

PRISTUP ZA ODREĐIVANJE GRANIČNIH VRIJEDNOSTI ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U PODZEMNOJ VODI PREMA ZAHTJEVIMA EU DIREKTIVA I SMJERNICA

prof. dr. sc. Zoran Nakić

Sveučilište u Zagrebu,
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska
e-mail: zoran.nakic@rgn.unizg.hr

doc. dr. sc. Zoran Kovač

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

Granične vrijednosti onečišćujućih tvari koriste se u postupcima ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode i procjene rizika od nepostizanja okolišnih ciljeva za podzemne vode. U radu je detaljno obrazložena pravna osnova za određivanje graničnih vrijednosti, koja proizlazi iz EU direktiva, te su prikazane smjernice za određivanje graničnih vrijednosti iz relevantnih CIS vodiča, proizašlih iz aktivnosti Zajedničke provedbene strategije Okvirne direktive o vodama (2000/60/EZ). Razmotreni su znanstveni aspekti pristupa za određivanje graničnih vrijednosti, koji se temelje na primjeni okolišnog kriterija, usmjerenog prema zaštiti okoliša, i kriterija korištenja, usmjerenog prema zaštiti pitke vode i drugih legitimnih vidova korištenja vode. Analizirana je mogućnost primjene odgovarajućih numeričkih pokazatelja djelovanja procesa razrjeđenja i procesa razgradnje onečišćujućih tvari te značenje i metode određivanja ambijentalnih pozadinskih koncentracija tvari u podzemnoj vodi. U radu su prikazani i rezultati komparativnih analiza primjene i usporedivosti metodologija za određivanje graničnih vrijednosti u državama članicama EU-a, provedenih tijekom 2012. i 2015. godine.

Ključne riječi: granična vrijednost, onečišćujuća tvar, pozadinska koncentracija, komparativna analiza, Direktiva za podzemne vode, tijelo podzemne vode

1. UVOD

U globalnoj raspodjeli vode, podzemne vode čine najveći dio slatke vode u tekućem stanju. Osim što su općenito prepoznate kao najvažniji i najpouzdaniji resurs pitke vode (Guppy i dr., 2018.; Carrard i dr., 2019.), podzemne vode su važan izvor vode za navodnjavanje i potrebe ekosustava (Balderacchi i dr., 2014.). Intenzivan razvoj urbanih sredina, prometa te industrijske i poljoprivredne proizvodnje diljem svijeta neizbježno dovodi do štetnih utjecaja ljudskih djelatnosti na sve sastavnice okoliša, a time i na vode, koje su zbog svoje pokretljivosti i sposobnosti otapanja najrazličitijih spojeva najugroženiji dio ljudskoga okoliša. Pritom su podzemne vode posebno ugrožene, jer se tečenje i pronos tvari kroz sustave podzemnih voda odvija vrlo sporo, što dovodi do jakog, ali u isto vrijeme i

prolongiranog utjecaja čovjeka na kemijsko i količinsko stanje podzemnih voda. Primjerice, zbog crpljenja i sve naglašenijih utjecaja klimatskih promjena na vodne resurse, razine podzemnih voda se u nekim područjima stalno snižavaju, što rezultira negativnim utjecajima na količinu i kakvoću podzemne vode, ali isto tako i na važne ekosustave koji su ovisni o podzemnim vodama. U mnogim državama svijeta zabilježeno je onečišćenje tla i podzemne vode, naročito zbog primjene različitih agrotehničkih kemijskih sredstava na poljoprivrednim površinama (Balderacchi i dr., 2013.).

Kako bi se minimalizirao utjecaj različitih izvora onečišćenja na vode, a time i na podzemne vode, Okvirnom direktivom o vodama (ODV, 2000/60/EZ) utvrđeni su ciljevi zaštite podzemnih voda i rokovi za ostvarenje tih ciljeva. Uz navedeno, Okvirnom direktivom o vodama su određena načela primjene mjera zabrane

i ograničavanja unosa onečišćenja u podzemne vode, kako bi se spriječilo pogoršanje kemijskog stanja tijela podzemnih voda. Tijekom usuglašavanja konačnog teksta ODV-a, pokazalo se da u državama članicama Europske unije (EU) postoje vrlo različiti pristupi u zaštiti podzemnih voda (Nakić, 2008.) te da nisu jasno definirani kriteriji za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda (Hinsby i dr., 2008.). Zbog navedenoga, u članku 17. ODV-a, koji utvrđuje Strategiju sprečavanja i kontrole onečišćenja podzemnih voda, od Europske komisije se traži da Europskom parlamentu i Vijeću predloži posebne mjere zaštite podzemnih voda, koje će uključivati zajedničke kriterije za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda i za utvrđivanje značajnih uzlaznih trendova, kao i početne točke za promjenu uzlaznih trendova. Članak 17. ODV-a propisuje da se ti kriteriji moraju dodatno definirati u Direktivi o podzemnim vodama (Hinsby i dr., 2008.).

Direktiva za podzemne vode Europskoga parlamenta i Vijeća o zaštiti podzemne vode protiv onečišćenja i pogoršanja kakvoće (DPV, 2006/118/EZ) usvojena je 12. prosinca 2006. godine. Osnovna odrednica ove direktive je da se njome utvrđuju specifične mjere za ispunjenje ciljeva zaštite okoliša, u dijelu koji se odnosi na sprječavanje i kontrolu onečišćenja podzemnih voda. U specifične mjere pripada i donošenje zajedničkih kriterija za ocjenu kemijskog stanja tijela podzemnih voda, odnosno standarda kakvoće podzemnih voda na razini EU-a te nacionalnih standarda kakvoće podzemnih voda, odnosno graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari, koje zasebno određuju države članice.

Spomenuti zajednički kriteriji, definirani Direktivom za podzemne vode, primijenjeni su u prvim nacionalnim planovima upravljanja vodnim područjima (PUVP), međutim, pokazalo se da postoje značajne razlike u pristupima pojedinih država članica EU (Nakić i dr., 2016.). U okviru aktivnosti radne skupine C za podzemne vode Europske komisije (EK), koja djeluje kao dio Zajedničke provedbene strategije ODV-a (engl. *Common Implementation Strategy*, CIS), provedena je komparativna analiza primjene i usporedivosti metodologija za određivanje graničnih vrijednosti u državama članicama Europske unije. Ova analiza provedena je temeljem zahtjeva iz članka 10. DPV-a, kojim se od EK-a traži preispitivanje zajedničkih kriterija i procedura opisanih u dodacima DPV-u. Rezultati analize, prikazani u izvještaju iz 2012. godine, pod nazivom: „Dubinska procjena razlika u graničnim vrijednostima podzemnih voda koje su utvrdile države članice“ (Scheidleder, 2012.), ukazali su da postoje značajne razlike u graničnim vrijednostima pojedinih tvari, ponajprije zbog različitih metodologija za određivanje graničnih vrijednosti u državama članicama EU-a. U zaključku navedenog izvještaja naglašava se važnost ujednačavanja pristupa određivanju graničnih vrijednosti na razini EU-a, u cilju usporedivosti rezultata ocjene kemijskog stanja tijela podzemnih voda.

Važnu ulogu u razvoju zajedničkog pristupa određivanja graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari imao je međunarodni znanstveni projekt, financiran u

okviru 6. Okvirnog programa Europske unije (FP6), pod nazivom: „Pozadinski kriteriji za identifikaciju graničnih vrijednosti podzemne vode“ (engl. *Background cRiteria for the IDentification of Groundwater thrEsholds, BRIDGE*). Cilj projekta bio je razviti i testirati metodu za određivanje graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari, u svrhu ocjene stanja tijela podzemnih voda prema zahtjevima ODV-a i DPV-a (Hinsby i dr., 2008.), koja je morala biti jednostavna za korištenje, ali primjenjiva i u slučajevima ograničenog monitoringa podzemne vode (Müller i dr., 2006.). Rezultati projekta *BRIDGE* korišteni su prilikom definiranja zajedničke metodologije za određivanje graničnih vrijednosti tvari u podzemnoj vodi, prikazane u CIS vodiču br. 18, izrađenom u okviru Zajedničke provedbene strategije ODV-a (*Commission of the European Communities*, 2009.).

Znanstvenim aspektima određivanja standarda kakvoće okoliša bavi se međunarodni znanstveni projekt, financiran u okviru 7. Okvirnog programa Europske unije (FP7), pod nazivom: „Podzemna voda i zavisni ekosustavi: nova znanstvena i tehnička osnova za procjenu klimatskih promjena i utjecaja korištenja zemljišta na sustave podzemnih voda“ (engl. *Groundwater and Dependent Ecosystems: NEw Scientific and Technical BasIS for Assessing Climate Change and Land-use Impacts on Groundwater Systems, GENESIS*). Projekt *GENESIS* realiziran je u razdoblju od 2009. do 2014. godine, s ciljem integriranja postojećih i novih znanstvenih spoznaja u nove metode i koncepte za potrebe izmjene i dopune DPV-a. Njime su definirani, između ostalog, konceptualni modeli ponašanja značajnih onečišćujućih tvari i/ili indikatora onečišćenja u podzemnoj vodi te metodološki okvir za određivanje pozadinskih koncentracija u homogenim tijelima podzemne vode (Balderacchi i dr., 2013.). Ovim projektom omogućeno je bolje razumijevanje, kako utjecaja podzemnih voda na pridružene ekosustave, tako i pokazatelja hidro-ekološkog stanja i trendova te okolišnih standarda i graničnih vrijednosti tvari (Kløve i dr., 2011.).

Rezultati komparativne analize iz 2012. godine te rezultati znanstvenih projekata *BRIDGE* i *GENESIS* bili su preduvjet za aktiviranje članka 8. DPV-a, na način da je omogućena tehnička prilagodba dodatka II. DPV-a, između ostalog i u dijelu koji se odnosi na redefiniranje metodološkog okvira za određivanje graničnih vrijednosti, usvajanjem nove Direktive Komisije o izmjeni Priloga II. Direktive 2006/218/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o zaštiti podzemne vode protiv onečišćenja i pogoršanja kakvoće (Izmjene i dopune DPV-a, 2014/80/EZ) u lipnju 2014. godine.

Iako ODV iz 2006. godine te Izmjene i dopune ODV-a iz 2014. godine, uz već spomenuti CIS vodič br. 18, osiguravaju vrlo ekstenzivan regulatorni okvir za određivanje graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u podzemnoj vodi, rezultati komparativne analize pristupa određivanju graničnih vrijednosti tvari, koje su države članice EU-a predložile za drugi ciklus planova upravljanja vodnim područjima (Marsland & Roy, 2015.),

pokazali su da je i dalje prisutna velika neujednačenost u pristupu, a time i neusporedivost rezultata na razini EU-a.

U ovom radu prikazani su relevantni pravni i znanstveni aspekti određivanja graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemnih voda. Obrazložena je pravna osnova iz EU direktiva te su prezentirane smjernice za određivanje graničnih vrijednosti iz relevantnih CIS vodiča. Posebno su razmotreni znanstveni aspekti zajedničkog EU pristupa za određivanje graničnih vrijednosti, uključujući rezultate projekta *BRIDGE*, naročito u dijelu koji se odnosi na primjenu kriterijskih vrijednosti, faktora razrjeđenja, faktora prigušenja koncentracije onečišćivala i faktora sigurnosti u postupku određivanja graničnih vrijednosti.

2. PRAVNA OSNOVA ZA ODREĐIVANJE GRANIČNIH VRIJEDNOSTI ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI

Usvajanjem Okvirne Direktive o vodama (ODV, 2000/60/EZ) suštinski se promijenio pristup zaštite vodnih resursa, a time i podzemnih voda, u državama članicama Europske unije. Po prvi put su nekim europskim propisom utvrđeni ciljevi zaštite podzemnih voda, rokovi za postizanje tih ciljeva, kao i načela primjene mjera zabrane i ograničavanja unosa onečišćenja u podzemne vode. Iako ODV ne razrađuje pristup za ocjenjivanje kemijskog stanja podzemnih voda (Hinsby i dr., 2008.), niti spominje granične vrijednosti onečišćujućih tvari u podzemnim vodama, u članku 2. pojmovno je određen standard kakvoće okoliša (SKO), kao: „koncentracija određenog onečišćivala ili skupine onečišćivala u vodi, sedimentu ili bioti, koja se ne smije premašiti radi zaštite ljudskog zdravlja i okoliša”. U kontekstu zahtjeva koji proizlaze iz odredbi članka 17. ODV-a, u dijelu koji se odnosi na nužnost donošenja zajedničkih kriterija za ocjenu kemijskog stanja podzemnih voda, ovako određen opći pojam SKO, koji je relevantan za sve sastavnice vodnog okoliša, poslužio je kao osnova za određivanje standarda kakvoće podzemnih voda, kako onih koji se primjenjuju na razini EU-a, tako i nacionalnih standarda kakvoće, odnosno graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari, u okviru Direktive za podzemne vode Europskoga parlamenta i Vijeća o zaštiti podzemne vode protiv onečišćenja i pogoršanja kakvoće (DPV, 2006/118/EZ).

2.1. Zahtjevi Direktive za podzemne vode

Direktiva za podzemne vode (DPV, 2006/118/EZ) utvrđuje, između ostalog, kriterije za ocjenu kemijskog stanja tijela podzemnih voda, koji se temelje na primjeni standarda kakvoće iz drugih EU direktiva i nacionalnih standarda kakvoće podzemnih voda, odnosno graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari. Značenje ovih standarda, utvrđeno člankom 2. DPV-a (Definicije), u osnovi proizlazi iz definicije SKO-a, u dijelu koji se odnosi na podzemne vode, a njihova specifična primjena, naročito graničnih vrijednosti, u cijelosti je određena člankom 3. DPV-a.

Člankom 3. DPV-a određeno je da granične vrijednosti uspostavljaju države članice u skladu s postupkom opisanim u dodatku II.A DPV-a za onečišćivala, skupine onečišćivala i pokazatelje onečišćenja za koje je utvrđeno da pridonose da je tijelo ili skupina tijela podzemne vode u riziku od nepostizanja dobrog stanja. U Dodatku II.B DPV-a naveden je minimalan popis onečišćujućih tvari i njihovih pokazatelja za koje države članice trebaju razmotriti uspostavljanje graničnih vrijednosti u skladu s člankom 3. DPV-a. To su: arsen, kadmij, olovo, živa, amonijev ion, kloridi, sulfati, trikloretilen, tetrakloretilen, električna vodljivost te nitriti i ukupan fosfor/fosfati, koji su dodani na popis temeljem izmjena i dopuna DPV-a (2014/80/EZ). Sukladno članku 3. DPV-a, prilikom određivanja graničnih vrijednosti potrebno je voditi računa o utjecaju i povezanosti podzemnih voda s pridruženim površinskim vodama i kopnenim ekosustavima izravno ovisnim o podzemnim vodama te je potrebno uzeti u obzir postojeća znanja o toksikološkim i ekotoksikološkim značajkama tvari za koje se određuju granične vrijednosti. Uz navedene kriterije, dodatkom II.A DPV-a naglašava se važnost određivanja hidrogeoloških značajki, naročito pozadinskih koncentracija tvari, koje se u podzemnim vodama javljaju zbog utjecaja prirodnih procesa, ali i djelovanja čovjeka. U izmjenama i dopunama DPV-a (2014/80/EZ), koje se odnose na izmjenu dodatka II.A DPV-a, posebna pažnja posvećena je određivanju upravo pozadinskih koncentracija tvari. Značenje hidrogeološkog kriterija, naročito konceptualnih modela tijela ili skupine tijela podzemnih voda i pozadinskih koncentracija tvari, prilikom određivanja graničnih vrijednosti implicitno proizlazi iz članka 3. DPV-a, u kojem se navodi da se granične vrijednosti mogu određivati na državnoj razini, na razini vodnoga područja ili dijela međunarodnog vodnog područja koje potpada pod teritorij države članice ili na razini tijela ili skupine tijela podzemne vode.

3. ZNANSTVENI ASPEKTI PRISTUPA ZA ODREĐIVANJE GRANIČNIH VRIJEDNOSTI

Usvajanjem DPV-a, granične vrijednosti onečišćujućih tvari postaju jedan od ključnih kriterija za ocjenu kemijskog stanja tijela ili skupine tijela podzemnih voda. Aktivnosti Zajedničke provedbene strategije ODV-a, u dijelu koji se odnosi na podzemne vode, usmjerene su, prije svega, na razvoj i testiranje zajedničkog europskog pristupa određivanja graničnih vrijednosti, temeljenog na kriterijima navedenim u članku 3. DPV-a. U tom smislu, ključnu ulogu imao je međunarodni FP6 znanstveni projekt *BRIDGE*, čiji je glavni cilj bio razvoj metodologije za određivanje graničnih vrijednosti temeljene na znanstvenim principima (Hinsby i dr., 2008.).

3.1. Preporuke projekta *BRIDGE*

Polazna osnova projekta *BRIDGE* bila je da metodologija za određivanje graničnih vrijednosti, mora omogućiti procjenu mogućeg utjecaja podzemne vode na sve prijarnike unutar tijela podzemne vode, kao i na one

prijamnike koji graniče s tijelom podzemne vode, kao što su primjerice ekosustavi ovisni o podzemnim vodama. U skladu s navedenom polaznom osnovom, projekt *BRIDGE* predlaže tzv. stupnjeviti pristup (engl. *tiered approach*) za određivanje graničnih vrijednosti, koji se temelji na izradi konceptualnog modela nekog promatranog tijela podzemne vode (Müller i dr., 2006.). Ovakav pristup omogućuje postupno, u koracima, određivanje graničnih vrijednosti, ovisno o dostupnosti podataka i procesima koji djeluju u tijelu podzemne vode.

Prvi korak u predloženom pristupu odnosi se na određivanje pozadinskih koncentracija tvari, koje se u podzemnoj vodi javljaju kao posljedica prirodnih procesa i mogućih antropogenih utjecaja. Pozadinska koncentracija može se definirati kao relativna mjera za razlikovanje između koncentracije prirodnih i antropogeno uvjetovanih koncentracija nekog elementa ili spoja u realnom skupu uzoraka (Matschullat i dr., 2000.), a posljedica je međudjelovanja između stijenskoga matriksa i vode, kemijskih i bioloških procesa u nezasićenoj i zasićenoj zoni, vremena zadržavanja vode u podzemlju i kemijskoga sastava oborina (Preziosi i dr., 2014.). Projektom *BRIDGE* predloženo je korištenje dviju metoda za određivanje pozadinskih koncentracija. Metoda odvajanja komponenti (engl. *Component separation method*) temelji se na razdvajanju relativne učestalosti koncentracije neke kemijske tvari na prirodnu i antropogenu komponentu, koje se modeliraju zasebnim razdiobama, a primjenjuje se kada je za neku kemijsku tvar dostupna velika količina podataka (Waendland i dr., 2005.). Metoda prethodnoga odabira (engl. *Pre-selection method*) koristi se u slučajevima kada je dostupan ograničen skup podataka i kada kemijski uzorci ne pokazuju ili pokazuju vrlo mali ljudski utjecaj (Griffioen i dr., 2008.; Hinsby i dr., 2008.). U osnovi, za izračun pozadinskih koncentracija u obzir se uzimaju samo reprezentativne analize, koje ne ukazuju na prisutnost antropogenih utjecaja na lokacijama na kojima se provodi uzimanje uzoraka kakvoće podzemne vode. Za tvari koje su osjetljive na promjenu oksidativno-reduktivnih uvjeta, pozadinske koncentracije određuju se posebno za aerobne i anaerobne sredine. Nakon izlučivanja uzoraka koji pokazuju antropogeni utjecaj, postupak određivanja pozadinskih koncentracija provodi se na preostalom, reprezentativnom skupu podataka koji definira prirodnu varijabilnost promatrane tvari, za koji se određuje medijan i gornja granica raspona kao 90-i percentil (Hinsby i dr., 2008.). Ukoliko za neko tijelo podzemnih voda ne postoje podaci monitoringa, ili podaci nisu zadovoljavajuće kvalitete, pozadinske koncentracije tvari mogu se preuzeti iz tijela podzemnih voda sa sličnim hidrogeološkim i hidrogeokemijskim značajkama, sukladno tipologiji vodonosnika u EU-u predloženoj projektom *BRIDGE* (Waendland i dr., 2008.). Jedna od važnih preporuka projekta odnosi se na tvari za koje je potrebno, sukladno zahtjevima iz članka 3. DPV-a, odrediti pozadinske koncentracije. Naime, pored tvari koje su navedene u dodatku II.B DPV-a, izuzev

trikloretilena i tetrakloretilena koji pripadaju u skupinu umjetnih sintetičkih tvari, Müller i dr. (2006.) navode i sljedeće skupine tvari za koje je projektom *BRIDGE* predloženo utvrđivanje pozadinskih koncentracija:

- tvari koje se mogu javiti u povišenim koncentracijama zbog djelovanja prirodnih procesa u nekom vodonosniku ili vodonosnom sustavu: srebro, aluminij, krom, bakar, cink;
- tvari koje su važne za karakterizaciju kakvoće podzemnih voda i hidrodinamičkih značajki vodonosnika: natrij, kalij, pH, kalcij, magnezij i hidrogenkarbonat;
- druge karakteristične tvari: bor, željezo, mangan, stroncij, nikal, fluor, antimon, anorganske kiseline.

U drugom koraku pristupa, predloženog projektom *BRIDGE*, određuje se referentni standard kakvoće za svaki prijamnik unutar tijela podzemne vode, primjerice ekosustav izravno ovisan o podzemnim vodama ili zaštićeno područje za pitku vodu (engl. *Drinking Water Protected Area*), koji bi mogao biti ugrožen onečišćenjem (Müller i dr., 2006.). Njegova primjena proizlazi iz zahtjeva iz članka 2. DPV-a, a u osnovi označava SKO za svaki pojedinačni prijamnik. Iako postoje brojni primjeri znanstvenih istraživanja koji potkrepljuju ovisnost vodenih i kopnenih ekosustava o podzemnim vodama (Kløve i dr., 2011.; Wernersson i dr., 2015.; Segadelli i dr. 2022.; Zhai i dr., 2022.), još uvijek su nedostatne znanstvene spoznaje o utjecaju kakvoće podzemne vode na ekosustave izravno ovisne o podzemnim vodama (Danielopol i dr., 2003.), naročito na kopnene ekosustave (Griffioen i dr., 2006.). Zbog navedenoga, projektom *BRIDGE* je predloženo da se za sve ekosustave ovisne o podzemnim vodama primijeni odgovarajući SKO pojedine tvari, kao referentni standard kakvoće. Za zaštićena područja za pitke vode, odnosno za izvorišta i crpilišta podzemne vode, projektom je predloženo da se, kao referentni standardi, koriste standardi za pitku vodu.

Važnost određivanja pozadinskih koncentracija tvari i referentnih standarda kakvoće proizlazi iz prijedloga projekta *BRIDGE* da se granične vrijednosti tvari određuju iz njihovih međusobnih odnosa. Ukoliko je pozadinska koncentracija tvari manja od referentnog standarda kakvoće za promatrani prijamnik, granična vrijednost određuje se kao polovica njihove sume. Ukoliko je pozadinska koncentracija viša od standarda kakvoće, granična vrijednost određuje se kao pozadinska koncentracija (Müller i dr., 2006.; Hinsby i dr., 2008.).

U trećem i četvrtom koraku pristupa, predloženog projektom *BRIDGE*, u postupak određivanja graničnih vrijednosti uvodi se primjena faktora razrjeđenja (engl. *Dilution Factor*, DF), odnosno faktora prigušenja koncentracije onečišćivala (engl. *Attenuation Factor*, AF). Naime, u vodonosnicima djeluju procesi koji utječu na razrjeđenje onečišćivala i/ili razgradnju i zadržavanje istih, a razmatranje ovih procesa zahtijeva detaljno poznavanje geoloških, hidrogeoloških i hidrogeokemijskih značajki promatranog sustava, detaljne podatke o značajkama i ponašanju promatranog onečišćivala te,

vrlo često, primjenu sofisticiranih numeričkih modela transporta, kojima je moguće simulirati različite procese (Müller i dr., 2006). Iako je teorijski moguće primijeniti faktor prigušenja koncentracije onečišćenja u postupku određivanja graničnih vrijednosti tvari za sve prijamnike u okviru nekog tijela podzemne vode, na način da se kvantificiraju procesi prirodnog snižavanja koncentracija onečišćivala koji djeluju u vodonosnom sustavu između izvora onečišćenja i primjerice izvorišta pitke vode, kao mogućeg prijamnika (Nakić i dr., 2018.), ove faktore je, u osnovi, moguće koristiti ukoliko (Hinsby i dr., 2008.): a) tijelo podzemne vode ima promjenjiv kemijski sastav podzemne vode, kako lateralno, tako i u vertikalnom razrezu; b) tijelo podzemne vode nije jedini izvor potencijalnih onečišćivala za ekosustave ovisne o podzemnim vodama; c) procesi koji djeluju u tijelu podzemne vode utječu na prirodno smanjenje onečišćujuće tvari otopljene u podzemnoj vodi. Ukoliko procesi razrjeđenja i prirodnog smanjenja onečišćivala nisu značajni za neko tijelo podzemne vode, tada se navedeni faktori zanemaruju i ne uzimaju u obzir prilikom definiranja graničnih vrijednosti tvari.

Projekt *BRIDGE* preporuča razmotriti primjenu jednog ili oba faktora u postupku određivanja graničnih vrijednosti, u slučajevima kada je u procesu karakterizacije tijela podzemnih voda neki vodeni ekosustav, primjerice rijeka, označen kao važan prijamnik, koji je izravno ovisan o podzemnoj vodi (Müller i dr., 2006.). Pokazatelje razrjeđenja i procesa koji djeluju u nekom tijelu podzemne vode moguće je procijeniti različitim metodama.

Müller i dr. (2006) definiraju faktor razrjeđenja (DF) kao odnos volumena vode iz baznoga (temeljnog) dotoka i ukupnoga volumena vode u tijelu površinske vode:

$$DF = \frac{Vol_{GW}}{Vol_{GW} + Vol_{SW}} \quad (1)$$

gdje je Vol_{GW} volumen vode L^3 u tijelu površinske vode koji dolazi iz baznoga dotoka, a Vol_{SW} ukupni volumen vode L^3 u tijelu površinske vode, pri čemu se vrijednost DF-a kreće od 0-1. Vrijednost baznoga dotoka može se procijeniti različitim metodama, primjerice grafičkim metodama za analizu hidrograma otjecanja (Szilagyi i Parlange, 1998), numeričkim metodama (Arnold i dr., 2000.), primjenom stabilnih izotopa vode, naročito za određivanje stupnja miješanja voda različite starosti (Klaus i McDonnell, 2013.), a sve više su u primjeni i različite automatizirane metode za analizu hidrograma (Eckhardt, 2005.). Müller i dr. (2006) razradili su metodu za izravno određivanje faktora razrjeđenja, na osnovi usporedbe vrijednosti koncentracija onečišćivala s lokacija u vodotoku koje se nalaze uzvodno, odnosno nizvodno od granice tijela podzemne vode i vodotoka, primjenom sljedeće formule:

$$(GW_{konc.} \times DF) + (SW_{uzv.konc.} \times (1 - DF)) = SW_{nizv.konc.} \quad (2)$$

gdje je $GW_{konc.}$ koncentracija onečišćivala M/L^3 u tijelu podzemne vode, $SW_{uzv.konc.}$ i $SW_{nizv.konc.}$ koncentracije onečišćivala M/L^3 u vodotoku, na lokacijama koje se nalaze uzvodno, odnosno nizvodno od granice s tijelom podzemne vode.

Primjena faktora prigušenja koncentracije onečišćenja (AF) u postupku određivanja graničnih vrijednosti tvari proizlazi iz paradigme da u vodonosnim sustavima djeluju procesi koji omogućuju značajno sniženje koncentracije nekog onečišćivala prije nego što dopre do prijamnika. Procjena njihove djelotvornosti, a time i mogućnosti primjene AF-a, vrši se na osnovi monitoringa onečišćivala, koji se provodi na lokacijama mjernih postaja koje moraju biti uzvodno i na dovoljnoj udaljenosti od granice prijamnika i podzemne vode, a podaci monitoringa omogućuju razvoj konceptualnih modela tijela podzemne vode. Kako bi konceptualni model potvrdio postojanje i učinkovitost prirodnih procesa koji kontroliraju, kako smanjenje i/ili zadržavanje onečišćivala u podzemlju, tako i njihovo razrjeđenje, on mora sadržavati sve bitne elemente za procjenu primjenjivosti AF-a i DF-a, primjerice fizikalne i hidrauličke aspekte tečenja podzemne vode, podatke o hidrogeokemijskim obilježjima vodonosne sredine, kao i podatke o biokemijskom potencijalu, odnosno o mikroorganizmima u podzemnoj vodi kao katalizatorima procesa razgradnje onečišćivala (Müller i dr., 2006.).

Ukoliko je moguće, primjenom nekih od metoda istraživanja, kvantificirati relevantne procese koji djeluju na onečišćivalo u nekoj vodenoj sredini, ali pritom nisu na raspolaganju dovoljno kvalitetni podaci za razlikovanje procesa koji utječu na smanjenje i/ili zadržavanje onečišćivala i njihovo razrjeđenje, tada se DF i AF mogu kombinirati u zajednički faktor, faktor razrjeđenja i prigušenja koncentracije, DAF. U svojem radu Hinsby i dr. (2008.) primijenili su DAF na primjeru koji je pokazao učinkovitost procesa koji dovode do sniženja koncentracija nitrata u slivu rijeke Odense u Danskoj. Autori su, temeljem interpretacije hidrogeokemijskih podataka iz plićih i dubljih dijelova tijela podzemne vode, koji su u izravnoj hidrauličkoj vezi s rijekom, kroz DAF kvantificirali djelotvornost procesa koji utječu na smanjenje sadržaja nitrata između područja prihranjivanja i područja istjecanja podzemne vode. Uspoređivanjem svojih rezultata s rezultatima modeliranja sadržaja nitrata u podzemnoj vodi neposredno prije istjecanja u rijeku Odense (Hansen, 2006.), autori su zaključili da kombinirani DAF faktor vrlo dobro opisuje relevantne procese koji utječu na smanjenje nitrata u podzemnoj vodi.

3.2. Značenje i metode određivanja ambijentalnih pozadinskih koncentracija tvari u podzemnoj vodi

Prilikom određivanja pozadinskih koncentracija tvari u podzemnoj vodi potrebno je uzeti u obzir hidrogeološku karakterizaciju tijela podzemnih voda, uključujući hidrogeokemijske značajke vodonosnika.

Naime, ukoliko tijelo podzemne vode obuhvaća vodonosnike ili dijelove vodonosnika s različitim hidrogeološkim i hidrogeokemijskim značajkama, tada je vrlo problematično određivati prosječne pozadinske koncentracije za takvo tijelo podzemne vode. Umjesto toga, pozadinske koncentracije tvari određuju se za svako homogeno područje unutar tijela podzemnih voda (Nakić i dr., 2018). Müller i dr. (2006.) izričito navode da je prilikom statističke analize velikog broja uzoraka podzemnih voda, primjerice u postupku određivanja pozadinskih koncentracija nekom od relevantnih statističkih analiza, neophodno da su uzorci uzeti iz vodonosnika koji je hidrogeokemijski homogen. Navedeno potkrepljuju i drugi autori. Primjerice, Matschullat i dr. (2000.) ističu da je geokemijsku pozadinsku koncentraciju neke kemijske tvari potrebno određivati u prostornim uvjetima koji su karakterizirani homogenim, poglavito klimatološkim, litološkim i pedološkim značajkama. Waendland i dr. (2005.) ukazuju na problem određivanja pozadinskih koncentracija, u kontekstu provedbe ODV-a, kroz tvrdnju da se razdioba mjerenih koncentracija neke tvari može raščlaniti na dvije komponente, koje predstavljaju prirodne i antropogeno uvjetovane čimbenike, temeljem statističke analize velikog broja uzoraka uzetih iz vodonosnika koji je hidrogeokemijski homogen. Važnost primjene principa homogenosti prilikom određivanja pozadinskih koncentracija naglašavaju Molinari i dr. (2012.), koji su utvrdili da pozadinske koncentracije tvari, koje su osjetljive na promjene oksidacijsko-redukcijskih uvjeta u podzemlju, rastu s dubinom. To drugim riječima upućuje na to da geokemijska i hidrogeološka stratifikacija čak i na razini pojedinačnih vodonosnika može biti važan čimbenik prilikom određivanja pozadinskih koncentracija, na što posebno ukazuju rezultati istraživanja skupine autora (Preziosi i dr., 2010.), koji su pokazali da se pozadinske koncentracije tvari, određene na razini tijela podzemnih voda, mogu značajno razlikovati od pozadinskih koncentracija istih tvari, određenih u homogenim područjima unutar tog istog tijela podzemne vode.

Zbog sveprisutnog ljudskog utjecaja, koji se očituje i na kemijski sastav podzemne vode, prirodni sastav podzemne vode, naročito u plitkim vodonosnicima, danas gotovo da i ne postoji. U tom smislu, Schenk (2001.) daje pragmatično tumačenje „prirodnih uvjeta podzemne vode“: „Prirodne koncentracije tvari u podzemnoj vodi prisutne su ako kemijski sastav najvažnijih kationa i aniona u podzemnoj vodi u poljoprivrednim područjima ili u područjima gdje se zemljišni pokrov značajnije mijenjao u zadnjih nekoliko stoljeća nije značajno promijenjen zbog ljudskoga utjecaja“. Prihvaćajući ova razmišljanja, Reiman i Garrett (2005.) definirali su tzv. ambijentalnu pozadinsku koncentraciju tvari u podzemnoj vodi. Radi se o pozadinskoj koncentraciji pod malo izmijenjenim uvjetima, kada povišene razine koncentracija neke tvari u vodi proizlaze iz dugoročnog utjecaja čovjeka, kao što su poljoprivreda, industrija ili urbanizacija, što znači da izmjerene vrijednosti koncentracija neke tvari nisu i ne

moгу biti odraz prirodnih uvjeta. Ovaj koncept preuzeli su i drugi autori (Panno i dr., 2006.; Nakić i dr., 2007.; Nakić i dr., 2010.), uvažavajući činjenicu da za neke tvari u podzemnim vodama postoje mnogobrojni prirodni i antropogeni izvori, koji su mogli utjecati na njihove koncentracije.

U suvremenoj znanstvenoj literaturi mogu se pronaći brojni primjeri određivanja pozadinskih koncentracija tvari u okolišu, a svi oni mogu se svrstati u tri različita pristupa (Rodriguez i dr., 2006.). Prvi pristup temelji se na uzimanju uzoraka podzemne vode iz potpuno netaknutih područja, bez prisutnih antropogenih utjecaja. Nedostatak ovoga pristupa jest da je danas u svijetu preostalo vrlo malo takvih područja, a osim toga, vrlo je teško rezultate istraživanja u takvim područjima primijeniti na neka druga područja, prije svega zbog različitih geoloških, klimatoloških i drugih uvjeta. Drugi pristup temelji se na uzimanju uzoraka iz dubokih bušotina, u kojima nisu prisutni antropogeni utjecaji s površine. Nedostatak ovoga pristupa jest u cijeni koštanja provedbe ovakvih istraživanja. Treći pristup, koji prevladava u suvremenoj literaturi, temelji se na uzimanju velikog broja uzoraka iz područja istraživanja, iz kojih se dobiveni podaci analiziraju nekom od statističkih metoda kojima je moguće odijeliti prirodne i antropogeno uvjetovane koncentracije iz razdiobe mjerenih podataka. Statističke metode i tehnike za razdvajanje pozadinskih koncentracija iz osnovnog skupa statističkog uzorka, neovisno o tome radi li se o prirodnom obogaćenju – orudnjenju ili antropogenom utjecaju, izvorno su razvijene u okviru geokemijskih istraživanja rudnih ležišta. Ove metode i tehnike, osmišljene ranih 60-ih godina prošlog stoljeća, bile su, prije svega, usmjerene prema identifikaciji ekstremnih vrijednosti, koje ukazuju na pojave orudnjenja u stijenskoj masi (Hawkes i Webb, 1962.).

U počecima primjene statističkih metoda i tehnika za određivanje pozadinskih koncentracija tvari često je korištena metoda koja se temelji na izračunavanju srednje vrijednosti i dvije standardne devijacije ($\mu + 2\sigma$), jer se implicitno podrazumijevalo da prirodni elementi i spojevi slijede normalnu razdiobu ili log normalnu razdiobu (Nakić i dr., 2018.). U novijoj literaturi prevladava stav da geokemijski podaci, u pravilu, ne slijede niti normalnu niti log normalnu razdiobu (Edmunds i Shand, 2004.; Reimann i Filzmoser, 2000.), nego su razdiobe geokemijskih podataka većinom iskrivljene, odnosno ukošene, zbog preklapanja različitih populacija ili utjecaja ekstremnih vrijednosti. U tom kontekstu, Helsel (1990.) smatra da srednja vrijednost i standardna devijacija nisu dobri pokazatelji centralne vrijednosti, odnosno varijacije podataka. Pokazalo se da je za ukošene razdiobe bolja opcija metoda Medijan plus dvostruki medijan apsolutnog odstupanja svih podataka, Medijan + 2MAD (engl. *Median absolute deviation*, MAD) (Tukey, 1977.), budući da ekstremne vrijednosti imaju vrlo malo utjecaja na MAD (Reimann i dr., 2005.). Isti autori (Reimann i dr., 2005.) predložili su korištenje

metode Dijagram pravokutnika (engl. *Box and whisker plot*), kako za utvrđivanje ekstremnih vrijednosti, tako i za određivanje pozadinskih koncentracija, temeljem rezultata komparativne analize u kojima su uspoređivali rezultate više statističkih metoda. Zaključili su da je ova metoda prikladna ukoliko je broj ekstremnih vrijednosti manji od 10 %, dok Medijan + 2MAD metoda daje bolje rezultate, ukoliko je broj ekstremnih vrijednosti veći od 15 %.

U novije vrijeme sve više istraživača koristi pristupe za određivanje pozadinskih koncentracija, koji su temeljeni na korištenju Metode temeljene na vjerojatnosnom grafu (engl. *probability plot*), potaknuti istraživanjima koje je proveo Sinclair ranih 70-ih godina prošloga stoljeća (Sinclair, 1974). Ova metoda pokazala se vrlo korisnom i široko primjenjivom, a njome se utvrđuje jedna ili više točaka infleksije na vjerojatnosnom grafu, koje razdvajaju različite populacije u okviru razdiobe svih mjerenih podataka za neku tvar. Ograničenje u primjeni ove metode je da razdioba prirodnih, pozadinskih koncentracija, i koncentracija koje su posljedica onečišćenja, odnosno utjecaja čovjeka, mora biti unaprijed poznata, najčešće log normalna, iako istraživači često koriste i normalnu, gama i druge razdiobe (Waendland i dr., 2005.; Panno i dr., 2006.; Molinari i dr., 2012.). U mnogim znanstvenim radovima istraživači koriste log normalnu razdiobu za prikazivanje razdiobe prirodnih pozadinskih koncentracija, dok normalnu razdiobu većinom koriste za prikazivanje razdiobe podataka koji su pod utjecajem čovjeka (Sinclair, 1974; Waendland i dr., 2005; Molinari i dr., 2012). Istraživanje provedeno od strane skupine autora (Preziosi i dr., 2014) pokazalo je veliku razliku u pozadinskim koncentracijama za različito definirane razdiobe podataka, čak do nekoliko redova veličine, što ukazuje na to da odabir razdiobe podataka može biti ključan u izračunavanju pozadinskih koncentracija. Od metoda srodnih Metodi temeljenoj na vjerojatnosnom grafu, potrebno je spomenuti Lepeltierovu metodu, koja je nazvana prema autoru znanstvenoga rada (Lepeltier, 1969.), kao i već ranije spomenutu Metodu odvajanja komponenti (Waendland i dr., 2005.).

Od nedavno, mnogi istraživači koriste napredne statističke metode, temeljene na primjeni Modela miješanih razdioba (engl. *Mixture distribution model*), kojima je moguće kvantificirati, ne samo parametre razdioba, već i vjerojatnost pripadanja svake izmjerene koncentracije tvari nekoj od prirodnih ili antropogenih populacija u promatranom skupu uzoraka (Carral i dr., 1995.; Rodríguez i dr., 2006.; Kyoung-Ho i dr., 2015.; Nakić i dr., 2018.)

4. SMJERNICE CIS VODIČA

U okviru Zajedničke provedbene strategije ODV-a djeluje radna skupina C za podzemne vode, s ciljem provedbe DPV-a i elemenata ODV-a koji se odnose na podzemne vode, posebice onih koji se odnose na praćenje stanja podzemne vode i pripremu PUVV-a. Rezultat djelovanja ove radne skupine su, između

ostaloga, brojni tehnički izvještaji i CIS vodiči, izrađeni u okviru Zajedničke provedbene strategije ODV-a, koji daju praktične preporuke i smjernice za provedbu DPV-a i ODV-a, u dijelu koji se odnosi na podzemne vode. Metodološki okvir za određivanje graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u postupku ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode daje CIS vodič br. 18 (*Commission of the European Communities*, 2009.), a smjernice za primjenu načela predostrožnosti u postupku određivanja graničnih vrijednosti potrebnih za procjenu rizika od nepostizanja okolišnih ciljeva za podzemne vode, daje CIS vodič br. 26 (*Commission of the European Communities*, 2010).

CIS vodič o procjeni stanja podzemnih voda i trendova br. 18 iz 2009. godine (*Commission of the European Communities*, 2009.) izrađen je s ciljem da državama članicama EU-a ponudi praktične smjernice i relevantne tehničke specifikacije za određivanje graničnih vrijednosti i procjenu količinskog i kemijskog stanja tijela podzemnih voda, kao i za procjenu trendova onečišćujućih tvari i njihovu promjenu u vremenu. Pravna osnova za izradu ovih smjernica, u dijelu koji se odnosi na granične vrijednosti, proizlazi, prije svega, iz članka 3. DPV-a, u kojem se, u kontekstu definiranja kriterija za procjenu kemijskog stanja podzemnih voda, implicitno naglašava primjena konceptualnih modela u postupku određivanja graničnih vrijednosti, što se zatim i primjenjuje u okviru ovog CIS vodiča. Naime, njime se izričito naglašava da je granične vrijednosti potrebno određivati s obzirom na utvrđeni stupanj međudjelovanja između podzemnih voda te kopnenih i vodenih ekosustava ovisnih o podzemnim vodama te s obzirom na korištenje podzemne vode za različite namjene. Ovakav pristup, u osnovi, proizlazi iz koncepta predloženog *BRIDGE* projektom, u kojem se naglasak stavlja na određivanje referentnog standarda kakvoće za svaki relevantni prijamnik. Posljedično, CIS vodičem br. 18 definiran je okolišni kriterij (engl. *environmental criteria*), koji je usmjeren prema zaštiti ekosustava ovisnih o podzemnim vodama te kriterij korištenja (engl. *usage criteria*), koji je usmjeren prema zaštiti, kako pitke vode u zaštićenim područjima za pitke vode, tako i drugih legitimnih vidova korištenja vode, primjerice vode koja se koristi za navodnjavanje, industriju i slično. Navedeni kriteriji su osnova za određivanje odgovarajućih kriterijskih vrijednosti (engl. *criteria value*), koji su, zapravo, *alias* referentnih standarda kakvoće za relevantne prijamnike u tijelu ili na granici tijela podzemnih voda. Granične vrijednosti tvari, za svaki relevantni prijamnik, određuju se uspoređivanjem kriterijskih vrijednosti s pozadinskim koncentracijama tvari u podzemnim vodama, primjenjujući, ukoliko je to tehnički opravdano i moguće, i faktor prigušenja koncentracije onečišćenja (AF) i/ili faktor razrjeđenja (DF), prema postupku definiranom u okviru *BRIDGE* projekta. Time su, zapravo, u cijelosti ispunjeni zahtjevi DPV-a iz članka 3., koji se odnose na primjenu kriterija za ocjenu kemijskog stanja tijela podzemnih voda.

Postupak ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode određen je člankom 4. DPV-a, a CIS vodičem br. 18 dane su smjernice za provedbu ovog postupka kroz primjenu klasifikacijskih testova: Prodor slane vode ili drugih (prirodnih) prodora vode loše kakvoće (engl. *Saline or other intrusions*); Zaštićena područja za pitke vode (engl. *Drinking Water Protected Areas*), Ocjena opće kakvoće (engl. *General quality assessment*), Površinska voda (engl. *Surface water*) i Kopneni ekosustavi ovisni o podzemnim vodama (engl. *Groundwater dependent terrestrial ecosystems*). U osnovi, ocjenjivanje kemijskog stanja tijela podzemnih voda provodi se provedbom jednog ili više testova za sve relevantne prijamnike u tijelu ili na granici tijela podzemne vode, uspoređivanjem mjerenih vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari sa standardima kakvoće i/ili relevantnim graničnim vrijednostima. Za potrebe provedbe testova: Prodor slane vode ili drugih (prirodnih) prodora vode loše kakvoće i Zaštićena područja za pitke vode, usporedba mjerenih i referentnih vrijednosti (standarda kakvoće i graničnih vrijednosti) provodi se u kombinaciji s analizom trendova. Sukladno smjericama CIS vodiča br. 18, u testovima Ocjena opće kakvoće i Zaštićena područja za pitke vode, kao kriterijska vrijednost koristi se standard za pitku vodu (M.D.K.), a u testu Prodor slane vode ili drugih (prirodnih) prodora, granična vrijednost određuje se izravno iz pozadinske koncentracije pokazatelja, primjerice električne vodljivosti, koji ukazuje na mogući prodor slane vode (Nakić i dr., 2018.). U testovima Površinska voda i Kopneni ekosustavi ovisni o podzemnim vodama kao kriterijska vrijednost koristi se odgovarajući standard kakvoće okoliša, EQS, za površinske vode. No, ovdje je potrebno ukazati da se u postupku određivanja graničnih vrijednosti tvari za provedbu klasifikacijskih testova za ekosustave ovisne o podzemnim vodama granične vrijednosti moraju određivati sukladno specifičnim ekološkim značajkama promatranog vodnog tijela, naročito uzimajući u obzir karakteristične procese i međudjelovanje između podzemnih i površinskih voda (Commission of the European Communities, 2015). To drugim riječima znači da se kriterijska vrijednost mora uskladiti sa značajkama pojedinih ekosustava.

U suvremenoj znanstvenoj literaturi malo je primjera određivanja graničnih vrijednosti tvari za vodene ekosustave (Hinsby i dr., 2008.; Hinsby i dr., 2012.; Hinsby i dr., 2015.; Hinsby i Refsgaard, 2015.). Naime, njihovo određivanje mora se temeljiti na detaljnom monitoringu podzemnih i površinskih voda te vodenih ekosustava, kako u vremenu, tako i prostorno. Potrebno je uzeti u obzir količinski i kemijski aspekt komponenata hidrološkog ciklusa te poznavati značajke i dinamiku procesa koji djeluju u ekosustavima ili na granici ekosustava s podzemnim vodama (Nakić i dr., 2018.). Zbog navedenoga, čak je i u svjetskim okvirima vrlo malo primjera određivanja standarda kakvoće za vodene ekosustave. Primjerice, u SAD-u su pojedini istraživači procjenjivali ukupnu maksimalnu dozvoljenu količinu nutrijenata koji smiju dospjeti u vodene ekosustave

(Bjorneberg i dr., 2015.; Paolisso i dr., 2015.; Reuben i Sorensen, 2014.).

Za razliku od CIS vodiča br. 18 (Commission of the European Communities, 2009), koji, temeljem zahtjeva iz članka 3. DPV-a, razrađuje kriterije za određivanje graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u postupku ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode na način da granične vrijednosti moraju biti određene tako da u slučaju njihovog prekoračenja to nedvojbeno ukazuje da postoji značajan i štetan antropogeni utjecaj na prijamnik u tijelu ili na granici tijela podzemne vode, odnosno da je tijelo podzemne vode u lošem kemijskom stanju, CIS vodič br. 26 (Commission of the European Communities, 2010.) uvodi načelo predostrožnosti u postupak određivanja graničnih vrijednosti. Sukladno Priopćenju Komisije o načelu predostrožnosti (Commission of the European Communities, 2000.), a u kontekstu procjene rizika od nepostizanja okolišnih ciljeva za podzemne vode, primjena ovoga načela proizlazi iz pretpostavke da su identificirani potencijalno opasni učinci koji proizlaze iz nekih pojava ili procesa te da nije moguće odrediti rizik za neki prijamnik u tijelu ili na granici tijela podzemne vode s visokom pouzdanosti. Iako se u postupku procjene rizika koriste istovrsni podaci i elementi stanja koji se koriste i u postupku ocjene kemijskog stanja, primjena načela predostrožnosti u naravi znači da neko tijelo podzemne vode može biti u riziku, iako je trenutno u dobrom stanju. To drugim riječima znači da se, kao mjera predostrožnosti, u postupak određivanja graničnih vrijednosti može uvesti faktor sigurnosti, kojim se, ovisno o razini pouzdanosti procjene rizika za određeni prijamnik, određuje niža granična vrijednost u odnosu na odgovarajuću kriterijsku vrijednost, koja se koristi prilikom ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode za neku onečišćujuću tvar. Primjenom faktora sigurnosti u osnovi se postrožuje režim zaštite u nekom tijelu podzemne vode.

5. USPOREDIVOST METODOLOGIJA ZA ODREĐIVANJE GRANIČNIH VRIJEDNOSTI U DRŽAVAMA ČLANICAMA EUROPSKE UNIJE

Uzimajući u obzir zahtjeve koji proizlaze iz članaka 3. i 4. DPV-a, kao i smjernice iz dodatka II.A DPV-a te CIS vodiča br. 18 i 26, države članice EU-a razvile su vlastite metodologije ili postupke za određivanje graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u podzemnoj vodi. Tijekom razdoblja trajanja prvih šestogodišnjih planova upravljanja vodnim područjima (PUVP), Europska komisija (EK), potaknuta člankom 10. DPV-a, kojim se od EK-a traži preispitivanje zajedničkih kriterija i procedura opisanih u dodacima DPV-a, izradila je i prezentirala analize primjene i usporedivosti metodologija za određivanje graničnih vrijednosti u državama članicama EU-a. Ove analize izrađene su 2012. i 2015. godine, a odnosile su se na prvi i drugi PUVP.

U izvještaju pod nazivom: „Dubinska procjena razlika u graničnim vrijednostima podzemnih voda koje su

utvrdile države članice" (Scheidleder, 2012.) opisane su metodologije određivanja te rasponi graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari navedenih u prvom PUVP-u, temeljem informacija i podataka koje su dostavile države članice. Rezultati komparativne analize metodologija pojedinih država članica, prikazani u ovom izvještaju, ukazali su da su pozadinske koncentracije i granične vrijednosti za istovrsne tvari, iskazane u PUVP-u država članica, vrlo različite, prije svega zbog različitog pristupa određivanju graničnih vrijednosti. U izvještaju je navedeno da je razloga za ovakvo stanje više, od primjene različitih metoda i geografskih mjerila korištenih za određivanje pozadinskih koncentracija te primjene različitih kriterijskih vrijednosti, odnosno standarda za pitku vodu i standarda kakvoće okoliša, prilikom određivanja graničnih vrijednosti, pa sve do primjene različitih metoda hidrogeološke i hidrogeokemijske karakterizacije tijela podzemne vode i agregiranja podataka monitoringa (Scheidleder, 2012.).

Rezultati analize iz 2012. godine potaknuli su Europsku komisiju da 2015. godine, dakle još tijekom trajanja prvog PUVP-a, a u okviru priprema za izradu drugog PUVP-a, prikupi detaljne informacije i podatke o pristupima, odnosno metodologijama određivanja, i rasponima pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti, u formi upitnika, od 24 države članice EU-a. Rezultati analize, sumirani u izvještaju Marsland i Roya (2015.) pokazali su da je i dalje prisutna velika neujednačenost u pristupima između država članica, a time i neusporedivost pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti. Analizom je utvrđeno da je većina država članica većinom koristila kriterijske vrijednosti, usmjerene prema zaštiti pitke vode u zaštićenim područjima, dok je okolišni kriterij koristio manji broj država. Vrlo je malo primjera u kojima su države članice koristile faktor prigušenja koncentracije onečišćenja (AF) i/ili faktor razrjeđenja (DF). U nekim slučajevima je utvrđeno da su države članice primijenile pristup u kojem su odredile kriterijske vrijednosti prilagođene značajkama svakog pojedinačnog ekosustava, a u pojedinim slučajevima neke države su koristile čak i standarde za onečišćena tla, kao nespecifične kriterijske vrijednosti. Osim toga, utvrđeno je i to da su države članice koristile različite metode za određivanje pozadinskih koncentracija, a velike razlike su utvrđene i u broju kemijskih tvari ili pokazatelja za koje su određene pozadinske koncentracije i granične vrijednosti.

Razlike u pristupima između država članica izrazito su uočljive i u odnosu na primjenu načela predostrožnosti, odnosno faktora sigurnosti, u postupku određivanja graničnih vrijednosti. U zaključcima izvještaja iz 2012. (Scheidleder, 2012.), kao i izvještaja iz 2015. godine (Marsland i Roy, 2015.), naglašeno je da, iako većina država članica koristi neki oblik faktora sigurnosti u postupku određivanja graničnih vrijednosti, njih nije moguće izravno uspoređivati, jer se vrijednost faktora sigurnosti, izraženog kao postotak sniženja granične vrijednosti u odnosu na kriterijsku vrijednost neke

tvari, izrazito mijenja ovisno o tome jesu li u postupku ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode kriterijske vrijednosti uspoređivane s maksimalno izmjerenim ili usrednjenim vrijednostima koncentracija onečišćujućih tvari, agregiranim na razini mjerne postaje ili tijela podzemne vode.

6. ZAKLJUČAK

Značenje graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u postupcima ocjene kemijskog stanja tijela podzemne vode i procjene rizika od nepostizanja okolišnih ciljeva za podzemne vode formalno proizlazi iz članaka 3. i 4. Direktive za podzemne vode Europskoga parlamenta i Vijeća o zaštiti podzemne vode protiv onečišćenja i pogoršanja kakvoće (DPV, 2006/118/EZ), te iz definicije standarda kakvoće okoliša (SKO), primijenjene na podzemne vode, kojom se granična vrijednost određuje kao: „koncentracija određenoga onečišćivala i skupine onečišćivala u podzemnoj vodi, koja se ne smije premašiti radi zaštite ljudskoga zdravlja i okoliša". Iz navedene definicije pojma „granična vrijednost" proizlaze i kriteriji za njegovo određivanje, koji se u smjernicama CIS vodiča iskazuju kao okolišni kriterij, koji je usmjeren prema zaštiti okoliša, i kriterij korištenja, koji je usmjeren prema zaštiti pitke vode i drugih legitimnih vidova korištenja vode. Time je, u osnovi, definiran koncept određivanja granične vrijednosti, koji se temelji na uspoređivanju odgovarajuće kriterijske vrijednosti neke tvari, određene iz primjene relevantnog kriterija na značajan prijamnik u tijelu ili na granici tijela podzemne vode, s pozadinskom koncentracijom te iste tvari. Na osnovi preporuka međunarodnoga FP6 projekta *BRIDGE* i smjernica CIS vodiča br. 18, moguće je, ukoliko je to tehnički opravdano i izvedivo, u postupak određivanja graničnih vrijednosti uvesti i odgovarajuće numeričke pokazatelje djelovanja procesa razrjeđenja i procesa koji utječu na razgradnju onečišćujućih tvari, a koje se iskazuju kao faktor razrjeđenja i faktor prigušenja koncentracije onečišćenja.

Uz kriterijsku vrijednost, ključni čimbenik u postupku određivanja graničnih vrijednosti tvari jest pozadinska koncentracija, koja se određuje za sve tvari koje se u podzemnoj vodi javljaju kao posljedica prirodnih procesa i mogućih ljudskih utjecaja. Kompleksnost određivanja pozadinskih koncentracija tvari proizlazi iz sveprisutnoga ljudskoga utjecaja, koji se očituje i na kemijski sastav podzemne vode, ali i iz činjenice da je pozadinske koncentracije potrebno određivati u hidrogeološki i hidrogeokemijski homogenim područjima. I dok brojna znanstvena istraživanja u svijetu potkrepljuju dugoročni utjecaj čovjeka na podzemne vode, zbog čega je značenje prirodnih koncentracija neke tvari od nedavno redefinirano uvođenjem pojma *ambijentalna pozadinska koncentracija*, rijetki su primjeri istraživanja u okviru kojih su određene pozadinske koncentracije tvari u homogenim područjima, a naročito istraživanja koja pokazuju ovisnost pozadinskih koncentracija o mjerilu promatranja. Na kompleksnost određivanja pozadinskih koncentracija ukazuje i veliki broj metoda koje se koriste

za određivanje pozadinskih koncentracija, naročito statističkih metoda koje se temelje na određivanju prirodnih i antropogenih populacija iz razdiobe mjerenih podataka. Iako se u suvremenoj znanstvenoj literaturi mogu pronaći brojni primjeri određivanja pozadinskih koncentracija s nekom od statističkih metoda i tehnika, vrlo je malo primjera koji pokazuju ograničenja primjene metoda, zbog čega je vrlo teško zaključivati jesu li rezultati dobiveni s odgovarajućim stupnjem pouzdanosti.

Rezultati komparativnih analiza primjene i usporedivosti metodologija za određivanje graničnih vrijednosti u državama članicama EU-a, provedenih na poticaj Europske komisije tijekom 2012. i 2015. godine, pokazali su da se pristupi u određivanju, kao i rasponi pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti, značajno razlikuju između pojedinih država članica. Kao ključni čimbenik, pored svih kompleksnosti i problema uočenih tijekom određivanja pozadinskih koncentracija, ističe se neodgovarajuća primjena, ili izostanak iste u

cijelosti, okolišnog kriterija i standarda kakvoće okoliša (SKO), usmjerenih prema zaštiti ekosustava ovisnih o podzemnim vodama. To se događa, prije svega, zbog činjenice da su još uvijek nedostatne znanstvene spoznaje o utjecaju kakvoće podzemne vode na ekosustave, što uvelike otežava određivanje relevantnog SKO-a za neki prijamnik. Dodatni problem predstavlja i neodgovarajuća primjena načela predostrožnosti, odnosno faktora sigurnosti, u postupku određivanja graničnih vrijednosti.

Realno je za očekivati da, u okviru trećeg šestogodišnjeg ciklusa PUVP-a, većina država članica EU-a, ako ne sve, u cijelosti poštuju europsku zakonsku regulativu, prije svega DPV, te slijede smjernice za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti iz CIS vodiča. Buduće komparativne analize pokazat će jesu li barem neki od uočenih problema otklonjeni ili barem umanjani u novim ili izmijenjenim pristupima država članica, s ciljem njihovoga ujednačavanja i što bolje usporedivosti. ■

LITERATURA:

- Arnold, J.G., Muttiah, R.S., Srinivasan, R., Allen, P.M. (2000.): Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. *J. Hydrol.*, 227, 21–40.
- Balderacchi M., Benoit P., Cambier P., Eklo O. M., Gargini A., Gemitzi A., Gurel M., Klöve B., Nakić Z., Preda E., Ružičić S., Wachniew P. & Trevisan M. (2013.): Groundwater pollution and quality monitoring approaches at European-level, *Critical reviews in environmental science and technology* 43, 4, 323–408.
- Balderacchi, M., Filippini, M., Gemitzi, A., Klöve, B., Petitta, M., Trevisan, M., Wachniew, P., Witzczak, S., & Gargini, A. (2014.). Does groundwater protection in Europe require new EU-wide environmental quality standards? *Frontiers in chemistry*, 2, 32.
- Bjorneberg, D. L., Leytem A. B., Ippolito, J. A., Koehn, A. C. (2015.): Phosphorus Losses from an Irrigated Watershed in the Northwestern United States: Case Study of the Upper Snake Rock Watershed. *J. of Environ. Quality* 44, 552–559.
- Carral, E., Puente, X., Villares, R., Carballeira, A. (1995): Background heavy metal levels in estuarine sediments and organisms in Galicia (northwest Spain) as determined by modal analysis, *Sci. Total Environ.*, 172, 175–188.
- Carrard, N.; Foster, T.; Willetts, J. (2019.): Groundwater as a Source of Drinking Water in Southeast Asia and the Pacific: A Multi-Country Review of Current Reliance and Resource Concerns. *Water*, 11(8): 1605.
- Commission of the European Communities (2009.): Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment, Guidance document No 18. *Technical Report – 2009 – 026*. ISBN 978-92-79-11374-1, European Communities, Luxembourg.
- Commission of the European Communities (2010): Guidance on risk assessment and the use of conceptual models for Groundwater. Guidance document No 26. *Technical Report – 2010 – 042*. ISBN 978-92-79-16699-0, European Communities, Luxembourg.
- Commission of the European Communities (2015.): Technical Report on Groundwater Associated Aquatic Ecosystems, *Technical Report No. 9 – 2015 – 093*. ISBN 978-92-79-53895-7, European Communities, Luxembourg.
- Communication from the Commission on the precautionary principle - COM (2000).
- Danielopol D.L., Griebler, C., Gunatilaka, A., Notenboom, J. (2003): Present state and future prospects for groundwater ecosystems, *Environ. Conserv.*, vol. 30 (2), 104–130.
- Direktiva kojom se uspostavlja okvir za djelovanje zajednice na području politike voda (Okvirna direktiva o vodama) (2000/60/EZ).
- Direktiva o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2006/118/EZ).
- Direktiva Komisije o izmjeni Priloga II. Direktive 2006/218/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o zaštiti podzemne vode protiv onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2014/80/EZ).
- Edmunds, W. M., Shand, P. (2004): Geochemical baseline as a basis for the European Groundwater Directive. *Proc. WRI-11, Warty and Seal II*. Taylor & Francis Group, London, pp. 393–397.
- Eckhardt, K. (2005.): How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrol. Process.*, 19, 507–515.

- Griffioen, J., van Helvoort, P.J., Edmunds, M., Wendland, F., Jongbloed, R., van der Wal, J.T., Holthaus, K., van der Grift, B., Gerritse, J., Jeannot, R., Kalevi, K., Gustafsson, J., Witczak, S., Kania, J., Rozanski, K. (2006.): State-of-the-art knowledge on behaviour and effects of natural and anthropogenic groundwater pollutants relevant for the determination of groundwater threshold values In: Final reference report to the EU project „BRIDGE“ 2006, *Deliverable D7*.
- Griffioen, J.; Passier, H.F.; Klein, J. (2008.): Comparison of selection methods to deduce natural background levels for groundwater units. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 4863–4869.
- Guppy, L.; Uyttendaele, P.; Villholth, K.G.; Smakhtin, V. (2018.): Groundwater and Sustainable Development Goals: Analysis of Interlinkages; *UNU-INWEH Report Series, Issue 04*; United Nations University Institute for Water; Environment and Health: Hamilton, ON, Canada.
- Hawkes, H. E., Webb, J. S. (1962): *Geochemistry in Mineral Exploration*, Harper & Row, New York, 415 p.
- Hansen, J.R. (2006): Nitrate modelling at catchment scale, PhD thesis, *Geological Survey of Denmark and Greenland*, 2006/69, Dissertation.
- Helsel, D. R. (1990.): Less than obvious, *Environ. Sci. Technol.*, 24 (12), 1767-1774.
- Hinsby, K., Condesso de Melo, M. T., Dahl, M. (2008.): European case studies supporting the derivation of natural background levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health, *Sci. of the Total Environ.* 401, 1-20.
- Hinsby, K., Markager, S., Kronvang, B., Windolf, J., Sonnenborg T. O., Thorling, L. (2012.): Threshold values and management options for nutrients in a catchment to a temperate Danish estuary. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 2663-2683.
- Hinsby, K., Markager, S., Kronvang, B., Windolf, J., Sonnenborg T.O., Thorling, L. (2015.): An approach to derive groundwater and stream threshold values for total nitrogen and ensure good ecological status of associated aquatic ecosystems – example from a coastal catchment to a vulnerable Danish estuary. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-6669, EGU General Assembly, 2015.
- Hinsby, K., Refsgaard, J. C. (2015.): Groundwater and stream threshold values for targeted and differentiated output based regulation of nutrient loadings to ecosystems. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-6669, EGU General Assembly, 2015.
- Klaus, J.; McDonnell, J.J. (2013.): Hydrograph separation using stable isotopes: Review and evaluation. *J. Hydrol.*, 505, 47–64.
- Kløve, B., Ala-aho, P., Bertrand, G., Boukalova, Z., Ertürk, A., Goldscheider, N., Ilmonen, J., Karakaya, N., Kupfersberger, H., Kværner, J., Lundberg, A., Mileusnić, M., Moszczyńska, A., Muotka, T., Preda, E., Rossi, P., Siergieiev, D., Šimek, J., Wachniew, P., Angheluta, V., Widerlund, A. (2011.): Groundwater dependent ecosystems. Part I: Hydroecological status and trends, *Environmental Science & Policy*, Volume 14, Issue 7, 770-781.
- Kyoung-Ho, K., Seong-Taek, Y., Hyun-Koo, K., Ji-Wook, K. (2015.): Determinations of natural backgrounds and thresholds of nitrate in South Korean groundwater using model-based statistical approach, *J. of Geochem. Explor.* vol. 148, 196-205
- Lepeltier, C. (1969.): A simplified treatment of geochemical data by graphical representation. *Econ. Geol.*, 64, 538-550.
- Marsland, T., Roy, S. (2015.): Threshold values – Initial Analysis of 2015 Questionnaire responses. *WFD Working Group Groundwater draft report*.
- Matschullat J., Ottenstein R., Reimann C. (2000.): Geochemical background – Can we calculate it? *Environ. Geol.* 39, 990-1000.
- Molinari, A., Guadagnini, L., Marcaccio, M., Guadagnini, A. (2012): Natural background levels and threshold values of chemical species in three large scale groundwater bodies in Northern Italy, *Sci. of the Total Environ.* 425, 9-19.
- Müller, D., Blum, A., Hart, A., Hookey, J., Kunkel, R., Scheidleder, A., Tomlin, C., Waendland, F. (2006.): Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold values in Europe. In: Report to the EU project „BRIDGE“ 2006, *Deliverable D18*.
- Nakić Z., Posavec K., Bačani A. (2007): A Visual Basic Spreadsheet Macro for Geochemical Background Analysis. *Ground Water* 45, 642–647.
- Nakić, Z. (2008.): New approach to groundwater protection in Croatia according to the requirements of EU directives and guidelines, Symposium with international participation "Water Management in Croatia", *Annual 2008 of the Croatian Academy of Engineering* (ur. Kniewald, Zlatko), Zagreb, 335-353.
- Nakić Z., Posavec K. & Parlov J. (2010): Model-based objective methods for the estimation of groundwater geochemical background. *AQUA Mundi* 1, 65–72.
- Nakić, Z., Bačani, A., Parlov, J., Duić, Ž., Perković, D., Kovač, Z., Tumara, D., Mijatović, I., Špoljarić, D., Ugrina, I., Stanek, D., Slavinić, P. (2016.): Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske, *Studija*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Nakić, Z., Parlov, J., Perković, D., Kovač, Z., Buškulić, P., Špoljarić, D., Ugrina, I. i Stanek, D. (2018.): Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske, *Studija*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Panno S. V., Kelly W. R., Martinsek A. T., Hackley K. C. (2006): Estimating background and threshold nitrate concentrations using probability graphs. *Ground Water* 44, 697–709.
- Paolisso, M., Trombley, J., Hood, R. R., Sellner, K. G. (2015.): Environmental Models and Public Stakeholders in the

- Cheasepeak Bay Watershed. *Estuaries and Coasts* 38, S97-S113.
- Preziosi, E., Giuliano, G., Vivona, R. (2010): Natural background levels and threshold values derivation for naturally As, V and F rich groundwater bodies: a methodological case study in Central Italy, *Environ. Earth Sci.* 61, 885-897.
- Preziosi, E., Parrone, D., Del Bon, A., Ghergo, S. (2014.): Natural background level assessment in groundwaters: probability plot versus pre-selection method, *J. of Geochem. Explor.* 143, 43-53.
- Reimann, C., Filzmoser, P. (2000.): Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environ. Geol.*, 39, 1001-1014.
- Reimann C., Garrett R. G. (2005.): Geochemical background - concept and reality. *Sci. of the Total Environ.* 350, 12-27.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R. G. (2005.): Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Sci. of the Total Environ.* 346, 1-16
- Reuben, T. N., Sorensen, D. L. (2014.): Applicability of kriging for estimating groundwater flow and nutrient loads surrounding Pineview reservoir, UTAH. *Transaction of the Asabe* 57, 1687-1696.
- Rodriguez, J. G., Tueros, I., Borja, A., Belzunce, M. J., Franco, J., Solau, O., Valencia, V., Zuazo, A. (2006.): Maximum likelihood mixture estimation to determine metal background values in estuarine and coastal sediments within the European Water Framework Directive, *Sci. of the Total Environ.*, 370, 278-293.
- Scheidleder A. (2012.): In depth assessment of the differences in groundwater threshold values established by Member States. *Umweltbundesamt Report*, Vienna.
- Schenk, V. (2001): Natürliche Grundwasserbeschaffenheit. Stellungnahme des PK „Natürliche Grundwasserbeschaffenheit“ an den DVGW. Bergheim (in Voigt, H.J., Hannappel, S., Kunkel, R., Waendland, F. (2005): Assessment of natural groundwater concentrations of hydrogeological structures in Germany, *Geologija*, 50, 35-47.)
- Segadelli, S., Adorni, M., Carbognani, M., Celico, F., Tomaselli, M. (2022.): Combining biological and hydrogeological approaches: The grass *Molinia arundinacea* as a possible bioindicator of temporary perched aquifers in ophiolitic systems, *CATENA*, Volume 217, 106448.
- Sinclair, A. J. (1974): Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. *J. of Geochem. Explor.* 3, 129-149.
- Szilagyi, J., Parlange, M.B. (1998): Baseflow separation based on analytical solutions of the Boussinesq equation. *J. Hydrol.*, 204, 251-260.
- Tukey, J.W. (1977.): *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, p. 688.
- Waendland, F.; Hannappel, S.; Kunkel, R.; Schenk, R.; Voigt, H.J.; Wolter, R. (2005.): A procedure to define natural groundwater conditions of groundwater bodies in Germany. *Water Sci. Technol.*, 51, 249-257.
- Waendland, F., Blum, A., Coetsiers, M., Gorova, R., Griffioen, J., Grima, J., Hinsby, K., Kunkel, R., Marandi, A., Melo, T., Panagopoulos, A., Pauwels, H., Ruisi, M., Traversa, P., Vermooten, J. S. A., Walraevens, K. (2008.): European aquifer typology: a practical framework for an overview of major groundwater composition at European scale, *Environ. Geol.* 55(1):77-85.
- Wernersson, A.S., Carere, M., Maggi, C., Tusil, P., Soldán, P., James, A., Sanchez, W., Dulio, V., Broeg, K., Reifferscheid, G., Buchinger, S., Maas, H. (J.L.), Grinten, E., O'Toole, S., Ausili, A., Manfra, L., Marziali, L., Polesello, S., Lacchetti, I., Pasanen-Kase, R. (2015): The European technical report on aquatic effect-based monitoring tools under the water framework directive. *Environ. Sci. Eur.* 27.
- Zhai, Y., Jiang, Y., Cao, X., Leng, S., Wang, J. (2022): Valuation of ecosystem damage induced by soil-groundwater pollution in an arid climate area: Framework, method and case study, *Environmental Research*, Volume 211, 113013.

APPROACH TO THE DETERMINATION OF LIMIT VALUES FOR GROUNDWATER

POLLUTANTS ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF EU DIRECTIVES AND GUIDELINES

Abstract. Pollutant limit values are used in the procedures of chemical status assessment of groundwater bodies and risk assessment of failure to achieve environmental objectives for groundwater. The paper elaborates in detail the legal basis for determining limit values according to EU directives and presents the guidelines for determining limit values from the relevant CIS guidance documents resulting from the *Common Implementation Strategy* for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Scientific aspects of the approach to determining limit values were based on the application of the *environmental criterion* (environmental protection) and *use criterion* (protection of drinking water and other legitimate water uses). A possibility to implement suitable numerical indicators of dilution and pollutant breakdown impacts, as well as the importance and methods for determining ambient background concentrations of substances in groundwater were analysed. The paper also presents the results of comparative analyses of the implementation and comparability of methodologies for determining limit values in EU Member States, which was conducted during 2012 and 2015.

Key words: limit value, pollutant, background concentration, comparative analysis, Groundwater directive, groundwater body

ANSATZ ZUR BESTIMMUNG VON GRENZWERTEN VERUNREINIGENDER MATERIE IM GRUNDWASSER NACH DEN BESTIMMUNGEN DER EU DIREKTIVEN UND RICHTLINIEN

Zusammenfassung. Grenzwerte verunreinigender Materie benutzt man bei Verfahren zur Beurteilung des chemischen Zustandes von Grundwasserkörpern und beim Beurteilen des Risikos vom Nichterreichen der ökologischen Ziele für Grundwasser. In der Arbeit wurde die rechtliche Grundlage basierend auf EU-Direktiven detailliert erörtert. Außerdem sind die Richtlinien zur Bestimmung von Grenzwerten aus relevanten CIS Broschüren, die aus der Aktivität *Gemeinsame Durchführungsstrategien* der Rahmendirektive über Wasser (2000/60/EZ) hervorgegangen sind. Erwägt wurden wissenschaftliche Aspekte des Ansatzes zur Bestimmung von Grenzwerten, die auf der Anwendung des Umweltkriteriums (zum Schutz der Umwelt) und des *Anwendungskriteriums* (zum Schutz von Trinkwasser und anderen legitimen Anwendungen von Wasser) basieren. Die Anwendungsmöglichkeit entsprechender numerischer Indikatoren zum Verdünnungsprozess wurde analysiert, ebenso wie zum Zersetzungsprozess verunreinigender Mittel sowie die Bedeutung und die Methoden zur Bestimmung ambientaler Hintergrundkonzentrationen von Materie im Grundwasser. In der Arbeit wurden auch die Resultate vergleichender Analysen der Anwendung und Vergleichbarkeit von Methodologien zur Bestimmung von Grenzwerten in den Mitgliedstaaten der EU dargestellt, die in den Jahren 2012 und 2015 durchgeführt wurden.

Schlüsselwörter: Grenzwert, verunreinigende Materie, Hintergrundkonzentration, vergleichende Analyse, Direktive für Grundwasser, Grundwasserkörper