatrati u okviru sveobuhvatnog razvoja i upravljanja vodama baziranog na zajedničkom učešću svih korisnika, planera i kreatora politike na svim nivoima, ali i sa usvajanjem odluka na najnižem odgovarajućem nivou. U ovom procesu, važnu ulogu treba da ima i šira javnost.

Učešće javnosti u procesu donošenja odluka u oblasti zaštite životne sredine u Bosni i Hercegovini je od ključnog značaja za očuvanje osnovnih načela održivog razvoja i sprečavanja neodgovornog ponašanja vlasti, pojedinaca i kompanija prema sredini u kojoj živimo. Obezbeđivanje značajne uloge javnosti u odlučivanju, u oblasti životne sredine, od posebnog je značaja, obzirom na specifičnosti Bosne i Hercegovine i njeno prirodno blago koje predstavlja značajan razvojni potencijal [18].

Sa aspekta zaštite vodotoka na principu „zagađivač plaća“ bitnu ulogu zauzima određivanje tereta zagađenja otpadnih voda koje ispuštaju privredni subjekti iz industrijskih procesa, kao što je i TE Kakanj.

3.1. METODOLOGIJA ODREĐIVANJA TERETA ZAGAĐENJA OTPADNIH VODA UTVRĐIVANJEM EKVIVALENTNOG BROJA STANOVNIKA - EBS

Uzorkovanje tehnoloških otpadnih voda se vrši u skladu sa sljedećim standardima:

1. BAS EN ISO 5667-1- Uzorkovanje – Dio 1: Uputstvo za dizajniranje programa uzorkovanja i tehnika uzorkovanja;
2. BAS EN ISO 5667-3- Uzorkovanje – Dio 3: Smjernice za čuvanje i rukovanje uzorcima vode;
3. BAS EN ISO 5667-10- Uzorkovanje – Dio 10: Smjernice za uzorkovanje otpadnih voda;
4. BAS EN ISO 5667-16- Uzorkovanje – Dio 16: Uputstvo za bioispitivanje uzoraka;

Teret zagađenja, utvrđivanjem ekvivalentnog broja stanovnika – EBS, određuje se na osnovu sljedeće formule, definirane Pravilnikom o načinu obračunavanja, postupku i rokovima za obračunavanje i plaćanje i kontroli izmirivanja obaveza na osnovu opće vodne naknade i posebnih vodnih naknada [19]:

$$EBS = \{E_{om}; E_{sm}; E_N \text{ ili } E_P\} \max + E_{tok} + R_T \quad (1)$$

gdje su:

$$E_{om} = \frac{T_{om}}{60} * K \quad (2)$$

$$E_{sm} = \frac{T_{sm}}{55} \quad (3)$$

$$E_N = \frac{T_N}{12} \quad (4)$$

$$E_P = \frac{T_P}{2} \quad (5)$$

$$K = \frac{1}{1.6 * n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{KPK}{BPK_5} \right] \quad (6)$$

$$E_{tok} = \frac{100}{48hLC50} * Q \quad (7)$$

$$R_T = \frac{q * T_{max} * 10^4}{1.56 * T_D} \quad (8)$$

gdje su:

E_{sm} - ekvivalent štetnosti od suspendiranih materija (EBS);

E_{om} - ekvivalent štetnosti od organskih materija (EBS);

E_{tok} - ekvivalent štetnosti od toksičnih materija (EBS);

E_N - ekvivalent štetnosti od spojeva azota (ukupni N);

E_P - ekvivalent štetnosti od spojeva fosfora (ukupni P);

T_{sm} - dnevno opterećenje otpadnih voda suspendiranim materijama (g/dan);

T_{om} - dnevno organsko opterećenje otpadnih voda izraženo preko BPK5 (g/dan);

T_N - dnevno opterećenje otpadnih voda ukupnim nitrogenom po Kjeldahl-u (g/dan);

T_P - dnevno opterećenje otpadnih voda ukupnim fosforom (g/dan);

K - koeficijent odnosa KPK i BPK5, koji orijentaciono pokazuje biorazgradivost otpadnih voda;

$\sum_{i=1}^n \left[\frac{KPK}{BPK_5} \right]$ - suma odnosa KPK i BPK₅ u mgL⁻¹ za sve ispitane uzorke

48 h LC 50 - letalna koncentracija (zapreminski %) otpadne vode pri kojoj ugiba 50% test organizama (*Daphnia magna*) u toku 48 sati,

n - broj uzoraka;

Q - dnevni proticaj otpadne vode (m³dan⁻¹);

q - prosječni dvosatni proticaj otpadne vode (m³/s);

T_{max} - maksimalne temperature vode (°C);

T_D -maksimalna dozvoljena temperatura otpadne vode koja iznosi 30°C;

55 - koeficijent koji prevodi opterećenje otpadnih voda suspendiranim materijama u EBS; ta vrijednost predstavlja količinu suspendiranih materija koja potiče od jednog stanovnika (g/dan);

60 - koeficijent koji prevodi opterećenje otpadnih voda organskim materijama u EBS; ta vrijednost predstavlja

količinu BPK₅ koja potiče od jednog stanovnika (g/dan);

Korekcionni faktor K i pokazatelj termičkog zagađenja R_T se ne uzimaju u slijedećim slučajevima:

K - kada je njegova vrijednost manja od 1;

R_T - kada je maksimalna temperatura vode na mjernom mjestu manja od 30°C.

U formuli (1) za EBS uvrštava se E_{om}; E_{sm}; E_N ili E_P ovisno od toga koja je vrijednost veća.

Uzimanje uzoraka zagađene vode i mjerenje protoka radi određivanja EBS vrši se na mjestu izljeva zagađene vode, a prije njenog upuštanja u prijemnik. U slučaju postojanja više mjesta izljeva vode u prijemnik, uzimanje uzoraka zagađene vode i mjerenje protoka vrši se posebno za svako izljevno mjesto zagađene vode u prijemnik.

Kod zagađivača voda koji imaju uređaje za pročišćavanje otpadnih voda i koje stalno koriste i održavaju u ispravnom stanju, uzimanje uzoraka otpadnih voda i mjerenje protoka vrši se iza uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, a prije njenog izlivanja u prijemnik.

Uzimanje uzoraka zagađene vode i mjerenje protoka vrši se u toku četrdeset osam sati, pri čemu se zahvataju kompozitni dvosatni uzorci koji se uzimaju kontinuirano automatskim uređajem za uzorkovanje ili ručno, pri čemu se zahvatanje vode za kompozitne uzorke vrši svakih 15 minuta. Prilikom svakog zahvatanja mjeri se temperatura otpadne vode.

Mjerenje protoka (količina ispuštenih otpadnih voda) vrši se hidrometrijskim metodama prilagođenim uvjetima izljevno mjesto na odgovarajućem hidrometrijskom profilu. Protok se mjeri kontinuirano uz registraciju ili povremeno. U slučaju povremenog mjerenja protoka, interval između dva mjerenja ne smije biti duži od 15 minuta.

3.2 PROVEDENA TERENSKA I LABORATIJSKA MJERENJA I ISPITIVANJA

Terenski dio ispitivanja izvršen je u periodu od 09. do 11. novembra 2020. godine u kontinuiranom, propisanom trajanju od 48 sati¹. Uzorci otpadnih tehnoloških voda uzimani su na mjernom mjestu T1 (PS1 i PS2), a otpadne sanitarne vode na mjernom mjestu P1. Uzorci Slapničkog potoka prije ispuštanja

procjednih voda sa šljacišta uzimani su mjernom mjestu S1, a iza ispuštanja na S2.

Terenski dio ispitivanja obuhvatio je dvije vrste radova:

- Definiranje količina otpadnih voda u periodu ispitivanja. Na osnovu registrovanih protoka, određeni su hidrogrami otpadnih voda
- Uzimanje uzoraka otpadne vode. Uzorci otpadne vode uzimani su u skladu sa propisanom metodologijom, uzorkovanjem svakih petnaest minuta, od kojih su pravljani dvosatni kompozitni uzorci, a od dvosatnih dnevni srednjeproporcionalni šesnaestosatni kompozitni uzorci u svrhu određivanja karakterističnih parametara zagađenja ispitivane industrije i definiranja stepena toksičnosti otpadnih voda (preko test- organizama *Daphnia magna* Straus).

Laboratorijski dio ispitivanja obuhvatio je određivanje Pravilnikom [19] propisanih fizičko-hemijskih parametara iz dvosatnih uzoraka otpadne vode, neophodnih za određivanje ukupnog tereta zagađenja otpadnih voda izraženog preko ekvivalentnog broja stanovnika, i to: temperature vode, ukupnih suspendovanih materija, hemijske potrošnje kisika (HPK), petodnevnne biohemijske potrošnje kisika (BPK₅), ukupnog fosfora i Kjeldahl azota. Pored toga, izvršeno je ispitivanje toksičnosti uzoraka otpadne vode pomoću test organizma *Daphnia magna* Straus. Od specifičnih parametara zagađenja u kompozitnom dnevnom uzorku analizirani su: zbirna pH vrijednost, ukupni alkalitet, isparni ostatak, volatilne materije, elektroprovodljivost, pepeo, hloridi, sulfati, ulja i masti, te volatilne materije [20].

U tabeli 1 dat je prikaz najvažnijih parametara za dan 09/10.11.2020. godine, na profilu kolektora T1.

Tabela 1. Izvještaj o izmjenjenim vrijednostima potrebnim za izračunavanje EBS-a [20]

Parametri	Dimenzije	Vrijednosti
Protok	m ³ /dan	15752.45
Temperatura	°C	25.8
Suspendovane materije	g/m ³	11.08
HPK	g/m ³	41.6
BPK ₅	g/m ³	9.48
Ukupni N po Kjeldahl-u	g/m ³	5.31
Ukupni P	g/m ³	0.317
Tekst toksičnosti 48hEC ₅₀	%	95.94

¹ Ispitivanja izvršio "Inspekt – RGH" d.o.o. Sarajevo

3.3 REZULTATI – PRORAČUNATO ZAGAĐENJE IZRAŽENOG PREKO EBS-A

Na osnovu definisanih parametara potrebnih za definisanje ukupnog tereta zagađenja, i primjenjujući formule prikazanih u poglavlju 3.1, dobijene su vrijednosti EBS-a, tokom prvog i drugog dana ispitivanja provedenog 09-11.11.2020. godine, za teret zagađenja iz kolektora T1, ispusta sanitarnih voda poslije PUTOX-a mjerno mjesto P1, Slapnički potok – mjerno mjesto S1 i Slapnički potok – mjerno mjesto S2.

Na osnovu pojedinačnih tereta zagađenja, definiše se ukupni teret zagađenja, zasebno za prvi i drugi dan ispitivanja. Za obračun posebne vodne naknade usvaja se veća vrijednost. U ovom slučaju je prvog dana ispitivanja 09/10.11.2020. godine zabilježena veća vrijednost EBS-a od vrijednosti izračunate drugog dana 10/11.11.2020. godine, te se kao mjerodavan teret zagađenja za obračun posebne vodne naknade usvaja vrijednost EBS-a prvog dana od 25394.32 ES [20].

3.4 ANALIZA NAVEDENIH REZULTATA

Analiza graničnih vrijednosti emisije tehnoloških otpadnih voda koja se ispuštaju u površinska vodna tijela.

Granične vrijednosti za sljedeće ključne parametre, prema Uredbi o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije [21], iznose:

- Suspendirane materije 35 g/m³
- HPK 125 g/m³
- BPK₅ 25 g/m³
- N_{uk} 15 g/m³
- P_{uk} 2 g/m³
- Hloridi 3000 mg/l
- Sulfati 2000 mg/l

Kako je prikazano u tabeli 1 za profil T1, vrijednosti gore navedenih parametara su značajno manje nego granične dopuštene vrijednosti. Identična situacija je i sa mjernim mjestom P1, S1 i S2.

pH vrijednost je bila unutar zahtijevane granice (6,5-9), na svim mjernim mjestima, varijabilno od profila do profila. Temperatura vode je ispod maksimalne granične vrijednosti od 30°C na svim mjernim mjestima.

Test toksičnosti 48hEC₅₀ je unutar propisanih granica (>50%).

Na osnovu prethodno navedenog, zaključuje se da su granične vrijednosti emisije tehnoloških otpadnih voda

koje se ispuštaju u površinska vodna tijela, za vrijeme ispitivanja, u propisanim granicama.

Analiza najvećeg opterećenja.

Analiziran je ekvivalent štetnosti od: suspendiranih materija (EBS) od: organskih materija (E_{om}); toksičnih materija (E_{tok}); spojeva azota (E_N) i spojeva fosfora (E_P).

Na svim mjernim mjestima [20], najveći ekvivalent štetnosti, dobijen je od toksičnih materija, što ukazuje da je prvenstveno potrebno poduzeti mjere na smanjenje toksičnih zagađenja, u procesu rada termoelektrane.

Analiza vrijednosti ukupnog tereta zagađenja

Ukupna vrijednost tereta zagađenja od 25394.3 ES, poslužit će za analizu narednih mjerenja određivanja tereta zagađenja. Smanjenje njene vrijednosti će signalizirati pozitivne efekte u vidu emisija zagađenja u vodotok, dok bi povećanje njene vrijednosti sugeriralo na negativne efekte zagađenja površinske vode.

4. ZAKLJUČAK

Monitoring emisija zagađujućih tvari, posebno u kontekstu velikih energetske postrojenja kao što je TE „Kakanj“, ima ključnu ulogu u sistemskom upravljanju kvalitetom okoliša i zaštiti vodnih resursa. Rezultati provedenih ispitivanja potvrđuju usklađenost sa zakonskim graničnim vrijednostima, ali istovremeno ukazuju na značajan teret zagađenja, posebno uslijed prisustva toksičnih materija. Identifikacija ukupnog tereta izraženog kroz ekvivalentni broj stanovnika (EBS) omogućava precizno određivanje obaveza prema sistemu posebnih vodnih naknada, te služi kao referentna tačka za praćenje daljih trendova emisija.

Uvođenje tehničkih rješenja, poput zatvorenog rashladnog sistema i integralnog tretmana otpadnih voda, predstavlja značajan korak ka unapređenju ekoloških performansi postrojenja. Nadalje, suočavanje s izazovima toplinskog zagađenja zahtijeva nastavak implementacije održivih i inovativnih tehnologija, uz istovremeno poštivanje regulatornih okvira i očuvanje prirodnih ekosistema.

Održivo upravljanje emisijama iz termoenergetskih izvora mora biti zasnovano na interdisciplinarnom pristupu, kontinuiranom monitoringu i odgovornom upravljanju resursima, s ciljem dugoročnog očuvanja okoliša i ispunjavanja obaveza u okviru nacionalnih i međunarodnih standarda zaštite životne sredine.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Agenciji za vodno područje rijeke Save na ustupljenim podacima iz Izvještaja o rezultatima ispitivanja tereta zagađenja otpadnih voda podružnice Termoelektrana “Kakanj” Kakanj izraženog preko EBS-a, “Inspekt – RGH” d.o.o. Sarajevo.

LITERATURA

- [1] Hadžić E. i Bonacci O.: G Okolišno prihvatljivo upravljanje vodotocima, Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Sarajevo, 2019
- [2] Mekić N. i Serdarević A.: Metodologija obračuna vodnih naknada – Određivanje terete zagađenja otpadnih voda, Orginalni naučni rad, Vodoprivreda 0350-0519, Vol. 50 (2018) No. 294-296 p. 281-292
- [3] Mayer D.: Voda od nastanka do upotrebe, Zagreb: Prosvjeta, 2004
- [4] Štrkalj A.: Onečišćenje i zaštita voda, Metalurški fakultet, Sisak, 2014
- [5] Šarac M., Antunović M. i Bulić O.: Upravljanje vodama u Federaciji BiH, stanje i ciljevi do 2022. g. (Izvod iz strategije upravljanja vodama FBiH), e-Zbornik radova Građevinskog fakulteta, Sveučilište u Mostaru
- [6] Zakon o vodama FBiH (službene novine FBiH br 70/06)
- [7] UNCED (United Nations Conference of Environment and Development) 1992. AGENDA 21. Protection of the quality and supply of freshwater resources, application of integrated approaches to the development, management and use water resources, Geneve
- [8] Izvještaj o stanju okoliša FBiH, Fond za zaštitu okoliša FBiH, 2022
- [9] Pavlović S.: Degradacija ekosistema – Rijeka Vrbas, Časopis za društvene i prirodne nauke, Svarog 1/2010
- [10] Tedeschi. S.: “Zaštita voda”, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb, (1997)
- [11] Mayer D.: “Voda od nastanka do upotrebe”, Prosvjeta, Zagreb, (2004), ISBN 953-7130-09-6
- [12] Markeš R.: Otpadne vode u farmaceutskoj industriji, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, 2018
- [13] Strategija razvoja općine Kakanj za period 2021-2027. Godina
- [14] Kemer F.: Nalkov priručnik za vodu, Drugo izdanje. Građevinska knjiga, Beograd, 2005.
- [15] Semren M.: Upotreba vode u rashladnim sustavima termoelektričnih postrojenja, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022
- [16] Rješenje Vodne dozvole (VD) Javnog preduzeća (JP) Elektoprivreda -Termoelektrana (TE) Kakanj: https://www.voda.ba/doc/va/24062014_R_VD_JP_Elektoprivreda_TE_Kakanj.pdf
- [17] Zahtjev za izdavanje obnovljene okolinske dozvole, Prilog III TE Kakanj, 2020
- [18] Bojanić V., Vejnović D. i Francuz V.: Korištenje voda u Bosni i Hercegovini, Pregledni rad, Zbornik radova, Značaj zaštita voda, Banja Luka 2017.
- [19] Pravilnik o načinu obračunavanja, postupku i rokovima za obračunavanje i plaćanje i kontroli izmirivanja obaveza na osnovu opće vodne naknade i posebnih vodnih naknada, Službene novine Federacije BiH (br. 92/07, 46/09, 79/11, 88/12) – Prilog 1
- [20] Izvještaj o rezultatima ispitivanja terete zagađenja otpadnih voda podružnice Termoelektrana “Kakanj” Kakanj izraženog preko EBS-a, “Inspekt – RGH” d.o.o. Sarajevo
- [21] Uredba o uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije (“Službene novine Federacije BiH”, broj 26/20, 96/20 i 01/24).

THE POLLUTION LOAD OF WASTEWATER

by

Mirza MUJČIĆ¹⁾, Emina HADŽIĆ²⁾, Hata MILIŠIĆ²⁾

¹⁾Hydro-Engineering Institute Sarajevo,

²⁾University of Sarajevo, Faculty of Civil Engineering

Summary

Monitoring of pollutant emissions represents a critical component of water quality management and environmental protection systems, and as such, must be conducted regularly and in accordance with the applicable legal framework—particularly the Regulation on Conditions for Discharge of Wastewater into the Environment and Public Sewerage Systems. This study presents an assessment of the environmental load of the Kakanj Thermal Power Plant through the determination of the Population Equivalent (PE), in line with the legal provisions of the Federation of Bosnia and Herzegovina. The analysis is based on monitoring key wastewater quality parameters—such as temperature, flow rate, total phosphorus, total nitrogen, and others—during a 48-hour observation period in 2020.

The results provide a reliable estimate of the pollution load for the observed period and form the basis for calculating the specific water pollution fee. It was determined that the emission values of technological wastewater discharged into surface water bodies remained within the legally prescribed limits, with the greatest environmental burden attributed to the presence of toxic substances. Furthermore, optimization of water consumption and improvements in wastewater treatment are identified as essential measures for the long-term enhancement of the ecological status of surface water bodies.

Key words: Monitoring, Kakanj Thermal Power Plant, pollution load, wastewater treatment.