



*Vaso Novaković
Aleksandar Tomić
Nikola Nikolić
Dejan Petrović*

ZAGAĐENJE I ZAŠTITA ZEMLJIŠTA I PODZEMNIH VODA

Novi Sad, 2018.

Prof. dr Vaso Novaković
Aleksandar Tomić
Nikola Nikolić
Dejan Petrović

ZAGAĐENJE I ZAŠTITA ZEMLJIŠTA I PODZEMNIH VODA

Novi Sad, 2018.

PhD Vaso Novaković
Aleksandar Tomić
Nikola Nikolić
Dejan Petrović

POLLUTION AND PROTECTION OF SOIL AND GROUNDWATER

Novi Sad, 2018

Autori:

Prof. dr Vaso Novaković*

Aleksandar Tomić*

Nikola Nikolić*

Dejan Petrović*

* - DOO „IPIN“

Institut za primijenjenu geologiju i vodoinženjering
Bijeljina

Recenzent:

dr Miladin Gligorić, red. prof.

Izdavač: „FELJTON“ DOO Novi Sad

Prelom teksta:

Aleksandar Tomić

Grafička priprema:

Milorad Menjić

Dizajn korica:

Dejan Čabrilo

Štampa: Štamparija Feljton, Novi Sad

Lektor: Jovana Alavanja, master profesor srpskog jezika i književnosti

Authors:

PhD Vaso Novaković*

Aleksandar Tomić*

Nikola Nikolić*

Dejan Petrović*

* - Ltd. „IPIN“

Institute for Applied Geology and Water Engineering
Bijeljina

Reviewer:

PhD Miladin Gligorić, full professor

Issued by: “FELJTON“ Ltd. Novi Sad

Text assembly:

Aleksandar Tomić

Graphic design:

Milorad Menjić

Cover design:

Dejan Čabrilo

Printed by: Printing house Feljton, Novi Sad

Proofreader: Jovana Alavanja, master professor in serbian language and literature

CIP – Katalogizacija u publikaciji

Za izdavača: „Feljton“ DOO Novi Sad

Tiraž: 500 primjeraka

ISBN: 978-86-84863-38-8

Zagađenje i zaštita zemljišta i podzemnih voda

Izvod iz recenzije

Rukopis knjige "Zagađenje i zaštita zemljišta i podzemnih voda", autora prof. dr Vaso Novaković, Aleksandar Tomić, Nikola Nikolić i Dejan Petrović, je prilagođen studentima koji izučavaju zagađenje i zaštitu zemljišta i podzemnih voda, ali i široj naučnoj javnosti koja želi da se detaljnije upozna sa ovom građom. Način izlaganja je prilagođen namjeni, pregledan, sistematičan, jasan, u poglavljima gdje je to moguće pojednostavljen, a sve sa jasno vidljivom težnjom autora da sadržaj knjige bude što prihvatljiviji za studente i širu javnost. Autori su u cijelom tekstu imali jedinstven pristup svim obrađenim elementima.

Smatram da knjiga pod nazivom "Zagađenje i zaštita zemljišta i podzemnih voda" predstavlja značajan doprinos upotpunjavanju udžbeničke literature iz ove oblasti, koja će pored nastavne funkcije predstavljati i značajan doprinos široj javnosti, kojoj je ova stručna problematika na bilo koji način oblast interesovanja.

Sa zadovoljstvom predlažem izdavaču „Feljton“ doo Novi Sad da rukopis "Zagađenje i zaštita zemljišta i podzemnih voda" autora prof. dr Vaso Novaković, Aleksandar Tomić, Nikola Nikolić i Dejan Petrović svrsta u kategoriju udžbenika i da se odobri njegovo štampanje.

Recezent:

dr Miladin Gligorić, red. prof.

Part of review

The manuscript “Pollution and protection of soil and groundwater” written by PhD Vaso Novaković, Aleksandar Tomić, Nikola Nikolić and Dejan Petrović, is adapted not only to students who study the issue of pollution and protection of soil and groundwater, but to wider scientific public which wants to introduce itself to the subject matter more comprehensively. The manner of presenting the book is adapted to its purpose – neat, systematic, concise and, where applicable, simplified with a clear aim of authors, which is to make the book content more acceptable to students and the wider public. The authors had the unique approach to all processed elements in the entire text.

I think that the book “Pollution and protection of soil and groundwater” is a significant contribution to the literature of this field, since it does not have the teaching function only, but contributes to the wider public, which finds the subject matter interesting.

It is my great pleasure to suggest to the Printing House “Feljton” d.o.o. Novi Sad to accept the manuscript “Pollution and protection of soil and groundwater” written by PhD Vaso Novaković, Aleksandar Tomić, Nikola Nikolić and Dejan Petrović, to include it into the textbook category and approve for printing.

Reviewer:

PhD Miladin Gligorić, full professor

PREDGOVOR

Prema programu treće godine prvog ciklusa studija *Hemijsko inženjerstvo i tehnologija* / modul-usmjerenje *Inženjerstvo zaštite životne sredine*, Tehnološkog fakulteta Zvornik, Univerziteta u Istočnom Sarajevu, predviđeno je da studenti slušaju predavanja iz predmeta *Zagađenje i zaštita zemljišta i podzemnih voda* u osmom semestru. S obzirom na ograničen fond sati, ovde se daje kondenzovana forma izlaganja predmetne materije.

Knjiga će tokom izučavanja cjelovite zaštite životne sredine pomoći studentima Tehnološkog fakulteta, kao i drugih srodnih fakulteta, da steknu osnovna znanja iz ove oblasti. Za pripremu ove knjige korištena je domaća i strana literatura i radovi iz ove oblasti, koji su navedeni u spisku korištene literature, kao i određeni rezultati vlastitih istraživanja u Republici Srpskoj.

Autori žele istaći da je knjiga prilagođena savremenom načinu prikazivanja predmetne problematike studentima.

Autori

Novi Sad, 2018.

PREFACE

Study program of the third year of the first cycle *Chemical Engineering and Technology* / module – course *Environmental Protection Engineering*, Faculty of Technology Zvornik, University of East Sarajevo, stipulates that students attend lectures of the following subject *Pollution and Protection of Soil and Groundwater* in the eighth semester. Bearing in mind a limited number of classes, we have given a digested form of the subject matter.

The book will be helpful to students of the above mentioned faculty during their studies of comprehensive environmental protection, and students of other related faculties, who can acquire basic knowledge in this area. National and international reference has been used while preparing this book, as well as certain papers from this area, which are stated in the reference list. Also, certain results obtained by independent research activities have been used.

Authors would like to point out that the book is adapted to contemporary display of the subject matter to students.

Authors

Novi Sad, 2018

SADRŽAJ

DIO I ZAGAĐENJE I ZAŠTITA ZEMLJIŠTA	
1. UVOD	13
2. GEOLOŠKE DISCIPLINE	14
2.1. Mineralogija	14
2.2. Petrografija	15
2.3. Geohemija	17
2.4. Geofizika.....	17
2.5. Hidrogeologija i hidrohemija	19
3. GRAĐA ZEMLJE KAO NEBESKOG TIJELA	21
3.1. Procesi uzrokovani endogenim i egzogenim silama.....	23
3.2. Tektonska aktivnost u Zemljinoj kori	24
3.3. Geotermalna energija.....	26
4. ZEMLJIŠTE KAO POVRŠINSKI SLOJ ZEMLJINE KORE.....	27
5. POROZNOST TLA I STIJENA	29
6. IZVORI ZAGAĐENJA ZEMLJIŠTA.....	32
6.1. Zagađenje zemljišta taloženjem zagađujućih materija iz vazduha.....	34
6.2. Zagađenje zemljišta posredstvom otpadne vode	35
6.3. Zagađenje zemljišta čvrstim otpadom	36
6.4. Zagađenje zemljišta poljoprivrednom proizvodnjom	37
6.5. Zaštita zemljišta.....	39
7. EROZIJA	41
8. POPLAVE	50
9. KLIZIŠTA.....	53
10. SALINIZACIJA I KONTAMINACIJA ZEMLJIŠTA.....	56
11. RADIOAKTIVNO ZAGAĐIVANJE ZEMLJIŠTA	59
12. UTICAJ EKSPLOATACIJE MINERALNIH SIROVINA I PODZEMNIH VODA NA ZEMLJIŠTE.....	61
13. UPRAVLJANJE OTPADOM I RECIKLAŽA.....	65
14. DEGRADACIJA TLA	74

15. UTICAJ POŽARA I RATOVA NA ZEMLJIŠTE	82
16. UTICAJ URBANIZACIJE NA ZEMLJIŠTE	85
17. UTICAJ POLJOPRIVREDE NA ZEMLJIŠTE.....	91
18. UTICAJ INDUSTRIJE NA ZEMLJIŠTE	97
19. UTICAJ NAVODNJAVANJA NA ZEMLJIŠTE.....	102
20. UTICAJ SJEČE ŠUMA NA ZEMLJIŠTE	105
21. REKULTIVACIJA I REMEDIJACIJA ZEMLJIŠTA	107
21.1. Injektiranje u cilju poboljšanja geotehničkih karakteristika tla	107
21.1.1. Osnovni pojmovi.....	107
21.1.2. Vrste injektiranja	110
21.2. Rekultivacija zemljišta	111
21.3. Remedijacija zemljišta	112
21.3.1. Biološka remedijacija tla.....	114
21.3.2. Hemijska remedijacija tla.....	120
21.3.3. Fizička remedijacija tla.....	126
21.3.4. Termalna remedijacija tla	127
DIO II ZAGAĐENJE I ZAŠTITA PODZEMNIH VODA	
22. KRUŽNO KRETANJE VODE U PRIRODI.....	132
23. ODNOS POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA I NJIHOVA HIDRAULIČKA VEZA.....	134
24. FORMIRANJE FIZIČKO-HEMIJSKOG SASTAVA PODZEMNE VODE	137
25. PODZEMNE VODE REPUBLIKE SRPSKE I NJIHOV FIZIČKO- HEMIJSKI SASTAV	147
26. TIPOVI IZDANI U ZAVISNOSTI OD HIDROSTATIČKOG PRITISKA I TIPA POROZNOSTI AKVIFERA.....	154
26.1. Freatske izdani i izdani pod pritiskom u stijenama intergranularnog tipa poroznosti.....	154
26.2. Izdani u akviferima sa pukotinskim i pukotinsko-karstnim tipom poroznosti.....	161
27. ZAHTJEVI ZA VODOM ODREĐENOG KVALITETA, TE ZAŠTITA IZVORIŠTA VODE OD ZAGAĐENJA – ZONE SANITARNE ZAŠTITE	165
28. ODREĐIVANJE SMIJERA I BRZINE KRETANJA PODZEMNIH VODA	203

29. MONITORING PODZEMNIH VODA, OSMATRAČKI BUNARI I PIJEZOMETRI	211
30. KLJUČNI ZAGAĐIVAČI, PRITISCI NA ZEMLJIŠTE I PODZEMNE VODE	222
31. TRANSPORT ZAGAĐUJUĆE MATERIJU U PODZEMNIM VODAMA	239
32. METODE REMEDIJACIJE PODZEMNE VODE	245
33. SOFTVERI ZA MODELIRANJE TOKA PODZEMNE VODE I SOFTVERI ZA MODELIRANJE TRANSPORTA ZAGAĐUJUĆE MATERIJU U PODZEMNIM VODAMA	255
LITERATURA	269

TABLE OF CONTENTS

PART I POLLUTION AND PROTECTION OF SOIL

1. INTRODUCTION	13
2. METHODS OF GEOLOGY	14
2.1. Mineralogy	14
2.2. Petrography	15
2.3. Geochemistry	17
2.4. Geophysics	17
2.5. Hydrogeology and hydrochemistry	19
3. EARTH STRUCTURE	21
3.1. Processes caused by endogenous and exogenous forces	23
3.2. Tectonic activity in the Earth's crust	24
3.3. Geothermal energy	26
4. SOIL AS A SURFACE LAYER OF EARTH'S CRUST	27
5. POROSITY OF SOIL AND ROCK	29
6. SOIL POLLUTION SOURCES	32
6.1. Soil pollution by deposition of pollutants from the air	34
6.2. Soil pollution by waste water	35
6.3 Soil pollution by solid waste	36
6.4. Soil pollution by agricultural production	37
6.5. Soil protection	39
7. EROSION	41
8. FLOODS	50
9. LANDSLIDES	53
10. SALINIZATION AND CONTAMINATION OF SOIL	56
11. RADIOACTIVE POLLUTION OF SOIL	59
12. IMPACT OF MINERAL RESOURCES AND GROUNDWATER EXPLOITATION ON SOIL	61
13. WASTE MANAGEMENT AND RECYCLING	65
14. SOIL DEGRADATION	74
15. IMPACT OF FIRE AND WAR ON SOIL	82
16. INFLUENCE OF URBANIZATION ON SOIL	85
17. IMPACT OF AGRICULTURE ON SOIL	91
18. IMPACT OF INDUSTRY ON SOIL	97
19. IMPACT OF IRRIGATION ON SOIL	102
20. IMPACT OF LAND DEFORESTATION ON SOIL	105

21. SOIL RECULTIVATION AND REMEDIATION	107
21.1. Injecting in order to improve soil geotechnical characteristics...	107
21.1.1. Basic terms	107
21.1.2. Injection types	110
21.2. Soil recultivation	111
21.3. Soil remediation	112
21.3.1. Biological remediation of soil	114
21.3.2. Chemical remediation of soil	120
21.3.3. Physical remediation of soil	126
21.3.4. Thermal remediation of soil	127
PART II GROUNDWATER POLLUTION AND PROTECTION	
22. CIRCULATORY MOVEMENT OF WATER IN NATURE ...	132
23. RELATION OF SURFACE WATER AND GROUNDWATER	
AND THEIR HYDRAULIC CONNECTION	134
24. FORMING OF PHYSICAL-CHEMICAL COMPOSITION OF	
GROUNDWATER	137
25. GROUNDWATERS OF THE REPUBLIC OF SRPSKA	
AND THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL COMPOSITION	147
26. TYPES OF AQUIFER DEPENDING ON HYDROSTATIC	
PRESSURE AND AQUIFER POROSITY TYPE	154
26.1. Phreatic and artesian aquifers in rocks with intergranular type of porosity	154
26.2. Aquifers with fractured and fractured-karst type of porosity....	161
27. REQUIREMENTS FOR WATER OF CERTAIN QUALITY,	
PROTECTION OF WATER SOURCES AGAINST POLLUTION –	
SANITARY PROTECTION ZONES	165
28. DETERMINATION OF DIRECTION AND SPEED OF	
GROUNDWATER MOVEMENT	203
29. GROUNDWATER MONITORING, WATER WELLS AND	
PIEZOMETERS	211
30. THE MAIN POLLUTANTS, PRESSURES ON SOIL AND	
GROUNDWATER	222
31. TRANSPORT OF POLLUTANTS IN GROUNDWATER	239
32. METHODS OF GROUNDWATER REMEDIATION	245
33. SOFTWARE FOR GROUNDWATER FLOW MODELING AND	
SOFTWARE FOR MODELING OF POLLUTANTS TRANSPORT IN	
GROUNDWATER	255
REFERENCE	269

DIO I
ZAGAĐENJE I ZAŠTITA ZEMLJIŠTA

1. UVOD

Nezagađeno zemljište i podzemne vode su jedan od preduslova za život i zdravlje ljudi. To nas obavezuje da kroz svoje aktivnosti osmišljeno radimo na nadzoru i zaštiti od zagađenja zemljišta i podzemnih voda.

U prvom dijelu knjige su data poglavlja zagađenja i zaštite zemljišta. Objašnjeni su sastav i struktura Zemljine kore, kao i procesi formiranja zemljišta uslijed endogenih i egzogenih procesa, te uticaj prirodnih faktora na formiranje zemljišta. U knjizi se daje prikaz izvora zagađenja, faktora degradacije i zagađenja zemljišta, zatim uticaj antropogenih aktivnosti na zemljište, te standardni postupci rekultivacije i remedijacije zemljišta.

Drugi dio knjige izučava zagađenje i zaštitu podzemnih voda, a sastoji se iz opšteg dijela u kome se definišu osnovni pojmovi iz hidrogeologije, a zatim odnos površinskih i podzemnih voda, formiranje fizičko-hemijskog sastava podzemne vode, te tipovi izdani sa prikazom podzemnih voda Republike Srpske.

S obzirom da se inženjeri u oblasti ekološkog inženjerstva suočavaju sa izraženim uticajem različitih industrijskih, rudničkih i energetskih postrojenja, kao i specifičnim zahtjevima za određeni kvalitet vode koja se koristi u različite svrhe (za ljudsku upotrebu, navodnjavanje, potrebe industrije i sl.), u knjizi je dat i prikaz različitih normi kvaliteta.

Razumijevanje kretanja podzemnog toka vode je objašnjeno kroz poglavlja određivanja smijera i brzine podzemnog toka, monitoring podzemnih voda i pregled ključnih zagađivača, a u posljednjem poglavlju je dat i prikaz najčešće korištenih softvera za modeliranje toka podzemne vode i transporta zagađujuće materije u podzemnim vodama.

U knjizi je dat veliki broj ilustracija, formula i tabela koje treba da pomognu studentima i inženjerima u rješavanju konkretnih zadataka u inženjerskoj praksi, na poslovima zaštite zemljišta i podzemnih voda.

2. GEOLOŠKE DISCIPLINE

Za sveobuhvatno proučavanje geneze mineraloško-petrografskih i fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta i dinamičkih procesa u zemljištu, kao i uticaj podzemnih voda, neophodno je korištenje savremenih saznanja do kojih su došle različite geološke discipline značajne za izučavanje zemljišta i podzemnih voda.

Ispitivanjem minerala bavi se nauka o mineralima ili mineralogija, a izučavanjem stijena (mineralnih agregata) se bavi petrografija (*petros*-kamen, *grafos*-pisati).

Poznavanje pojedinih mineralnih vrsta i stijena, njihovih fizičkih i hemijskih osobina je svakako od velikog značaja za razumijevanje prirodnih osobina zemljišta i podzemnih voda i razlikovanja prirodnog od uticaja antropogenog faktora na njihovo zagađenje i zaštitu. Ovdje će biti obrazložen predmet proučavanja mineralogije, petrografije, geochemije, geofizike, i hidrogeologije.

Genezom, morfologijom, klasifikacijom i distribucijom tla se bavi i pedologija.

2.1. Mineralogija

Stijene (i rude) predstavljaju kompleksne tvorevine izgrađene od minerala (lat. *mineralis* – ono što pripada rudniku). Kada se procjenjuje vrijednost neke rude, određuje se koje mineralne komponente ona sadrži i u kojim procentima, zatim se utvrđuje prisustvo jalovih i eventualno štetnih komponenti (1).

Mineralogija se dijeli na **opštu i specijalnu** mineralogiju. Opšta mineralogija proučava opšte osobine minerala, a specijalna zalazi u detaljan opis pojedinih mineralnih vrsta.

Poznavajući prilike pod kojima minerali u prirodi nastaju, ljudima je pošlo za rukom da i sami u laboratorijama proizvedu neka od tih tijela, koja se nimalo nisu razlikovala od pravih minerala.

Minerali su, bez obzira na slučajne primjese i različite nečistoće, uvijek na svakom mjestu, sasvim određenog hemijskog sastava, dakle u hemijskom pogledu sasvim određena tijela. Ekonomska vrijednost minerala i stijena je neizmijerna. Metalni minerali su sirovine iz kojih dobijamo sve korisne metale. Iz minerala se dobijaju radioaktivni elementi. Minerali su sirovine na kojima počiva keramička i cementna industrija. Ukrasno i “drago” kamenje su minerali. Bitni dijelovi mnogih fizičkih instrumenata i

elemenata u elektronskoj industriji izrađuju se od minerala. Hemijska industrija i hemijska tehnologija uopšte, koristi veliki broj mineralnih sirovina. Zemlja nastaje od minerala i intenzivna poljoprivredna proizvodnja počiva na korišćenju mnogih mineralnih supstanci. Životinje i biljke često izgrađuju svoje skelete i ljuske od minerala.

Upravo stoga, osnovna znanja mineralogije i petrografije su korisna u razumijevanju postanka i fizičko-hemijskih osobina zemljišta na nekom prostoru.

Minerali su prirodna anorganska tijela, homogene mase određenog i stalnog hemijskog sastava koji se može izraziti hemijskom formulom.

Minerali koji su postali od koloidnih rastvora (mineralnih soli), preko međustanja (mineralnih gela) pokazuju u mnogo čemu svojstveno ponašanje i nazivaju se **kolidnim mineralima**.

2.2. Petrografija

Zadatak petrografije je da proučava sastav stijena, njihovo pojavljivanje, njihove međusobne odnose, njihovo stvaranje, njihovo raspadanje i pretvaranje jednih u druge.

Stijene su mineralni agregati određenog mineralnog sastava i fizičkih osobina koji izgrađuju zemljinu koru.

Ako su stijene izgrađene od zrna jedne mineralne vrste, zovu se **monomineralne stijene**, a ako se sastoje od dva ili više minerala, označavaju se kao **polimineralne stijene**. Primjer: mermer je stijena izgrađena od minerala kalcita tj. spada u monomineralne stijene, a granit je stijena koju izgrađuju kvarc, feldspati, biotit i muskovit odn. spada u polimineralne stijene. Naravno, polimineralne stijene su mnogo češće u prirodi.

Stijenoviti materijal može biti vezan i kompaktan, a može biti i rastresit, plastičan, tektonski zdrobljen- milonitisan.

Stijene se mogu makroskopski proučavati na terenu, odn. vršiti njihova odredba (uz pomoć lupe, sone kiseline i sl.), ali detaljnija odredba stijena se vrši u laboratorijama kroz tzv. petrografske analize uzoraka.

Petrografske analize se izvode uz pomoć instrumenata, aparata i drugih sredstava u laboratoriji, zavisno od vrste stijena i cilja laboratorijskih ispitivanja.

Postanak stijena uopšte, objašnjava se hlađenjem Zemlje, čime je njen periferni dio očvrstnuo. Sve stijene, s obzirom na način postanka kao i na bitne karakteristike koje iz toga proizilaze, mogu se svrstati u tri velike

grupe: **magmatske** (eruptivne), **sedimentne** (taložne) i **metamorfne** (preobražajne, izmjenjene) stijene. To ujedno znači da postoje tri načina postanka stijena: očvršćavanjem magmatskog rastopa, taloženjem transportovanog materijala i preobražajem postojećih stijena.

Magmatske stijene

Samo jedan dio magmatskih stijena je izbio na zemljinu površinu i njih nazivamo izlivne (efuzivne) ili vulkanske stijene, dok su druge dubinske ili plutonske stijene.

Bazirajući se na mineralnom sastavu, koji se odražava i u hemijskom pogledu u sadržaju SiO_2 , sve magmatske stijene se mogu podijeliti u 7 familija:

1. granita i granodiorita;
2. sijenita;
3. alkalijskih sijenita;
4. diorita;
5. gabra;
6. alkalijskih gabra;
7. ultramafita.

Pošto feldspatoidi sadrže veće količine alkalijskih elemenata, stijene sa feldspatoidima obično nazivamo alkalijskim (npr. familije 3 i 6).

Sedimentne stijene

Sedimentne stijene su nastale dejstvom egzogenih faktora: korozijom, mehaničkim putem, rad vode, rastvora kiseline (naročito ugljovodonične kiseline), zatim kiseonika, česte temperaturne promjene, smrzavanje vode u pukotinama stijena, vjetrovi i organski materijal.

Sedimentne stijene se javljaju u vidu slojeva koji imaju neuporedivo veće prostiranje u odnosu na svoju debljinu (moćnost), a često su veoma izuvijani (naborani) ili čak i iskidani. U sedimentnim stijenama nalaze se i ostaci fosilnih životinja i biljaka.

Netransportovan materijal pokazuje oštrije ivice zrna (drobina), dok zrna kod transportovanog materijala imaju manji ili veći stepen zaobljenosti (pijesak, šljunak, valutice). Materijal koji nastaje raspadanjem stijena se može u prirodi transportovati radom vjetra (les), vode (pijesak, šljunak, valutice), gravitacije (drobina i sipari), lednika (morene) i sl. Sav taj materijal se jednim imenom naziva mehanički detritus. Klastični (komadasti) sedimenti mogu biti vezani (cementovani), poluvezani ili nevezani (rastresiti). Tako su nevezani npr. mulj, pijesak, šljunak, drobina, a njihovi vezani ekvivalenti glinci, pješčari, konglomerati i breče.

Izlučivanjem rastvorenog materijala nastaju hemijski talozi ili sedimenti. U hemijske taloge spadaju izvjesne vrste krečnjaka, mermerni oniks, bigar, sedimenti sonih ležišta, silicijske sedimentne stijene i gvožđevite sedimentne stijene.

Dio materijala ove vrste, koji dospije do mora doživljava oba zbivanja. Tu ostaje rastvoren u morskoj vodi (NaCl , MgCl_2 , MgSO_4 i dr) ili ga organizmi utroše za svoje ljuštore i skelete (CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 i dr). Taloženjem ljuštura i skeleta, stvaraju se organogeni ili biogeni sedimenti. Ovdje spadaju krečnjaci, dolomiti, pisaća kreda, naslage soli, gips, boksiti, silicijski sedimenti (rožnaci), dijatomejska zemlja i dr.

Prema odnosima karbonatske i glinovite komponente, izdvojeni su različiti varijeteti od krečnjaka, preko laporaca do glinaca.

Metamorfne stijene

Najrasprostranjenije metamorfne stijene su kristalasti škriljci od kojih su najčešći gnajsevi, mikašisti i filiti, a značajne su i metamorfne stijene kao što su argilošisti, mermeri, kvarciti, serpentiniti.

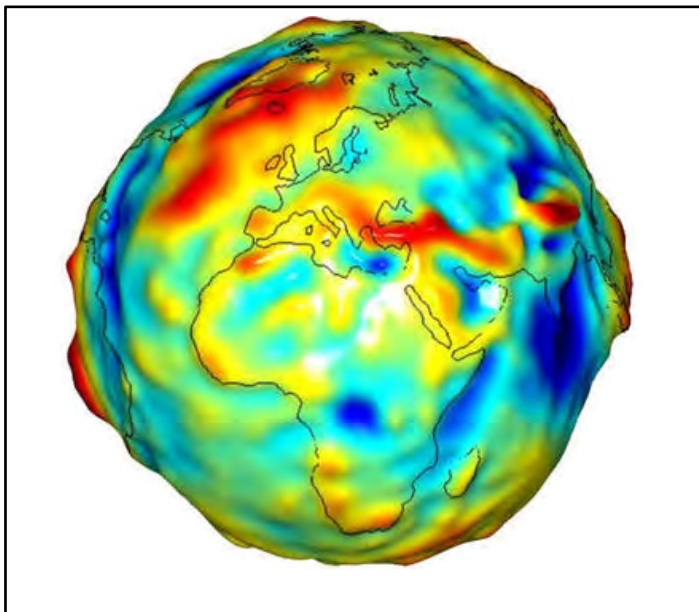
2.3. Geohemija

Zemljište je prirodna sredina izgrađena od mineralnih i organskih sastojaka, izdiferencirana u horizonte promjenljive debljine i leži preko stijenske podloge.

Geohemijske karte daju informacije za određena područja sa mogućim deficitima ili suficitima elemenata. Mikroelementi u zemljištima su porijeklom iz stijena koje čine podlogu zemljištu i čijim su površinskim raspadanjem i nastala. Koncentracije elemenata zavise od mineralnog sastava stijena u podlozi zemljišta.

2.4. Geofizika

Geofizika kao naučna disciplina proučava fizička polja Zemlje (gravitaciono slika 1, magnetno, električno) i njihovu međusobnu interakciju, kao i fizička svojstva koja uslovljavaju kretanje seizmičkih talasa, kretanje električne struje, formiranje magnetno-telurskog polja, itd.



Slika 1. Mapa gravimetrijskih anomalija, idealizovani model Zemlje (gravimetrijski model kreiran na osnovu podataka sa NASA – GRACE misije) (2)

Geofizičke metode su se objektivno mogle početi koristiti u praksi, tek kad je razvoj tehnologije omogućio pouzdano mjerenje malih promjena fizičkih veličina u terenskim uslovima. Vrijeme početaka njihove primjene se poklapa s vremenom povećavanja potreba u svijetu za energentima, prije svega potreba za naftom i gasom (razvoj automobilske, vazduhoplovne industrije i dr.). Tokom posljednjih nekoliko decenija, geofizičke metode sve se više koriste i postaju sve poznatije.

Geofizičke metode su metode koje se koriste u primijenjenoj geofizici. Zasnivaju se na ispitivanju prirodnih ili vještački stvorenih fizičkih polja u cilju rješavanja određenih geoloških, geotehničkih ili hidrogeoloških problema, ili pronalaženja objekata čovjekove djelatnosti ispod Zemljine površine (npr. u arheologiji).

Zavisno od toga koje se fizičko polje izučava, postoje slijedeće geofizičke metode:

- elektometrijska metoda;
- magnetometrijska metoda;
- elektromagnetometrijska metoda;
- gravimetrijska metoda;
- seizmometrijska metoda;

- radiometrijska metoda;
- termometrijska metoda;
- morfometrijska metoda;
- dinamometrijska metoda.

Značaj geofizičkih metoda leži u tome što se njihovom primjenom omogućava lakše, brže i ekonomičnije rješavanje geoloških problema uopšte, a posebno onih vezanih za istraživanje ležišta mineralnih sirovina, vodosnabdijevanje ili korišćenje tla za izgradnju građevinskih i hidrotehničkih objekata.

2.5. Hidrogeologija i hidrohemija

Hidrogeologija je nauka koja se bavi izučavanjem podzemnih voda, njihovog nastanka, oblika postojanja, uslova rasprostranjenja i isticanja na površinu Zemlje, zakona kretanja, rezervi, kao i odnosa podzemnih sa površinskim i atmosferskim vodama. Takođe, hidrogeologija proučava i mogućnost njihovog korištenja i primjene kroz fizičke osobine, kao i hemijski, radiološki i mikrobiološki sastav vode.

Riječ *hidrogeologija* je složenica koja je nastala od grčkih riječi *hydros* – voda, *geos* – zemlja i *logos* – nauka.

U prirodi je nemoguće zasebno izučavati podzemne vode, već se one moraju posmatrati zajedno sa stijenama u kojima se nalaze i kroz koje prolaze i u korelaciji sa površinskim vodama. Iz tog razloga, podzemne vode predstavljaju jedan od najznačajnijih vidova geološke supstance koji utiču na niz geoloških procesa u Zemljinoj kori. Kao takve, one tokom kretanja kroz podzemlje utiču na rastvaranje stijena i minerala, koje tokom svog kretanja prenose kroz podzemlje, iznose na površinu ili odlažu u podzemlju. Na taj način, podzemna voda svojim rastvaračkim i transportnim dejstvom, predstavlja jedan od glavnih faktora formiranja i oblikovanja reljefa Zemljine kore (3).

Podzemne vode u litosferi (zemljinoj kori) koje učestvuju u oblikovanju reljefa, nalaze se u različitim vidovima i sastavima. Jednu od prvih klasifikacija podzemne vode u litosferi dao je Lebedev 1936. godine. On je sve vidove voda u litosferi podijelio na slijedeće:

- vodena para (gasno stanje);
- slobodna ili gravitaciona voda (tečno stanje);
- voda u vidu leda (čvrsto stanje);
- kapilarna voda;
- fizički vezana voda;

- hemijski vezana voda;
- voda u natkritičnom stanju.

Zemljina kora, u kojoj se nalaze podzemne vode, je sačinjena od različitih stijena i minerala izgrađenih od velikog broja hemijskih elemenata i jedinjenja. Kretanjem vode kroz podzemlje, kao što je rečeno, dolazi do rastvaranja stijena i minerala i njihovog učešća u fizičko-hemijskom i radiološkom sastavu podzemne vode.

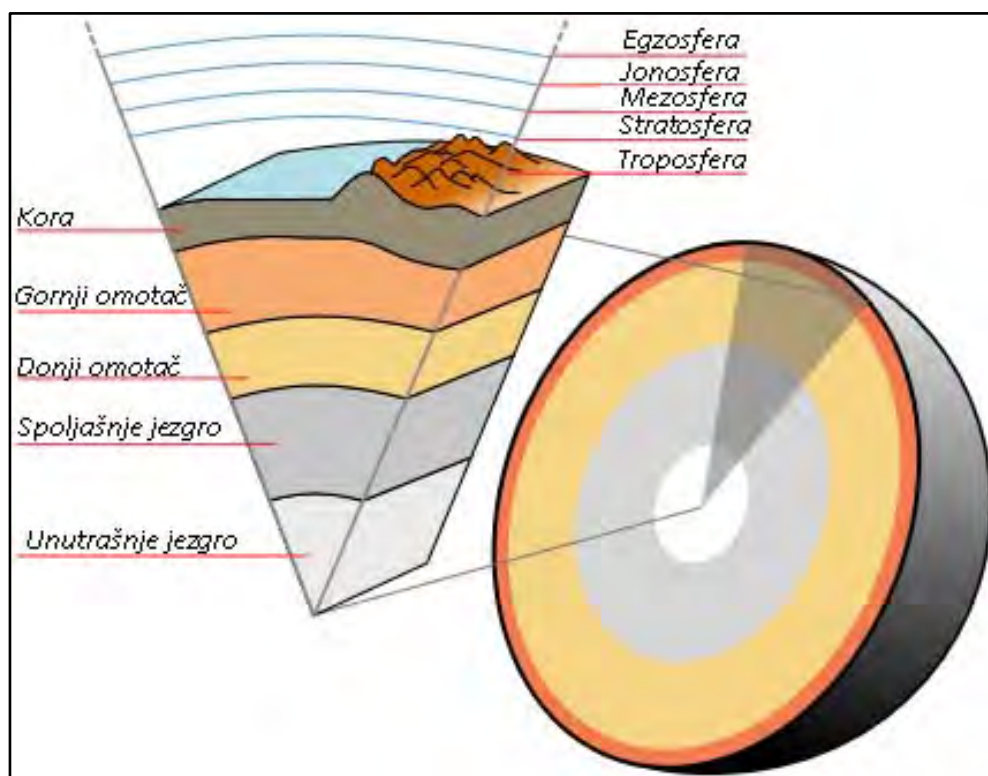
Grana hidrogeologije koja se bavi proučavanjem procesa koji utiču na formiranje prirodnog sastava podzemne vode, njenog kvaliteta i mogućnosti primjene podzemne vode je hidrohemija. Detaljnije o procesima koji utiču na formiranje prirodnog sastava podzemne vode, sastava podzemne vode i njene primjene dato je u poglavljima 26 i 29.

3. GRAĐA ZEMLJE KAO NEBESKOG TIJELA

Struktura i unutrašnja građa Zemlje utvrđene su na osnovu petroloških, geohemijskih i geofizičkih proučavanja. Rezultati ukazuju da je Zemlja izgrađena od gvožđa, kiseonika, silicijuma i magnezijuma koji čine oko 90% njene mase.

U Zemlji postoje zone raspodjele elemenata izdvojenih po sličnim geohemijskim karakteristikama. Teški elementi, gvožđe, nikl, kobalt i dr. se najvećim djelom nalaze u jezgru ili donjem omotaču. Lakši elementi, kalcijum, natrijum, kalijum, akumulirani su u zemljinom gornjem omotaču i naročito u kori zbog nemogućnosti da se ugrade u minerale koji ulaze u sastav omotača ili jezgra.

Na osnovu pomenutih proučavanja, smatra se da Zemlja ima slojevitou građu koju čine kora, omotač i jezgro (3).



Slika 2. Unutrašnje sfere Zemlje

Zemljina **kora** je površinski, čvrst, stijenvit omotač, koji izgrađuje kontinente i okeanska dna. Njena donja površina označena je Mohorovičićevom seizmičkom granicom, koja se ispod kontinenta nalazi na dubini 30-70 km, a ispod okeanskog dna na dubini 3-7 km. Prema debljini, starosti, mineralnom i hemijskom sastavu i načinu stvaranja, dijeli se na okeansku koru (debljine 3-12 km) i kontinentalnu koru koja je znatno deblja (do 80 km).

Zemljin **omotač** gradi oko 83% zapremine, odnosno 63% mase Zemlje i jezgra je odvojen stopljenom sferom. Omotač jezgra je po sastavu najbliži kamenim meteoritima, kod kojih prevladavaju jedinjenja silicijuma i magnezijuma ("SIMA sfera"). Zahvata prostor ispod Moho sloja, dostiže debljinu od oko 2.800 km i može da se podjeli na više zona.

Na osnovu hemijskog, odnosno mineralnog sastava i fizičkog stanja, dijeli se na gornji omotač i donji omotač.

Gornji omotač je dio Zemlje ispod kore (okeanske i kontinentalne), tj. Moho diskontinuiteta. Gornji omotač je u čvrstom stanju, peridotitskog sastava i zajedno sa korom čini zonu koju nazivamo litosferom. Obuhvata astenosferu i ide do dubine od 670 km. Litosfera se može posmatrati kao mozaik ploča koje su ograničene okeanskim riftovima, subdukcionim zonama i transformnim rasjedima. Litosfera se na osnovu mineralnog sastava, strukture i fizičko-mehaničkih svojstava dijeli na okeansku litosferu i kontinentalnu litosferu.

Ispod čvrstog gornjeg omotača nalazi se astenosfera. Ovo je veoma značajna zona, jer se nalazi u plastičnom ili po nekima poluplastičnom stanju, što omogućuje da se u njoj dešavaju plastične deformacije i konvekciona strujanja materije uzrokovana eventualnim toplotnim poremećajima. Ispod kontinentalne litosfere, astenosfera je debljine oko 30-50 km, dok je ispod okeanske litosfere, astenosfera deblja i iznosi do 100 km. U području okeanskih riftova, astenosfera se nalazi na znatno manjim dubinama nego ispod okeanske i kontinentalne litosfere. Smatra se da u astenosferi treba tražiti uzroke vulkanske aktivnosti, zemljotresa i pomjeranja kontinenata.

Donji omotač, mezosfera, je u čvrstom stanju i prostire se 670-2900 km, gdje seizmički talasi naglo mjenjaju brzinu usled promjene agregatnog stanja. Ovaj diskontinuitet se naziva Vihert-Gutenbergov i odvaja mezosferu od jezgra.

Geofizički podaci pokazuju da je donji omotač za oko 5% gušći od granatskog lerzolita koji gradi donje djelove gornjeg omotača.

Zemljino **jezgro** pretežno je sastavljeno od mješavine nikla i gvožđa ("NIFE sfera"), nalazi se na dubini od oko 2.900 do 6.400 km što

znači da ima poluprečnik od oko 3.500 km.

Jezgro se dijeli na spoljašnje jezgro (između 2.900 km i 5.200 km) i unutrašnje jezgro (između 5.200 km 6.400 km dubine). Granica jezgro-omotač predstavlja zonu širine oko 200 km.

Kroz spoljašnje jezgro ne prolaze seizmički talasi, što ukazuje da je jezgro u tečnom stanju i homogenog sastava. Kroz unutrašnje jezgro seizmički talasi prolaze, na osnovu čega se pretpostavlja da je ono čvrsto.

Magnetno polje Zemlje najverovatnije se stvara u spoljašnjem, tečnom jezgru zbog vrlo visokih temperatura i konvekcionih strujanja koja su znatno intenzivnija nego u omotaču (i do nekoliko km za godinu). U stopljenim metalima koji su bolji provodnici toplote od silikata koji grade omotač, konvekcionim strujanjem stvara se električna struja koja generiše magnetno polje (3).

3.1. Proces i uzrokovani endogenim i egzogenim silama

Zemljina kora - litosfera stalno je izložena uticaju spoljašnjih (egzogenih) i unutrašnjih (endogenih) sila, čija su djelovanja suprotna. Dejstvom unutrašnjih sila stvaraju se raznovrsni poremećaji stijenskih masa u Zemljinoj kori, koji se ispoljavaju strukturnim deformacijama, tj. ubiranjem i razlaganjem pojedinih dijelova Zemljine kore. Te deformacije Zemljine kore, stvorene djelovanjem tektonskih sila, nazivaju se tektonski poremećaji.

Procese i pojave koji su nastali uticajem spoljnih sila proučava egzodinamika, a one nastale djelovanjem unutrašnjih sila endodinamika.

Geodinamički procesi su skup procesa u litosferi koji su izazvani endodinamičkim i egzodinamičkim silama, a manifestuju se na površini Zemlje odnosno u reljefu. Endogenim i egzogenim procesima nastaju stijene koje se međusobno razlikuju svojim sastavom. Egzogeni procesi oblikuju površinu Zemlje. Od stijena na površini Zemlje nastaje tlo. Sastav tla je različit s obzirom na stijenu na kojoj se tlo razvija.

Dugotrajnim uzajamnim djelovanjem spoljašnjih i unutrašnjih sila, mijenja se, ne samo površinski dio litosfere, već i njeni dublji dijelovi.

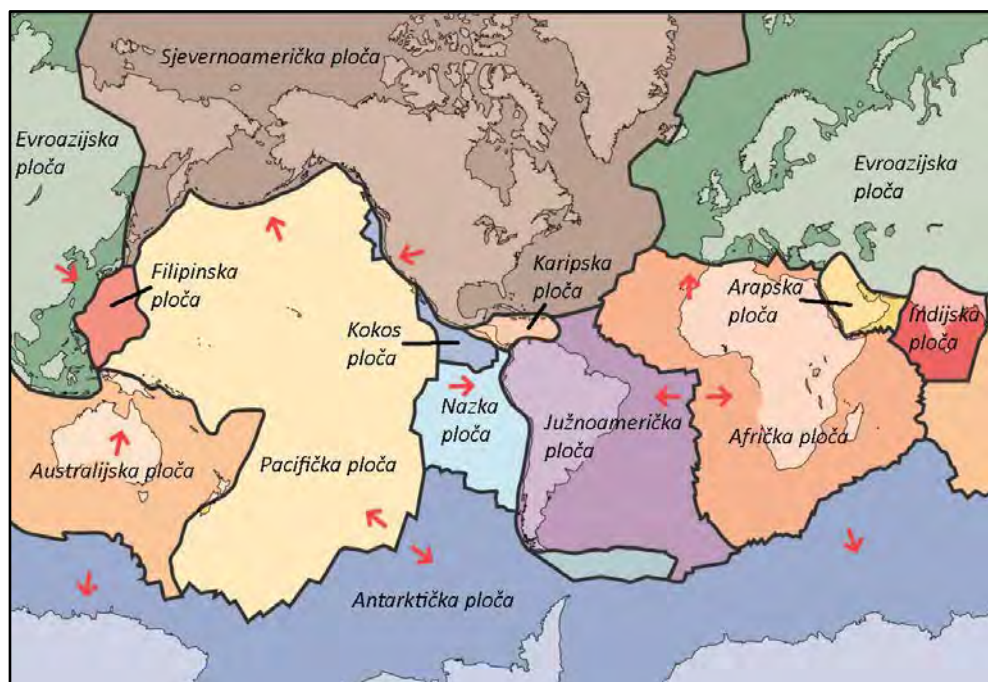
Djelovanje unutrašnjih sila rezultira jakim pokretima koji uslovljavaju nastajanje neravnina na površini litosfere, uz globalne promjene prostornih odnosa stijenskih masa, dok spoljne sile fizičkim razaranjem i hemijskim otapanjem stijena, transportom razorenog i otopljenog materijala i njegovom akumulacijom u nižim dijelovima terena, stvaraju i oblikuju izgled Zemljine površine - reljef.

3.2. Tektonska aktivnost u Zemljinoj kori

Tektonika ploča je geološka teorija koja objašnjava pomjeranja ploča Zemljine kore velikih razmjera. Generalno, tektonika nam daje odgovore o nastanku i razvoju Zemlje i savremenih geoloških oblika na njoj.

Ta dešavanja je prvi zapazio i veoma lako objasnio njemački meteorolog Alfred Vegner još 1915. godine u njegovoj teoriji o kretanju kontinenata – “kontinentalnom driftu“. On je iznio veliki broj dokaza da su se današnji kontinenti prije oko 180 miliona godina počeli razdvajati iz tadašnjeg jedinstvenog superkontinenta Pangea.

Prema teoriji tektonike ploča, preko gornjeg dijela omotača, astenosfere, koja je polutečna, leži čvrsta okeanska ili kontinentalna litosfera. Ova ljuska Zemlje je podjeljena na brojne dijelove – “ploče“, koje se kreću po astenosferi (slika 3). Litosferske ploče se kreću sporo u odnosu na ljudski životni vijek. Brzina kretanja ploča je od 1 do 10 cm godišnje. Sofisticiranom tehnologijom (baziranom, prije svega, na superosjetljivim GPS uređajima) moguće je direktno zabilježiti i izmjeriti iznos (brzine) kretanje ploča.



Slika 3. Položaj većih tektonskih ploča na Zemlji sa pravcima kretanja

Na Zemlji postoji sedam velikih ploča: Sjevernoamerička, Južnoamerička, Afrička, Pacifička, Evroazijska, Australijska i Antarktička. Najveća je Pacifička ploča, koja se nalazi u bazi Pacifičkog okeana i izgrađena je samo od stijena okeanske litosfere i pripada grupi okeanskih ploča. Većina ploča, međutim, izgrađena je od stijena kontinentalne i okeanske litosfere (Afrička, Južnoamerička itd.) i pripadaju tzv. kontinentalnim pločama. Ploče srednje veličine su: Karipska, Naca, Filipinska, Arabijska, Kokos i Skotia. Sve ploče se nalaze u stanju izostazije, tj. "plutanja" na relativno tečnijoj astenosferi.

Pretpostavlja se da je konvekciono strujanje (engl. *convection current*) u omotaču glavni mehanizam kretanja ploča. Kretanjem dubljeg, toplijeg (lakšeg) materijala iz omotača ka površini (izlivanje magmi u riftnim zonama), uz istovremeno tonjenje hladnijeg, težeg materijala ka dubljim dijelovima (subdukovanje okeanske litosfere) nastaje konvekciono strujanje.

Priroda savremenih i najnovijih pokreta Zemljine kore je veoma složena. Suštinski, najnoviji i savremeni pokreti Zemljine kore identični su sa pokretima koji su se ispoljavali u ranijoj geološkoj istoriji. Međutim, strukture formirane djelovanjem ovih pokreta posjeduju brojne specifičnosti, koje su posledica njihove mladosti i relativno kratkog dejstva i neopterećenosti naknadnim deformacijama. Efekti aktivnosti najnovijih i savremenih pokreta Zemljine kore označeni različitim strukturama i deformacijama, obično su izraženi u reljefu, a u slučaju savremenih pokreta i dostupni instrumentalnom registrovanju.

Zahvaljujući činjenici da su najnoviji i prije svega savremeni pokreti Zemljine kore dostupni neposrednom osmatranju, kako putem instrumentalnog mjerenja i geofizičkom detekcijom, tako i analizom reljefa, njihova geodinamika je relativno dobro proučena i može da posluži za razumjevanje starijih pokreta. Utvrđeno je da su savremeni i najnoviji pokreti Zemljine kore višekomponentni, odnosno, da su nastale deformacije prouzrokovane različitim faktorima, prije svega endogenim ali i egzogenim.

Neotektonika je nauka koja proučava pokrete Zemljine kore i dinamičke procese koji su se dogodili u geološki vrlo kratkom vremenskom intervalu tokom neogena i kvartara, sa posebnim naglaskom na aktivnosti za poslednjih 5-10 miliona godina. To je, u odnosu na 4,5 milijardi godina geološke istorije Zemlje, jedan zaista veoma mali vremenski period.

3.3. Geotermalna energija

Geotermalna energija direktno je povezana sa toplotom unutrašnjosti Zemlje i vodi porijeklo još od nastanka naše planete prije 4,5 milijardi godina. Toplota iz usijanog jezgra se prenosi do površine i potpovršinskih dijelova kroz veoma kompleksnu geološku građu.

Gravitaciona energija i toplota zaostala od formiranja Zemlje, kao i radioaktivni raspad, usloveli su ogromnu unutrašnju kaloričnu energiju Zemlje.

Smatra se da izvor toplote u gornjem omotaču i donjem dijelu okeanske i kontinentalne kore, najvećim dijelom potiče zbog prisustva radioaktivnih elemenata U, Th i K. Ova hipoteza pretpostavlja da su izotopi ovih elemenata, usled diferencijacije, akumulirani bliže površini Zemlje, u kontinentalnoj kori, zbog čega je donji dio gornjeg omotača siromašniji ovim radioaktivnim elementima.

Ova toplota se prenosi različitim mehanizmima prema površini, uključujući toplotnu kondukciju, konvekciju fluida, te direktnim pomjeranjem toplih, rastopljenih stijena prema plićim horizontima, u formi magmatskih intruziva, dajkova ili izliva. Procijenjena temperatura unutrašnjeg jezgra od oko 4.000 °C na dubini od 6.370 km, postepeno opada do svega nekoliko stepeni na površini zemlje.

Za iskorištenje geotermalne energije od važnosti je isključivo Zemljina kora. Razlog tome je što danas ne postoji tehnološka mogućnost pristupa većim dubinama. Globalno posmatrano, posebno značajne zone su zone dodira tektonskih ploča. Granice tektonskih ploča predstavljaju mjesta velikog rizika od aktivnih vulkana i potresa, ali i zone velikog potencijala u pogledu iskorištenja geotermalne energije (4).

Podzemne vode prenose toplotu stijena, a eksploatacija termalnih voda zahtijeva i adekvatnu zaštitu ekosistema i zaštitu termalnih voda, kao geotermalnog obnovljivog resursa.

Budući da je procijenjena totalna količina geotermalne energije, koja bi se mogla iskoristiti na Zemlji, znatno veća nego ukupna količina energetske izvora baziranih na nafti, uglju i zemnom gasu zajedno, trebalo bi geotermalnoj energiji svakako dati veću važnost. Naročito, ako se uzme u obzir da je riječ o jeftinom, obnovljivom izvoru energije koji je, takođe, i ekološki prihvatljiv.

4. ZEMLJIŠTE KAO POVRŠINSKI SLOJ ZEMLJINE KORE

Zemljište je prirodno bogatstvo koje se koristi i smatra se obnovljivim resursom. Zemljište ili tlo je tanki površinski rastresiti sloj Zemljine kore bez koga nije moguć život biljaka, životinja i ljudi na Zemlji.

Zemljište se sastoji od četiri osnovna dijela, a to su: mineralne materije, organske materije, vazduh i voda. Ovo je dio Zemljine kore u kome se neprekidno odvijaju dinamički procesi pod uticajem hemijskih, mehaničkih, fizičkih, bioloških i klimatskih faktora. Gdje god nema zemljišta pogodnog za razvoj biljaka na planeti Zemlji, nema ni života. Najčešće površinski sloj zemljišta čini humus, nastao razlaganjem biljnog materijala i drugih organskih materija. Debljina ovog sloja je promjenljiva. Pored humusa, često površinski sloj zemljišta čine i rastresite stijenovite mase, koje su nastale raspadanjem i drobljenjem matičnih stijena.

Izdanci - ogoline su reljef na kome se nalazi oskudna vegetacija. Na ovom reljefu je matična stijenska masa vidljiva na površini terena. Veoma često, ovakav reljef nastaje u erozionim područjima gdje proces erozije ubrzava nastanak izdanaka - ogolina. Izdanci - ogoline su povezani sa matičnim stijenama i nastaju najčešće u procesu erozije, koja je često posljedica ljudskih aktivnosti krčenja šuma, pravljenje saobraćajnica i dr.

Djelovanje klimatskih faktora (temperature, vode i vjetra) i drugih fizičkih faktora i živih organizama, imaju veliki uticaj na nastanak i razvoj zemljišta. Ovi faktori utiču na procese obrazovanja zemljišta i svaki od njih u određenim klimatskim uslovima može biti presudan za nastanak zemljišta. Zemljište se u prirodnim uslovima sporo obrazuje.

Fizički faktori koji utiču na formiranje zemljišta su veoma izraženi. Najčešći fizički faktor koji utiče na nastanak zemljišta je degradacija zemljišta, koja može biti: degradacija zemljišta erozijom tj. odnošenjem zemljišta i degradacija zemljišta oštećenjem zemljišta na mjestu gdje je ono nastalo. Erozijske, kao fizički faktori nastajanja zemljišta, mogu biti: erozije pod uticajem vode i erozije pod uticajem vjetra. Oba vida erozije za posledicu imaju odnošenje i razaranja pojedinih dijelova zemljišta. Erodovalo zemljište se na određenoj udaljenosti ponovo formira.

Jedan od bitnih fizičkih faktora koji utiču na formiranje zemljišta je i poljoprivredna proizvodnja. Razvojem poljoprivrede, koristeći zemljište kao izvor hranljive materije za biljke, dolazi do gubitka dijela humusa i mijenja se struktura tla čime se plodnost zemljišta smanjuje, a time i mogućnost pravilnog razvoja biljnog svijeta, kretanja vode i vazduha kroz zemljište.

Eksploatacija mineralnih sirovina, kako površinska tako i podzemna, je jedan od bitnih fizičkih faktora koji utiču na nastanak zemljišta.

Od hemijskih faktora koji utiču na nastanak zemljišta, bitno je istaći uticaj gasova nastalih efektom “staklene bašte“, koji iz vazduha dospijevaju u zemlju i vrše njenu dalju razgradnju. Pored ovog faktora, bitno je istaći i prekomjernu upotrebu prirodnog stajnjaka, mineralnih đubriva i pesticida u poljoprivredi, koji takođe vrše bitnu razgradnju zemljišta. Prekomjerna upotreba mineralnih đubriva za posledicu ima zakiseljavanje zemljišta, dok upotreba prevelike količine stajnjaka i osoke prouzrokuje povišen sadržaj nitrita ili fosfata i često dovodi do zaslanjivanja zemljišta.

Još neki od bitnih hemijskih faktora koji utiču na formiranje zemljišta su: sagorijevanje fosilnih i organskih goriva, komunalni otpad i industrijska postrojenja. Svaki od ovih parametara na specifičan i sebi svojstven način utiče na nastanak zemljišta. Struktura zemljišta se pogoršava, prije svega, zbog gubitka površinskog sloja humusa, koji nastaje kao posledica nedovoljne količine organskih materija koje se mogu razgraditi.

Zemljište nastalo pod dejstvom hemijskih faktora veoma često u sebi sadrži i povišen sadržaj zagađujućih materija, koje je potrebno ukloniti iz zemljišta. Uklanjanje zagađenja iz zemljišta je veoma zahtjevan i skup proces koji zavisi od: tipa zemljišta, zagađivača koji je u njega dospio, kao i fizičkih i hemijskih osobina samog zemljišta.

Biljni i životinjski svijet koji postoji na površini zemlje ima veliki uticaj na nastanak rastresitih i obradivih zemljišta. Proces raspadanja biljaka pod uticajem mikroorganizama je jedan od bitnih preduslova nastajanja humusa, koji se smatra plodnim dijelom zemljine površine. Korijeni sistem biljaka koji se formira, je bitan u procesu stvaranja rastresitosti zemljišta i protoku vode i vazduha kroz zemljište. Na formiranje zemljišta utiču i same životinje koje se nastanjuju u zemljištu, kao i životinjske vrste koje se nastanjuju na površini zemlje. Životinje koje se nastanjuju u zemljištu povećavaju sistem kanala u njemu, kroz koji se povećava cirkulacija vazduha i vode kroz zemljište i vrše prirodno đubrenje zemljišta. Bitni biloški faktori koji utiču na nastajanje zemljišta su mikroorganizmi, od čije aktivnosti zavisi proces nastajanja humusa, kao jedne od plodnih materija u zemljištu.

5. POROZNOST TLA I STIJENA

Da bi bilo omogućeno kretanje podzemne vode kroz tlo i stijene, potrebno je da u njima postoje šupljine i pukotine kroz koje voda može proći. Većina autora definiše šupljikav prostor između zrna rastresitih materijala i slabovezanih stijena i pukotina i kaverni kod kompaktnih stijena kao poroznost (2).

Sav prostor u tlu ili stijeni koja nije ispunjena čvrstom materijom, bez obzira na način postanka, veličinu, oblik ili međusobnu povezanost, predstavlja ukupnu poroznost. Ukupna poroznost se na taj način definiše kao zapremina svih pora u zapremini tla ili stijene i izražava se u procentima.

Jako je bitno napraviti razliku između ukupne i efektivne poroznosti. Efektivna poroznost predstavlja onu količinu povezanih pora koje mogu biti ispunjene slobodnim (gravitacionim) vodama. Efektivna poroznost je uvek manja od ukupne poroznosti tla i stijena.

Pore određene sredine nastaju dejstvom više faktora. Najznačajniji faktori koji utiču na poroznost tla i stijena su: fizičko i hemijsko raspadanje stijena, rastvaračko dejstvo vode, mineralni sastav stijena i tla, sedimentacija, kristalizacija magmatskih stijena, nastajanje pukotina, tektonski pokreti i neposredni uticaj čoveka. Kako ovi procesi utiču na poroznost, ona se tako vremenom mijenja i može se povećati ili pak smanjiti s vremenom.

U odnosu kada su nastale određene pore, poroznost se dijeli na primarnu i sekundarnu poroznost.

Primarna poroznost nastala je u vrijeme nastanka same stijene ili tla. Ona se povezuje sa sedimentima pijeskova, šljunkova i glina. Ovaj vid poroznosti se može javiti i u magmatskim i metamorfnim stijenama, prilikom kristalizacije mineralnih sastojaka ili dejstvom gasova prilikom očvršćavanja stijenske mase (2).

Sekundarna poroznost nastaje na već očvrslim stijenskim masama dejstvom različitih endogenih i egzogenih procesa, prilikom mehaničkih naprezanja, hemijskog i biohemijskog rastvaranja i fizičko-hemijskim raspadanjem stijenskih masa.

Pored primarne i sekundarne poroznosti, česta je pojava i dvojne poroznosti.

Pore u tlu i stijeni mogu biti različitog oblika i veličine. Sam oblik pora je često nepravilan, te ga je teško klasifikovati i zavisi od tipa sedimenata i tla, geneze, rastvorljivosti u vodi, mineralnog sastava, stepena

cementacije i ispucalosti stijenske mase. U podzemlju se javljaju okruglaste, elipsoidne, izdužene i nepravilne pore, pukotine i šupljine (2).

Pore u stijeni se mogu podijeliti i prema veličini. Prema veličini se dijele na makropore, koje su vidljive golim okom i mikropore, koje se vide pod mikroskopom ili lupom.

Pored podjela pora prema obliku i veličini, bitna je i strukturna podjela poroznosti. Klasifikacija prema strukturnom tipu poroznosti, vrši se prema preovlađujućem obliku pora u stijeni ili tlu, i načinu povezivanja pora u agregate i ne zavisi od veličine pora. Najrasprostranjeniji strukturni vidovi poroznosti su intergranularni, pukotinski i pukotinsko-karstni tip poroznosti.

Tabela 1. Strukturni tipovi poroznosti stijena (2)

Intergranularna	Dvojna intergranularna-pukotinska	Pukotinska	Pukotinsko-karstna
Pijesak	Breča	Granit	Krečnjaci
Šljunak	Konglomerat	Gabro	Dolomiti
Zaglinjeni pijesak	Pješčar	Diorit	Mermeri
Raspadnuti granit	Vulkanski tuf	Andezit	Gips-anhidritske stijene
Raspadnuti gnajs	Vulkanska breča	Bazalt	Sone stijene
Raspadnuti bazalt	Vulkanski konglomerat	Kvarciti	

Intergranularna poroznost karakteristična je za nevezane sedimente (pijesak, šljunak, drobina) i rastresite materijale. Najčešće je kvartarne, a dijelom i neogene starosti. Naziva se još i međuzrnska poroznost, jer su pore po kojima je ovaj tip poroznosti dobio naziv, locirane među zrnima, odnosno granulama. U slabovezanim i rastresitim sedimentima (pijesak, šljunak) je najčešće formiran kada i sama sredina, odnosno radi se o primarnom tipu poroznosti. Kod njih su pore ravnomjerno raspoređene, srazmjerno podjednakih oblika i međusobno povezane sa susjednim porama. Sekundarna intergranularna poroznost javlja se kod raspadnutih čvrstih stijenskih masa magmatita i metamorfita.

Pukotinska poroznost karakteristična je za čvrste stijenske mase. Nastaje obrazovanjem razlomnih oblika dejstvom mehaničkih sila na stijensku masu. Kao rezultat dejstva mehaničkih sila, javljaju se pukotine, rasjedi i tektonske zone. Bliže površini terena, javljaju se pukotine većeg otvora i u većem broju, dok sa porastom dubine, broj i veličina pukotina se

smanjuje. Najčešće su pukotine neravnomjerno raspoređene u stijenskoj masi.

Pukotinsko-karstni tip poroznosti se javlja u stijenama rastvorljivim u vodi (krečnjaci, dolomiti, anhidriti, gips, mermer). Ovaj tip poroznosti predstavlja sekundarni tip poroznosti. Pore kojima se kreće voda predstavljene su pukotinama, koje su proširene fizičko-hemijskim dejstvom vode, kanalima i kavernama različitog oblika, nastalih u procesu karstifikacije. Karstifikacija predstavlja proces prodora vode duž sistema pukotina i tektonskih diskontinuiteta kroz vodopropusne i rastvorljive stijenske mase. Prilikom ovog procesa dolazi do rastvaranja karbonatnih, sulfatnih i hloridnih stijena, uz pomoć ugljen-dioksida iz vazduha, koji sa vodom stvara slabu ugljenu kiselinu.

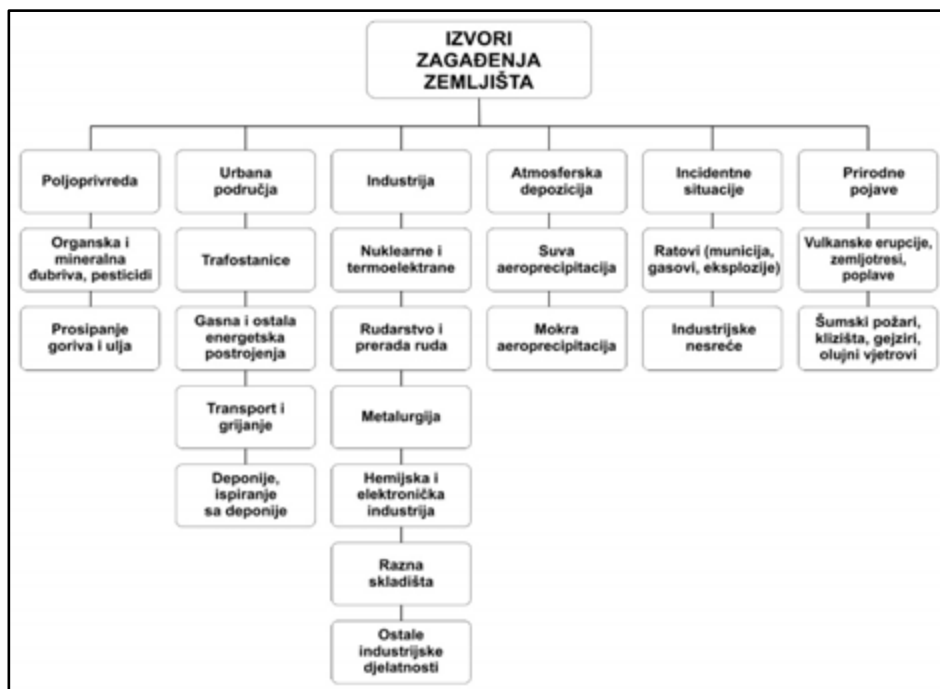
Detaljnije o akviferima formiranim u najrasprostranjenijim tipovima poroznosti (intergranularna, pukotinska i pukotinsko-karstna) dato je u poglavlju 28.

Osim pomenutih tipova poroznosti, postoje i manje zastupljeni tipovi poroznosti, kao što su spužvasta i crijevasta poroznost (3).

6. IZVORI ZAGAĐENJA ZEMLJIŠTA

Razvoj gradova i industrije, saobraćaj i poljoprivredne djelatnosti dovode do prekomjernog zagađenja životne sredine, uključujući i zemljište. Opterećenje površinskih slojeva zemljišta velikim količinama otpadnih materija, koje se ne mogu razgraditi procesima samoprečišćavanja, dovodi do degradacije zemljišta i poremećaja normalnih procesa u njemu, sa negativnim posledicama po ekosistem i zdravlje ljudi.

Zagađujuće supstance koje se mogu naći na površini tla u unutrašnjim slojevima mogu biti proizvod prirodnih i ljudskih aktivnosti na Zemlji (slika 4). U prirodne izvore zagađenja ubrajaju se: nalazišta ruda, mineralizacija, stijene specifičnog sastava, šumski požari, vulkani, zemljotresi, oluje i pješčane oluje, erozije, olujne kiše, poplave. U antropogene izvore zagađenja ubrajaju se: rudarstvo, industrija, poljoprivreda, urbanizacija i komunalne aktivnosti, saobraćaj i transport, šumski požari koje su izazvali ljudi, poplave, erozije (2).



Slika 4. Šema izvora zagađenja (3)

Kada zagađujuće materije dospiju u zemljište na bilo koji od navedenih načina, njihova dalja sudbina zavisi od niza fizičkih, hemijskih i bioloških faktora, čiji se uticaji prepliću. Vrlo je značajan oblik jedinjenja u kome se konkretne zagađujuće materije nalaze, zatim je tu i vrlo važan faktor osobine samog zemljišta (vegetacija, obrada zemljišta, klimatski uslovi). Kao posledica raznih djelovanja uzroka zagađenja, mogu se izdvojiti slijedeći procesi, odnosno posledice (4):

- biološka kontaminacija (infekcija);
- hemijska kontaminacija;
- antropogena degradacija;
- fizička destrukcija zemljišta.

Biološka kontaminacija podrazumjeva unošenje u zemljište raznih parazita, virusa, bakterija, gljivica i sl., koji borave u zemljištu i direktno ili indirektno mogu preko biljaka zaraziti životinje i ljude.

Hemijska kontaminacija podrazumjeva unošenje u zemljište raznih štetnih organskih i neorganskih materija u raznim oblicima (čvrstom, tečnom, gasovitom), kao što su: teški metali, organski polutanti, radionuklidi, pesticidi, mineralna đubriva i sl. Najveća kontaminacija se obično odvija u područjima industrijskih zona i neposrednoj blizini saobraćajnica i deponija otpada.

Antropogena degradacija podrazumjeva oštećenja zemljišta u funkciji njihovog redovnog korišćenja u biljnoj proizvodnji. Nastaje kao rezultat neracionalnog korišćenja zemljišta, a manifestuje se kroz: oštećenje strukture zemljišta, zbijanje, smanjenje fiziološke dubine, pojave površinske i brazdaste erozije, klizišta i smanjenja plodnosti zemljišta.

Procesi destrukcije zemljišta dovode do potpunog uništenja prirodnog zemljišnog profila, pri čemu dolazi do stvaranja novog zemljišta. Ovi procesi destrukcije predstavljaju najteži vid uništavanja zemljišta, a najčešći uzročnici ove pojave su: površinski kopovi, deponije, naselja, vodne akumulacije, putevi, industrija, erozija i klizišta (4).

Kada govorimo o potencijalnim izvorima i o načinu zagađenja zemljišta, onda to zagađenje može dospjeti putem:

1. zagađenja iz vazduha, atmosfere - emisije iz tehnoloških procesa, emisije uslijed sagorijevanja fosilnih goriva, stambenih zgrada, emisije izduvnih gasova automobila, emisije uslijed sagorijevanja biomase, šuma itd. Zagađivači u obliku gasova, para, aerosola, prašine dopijevaju na površinu zemlje spiranjem sa padavinama, a aerosoli i čestice direktno sedimentacijom;
2. zagađenja iz otpadnih voda - otpadne vode iz tehnoloških procesa, otpadne vode iz domaćinstva, vode zagađene uslijed poljoprivredne

djelatnosti (vještačka đubriva, pesticidi, organske materije različitog porijekla) itd. Zagađivači prisutni u tekućoj i podzemnoj vodi zagađuju zemljišta sa kojima je ta voda u dodiru;

3. zagađenja čvrstim otpadom iz privrede, domaćinstva i poljoprivrede, što predstavlja jedan od najznačajnijih načina zagađenja.

6.1. Zagađenje zemljišta taloženjem zagađujućih materija iz vazduha

Velike količine zagađujućih materija dospevaju iz vazduha i tokom vremena talože se na površini zemljišta. Ovaj proces je naročito izražen u blizini velikih industrijskih centara, ali se zagađujuće materije vazдушnim strujanjima često prenose i na znatnija odstojanja.

Gas SO_2 , kao i većina drugih zagađujućih supstanci, ne ostaje dugo u atmosferi već se u neizmjenjenom ili izmjenjenom obliku vraća na površinu zemlje. Dio sumpor-dioksida apsorbuje vegetacija i djelimično se može uključiti u metabolizam. Gasovi i čestice obaraju se silom gravitacije, difuzijom i turbulentnim transportom. Sumpor se, ipak najvećim djelom, vraća na zemljinu površinu, a samim tim i znatan je uticaj na zemljište.

Zagađujuća azotna jedinjenja u vazduhu zastupljena su azotnim oksidima. Sa stanovišta zagađenja, zastupljenosti i biološkim efektima, najznačajniji oksidi su azot-monoksid i azot-dioksid. Najznačajniji izvor antropogenog zagađenja atmosfere azotnim oksidima su fosilna goriva, odnosno njihovo sagorevanje u industriji, proizvodnji električne energije, motorima sa unutrašnjim sagorevanjem i dr.

Emisija čestica u industrijskim zonama zavisi od vrste industrije (čestice cementa, koks, oksidi metala i drugo). U atmosferi se teški metali nalaze u obliku čestica i gasova, vrijeme zadržavanja aerosola u vazduhu zavisi od veličine čestica. Kratko vrijeme zadržavanja je karakteristično za veličinu čestica industrijskog porijekla. U otpadnim emisijama metala u atmosferi, najviše je zastupljeno olovo. Zavisno od grane kojom se bavi, industrija može biti izvor: olova, kadmijuma, žive, bakra, arsena, cinka, nikla, aluminijuma i drugih metala.

Industrija kontaminira zemljište neposredno toksičnim, zagađujućim materijama i posredno taloženjem polutanata (mokro i suvo taloženje) iz vazduha. Emisije aerorozagađenja, prije ili kasnije, u izmjenjenom ili u neizmjenjenom obliku, padnu na zemljište.

Industrijska postrojenja, prije svega termoelektrane i hemijska industrija, proizvode ogromne količine otpadnih materija, od kojih su

mnoge toksične za živa bića. Među ovim materijama nalaze se velike količine čađi i pepela. Posredstvom vazduha, te materije dospevaju u okolno zemljište i u vode. Snažni izvori prašine i pepela su termoelektrane i proizvodnja cementa, kojima se zagađuju obradive površine u njihovoj blizini. Emisije gasova i aerosola iz topionica metala, hemijske industrije, termoelektrana, toplana, zagađuju zemljište u blizini emitera. Mali broj naših fabrika i postrojenja na adekvatan način sanira sve otpatke, iako mogu poslužiti kao korisne sekundarne sirovine (5).

Posebnu opasnost po živi svijet predstavljaju otpadne materije iz hemijske industrije. Lancima ishrane, odnosno mrežom lanaca ishrane, one dospijevaju u okolne ekosisteme i zemljište, i izazivaju razne kumulativne i toksične efekte (2).

6.2. Zagađenje zemljišta posredstvom otpadne vode

Uporedo sa urbanizacijom i razvojem industrije, poljoprivrede i stočarstva, rasli su količina i stepen zagađenosti otpadnih voda, a time i štete koje nastaju u ekosistemu, odnosno zemljištu, akumulacijama vode i vodotocima uslijed ispuštanja otpadnih voda. Najveći dio upotrebljene vode vraća se u prirodu kao otpadna voda.

Hemijsko zagađenje je posledica uvođenja u proizvodnju hemikalija, proizvodnje električne energije, otpadne tehnološke emisije. Zagađujuće materije kontaminiraju, ne samo zemljište, već prodiru dublje u slojeve i zagađuju podzemne vode. Iz zemljišta ih biljke apsorbuju i tako ulaze u lance ishrane raznih konzumenata, sve do čoveka.

Pad vrijednosti pH (pod uticajem kiselih kiša) inicira u zemljištu druge promjene sa negativnim posledicama. Jedna od evidentnih posledica kiselih kiša je snižavanje vrijednosti pH zemljišta. Mjerenje vrijednosti pH uzoraka atmosferskih padavina, pokazuju da su kiše višestruko kiselije iznad industrijskih regija nego u ruralnim sredinama.

Teški metali se pretežno zadržavaju u površinskom, organskom sloju, koji je od izuzetnog značaja za produktivnost ekosistema. Stepenn toksičnosti teških metala u zemljištu zavisi od više faktora: kiselosti, količine i svojstava organskih materija, u pogledu kapaciteta kompleksovanja metala sa glinom i drugim neorganskim materijalima, sa kojima mogu stupiti u interakcije. U uslovima zagađenja zemljišta teškim metalima, mijenjaju se bitni parametri za rast, gustinu populacije, efikasnost metabolizma, što rezultuje zastojeima bioloških transformacija. Snažni izvori prašine i pepela su termoelektrane i proizvodnja cementa, kojima se

zagađuju obradive površine u njihovoj blizini. Emisije gasova i aerosola iz topionica metala, hemijske industrije, termoelektrana, toplana, zagađuju zemljište u blizini emitera. Mali broj naših fabrika i postrojenja na adekvatan način sanira sve otpatke, iako mogu poslužiti kao korisne sekundarne sirovine.

6.3. Zagađenje zemljišta čvrstim otpadom

Danas postoji više načina koji se u praksi primjenjuju za odlaganje otpadaka. Za neke od njih može se slobodno reći da se koriste isključivo radi uklanjanja otpadaka iz naše blizine. Svi ovi načini, koji se manje ili više koriste, mogu se svrstati u nekoliko grupa: odlaganje na deponije, bacanje u mora i okeane i odlaganje u starim rudnicima. Odloženi otpad sa svoje strane predstavlja nov izvor zagađenja.



Slika 5. Neuređena deponija komunalnog otpada u Karakaju kod Zvornika

Od niza načina na koje se sve može baciti ili odložiti otpad, deponije čine najzastupljeniji način odlaganja otpadaka. Prema načinu nastanka, dijele se na:

- deponije nastale izbacivanjem otpadaka na proizvoljno izabrane površine, koje se često nazivaju smetlišta ili divlje deponije;
- deponije nastale izbacivanjem otpadaka na površine tla određene od strane neke zvanične institucije, ali bez analize

terena radi utvrđivanja njegove pogodnosti i bez potpunih mjera za njihovo održavanje i kontrolu;

- uređene deponije, tj. one izgrađene i uređene po svim propisima.

Prema porijeklu i sastavu, sav čvrsti otpad može se podjeliti na slijedeće kategorije:

- razgradivi otpaci organskog porijekla, pretežno iz poljoprivredne proizvodnje;
- sagorivi organski otpaci koji nisu podložni brzom raspadanju (papir, koža, guma, drvo, tekstil);
- neorganski nesagorivi otpaci (staklo, metal, keramika);
- ostaci spaljivanja raznih vrsta sagorivih materija (šljaka, pepeo);
- kabasti predmeti (stari automobili, ambalaža, odbačeni građevinski materijali);
- ostaci procesa prečišćavanja voda i gasova (talog, mulj, čvrsti otpaci);
- čvrsti otpaci iz hemijske industrije (razna hemijska sredstva, boje, deterdženti);
- otpaci nastali prerađivanjem rude (jalovina, šljaka, ugljena prašina).

Poseban značaj u zagađivanju zemljišta i životne sredine imaju razne vrste industrijskog otpada, kao i radioaktivni otpaci, čije se količine neprekidno povećavaju.

6.4. Zagađenje zemljišta poljoprivrednom proizvodnjom

Danas proizvodnja hrane dovodi do značajnih izmjena u biosferi Zemlje i značajno utiče na povećanje zagađenja i izmjenu njenih fizičko-hemijskih karakteristika. Osnovni načini zagađenja su:

- primjena mineralnih đubriva;
- primjena pesticida;
- iscrpljivanje prirodnih hranjivih komponenti i đubriva u zemljištu;
- nakupljanje soli i minerala zbog navodnjavanja;
- odlaganje stajskog đubriva;
- odlaganje otpadaka iz poljoprivrede;
- odlaganje otpadaka iz proizvodnje hrane.

Primjena mineralnih đubriva u poljoprivredi, pored povoljnog djelovanja na povećanje prinosa, ima i značajne negativne posledice. Osnovne komponente đubriva su fosfati i nitrati, kao anjoni, odnosno

kalijum i amonijum joni kao katjoni i karbamid, koji je u momentu primjene u molekularnom obliku. Pored korišćenja mineralnog đubriva, koje postaje pod određenim uslovima zagađujući agens, kako samog zemljišta tako i voda, površinskih i podzemnih, dodatak i pojačanje nepovoljnog djelovanja ogleda se u paralelnom smanjivanju korišćenja stajskog đubriva.

Zagađivanje pesticidima je rezultat težnje za povećanjem proizvodnje hrane, odnosno suzbijanjem svih mogućih štetnih djelovanja različitih organizama koji umanjuju prinose. Broj korištenih hemijskih sredstava je dosta veliki, od čega njih oko 50 dolaze u red onih najviše korištenih. Izvori zagađenja su sve poljoprivredne površine na kojima se pesticidi primjenjuju, kao i nepoljoprivredne površine na kojima se primjenjuju zbog drugih potreba (zapašivanje radi suzbijanja komaraca i drugi sanitarno-higijenski postupci radi suzbijanja oboljenja). Način nanošenja pesticida, tj. zapašivanje, vrši se mehanički raspršivanjem u vazduh odgovarajućeg pesticida, prethodno obično rastvorenog u pogodnom rastvaraču, odakle on pada na površine biljaka. Za ovo se koriste ručne prskalice, autoprsalice ili avioni, zavisno od niza drugih uslova. U specifičnim slučajevima, koriste se i druge tehnike. Ovakav postupak raspršivanja doprinosi širenju rasprostiranja pesticida i na susjedne površine, na koje strujanje vazduha može da ih odnese. Iz njega se čestice pesticida, zavisno od veličine, talože na većim ili manjim rastojanjima, kao i ostale čestice prisutne u vazduhu. Iz vazduha, bilo neposredno u toku raspršivanja, bilo kasnijim procesima taloženja, pesticidi dospjevaju na površinu tla, odnosno površinu voda. Sa ovih površina, zbog procesa miješanja u vodama, odnosno pod dejstvom vode ili padavina, kada je u pitanju zemljište, postupno prodiru u dublje slojeve voda i zemljišta.

Otpaci i ostaci pri sađenju, uzgajanju, žetvi i ubiranju plodova povrća, voća, grožđa i dr., proizvodnji mlijeka, tovu životinja za potrebe klanične industrije i uzgajanju stoke, obuhvaćeni su opštim nazivom otpaci iz poljoprivredne proizvodnje. Značajan broj ovih otpadaka nije obuhvaćen sistemom odlaganja otpadaka, pa se o ukupnoj njihovoj količini mogu vršiti samo procjene. Takođe, značajne količine otpada stvaraju i uzgajališta stoke sa više hiljada grla, čime se stvaraju velike količine stajskog otpada, koji dovodi do značajnog zagađenja zemljišta, vode i vazduha na mjestima njegovog odlaganja. Zbog ekonomske neisplativosti korištenja stajskog đubriva umjesto mineralnog, ovaj otpad danas čini izvor zagađenja, tj. trenutna ekonomska dobit je od koristi načinila štetu.

Suštinski izvor zagađenja životne sredine otpacima iz poljoprivredne proizvodnje je koncentrisanje čvrstih otpadaka na relativno malim površinama, zbog intenzivne proizvodnje, naročito pri uzgoju stoke u

prehrambenoj industriji. S obzirom da ove otpatke čine u najvećoj mjeri biorazgradive materije, zbog njihovih ogromnih količina, procesi razgradnje dugo traju, s jedne strane, a s druge strane i nastali produkti razgradnje su takođe visokih koncentracija, pa i oni djeluju kao zagađujuće materije.

Pored čvrstih otpadaka, poljoprivredna proizvodnja, a naročito prehrambena industrija, daje značajne količine otpadnih voda. Obje potiču od različitih vrsta pranja (prostorija, sudova, sirovih poljoprivrednih proizvoda i dr.) i procesa (kuvanje, dehidracija, cijedenje i dr.), kao i niza drugih pratećih djelatnosti. Kao i čvrsti otpaci, ove vode su karakteristične po prisustvu biorazgradivih materija. Zagađenost ovih voda karakteriše biološka potrošnja kiseonika (2).

6.5. Zaštita zemljišta

Kako je navedeno ranije, zemljište je prirodno uslovno obnovljivi resurs u kojem je moguća vrlo brza degradacija. Međutim, njegovo nastajanje i regeneracija je vrlo spora, što korisnika zemljišta obavezuje na dobro upravljanje bez obzira koja je namjena zemljišta. Ovo upravljanje mora biti usklađeno sa konceptom da zemljište ima mnogostruku ulogu, a koji je sadržan u pravnim dokumentima EU, gdje se zemljištu i njegovoj zaštiti daje poseban značaj.

Iako različite politike EU, kao što su npr. politike vezane za vodu, hemikalije, sprečavanje industrijskog zagađenja, pesticide, poljoprivredu, pridonose zaštiti zemljišta, one ipak imaju druge ciljeve i područje djelovanja, te nisu bile dovoljne za zaštitu zemljišta u Evropi. Zbog ovog i mnogo drugih razloga, Evropska komisija je 2006. godine usvojila Tematsku strategiju zaštite tla i prijedlog za Okvirnu direktivu o zaštiti tla s ciljem zaštite tla u cijeloj EU. Donošenjem 6. Akcionog plana za okolinu (engl. Decision No 1390/2002/EC), Evropska unija je izjednačila značaj zaštite zemljišta sa zaštitom vode i vazduha. Cilj strategije za zaštitu zemljišta je zaštita i održivo upravljanje zemljištem, bazirano na principima očuvanja uloge zemljišta, prevencije degradacije, ublažavanja posledica degradacije i popravljavanja degradiranih zemljišta. Identifikovano je osam najznačajnijih prijetnji prema zemljištu: erozija, smanjenje organske materije, zagađenje, zaslaničavanje, zbijanje, gubitak biološke raznovrsnosti, pre-namjena, plavljenje i klizišta. Sve ove prijetnje će detaljnije biti objašnjene u slijedećim poglavljima.

Prvi korak u zaštiti zemljišta i očuvanju njegovih prirodnih uloga i sprečavanju degradacionih procesa je praćenje stanja i uočavanje promjena

karakteristika zemljišta u vidu uspostavljanja sistema monitoringa, odnosno trajnog monitoringa zemljišta. Ovo podrazumjeva kontinuirano praćenje određenih parametara zemljišta u svrhu prikupljanja informacija o promjenama stanja i karakteristika zemljišta, te identifikacija oblika i stepena degradacije. Sve ovo čini temelj za razvoj i sprovođenje politike i strategije održivog upravljanja i zaštite zemljišta.

7. EROZIJA

Erozioni procesi se odnose na površinsku migraciju zemljišnog materijala i/ili matičnog supstrata pod uticajem površinskih voda ili vjetra. Na brdovitim reljefnim formama, ubrzani erozioni procesi (ekscesivna erozija) mogu izazvati znatno ispiranje tla, ali i matičnog supstrata. Ovaj materijal se taloži u podnožju padine, a proces se naziva koluvijalni. Proces erozije zavisi od nagiba tla, količine i intenziteta padavina, brzine i učestalosti vjetra i o karakteristikama tla (propusnost tla, struktura tla i dr.). Erozioni procesi zbivaju se u tri stepena. Najprije dolazi do odvajanja zemljišnih čestica od mase tla, zatim se one putem vode ili vjetra transportuju na veću ili manju udaljenost, a onda se talože.

Erozija vodom može se podijeliti na eroziju kišom (površinska, brazdasta, jaružna, bujična, dubinska u kršu i klizišta), te na riječnu (dna, obala) i morsku ili jezersku - abrazija. Površinska erozija ne mijenja pejzaž, jer zahvata ravnomjerno gornji dio obradive površine. Na ovaj način se odnose manje količine tla, dok se brazdasta erozija odnosi na manje brazde u kojima su koncentrisane vode površinskog oticanja.

Racz (1993) ističe kako erozija, osim što smanjuje produktivnost tla, nepovoljno utiče i na kvalitet voda. Odnosnje oraničnog sloja tla u vodotokove može izazvati njihovu eutrofikaciju (6).

U daljem tekstu ćemo objasniti glavne oblike erozije i to:

1. eolsku eroziju – nastaje dejstvom vjetra;
2. bujičnu eroziju – nastaje mehaničkim radom atmosferskih voda;
3. fluvijalnu ili riječnu eroziju – nastaje geološkim dejstvom riječnih tokova;
4. krašku eroziju – nastaje djelovanjem atmosferskih, površinskih i podzemnih voda;
5. abraziju – nastaje rušenjem obale kao posledica morskih i jezerskih talasa;
6. glacijalnu ili ledničku eroziju – nastaje radom lednika.

Erozija tla vodom i vjetrom

Erozioni procesi se odnose na površinsku migraciju zemljišnog materijala i/ili matičnog supstrata pod uticajem površinskih voda ili vjetra. Na brdovitim reljefnim formama, ubrzani erozioni procesi (ekscesivna erozija) mogu izazvati znatno ispiranje tla, ali i matičnog supstrata. Ovaj materijal se taloži u podnožju padine, a proces se naziva koluvijalni. Proces

erozije zavisi od nagiba tla, količine i intenziteta padavina, brzine i učestalosti vjetra i od karakteristika tla (propusnost tla, struktura tla i dr.). Erozioni procesi zbivaju se u tri stepena, najprije dolazi do odvajanja zemljišnih čestica od mase tla, zatim se one putem vode ili vjetra transportuju na veću ili manju udaljenost, a onda se talože.

Erozija vodom može se podijeliti na eroziju kišom (površinska, brazdasta, jaružna, bujična, dubinska u kršu i klizišta), te na riječnu (dna, obala) i morsku ili jezersku - abrazija. Površinska erozija ne mijenja pejzaž, jer zahvaća ravnomjerno gornji dio obradive površine. Na ovaj način se odnose manje količine tla, dok se brazdasta erozija odnosi na manje brazde u kojima su koncentrisane vode površinskog otjecanja.

Najintenzivniji oblik erozije predstavlja bujična i jaružna, čija je posljedica nastanak dubokih jaruga. Dubinska erozija u kršu se pojavljuje kao posljedica poniranja vode u podzemlju, zbog čega dolazi do propadanja tla. Klizišta su pomicanja tla na nagnutim terenima, a najčešći je uzrok povećana količina padavina i nepropusna podloga (npr. lapor). Raskvašeno tlo, odnosno njegova žitka masa, može nakon otapanja leda kliziti niz padinu, što se naziva soliflukcija. Na ovakav način dolazi do prekrivanja nižih dijelova terena novim materijalima, pri čemu se stvaraju uslovi za višeslojnu građu tla.

Najčešći oblici erozije vodom, kako navode Kisić i saradnici (2005), u Evropi su brazdasta, međubrazdasta i jaružna. Brazdasta i međubrazdasta erozija pojavljuju se na poljoprivrednim, a jaružna na poljoprivrednim i šumskim površinama. Lakša pjeskovita tla izloženija su eroziji vjetrom. Racz (1993) ističe kako erozija, osim što smanjuje produktivnost tla, nepovoljno utiče i na kvalitet voda. Odnosenje oraničnog sloja tla u vodotokove može izazvati njihovu eutrofikaciju.

Eolska erozija

Eolska erozija ili deflacija nastaje djelovanjem vjetra. Ovaj tip erozije je zastupljen u regionima sa čestim jakim vjetrovima, gdje su zemljišta rastresita i nisu zaštićena gustim biljnim pokrivačem. Intenzitet eolske erozije zavisi od pedoloških osobina zemljišta, gustine biljnog pokrivača, jačine i učestalosti vjetra. Od pedoloških osobina zemljišta treba istaći mehanički sastav, strukturu i stepen vlažnosti, jer vjetar uglavnom nosi sitne nestrukturne, praškasto-sitnozrne pjeskovite čestice zemljišta, koje su u suvom agregatnom stanju. Odnosenje čestica je intenzivnije, ako je rjeđi biljni pokrivač, veća izloženost vjetru, kao i veća jačina i učestalost vjetra. Na ovaj način sitnije čestice zemljišta mogu biti prenešene na veliku

udaljenost. Sa prenošenjem čestica dolazi do sortiranja i akumulacije čestica i stvaranja pješčanih dina i barhana. Pješčane dine su kupasti oblici nanosa pijeska i mogu dostići visinu 10 do 20 metara, a u Libijskoj pustinji dostižu visinu i do 200 m. Na prosturu Bosne i Hercegovine nisu zabilježene ove pojave.

Vjetrom se može raznositi i eolska prašina – les. Naslagama lesa se stvaraju lesne zaravni čiji reljef karakteriše blago zatalasana površina, kao rezultat dejstva vjetra i atmosferskih padavina. Padavine koje poniru u porozni les rasvaraju prisutni CaCO_3 , prenose ga u dublje slojeve zemljišta, a na površini se stvaraju plitke tanjiraste depresije – lesne vrtače.

Glavni pokazatelji, koji određuju erozijske procese vjetrom, su erozivnost klime i erodibilnost tla. Tla s povećanim sadržajem organske tvari podložnija su zbog manje zapreminske gustine eolskoj eroziji, u odnosu na mineralna tla (6). Eolska erozija zavisi od pedoloških karakteristika, klimatskih prilika i od ljudske aktivnosti, a najčešće se javlja u aridnim i semiaridnim područjima. Zemljišni se materijal raznosi vazдушnim strujama u okolinu.

Erozivnost klime zavisi od brzine vjetra, temperature, sadržaja vlage u tlu, količine i rasporeda padavina, evaporacije i vegetacije. Različita zastupljenost ovih klimatskih elemenata određuje intenzitet, učestalost i trajanje eolske erozije. Da bi se čestice tla pokrenule, potrebna je odgovarajuća brzina vjetra ili trenja. Erodibilnost tla se može definisati kao njegova sposobnost da se suprostavi sili vjetra, a zavisi od pedoloških karakteristika, kao što su: tekstura tla, sadržaj organske tvari, trenutna vlažnost tla i struktura. Visoko erodibilna su pjeskovita tla s niskim sadržajem vlage i malim stepenom stabilnosti čestica, a najotpornija na eroziju vjetrom su glinena zemljišta (6).

Bujična erozija

Najintenzivniji oblik erozije predstavlja bujična, čija je posledica nastanak dubokih jaruga. Intenzitet erozije zemljišta zavisi od slijedećih faktora:

1. vrste i gustine biljnog pokrivača;
2. reljefski uslovi;
3. klime;
4. osobine zemljišta.

Erozija je jača u onim područjima gdje je biljni pokrivač rjeđi. Intenzitet se povećava idući od zemljišta sa gustim šumskim i travnim pokrivačem, preko poljoprivrednih zemljišta sa ozimim kulturama, do slabo

obrađenih zemljišta. Erozijska je također intenzivnija ako su uslovi reljefa (ugao pada, dužina i forma nagiba) veći. Ako posmatramo problem klime, on se prije svega odnosi na količinu i intenzitet kiše, odnosno količinu i brzinu oticanja vode po površini zemljišta. Najjače eroziono dejstvo imaju vode jakih kiša, kada za kratko vrijeme na površinu zemljišta dopiju velike količine padavina. I na kraju, vezanost, mehanički sastav, struktura, poroznost i vodne osobine zemljišta, tj. brzina upijanja i procjeđivanja vode i kišni vodni kapacitet, direktno utiču na jačinu erozije.

Razlikuju se normalna (prirodna, lagana) i ubrzana (ekscresna) bujična erozija.

Normalna bujična erozija je prisutna na zemljištu koje se stalno nalazi pod gustim biljnim pokrivačem, a erozijom se odnosi manje zemljišta nego što se obrazuje. Normalna bujična erozija može preći u ubranu pri nepravilnim aktivnostima čovjeka prema zemljištu.

Ubrzana bujična erozija odnosi više zemljišta nego što se obrazuje. Kao posljedica ove erozije, nastaju vododerine i jaruge. Vododerine predstavljaju teren izbrazdan većim brojem plitkih kanala (do 1 m dubine), dok jaruge predstavljaju udubljenja od 2 do 20 m dubine sa strmim obalama. Nastajanje jaruga odvija se brzo i nanosi velike štete poljoprivredi, odnoseći plodno zemljište (7).

Zaštita od bujične erozije vrši se primjenom tehničkih (izgradnja pregrada u jarugama) i bioloških (pošumljavanje) mjera.

Riječna (fluvijalna) erozija

Riječna ili fluvijalna erozija predstavlja mehanički rad rijeke snagom vode i nošenjem materijala (suspendovanih čestica i rastvorenih organskih materija), u cilju produbljivanja riječnog korita i proširenja riječnih dolina. Riječnom erozijom kod većih rijeka tokom visokog vodostaja, dolazi do pomjeranja riječnog korita, pri čemu se odnosi postojeći zemljišni pokrivač. Intenzitet erozije zavisi od:

1. geološkog sastava i strukture terena;
2. nagiba riječnog korita;
3. količine vode;
4. količine i vrste nošenog materijala;
5. brzine riječnog toka.

Fluvijalna erozija je naročito pojačana, ukoliko se nosi ili vuče veća količina nošenog i vučenog materijala, kao što je kamenje, pijesak, mulj, glina i dr. Fluvijalnom erozijom rijeke, stvaraju se karakteristični

geomorfološki oblici (riječna korita, riječne doline i riječne terase) i akumulativni oblici (riječna ostrva – ade, delte i aluvijalne ravni).

Monitoring riječnog sedimenta podrazumijeva analizu transporta i mjerenje lebdećeg i vučenog nanosa odn. sedimenta u rijekama što zahtjeva uzorkovanje specijalnim uzorkivačima i odgovarajuće proračune (slika 6 i slika 7).



Slika 6. Uzorkivač za mjerenje vučenog nanosa u rijekama



Slika 7. Uzorkivač za mjerenje lebdećeg nanosa u rijekama

Karstna erozija

Karstna erozija se pojavljuje u terenima izgrađenim od karbonatnih stijena (krečnjaci, dolomitični i laporoviti krečnjaci i dolomiti) i stijena sa karbonatnim vezivom, gdje dejstvom vode dolazi do rastvaranja stijena i stvaranja kaverni proširenjem mnogobrojnih prslina i pukotina, koje presjecaju krečnjačke slojeve. Atmosferski talozi poniru kroz prsline i pukotine, rastvaraju CaCO_3 i povećavaju poroznost stijene (slika 8).

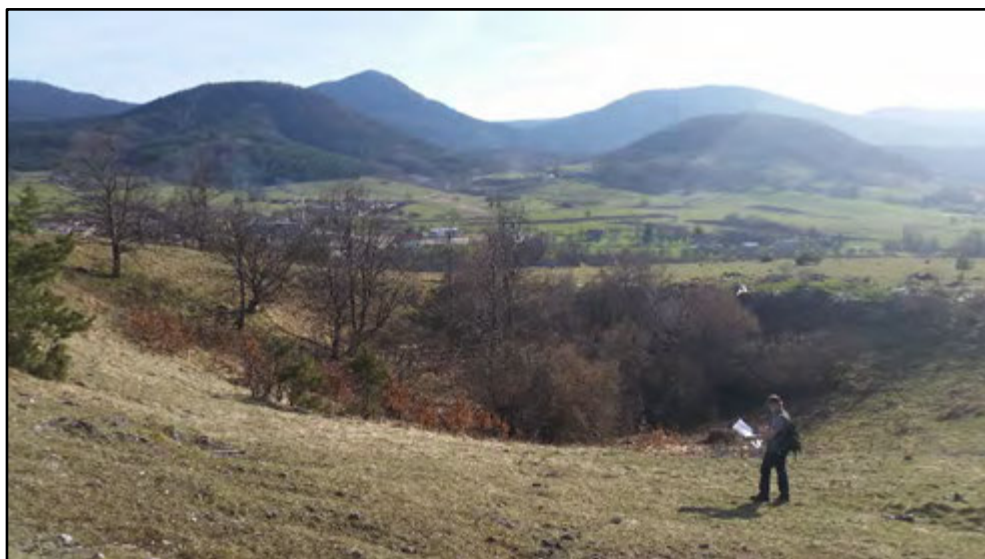


Slika 8. Kaverne u krečnjacima nastale rastvaranjem pukotina i prslina

Karstna erozija nastaje razaračkim radom atmosferskih, površinskih i podzemnih voda, čime nastaju karakteristične geomorfološke pojave. Najvažnije pojave koje karakterišu karstnu eroziju su:

1. škrape – uske i plitke, paralelne brazde na površini karbonatnih stijena nastale korozivnim djelovanjem vode i nemaju veći značaj u oblikovanju karsta;
2. vrtače – su prema Cvijiću, “univerzalni i najkarakteristični oblik karsta”. To su lijevkasta (slika 9), tanjirasta, čak i bunarasta udubljenja u terenu, čije dno je obloženo crvenicom ili glinom i crvenicom koja zaostaje pri rastvaranju krečnjaka;

3. karstna polja – duboke depresije u kršu. Često predstavljaju terenske rovove ili oblike nastale erozionim dejstvom rijeka ponornica. Podzemni karstni oblici su: jame i pećine nastale hemijskim i mehaničkim radom površinskih i podzemnih voda;
4. holokarst – ljuti ili potpuni karst; stvara se na čistim krečnjacima i velike je debljine, gdje su površinski i podzemni oblici potpuno razvijeni. Holokarst podsjeća na kamenitu i bezvodnu pustinju u kojoj su karstna polja jedine zelene površine;
5. merokarst – zeleni ili nepotpuni karst razvijen na terenima od karbonatnih stijena manje debljine sa većim ili manjim sadržajem nerastvornih materija. U karstu nema kraških polja, a pećine su rijetke i manjih dimenzija.



Slika 9. Vrtača u okolini Drinića kod Bosanskog Petrovca

Abrazija

Ovaj tip erozije nastaje rušenjem obale kao posledica geološkog rada mora i jezera. Geološki rad mora djeluje u dva pravca:

- rušenje obale (abrazija) i odnošenje otrgnutog materijala;
- taloženje (marinska sedimentacija).

Abrazija je usko vezana sa kretanjem morske vode, naročito dejstvom talasa, a u manjoj mjeri djelovanjem plime i osjeke. Dejstvo talasa zavisi od veličine i pravca kretanja talasa, kao i od otpornosti i prostornog položaja stijena od kojih je izrađena obala. U mekšim stijenama, razaranje

će brže napredovati, stvarajući zalive i zatone. U zoni čvrstih stijena će se stvarati rtovi poluostrva.

Geološki rad jezera sličan je erozionom radu mora. Za jezera je karakteristično obrazovanje znatnih količina organskih sedimenata nastalih taloženjem u sredini siromašnoj kiseonikom. Često se uz obode većih ili manjih jezera stvaraju močvare, nastale taloženjem sedimenata od biljnih ostataka, treseta, mulja, glina i pijeska.

Lednička (glacijalna) erozija

Oko 10% zemljine površine je pokriveno ledom, odnosno lednička erozija je razvijena na visokim planinama i u polarnim krajevima. Na visokim planinama se stvaraju glečeri, dok na Antarktiku postoje lednički štitovi – lednička polja od kojih se odlamaju lednici, koji dopiru do okeana i mora, a čijim razlamanjem se stvaraju ledeni bregovi.

U planinskim oblastima iznad granice vječitog snijega, u udubljenim djelovima reljefa, cirkovima, stvara se firn i glečerski led. Laganim kretanjem leda, cirk se produbljuje i proširuje, lednici se kreću niz doline, a brzina zavisi od debljine firna, nagiba valova, blizine granice vječnog snijega. Lednik se kreće niz planinske strane, postepeno se topi i odlama velike količine firna od podloge i uklapa ih u lednik. Sav taj materijal koji lednik nosi na površinu, pri dnu ili unutar ledene mase naziva se morenski materijal (7).

Osnovni erozioni oblici nastali ledničkom erozijom i transportom su: lednički cirkovi i lednički valovi.

Erozija zemljišta je prirodni fenomen prisutan na cjelokupnoj površini zemljišta, na čiji intenzitet direktan uticaj imaju ljudske aktivnosti. Čovjekova djelatnost u prirodi (poljoprivredi, šumarstvu, urbanizmu, izvođenju hidrotehničkih objekata) izazvala je velike poremećaje u vegetacijskom pokrivaču, te strukturi i stabilnosti tla. Zato su čovjek i socijalno – ekonomski odnosi u njegovom društvu, uticali na pojavu ubrzane erozije više nego svi prethodno analizirani prirodni faktori.

U uslovima u kojima se odvija istorija ljudskog društva, čovjek nije mogao naslutiti uticaj erozionih procesa i ocijeniti potencijalnu opasnost od erozije za buduće generacije. U tom smislu, činio je i danas čini (svjesno ili nesvjesno) mnoge oblike destruktivnog rada u cilju vlastite egzistencije, izazivajući tako eroziju protiv samog sebe. Zato je potrebno što hitnije sanirati erozijom oštećena zemljišta kombinacijom tehničkih i biotehničkih radova. Antierozione mjere se primjenjuju samo na onim površinama koje su proglašene “erozionim područjem”, ali je prethodno neophodno

identifikovati ta područja analitičkom obradom brojnih podataka dobijenih sa određenih prostora (8).

Erozija zemljišta postala je svjetski problem, jer zahvata velika područja i nanosi nenadoknadive štete. Čovjek promjenom upotrebe površina značajno mijenja stepen erozije. Prvenstveno je to važno na poljoprivrednim područjima, na padinama gdje je iskrčena šuma, a neodgovarajućim oranjem erozija se može znatno ubrzati. Smanjuju se šume, a povećavaju poljoprivredne površine što dovodi, posredno, do velike opasnosti od erozije tla i klimatskih promjena.

Najbolji stabilizator zemljišta i najdjelotvorniji način za zaštitu zemljišta od erozije je šumska vegetacija. Da bi se smanjila šteta, potrebno je podignuti dugogodišnje zasade i višegodišnje kulture. Treba imati na umu da samo dobro održavane šume imaju veliku propustljivost (9).

8. POPLAVE

Prema definiciji koja je data u Direktivi o procijeni i upravljanju poplavnim rizicima (DPR), poplava je privremena pokrivenost vodom zemljišta koje obično nije prekriveno vodom (10). Poplave, kao izvor zagađenja, nastaju najčešće pod uticajem hidrometeoroloških uticaja. To uključuje poplave koje izazivaju rijeke, planinski potoci, bujični potoci, kao i poplave uzrokovane morem na priobalnim područjima. Poplave se prema nastanku mogu podijeliti na poplave nastale na:

- rijekama;
- potocima;
- bujičnim vodotocima;
- priobalju, izazvane morem i priobalnim vodama.

U riječnim dolinama brojni su uzroci poplava, ali poplave možemo podijeliti u tri grupe: poplave kao posljedica prirodnih pojava, poplave izazvane antropogenim uticajem i poplave koje su posljedica kombinacije prirodnih i antropogenih uticaja.

Kišne padavine i otapanje snijega najčešći su prirodni uzročnici poplava na velikim rijekama, bujičnim vodotocima i potocima. Jedan od prirodnih uzroka je i formiranje ledenih barijera u zimskom periodu koje mogu smanjiti ili potpuno zatvoriti proticajni profil korita.

Antropogeni uticaji se odnose na aktivnosti u samom koritu vodotoka, ali i u slivu, kao što su krčenje šuma, izgradnja objekata i saobraćajnica i druge aktivnosti kojima se povećava brzina oticaja i količina otekle vode sa sliva, ali se skraćuje vrijeme koncentracije vode u glavnom koritu, odnosno povećava se vrijeme oticaja sa slivnog područja. Izgradnjom objekata na obalama ili u koritima vodotoka, smanjuje se vrijeme tečenja kroz korito i smanjuje proticajni profil, što direktno utiče na povećanje visine vode u koritu i moguće poplave. Sječa šuma i ogoljavanje padina, takođe dovodi do klizanja kosina, pa i cijelih obronaka, koji završavaju u koritima vodotoka kao brane, čime se formira plavno jezero uzvodno od mjesta pregrađivanja korita. Nepravilno rukovanje vodoprivrednim objektima (ustave, brane) takođe može dovesti do izazivanja poplave (11).

Osim ovih uticaja, od značajnijih antropogenih uticaja možemo izdvojiti i deponovanje građevinskog otpada ili ostalih vrsta čvrstog otpada u koritu vodotoka, čime se smanjuje površina proticajnog profila samog korita. Od posebnog značaja je ispuštanje otpadne vode sa organskim zagađenjem, čime se izaziva bujanje vodene vegetacije, što opet izaziva

smanjenje protoka u koritu vodotoka i dovodi do izljevanja vode (poplave). Ovdje ne treba zaboraviti ni uticaj čovjeka na klimatske promjene koje dovode do povećanja učestalosti i intenziteta ekstremnih padavina.

U praksi možemo razlikovati dvije vrste poplava. Poplave izazvane rijekama u ravničarskim krajevima, gdje je glavna osobina plavne vode njena dubina, odnosno nivo plavne vode. Poplave planinskih vodotoka i potoka razlikuju se od poplava ravničarskih vodotoka dodatno po brzini toka vode u poplavljenom području. Ove poplave imaju značajno manju visinu poplavne vode, ali brzina poplavne vode izaziva najviše problema.

Za razliku od ove dvije vrste poplava, bujične vode (bujične poplave) osim dubine vode i brzine vode, imaju i dodatne osobine, a to je vrsta bujične mase i količina nošenog materijala. Bujične vode se ne sastoje samo od vode, nego i od vučenog, rastvorenog, nošenog i plivajućeg materijala, od blata, šljunka i drobine, pa do kamenih blokova, stabala i svega što je na svom putu srušila i ponijela sa sobom, te samim tim joj daje veliku rušilačku snagu, sve do zone odlaganja gdje bujična voda počinje da gubi snagu i brzinu, pa se nošeni materijal deponuje. Plivajući materijal se uglavnom zaustavlja na mjestima gdje postoje prepreke (mostovi, konstrukcije dalekovoda, suženja ulica, šume), što izaziva pojavu značajnog uspora uzvodno od mjesta zakrčenja, pa se time povećava i nivo poplavnih voda (11).

Poplave izazvane morem i priobalnim vodama mogu nastati dejstvom plimnih talasa zbog uticaja gravitacionih sila privlačenja Mjeseca, ciklonskih aktivnosti i jakih vjetrova iz smjera mora prema kopnu.

Ublažavanje uticaja od poplava treba da uključi procjenjivanje ranjivosti svakog dijela zemlje i identifikaciju koraka kako bi se smanjio rizik od poplava. Za ovaj segment je veoma bitna klimatološka služba sa svojim analizama i procjenama. Hidrološke i meteorološke službe treba da prepoznaju, prognoziraju i najave ekstremne vremenske prilike koje mogu da izazovu nepoželjne situacije.

Poslednjih deset godina svjedoci smo sve učestalijih ekstremnih događaja, među kojima se mogu izdvojiti velike poplave 2004, 2010. i 2015. godine koje su nanijele velike štete zemljištu na prostoru Bosne i Hercegovine. Praćenjem klimatskih promjena i varijabilnosti klime, došlo se do saznanja da se u poslednjoj deceniji dešavaju značajne promjene, koje se najviše odražavaju na temperaturu i padavine, te su se u ovom prethodnom periodu i desile velike poplave i prevazišli apsolutni maksimumi pojedinih meteoroloških elemenata koji se prate dugi niz godina.

Poplave možda nisu najčešće prirodne nepogode iz domena hidrometeoroloških zagađivača, ali u najvišoj mjeri ugrožavaju socijalne

zajednice i ostavljaju najveće posledice na širem prostoru. One imaju negativan dugoročan efekat na zemljište, čime direktno ugrožavaju poljoprivrednu aktivnost, a time i ekonomiju neke zemlje. Glavni uzroci poplava su, prije svega, dugi i intenzivni periodi padavina, a u proljeće mogu biti izazvane naglim topljenjem snijega, dok posredno mogu biti posledica potresa, pucanja brana na akumulacijama i sličnim situacijama.

Promjena režima svakako doprinosi stvaranju uslova za pojavu poplava, jer povećane količine padavina koje dolaze u serijama od tri i više dana u jesenjem periodu, bujični potoci ne mogu primiti, čime izazivaju poplave. Poplave na širem prostoru Bosne i Hercegovine uslovljene su neravnomjernošću i neravnotežom brojnih prirodnih faktora (vodni režim, klimatski, geološki i topografski faktori). Prostor Bosne i Hercegovine karakteriše razvijen reljef sa velikim padovima, što uz neravnomjeran raspored padavina dovodi do neravnomjernog oticaja, a što direktno utiče na uslove za retardaciju, pa i relativno male padavine daju visoke oticaje. Posebno su karakteristični slivovi brdskih vodotoka sa nižih planina koje ograničavaju dolinu rijeke Save, kao i gornji (viši) dijelovi slivova direktnih pritoka Save (12).

9. KLIZIŠTA

Klizanje je kretanje stijenske mase ili tla niz padinu. Klizanje je, ili prirodni proces oblikovanja reljefa, ili se javlja kao posljedica ljudskih aktivnosti koje narušavaju stabilnost padina u brežuljkasto-brdovitim predjelima. Svako klizište je pokrenuto jednim pojedinačnim događajem ili procesom (tzv. triggerom), te potpuno razumjevanje klizišta podrazumjeva poznavanje građe padine i procesa triggera.

Prema mehanizmu kretanja, razlikuje se pet tipova klizanja: odronjavanje, prevrtanje, klizanje (u užem smislu riječi), širenje (razmicanje) i tečenje. Odronjavanje je odvajanje mase sa strmih padina po površini, na kojoj ima malo ili uopšte nema smicanja, već dolazi do slobodnog pada, prevrtanja ili kotrljanja materijala. Prevrtanje može prethoditi ili slijediti posle odronjavanja ili klizanja, a predstavlja rotaciju (prema naprijed) odvojene mase oko ose koja se nalazi u njezinoj bazi ili u blizini baze. Klizanje predstavlja kretanje manje ili više koherentne mase po jednoj ili više dobro definisanih kliznih površina. Tečenje često počinje kao klizanje, odronjavanje ili prevrtanje na strmim padinama, pri čemu dolazi do brzog gubitka kohezije pokrenutog materijala. Glavni način kretanja je bočno razmicanje blokova uslijed kojeg nastaju smičuće ili tenzijske pukotine. Malo klizište u stijeni je najčešće odron ili prevrtanje. Klizište u glini je većinom pojedinačno ili višestruko rotacijsko (13).

Skoro sva klizišta nastaju kao posljedica narušavanja vjekovne prirodne ravnoteže na nagnutim površinama terena. Mnoga klizišta izazvana su ljudskom djelatnošću, izvođenjem zemljanih radova kojima se mijenja oblik (najčešće zasjecanje) i/ili opterećenje površine terena (najčešće odlaganjem materijala iz iskopa, zasjecanja i sl), ali i drugim aktivnostima koje, naizgled, nemaju direktnog uticaja na ravnotežu masa. Klizište može zatrpati ili suziti riječna korita, izazvati poplave, ugroziti stanovništvo, imovinu i privredne djelatnosti, degradirati ili uništiti poljoprivredno zemljište i šume na padinama i sl.

Mnogi faktori utiču na pojavu klizišta, a među njima su najčešći: povećanje nagiba terena (potkopavanje nožice kosine erozijskim djelovanjem rijeke ili bujice, kopanje dužih usijeka ili zasjeka na donjem djelu kosine), promjena nivoa podzemne vode, promjena vegetacije na površini terena, porast nivoa vode uz nožicu kosine, veće klimatske promjene, loše dreniranje površinskih voda, smanjenje čvrstoće materijala u kosini i dodatno opterećenje padine (izrada raznih nasipa ili formiranje deponija ili jalovišta, stambenih objekata i sl.).

Nagib terena može biti uzrok nastanka klizišta. Strmija kosina ima manju stabilnost i podložnija je klizanju. Padine sa zalijeganjem slojeva različitih stijena i sedimenata niz kosinu su posebno podložne formiranju klizišta. Takođe, količina vode u stijeni ili zemljištu može uticati na stabilnost padine, jer dodatna težina (opterećenje) koje voda daje padini može izazvati klizanje. Ovi uslovi su vrlo česti kod glinovitih terena, kada glina zbog vode bubri, povećava svoju zapreminu, te glinovite stijene često predstavljaju sloj preko kojeg klizu stijene koje se nalaze iznad. Klizišta se češće javljaju u nevezanom ili slabo očvrslom materijalu, nego u čvrstim stijenskim masama. U područjima sa slabom vegetacijom, a pri velikim padavinama u kratkom vremenskom periodu, dolazi do naglog oticaja koji vrlo često završi tečenjem. Padine okrenute jugu su podložnije klizanju od onih okrenutih sjeveru, jer su duže vremena izložene djelovanju sunčevih zraka, pa je i isušivanje padine brže. Uklanjanje vegetacije, bilo prirodnim ili vještačkim putem, je glavni uzrok mnogih pokretanja masa i nastajanja klizišta. Tako krčenje šuma izaziva ogoljavanje padina na kojima zemljište ostaje izloženo eroziji vode i vjetra, a ovakve padine su podložnije klizanju. Za vrijeme velikih padavina, vegetacija smanjuje vodozasićenje podinskog materijala i veličinu sile smicanja, koja dovodi do pokretanja zemljišta.

Klizišta se prema dubini klizanja mogu podijeliti na:

- površinska, plića od 1 metra;
- plitka, 1-5 metara;
- duboka, 5-20 metara;
- vrlo duboka, preko 20 metara.

Zaštita zemljišta od klizišta

Republika Srpska i cijela Bosna i Hercegovina se odlikuju izrazitom raznovrsnošću litostratigrafskog sastava tla, visokim stepenom tektonske i seizmičke aktivnosti, različitim klimatskim karakteristikama, vodenim tokovima različitog nagiba i značajnim uticajem čovjekovog rada na terenu. Aktiviranje klizišta se dešava najčešće uslijed višeg nivoa podzemnih voda u proljetnim periodima, nekontrolisane siječe šuma, eksploatacije mineralnih sirovina, što je uticalo na promjenu vodnog režima i režima tla. Nerijetko, aktiviranje klizišta je prouzrokovano nezakonitom i neplanskom gradnjom (12).

Da bi spriječili ili ublažili klizanje zemljišta, potrebno je planirati ili izvesti preventivne mjere, od kojih su najvažnije:

- ublažavanje nagiba padine;
- rasterećenje gornjih dijelova padine;

- postavljanje slaganih zidova na manjim klizištima;
- izgradnja potpornih zidova;
- regulisanje površinskih voda na padinama da se spriječi njihov doticaj u kliznu masu;
- redovno održavanje i čišćenje drenažnih kanala;
- sprječavanje potkopavanja kosina i obalnog područja;
- pošumljavanje i obnavljanje vegetacionog pokrivača.

Ublažavanje nagiba padine izvodi se uklanjanjem stijenskih odn. zemljanih masa gornjeg dijela nasipa ili nasipanjem stijenskih masa u donjem dijelu kosine ili kombinovanjem ova dva postupka. Rasterećenje gornjih dijelova padine se postiže skidanjem određene količine stijenske mase, obično je to 10-15%, a nekada i 25% pokrenute mase. Slagani zidovi i potporni zidovi se obično postavljaju i grade nakon zasjecanja kosina i ove mjere mogu spriječiti pojavu plitkih klizišta. U potpornim zidovima je potrebno obavezno izvesti drenaže za odvod podzemne vode, a u samom zidu ostaviti otvore da voda može isticati (tzv. barbakane). Drenažni materijal treba da granulacijom odgovara filterskom pravilu, da ne izgubi funkciju zbog koje se ugrađuje. Formiranje bilnog pokrivača je takođe bitno, jer će se spriječiti gubitak mase nastao erozijom uslijed djelovanja vode i vjetra. Zasijanjem trave smanjuje se vlažnost glinovitog zemljišta čak i do dubine 2,5 m, a uticaj žbunja je primjetan preko 3 m. Korijenje drveća znatno dublje isušuje slojeve terena i učvršćuje tlo korijenim sistemom (najčešće između 6-12 m, kod bukve i do 25 m).

10. SALINIZACIJA I KONTAMINACIJA ZEMLJIŠTA

Intenzivna poljoprivredna djelatnost može dovesti do degradacije zemljišta, odnosno do prekomernog zagađivanja životne sredine, uključujući tu i zemljište. Opterećenje površinskih slojeva zemljišta velikim količinama rastvorljivih soli koje se ne mogu razgraditi procesima samoprečišćavanja, može dovesti do zaslanjivanja zemljišta, sa negativnim posledicama po ekosistem i zdravlje ljudi. Zaslanjivanje zemljišta predstavlja nakupljanje vodorastvorljivih soli u sloju aktivne rizosfere zemljišta. Voda sa površine zemljišta isparava, a rastvorene soli se zadržavaju blizu površine zemljišta ili na samoj površini, što u toku vegetacionog perioda sa visokim temperaturama i smanjenom tolerantnošću biljaka prema solima, nepovoljno utiče na njihov rast i prinose (14).

Usled nepravilnog navodnjavanja i upotrebe vode neodgovarajućeg kvaliteta, dolazi do nakupljanja rastvorljivih soli u površinskim slojevima zemljišta do te mjere da može prouzrokovati ozbiljne posledice po zemljište, a samim tim i do ozbiljnih problema u razvoju biljaka.

Prema klasifikaciji zemljišta Jugoslavije (15), slabo zaslanjena zemljišta sadrže od 0,25% do 0,50% soli.

Kao što smo već napomenuli, salinizacija je akumuliranje soli u zemljištu i na njenoj površini u količini koja štetno djeluje na razvoj organizama. Ukupan sadržaj soli zemljišta predstavlja salinitet zemljišta. Joni koji su odgovorni za salinizaciju su joni Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} i Cl^- . Ukoliko preovlađuju joni Na^+ u zemljištu, zemljište se naziva sodno zemljište. Slatka voda koja se koristi za navodnjavanje, sadrži 200-500 ppm rastvorenih soli, koje se isparavanjem ili transpiracijom (kretanjem u zemljištu) gube iz zemljišta ostavljajući za sobom akumuliranu so. Prilikom prolaska kišnice kroz zemljište, dolazi do zadržavanja jonskih vrsta na česticama zemljišta, odnosno do rastvaranja jonskih vrsta sa česticama zemljišta i prelaska u zemljišni rastvor (drenažnu vodu). Obična drenažna voda sadrži veoma malu koncentraciju jonskih vrsta, pa ne dolazi do značajnije akumulacije soli. Proces je karakterističan za suve predjele i predstavlja jedan vid dezertifikacije.

Upotreba vode nepovoljnog kvaliteta za navodnjavanje može zbog zaslanjivanja i degradiranja zemljišta da utiče, ne samo na kontaminaciju (nekada i teškim metalima) i zaslanjivanje zemljišta, nego i na biljke i proizvode za ljudsku i stočnu ishranu, čineći ih u krajnjem štetnim i opasnim po ljudsko zdravlje. Proces nakupljanja soli u rizosferi dovodi do koncentracija koje štetno djeluju na rast i razvoj vegetacije. Do toga dolazi u

područjima gdje na raspolaganju nema dovoljnih količina kvalitetne vode, a poljoprivredna proizvodnja je neostvariva bez navodnjavanja. Globalno, na prostoru Bosne i Hercegovine, problem zaslanjivanja tla je primarni problem u aridnim i semiaridnim područjima.

Kada je proces evaporacije i evapotranspiracije iz zemljišta dominantan proces tokom dužeg vremenskog perioda, dolazi do zaslanjivanja zemljišta. So u zemljištu smanjuje osmotski pritisak zemljišta, tako da biljke ne mogu da uzimaju vodu iz njega. Kada je zemljište slano, ono ima veću koncentraciju jona nego što je u korjenu, pa time i korjen ne može uzeti vodu iz zemljišta (15).

Uzrok zaslanjivanja zemljišta su podzemne vode bogate lakorastvorljivim solima, koje se u jednom dijelu godine podižu do površine zemljišta, a nakon pada nivoa podzemne vode dolazi do zaostajanja soli (eflorescencija). Kako navodi Fitzpatrick (2002), do ove pojave dolazi kod zemljišta čija je elektroprovodljivost u rasponu od 4 do 60 dS/m.

Do zaslanjivanja može doći, takođe, poplavnim i slivenim vodama, kao i pod dejstvom vjetra, obično u nižim krajevima i u mikrodepresijama, gdje je nivo podzemne vode unutar 1,5 metara dubine zemljišta. Kod dubina većih od 5 metara, izostaje uticaj zaslanjene podzemne vode na vegetaciju. Zaslanjivanje zemljišta u zoni korjenovog sistema nastupa putem kapilarnog uspona, kada je nivo podzemne vode koja ima povišenu mineralizaciju iznad kritične dubine tokom dužeg perioda (16), naročito u odsustvu obilnih padavina, kao posledica cunamija ili kada se zemljište navodnjava vodom nepovoljnog kvaliteta. Da bi se ovaj proces spriječio ili ublažio, neophodno je koristiti vodu za navodnjavanje odgovarajućeg kvaliteta i pored sistema za navodnjavanje izraditi i odgovarajući sistem za dreniranje zemljišta. Prema vodiču za procjenu kvaliteta vode za navodnjavanje po modifikovanoj FAO klasifikaciji (17), dobar kvalitet vode za navodnjavanje imaju vode kod kojih je vrednost EC_w u dS/m 0,7 i kod kojih je suvi ostatak 450 mg/l (18). U našoj dosadašnjoj praksi, u najširoj upotrebi bile su klasifikacije vode za navodnjavanje prema: Steblerovom irigacionom koeficijentu, Nejgebaueru i US Salinity Laboratory (19).

Prema Uredbi o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka (Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka "Službeni glasnik Republike Srpske br. 42/2001"), svi vodotoci Republike Srpske su svrstani u 1. ili 2. kategoriju i mogu se koristiti za navodnjavanje, osim rijeke Spreče, od međuentitetske granice do ušća u rijeku Bosnu i rijeke Bosne, od ušća rijeke Spreče do Modriče, gdje je svrstana u treću kategoriju vodotoka. Prema ovoj klasifikaciji, i vode treće klase se mogu koristiti u poljoprivredi. Međutim, kontrolom kvaliteta je utvrđeno da je u ovom dijelu toka rijeke Bosne

evidentiran povišen sadržaj suspendovanih materija, amonijačnog i nitritnog azota, olova, nikla i ukupnog fosfora, a i vrijednosti BPK₅ povremeno ne zadovoljava granične vrijednosti. Preovlađujući katjon u površinskim, ali i u podzemnim vodama Republike Srpske je kalcijum, a od katjona najzastupljeniji je jon bikarbonata. Sigurno je da bi za ocjenu pogodnosti korišćenje voda za navodnjavanje, bilo potrebno izvršiti kompleksnije analize i njihovu ocjenu.

Može se razlikovati primarni i sekundarni salinitet. Pod primarnim se podrazumjeva izdvajanje soli prirodnim putem (kapljice mora nošene vjetrom, prirodno rastvaranje lakorastvorljivih stijena pod uticajem kiše i površinskih voda), dok je sekundarni rezultat ljudske aktivnosti (navodnjavanje zemljišta nekvalitetnom vodom).

Kod slanih zemljišta koja imaju prisutnu podzemnu vodu, problem se rješava izgradnjom kanalske mreže i drenaža, gdje se lakorastvorljive soli ispiru većim količinama vode pri navodnjavanju i zemljište se zakiseljava. Upotreba malča dolazi u obzir kod izdanske salinizacije, odnosno kod podzemnih voda bogatih lakorastvorljivim solima. Takođe, kao jedan od vidova zaštite zemljišta, može se preporučiti i obrada zemljišta nakon završene žetve ili berbe, čime se prekida ascedentno kretanje podzemne vode u kapilarnim porama zemljišta (6).

11. RADIOAKTIVNO ZAGAĐIVANJE ZEMLJIŠTA

Radioaktivnost je osobina nekih hemijskih elemenata, odnosno materija, da emituju nevidljive čestice ili zrake velike energije. Izotopi elemenata koji emituju jonizujuća zračenja zovu se radioizotopi ili radionuklidi. Iako je radioaktivnost otkrivena još krajem prošlog vijeka, zračenje kao oblik kontaminacije počinje da zabrinjava širu svjetsku javnost tek posle užasa bombardovanja Japana 1945. godine. Široka primjena radioaktivnosti, korišćenje nuklearne energije, ali i sve češće incidentne situacije u skorije vrijeme, alarmantno ukazuju na ozbiljne ekološke posledice po životnu sredinu, a samim tim i značajan uticaj na zemljište.

Prema porijeklu i izvoru, zračenja mogu biti prirodna i vještačka. Najveći dio ukupnog zračenja koje prima čovjek potiče od prirodnih izvora i to: kosmička radijacija, zemaljska ili radijacija zemljine kore i zračenje iz radioaktivnih izvora koji se nalaze u tkivima živih bića. Zemaljska radijacija potiče od prirodnih radioaktivnih elemenata koji se nalaze u zemljištu, posebno u glinovitim podlogama i stijenama i različita je na različitim dijelovima Zemlje, a naročito je velika iznad naslaga uranove rude (20). Glavni radioaktivni materijali u stijenama su kalijum-40, rubidijum-87 i dvije porodice radioaktivnih elemenata koje nastaju raspadanjem uranijuma-238 i torijuma-232, a koji su se zadržali na Zemlji od njenog postanka. Danas se mnogo govori i piše o povećanju radioaktivnog radijuma, koji dolazi u zemljište đubrenjem vještačkim đubrivima, posebno fosforom. Prirodni fosforiti koje uvoze fabrike mineralnih đubriva sadrže radioaktivni radijum. Radioaktivne supstance se mogu akumulirati u vodi, zemljištu, sedimentima ili vazduhu, ali su koncentracije uglavnom veće u vodenim nego u suvozemnim ekosistemima, pošto je strujanje brže u vodi nego u zemljištu.

Vještačka radioaktivnost je uglavnom izazvana dejstvom čovjeka, a prije svega kao posledica eksperimentalnih eksplozija atomskih bombi, pri čemu radioaktivna prašina nastala eksplozijama pada direktno na površinu zemljišta, kao i radom nuklearnih elektrana, gdje se preko ispuštenog vazduha, vode ili čvrstog radioaktivnog otpada direktno ili indirektno zagađuje zemljište, odnosno životna sredina u cijelini. Posebnu opasnost predstavljaju nuklearne nesreće, koje se najčešće dešavaju uslijed iznenadnih kvarova ili havarijskih oštećenja na nuklearnim elektranama (2). Činjenica da danas u svijetu radi više od 450 nuklearnih elektrana i preko 300 eksperimentalnih reaktora, ozbiljno upozorava na potencijalne opasnosti

od havarijskih oštećenja. Radioaktivni otpad nastao iz nuklearnih elektrana je takođe veliki problem za čovječanstvo, jer se on trenutno deponuje u zaštićenim kontejnerima i čuva u dubljim slojevima zemljine kore. Ovaj otpad predstavlja potencijalni izvor zagađenja zemljišta i intenzivno se pokušava pronaći trajno rješenje za sigurno deponovanje otpada. Jedan od izvora zagađenja zemljišta je i izvođenje proba nuklearnog oružja, čime se kontaminira značajna površina zemljišta (21).

Izučavanjem sadržaja olova i helijuma, proračunava se starost uranovih ruda kao i mineralnih agregata, koje te rude nose (22).

Sadržajem pojedinih izotopa, a na osnovu perioda raspada pojedinih radioaktivnih elemenata, određuje se apsolutna starost stijena. Takođe je postojanje pojedinih izotopa u vodi pouzdan parametar starosti vode, tj. vremenskog perioda koji je voda provela u podzemlju (23).

12. UTICAJ EKSPLOATACIJE MINERALNIH SIROVINA I PODZEMNIH VODA NA ZEMLJIŠTE

Rudarstvo ima korjenje u dalekoj praistoriji, a već u srednjem vijeku bilo je u temelju svake državne zajednice. U svojoj dugoj istoriji, započelo je sa fazom površinskog skupljanja ruda i stijena, da bi se u sledećoj fazi razvila tehnologija eksploatacije samo bogatih ležišta metala i nemetala koja zaliježu ispod površine. Sa ubrzanom industrijalizacijom i daleko većim potrebama kako za tim, tako i energetske sirovinama, prelazi se na površinsko otkopavanje i masovnim metodama (sa zarušavanjem rude i pratećih stijena) podzemnim načinom. U toj fazi, čovjek je praktično započeo sa masovnom degradacijom geološke sredine. Ogromna "glad" za sve više novih, jeftinih sirovina može se ilustrovati podatkom da se danas otkopa godišnje (tj. dezintegriše iz geološke sredine) 35 - 40 tona rude i jalovine po glavi stanovnika Planete. Od te količine, samo oko 2% predstavlja korisnu supstancu (24).

Pored pomenutih problema narušavanja geološke sredine, istog ranga su problemi zagađenja životne sredine, povezani sa površinskom razradom ležišta uglja, prisustvom u rudama, uglju i nafti jedinjenja sumpora, morskim bušenjem na naftu i njenim transportom, gubljenjem fluora iz kombinata za proizvodnju aluminijuma, radioaktivnim otpadom, itd. (24).

Kompleksnost ležišta kao izvora zagađivanja ispoljava se i kroz raznovrsnost zahvaćene prirodne sredine. Negativni efekti se mogu odraziti na sve životno važne resurse - vodu, vazduh, zemljište i proizvodnju hrane, kroz nagomilavanje toksičnih hemijskih elemenata. Odavde proizilaze negativne biološke reakcije svih živih organizama, uključujući čoveka (porast opšteg i specifičnog oboljevanja, snižavanje biološke produktivnosti, daleke mutagene posledice, u krajnjem slučaju - smrt).

Pri eksploataciji i preradi mineralnih i energetske sirovina, narušava se u većem ili manjem stepenu litosfera, atmosfera, biosfera i hidrosfera. U predjelima površinskih kopova, vidovi narušavanja su brojni:

- izmjene morfoloških svojstava terena;
- izmjene intenziteta egzogenih procesa: klizanje, odronjavanje, jaružanje u predjelu površinskih kopova i jalovišta i sl. (slika 10);
- izmjene hidroloških i hidrogeoloških svojstava terena (odvodnjavanje, zagađenje površinskih tokova i podzemnih voda, termičko zagađenje vode, i dr.);

- izmjene flore i faune, kod obojene metalurgije primjetno do 100 km u radijusu (povećani sadržaji mikroelemenata u rastinju, voću, povrću i drugim seoskim kulturama; smanjenje vitamina i šećera u voću i povrću; nestajanje, odnosno, migriranje pojedinih biljaka i životinjskih vrsta, itd.);
- izmjene atmosfere (mehaničko zagađivanje različitim vrstama prašine, hemijsko zagađivanje gasovima i parama, i dr.);
- izmjene uslova života i rada čoveka (smanjenje radne sposobnosti, narušavanje zdravlja i smanjenje životnog veka, i dr).

Rad u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom praćen je slijeganjem tla, pojavom pukotina, problemima sa stabilnošću iskopa, formiranjem jalovišta na površini. Vrlo ozbiljni problemi nastaju pri crpljenju vode i evakuaciji iz mnogih okana i napuštenih podzemnih prostorija, čija je posljedica često zagađivanje površinskih i podzemnih voda.



Slika 10. Procesi degradacije zemljišta usled radova na površinskom kopu

Eksploatacija uglja površinskim načinom pretvorila je mnogobrojne živopisne prirodne ambijente u pustinju sa otvorenim udubljenjima,

gomilama jalovine i neplodnom golom zemljom. U procesu vađenja i oplemenjivanja rude, odbacuje se masa materijala. Njihov dio spira se kišama u rijeke, i to se ozbiljno odražava na organski život rijeka i njihov vodni režim. Naročito težak zadatak predstavlja evakuacija zagađenih voda rudarskih radova, bez zagađenja površinskih i podzemnih voda. Sličan je slučaj sa mnogim zemljama Planete. Činjenica da se veliki površinski kopovi uglja, deponije i pogoni za pripremu te sirovine nalaze u blizini naseljenih mjesta i u ravničarskim predjelima, ima dodatnog uticaja na životnu sredinu, a naročito se narušavaju agroekosistem i režim podzemnih voda.

Da bi se razriješili problemi efektivnog korištenja ogromnih resursa uglja sa minimalnom štetom po životnu sredinu, sve se više pribjegava metodi gasifikacije uglja. Rezerve uglja u svetu su toliko velike, da se sa sigurnošću može reći da se sledećih 200 godina može računati na stabilnu proizvodnju i potrošnju ove sirovine. Kako se svake godine iskopa više od četiri milijarde tona ovog fosilnog goriva, da bi se zaštitila životna sredina potrebno je proširiti primjenu tzv. čistih tehnologija (Clean Coal Technologies - CCT) i rekultivacije površinskih kopova uglja (24).

Rudarski baseni sa eksploatacijom metaličnih mineralnih sirovina i njihovi metalurški kombinati predstavljaju velike zagađivače vazduha, vode, zemljišta, bilnog i životinjskog svijeta, brojnim toksičnim elementima pre svega. Transgresivne tehnogene bolesti hemijske prirode vezane su za premještanje hemijskih zagađivača životne sredine na velika rastojanja putem atmosferske ili vodne cirkulacije. Klasičan primjer transgresivnih pojava u biosferi predstavljaju kisele kiše, uslovljene masivnim odavanjem u atmosferu sumpornih i azotnih oksida i drugih toksičnih sastojaka, uključujući mikroelemente. Takođe, u neposrednoj blizini rudnika, uticaj na zemljište je moguć i od odložene jalovine. Jalovina je materijal nastao nakon izdvajanja korisne frakcije rude, a koja se nakon separacije odlaže na tlo. S obzirom da jalovina često sadrži visoke koncentracije teških metala i da se odlaže na duži vremenski period, ona može biti uzrok značajnog zagađenja zemljišta. Ovo se posebno odnosi na flotacijsku jalovinu, koja u slučaju akcidentne situacije može dovesti do ekološke katastrofe.

Značajni zagađivači zemljišta su i metalurški pogoni za proizvodnju željeza i čelika, kao i postrojenja za dobijanje koksa, sinterovanje željezne rude i dobijanje čelika. Ova postrojenja svojim emisijama opterećuju zemljište značajnim količinama SO₂, CO₂, teških metala, policikličnih aromatskih ugljovodonika, cijanida, fluorida, ulja i masti i dr. Značajno je istaći da su ova postrojenja proizvođači velikih količina opasnog i neopasnog otpada, koji se često odlaže na vlastitim neuređenim deponijama.

Zemljište neuređenih fabričkih odlagališta direktno je pod uticajem otpada koji se na njemu nalazi, te je čest slučaj da ispiranjem kišom dolazi do transporta zagađenja u podzemne vode, odnosno štetan uticaj zagađenja se može osjetiti i na čitavu životnu sredinu (3).

Štetan uticaj rudarskih aktivnosti, prije svega na površinskim kopovima, se u najvećoj mjeri ogleda u degradaciji ogromnih površina zemljišta, deponovanja velikih količina čvrstog otpada (jalovine) i pojave rudničkih voda, koje mogu izazvati zagađenje zemljišta i podzemnih voda.

Jedan od efikasnih načina prevođenja degradiranog zemljišta u zemljište pogodno za korišćenje je rekultivacija. Ona podrazumjeva niz rudarsko-tehničkih, inženjerskih, melioracionih, poljoprivrednih i šumarskih aktivnosti u određenom vremenu, a sve u cilju dobijanja zemljišta pogodnog za korištenje u poljoprivredi i šumarstvu, ali i za druge namjene (25).

Kao što smo već napomenuli, eksploataciju mineralnih sirovina prati niz negativnih pojava, a jedna od njih je zagađivanje podzemnih i površinskih voda. Proces i vezani za uticaj na zemljište usled rudarskih aktivnosti, mogu se svrstati u nekoliko grupa:

- odvodnjavanje ležišta mineralnih sirovina;
- procesi sekundarne konsolidacije izdreniranih stijena;
- sufozno-karstni procesi pri odvodnjavanju karbonatnih i drugih stijena rastvorljivih u vodi;
- procesi pomijeranja stijenskih masa u zoni rudarskih radova;
- procesi filtracionih deformacija stijena na kosinama površinskih otkopa;
- hidrogeohemijski procesi u zoni aeracije, neposredno u rudarskim radovima i rudnim jalovištima.

Najveći uticaj na izmjene svojstava geološke sredine i životne sredine pri eksploataciji mineralnih sirovina ima odvodnjavanje. Pri intenzivnom odvodnjavanju mijenjaju se: hidrogeološki, hidrološki, morfološki i biološki uslovi. Prilikom odvodnjavanja vrši se dreniranje podzemnih voda na jednoj značajnoj površini. Zaštita životne sredine, a samim tim i zemljišta, sastoji se u tome da se spriječe ili umanje degradacioni i oksidacioni procesi u samom ležištu, a koji su potpomognuti najvećim djelom prisustvom vode. Adekvatnim odvodnjavanjem i smanjenjem priliva vode, mogu se usporiti degradacioni procesi i smanjiti efekti zagađenja životne sredine tj. zemljišta.

13. UPRAVLJANJE OTPADOM I RECIKLAŽA

Otpad predstavlja svaka materija ili predmet koji vlasnik odbacuje, namjerava ili mora da odbaci. Prema vrsti, otpad se dijeli na:

- komunalni otpad (kućni otpad);
- komercijalni otpad;
- industrijski otpad.

Komunalni otpad je otpad iz domaćinstava, kao i drugi otpad koji je zbog svoje prirode i sastava sličan otpadu iz domaćinstva.

Komercijalni otpad je otpad koji nastaje u preduzećima, ustanovama i drugim institucijama, koje se u cijelini ili djelimično bave trgovinom, uslugama, kancelarijskim poslovima, sportom, rekreacijom ili zabavom, osim otpada iz domaćinstava i industrijskog otpada.

Industrijski otpad je otpad iz bilo koje industrije ili sa lokacije na kojoj se nalazi industrija, osim jalovine i pratećih mineralnih sirovina iz rudnika i kamenoloma (26).

U zavisnosti od opasnih karakteristika koje utiču na zdravlje ljudi i životnu sredinu, sav otpad se može podijeliti na inertni, neopasan i opasan. Inertni otpad je otpad koji nije podložan bilo kojim fizičkim, hemijskim ili biološkim promjenama, ne rastvara se, ne sagorijeva ili na drugi način fizički ili hemijski reaguje, nije biološki razgradiv ili ne utiče nepovoljno na druge materije sa kojima dolazi u kontakt na način koji može da dovede do zagađenja životne sredine ili ugrozi zdravlje ljudi. Neopasan otpad je otpad koji nema karakteristike opasnog otpada. Opasan otpad je otpad koji po svom porijeklu, sastavu ili koncentraciji opasnih materija, može prouzrokovati opasnost po životnu sredinu i zdravlje ljudi i ima najmanje jednu od opasnih karakteristika utvrđenih posebnim propisima, uključujući i ambalažu u koju je opasan otpad bio ili jeste upakovan.

Svaka zemlja, pa tako i Bosna i Hercegovina, odnosno entitet Republika Srpska, usvaja Strategiju upravljanja otpadom kao jedan od bitnih dokumenata. Budući da je zakonskim odredbama data mogućnost da više jedinica lokalne samouprave definišu zajedničke ciljeve u upravljanju otpadom u okviru entiteta, pa čak i da uspostave međuentitetsku saradnju u upravljanju otpadom (npr. opštine Čelić i Teočak iz Federacije BiH odlažu otpad na sanitarnoj deponiji Brijesnica u Bijeljini ili opštine Tešanj i Doboj jug odlažu otpad na deponiji u Doboju), na narednoj slici su prikazane regije Republike Srpske prema jedinicama lokalne samouprave vezano za koncept upravljanja svim vrstama otpada.



Slika 11. Podjela Republike Srpske vezano uz koncept upravljanja svim vrstama otpada

Upravljanje otpadom je jedan od većih problema životne sredine na prostoru Republike Srpske, odnosno Bosne i Hercegovine u cijelini. Otpad se deponuje na neuređene i nekontrolisane deponije, koje rade bez adekvatnih mjera zaštite životne sredine, te je zagađenje zemljišta, vazduha, podzemnih i površinskih voda značajno sa aspekta zaštite. Dosadašnja praksa je pokazala dosta nedostataka u upravljanju otpadom od kojih su značajniji:

- nedovoljno pouzdani podaci o količinama otpada i sastavu otpada;

- nedovoljno razvijen sistem sakupljanja i sistematizovanja podataka i tokova svih vrsta otpada;
- nepostojanje efikasne organizacije odvojenog sakupljanja otpada za reciklažu iz domaćinstava;
- nepostojanje pogona za preradu i/ili iskorištavanje otpada;
- nesprovođenje programa praćenja stanja životne sredine u vezi sa emisijama sa deponija;
- postojanje neuređenih službenih, kao i nelegalnih deponija;
- odlaganje opasnog otpada zajedno sa komunalnim, neopasnim otpadom.

U cilju uspostavljanja održivog sistema upravljanja otpadom, uobičajena tehničko-tehnološka rješenja za tretman ili reciklažu određenih vrsta otpada su: postupci izbjegavanja i iskorištavanja otpada, postupci reciklaže i tretmana otpada (mehanički, biološki, termički i hemijski postupci), te konačno zbrinjavanje deponovanjem ili izvoz. U daljem tekstu data su objašnjenja postupaka tretmana otpada, sa svojim prednostima i nedostacima.

Smanjenje otpada je jedan od prvih postupaka. Potrebno je sprovesti određene postupke u proizvodnim i uslužnim procesima kako bi se smanjila količina otpada i štetna svojstva. Mjere za smanjenje treba sprovoditi prilikom proizvodnje i potrošnje materijalnih dobara, tj. prvenstveno se misli na razvoj čistije proizvodnje, reciklažu, te proizvodnje sa korištenjem sekundarnih sirovina (26).

Ponovno korištenje (engl. *reuse*) je primjer načina izbjegavanja otpada, gdje se proizvod (uglavnom iskorištena povratna ambalaža) vraća u proizvodni proces i nakon potrebnog tretmana ponovo koristi za osnovnu namjenu (primjer su staklene boce za višekratnu namjenu, pojedini iskorišteni rezervni dijelovi i dr).

Reciklaža (engl. *recycling*) predstavlja ponovno korištenje predtretiranih i/ili rafiniranih komponenti otpada (sekundarnih sirovina), kao ulazne sirovine za proizvodnju jednako vrijednih, istih proizvoda ili za proizvodnju proizvoda od polaznih sekundarnih sirovina koji su slabije kvalitete (engl. *downcycling*), te se koriste za manje zahtjevne svrhe. Utrošak energije za proizvodnju novih proizvoda i tretman emisija nastalih reciklažom i predtretmanom za ponovno korištenje, uglavnom je manji u odnosu na proizvodnju istog proizvoda iz primarnih sirovina. Reciklaža u širem smislu, predstavlja sistem upravljanja korisnim komponentama otpada (papira/kartona, plastike, stakla i metala), koji se sastoji od odvojenog sakupljanja, predtretmana, a koji sačinjava sortiranje i predprocesuiranje (npr. presovanja) radi transporta na mjesto njegove reciklaže (27).

Sakupljanje otpada, izdvajanje, prerada i izrada novog proizvoda su karike u lancu reciklaže. Otpad je potrebno razdvojiti na mjestu nastanka prema vrstama otpada, jer samo odvojeni sakupljeni otpad se može koristiti.

Reciklažom se postižu sledeći ciljevi:

- štednja sirovinskih resursa (svi materijali potiču iz prirode i ima ih u ograničenim količinama);
- štednja energije (nema trošenja energije u primarnim procesima, a dobija se dodatna energija sagorjevanja recikliranih materijala);
- zaštita životne sredine (otpadni materijali degradiraju životnu sredinu, pa se reciklažom štiti čovjekova okolina);
- otvaranje novih radnih mjesta (ulaganje znanja i rada, što stvara potrebu za novim radnim mjestima).

U pogledu mogućnosti ponovnog iskorištenja, materijali mogu biti: reciklabilni (mogu se iskoristiti ponovnim vraćanjem u proces proizvodnje), nerekiclabilni (ne mogu se vratiti u proces proizvodnje), opasni – hazardni (materijali štetni za čovjeka i životnu sredinu) i bezopasni (materijali koji nisu štetni za čovjeka i životnu sredinu).

Prema načinu vraćanja materijala u proces ponovnog korištenja, reciklaža se može podijeliti na:

1. primarnu - kojom se posle odgovarajuće pripreme materijala, isti koristi za dobijanje novog proizvoda ili se doradom korištenih proizvoda omogućava ponovna upotreba materijala;
2. sekundarnu - kojom se konvencionalno nerekiclabilni materijali prerađuju korištenjem novih tehnologija do maksimalnog iskorištenja materijala.

Od mehaničkih tretmana otpada treba izdvojiti: deponovanje i tretman na lokaciji, mehaničku rafinaciju gorive komponente otpada i predtretman otpada.

Deponovanje je najrašireniji postupak zbrinjavanja neopasnog, opasnog i inertnog otpada. Ovdje se može svrstati i deponovanje stabilizovanog azbestnog otpada u posebnim deponijskim kasetama. U smislu deponovanja, ovo je postupak u pravilu trajnog smještaja otpada nasipanjem ili kompaktiranjem (presovanjem) na podlozi definisane vodonepropusnosti podloge i na kraju, prekrivanja barijerom, koja omogućava površinsko oticanje i slojem za rekultivisanje. Prilikom biorazgradnje otpada, nastaje deponijski gas (biogas), koji se pasivno ili aktivno izvlači iz deponije, te se tretira prolaskom kroz biooksidacijski sloj (biofilter) ili se spaljuje na baklji ili gasnom motoru uz stvaranje električne i/ili toplotne energije.

Tretmanom na lokaciji (deponovanje zatrpavanjem, ali se može smatrati i reciklažom-kompostiranje biorazgradivog otpada) može se smatrati i kontrolisano (uz dodavanje vještačkih đubriva radi povećanja mikrobiološke aktivnosti) zaoravanje žetvenih ostataka iz ratarske proizvodnje na oranicama, čime se zemljište obogaćuje humusom važnim za odražavanje povoljne strukture zemljišta u procesu nastanka organomineralnih strukturnih agregata, koji poboljšavaju aeraciju i drenažu zemljišta. Takođe, tretmanom na lokaciji se može smatrati i *ex situ* bioremedijacija formiranjem privremenih sanitarnih deponija za potrebe sanacije zagađenog zemljišta (26).

Nakon predtretmana otpada, koji sadrži gorivu komponentu otpada (npr. biosušenje), iz otpada se pomoću niza uređaja ili strojeva (primarni usitnjivač, lančani transporter, trakasti transporter, sita, magnetski separator, vazdušni separator, separator i finalni usitnjivač), izdvajaju različite frakcije poput goriva iz otpada, sekundarnih sirovina za reciklažu (metali, plastika, papir i sl.), teške frakcije i stabilizovane biorazgradive frakcije (pogodne za proizvodnju deponijskog gasa ili za iskorištavanje na deponijama kao prekrivni materijal, zavisno o stepenu biorazgradnje).

Presovanje (ugušćavanje/peletizacija) je mehanički tretman otpada koji se naširoko koristi kao predtretman u drugim tehnikama zbrinjavanja otpada (npr. deponovanje, presovanje sekundarnih sirovina, presovanje mulja ili peletizacija goriva iz otpada radi termičkog tretmana i dr). Predtretman otpada predstavljaju i prethodni postupci slični mehaničkoj rafinaciji goriva iz otpada.

Od mehaničko-bioloških tretmana otpada treba izdvojiti: kompostiranje, biosušenje, hibridni (aerobno-anaerobni) tretman otpada - suhu fermentaciju i anaerobnu digestiju.

Kompostiranje se definiše kao tretman biorazgradivog otpada pod dejstvom mikroorganizama, u cilju stvaranja komposta, u prisustvu kiseonika i pod kontrolisanim uslovima. Kompostiranje se može odvijati na otvorenom ili u zatvorenim spremnicima sa sistemom za prečišćavanje nastalih gasova. Procesi kompostiranja mogu trajati od nekoliko sedmica do godinu dana, u zavisnosti od zahtjevanog stepena stabilizacije otpada. S obzirom da se EU direktivom o deponijama otpada daju ograničenja vezana za zbrinjavanje biorazgradivog otpada na deponijama, kompostiranje svakako dobija na značenju, kao jedna od mogućih opcija upravljanja biorazgradivim otpadom.

U procesu biosušenja, otpad se nakon potrebnog mehaničkog predtretmana, izlaže procesu postepenog isušivanja pod uticajem toplote iz procesa aerobne biorazgradnje lakorazgradivih organskih jedinjenja unutar

miješanog komunalnog otpada. Temperatura odvijanja procesa iznosi između 50 i 60°C. Ovakvom aerobnom razgradnjom biorazgradivog dijela otpada se na kraju procesa dobija biološki higijenizirani i suv stabilizovani otpad bez neprijatnih mirisa. Ovaj proces traje od 12 do 15 dana.

Proces hibridnog tretmana biorazgradivog otpada provodi se u nekoliko koraka: mehanički predtretman, aerobni predtretman, stvaranje anaerobnih uslova, proizvodnja i iskorištavanje biogasa u procesu suve fermentacije, koja se provodi u izolovanim bioreaktorima s otprilike 50% učešća suve materije. Proizvod tretmana je biogas, koji se iskorištava za proizvodnju električne energije i toplote. Digestat (djelimično stabilizovana organska mješavina) se dodatno izlaže aerobnoj stabilizaciji u posebnim bioreaktorima sa prečišćavanjem otpadnih gasova. Proces suve fermentacije traje oko 3 sedmice, a aerobne stabilizacije dodatne 2 sedmice (26).

Anaerobna digestija se definiše kao proces u kojem se biorazgradivi materijal razgrađuje u odsustvu kiseonika. Anaerobnom digestijom dobija se biogas i digestat. Anaerobna digestija može biti mokri proces, pri čemu se koristi materijal s vlažnošću većom od 85% ili suvi proces s materijalom vlažnosti manjom od 70%. Proces se odvija u anaerobnim digestorima. Ovaj proces traje između dvije do tri sedmice, u zavisnosti od tehnologije izgradnje digestora, sastava ulaznog materijala i zahtijevane količine proizvedenog biogasa. Proizvedeni biogas se najčešće koristi za proizvodnju električne energije ili toplote.

Od bioloških tretmana otpada, važno je napomenuti postupke bioremedijacije (*in situ* bioremedijacija i *ex situ* remedijacija). Biološki postupci su najjeftiniji, te najprihvatljiviji za životnu sredinu, jer se tretman zasniva na korištenju mikroorganizama pomoću kojih dolazi do razgradnje organskih materijala.

Zagađeno zemljište od isplachnih muljeva, odnosno otpad koji nastaje kod istraživanja i kopanja metalnih ili nemetalnih ruda, tretira se na istom području (*in situ*) gdje je utvrđena prisutnost zagađivača (ne iskopava se i ne prevozi do nekog mjesta), te je zbog toga potreban veći vremenski period remedijacije. Uz to, takođe je potrebno opsežno praćenje promjena u zemljištu i karakteristika vodonosnika.

U slučaju kada zemljište zagađeno od isplachnih muljeva ili drugi otpad od istraživanja i kopanja metalnih ili nemetalnih ruda, ne može biti obrađeno na samom području zagađenja (*ex situ* remedijacija) zbog zakonodavstva, rizika od zagađenja podzemnih voda ili vazduha, zemljište se mora prvo iskopati, te zatim provesti bioremedijacija. Površinski tretman (engl. *landfarming*) je proces u kojem se iskopano zemljište, mulj ili sediment stavlja na područje prekriveno nekom vrstom nepropusnog

materijala na kojem se sakuplja eluat, slično kao uređena deponija. Ova vrsta bioremedijacije je najuspješnija u uklanjanju nižih naftnih ugljovodonika. Kompostiranje (engl. *composting*, *biopiling*) je vrsta bioremedijacije u kojem se zagađeno zemljište miješa s organskim materijalima poput slame, drvnih ostataka, kanalizacionog mulja, te se oblikuje u hrpe. Osnovna razlika između biopilinga i kompostiranja je ta što biopiling ima bolje razrađen sistem aeracije i sakupljanja eluata. Najefikasnija *ex situ* bioremedijacija je provođenje procesa u bioreaktoru, u kojem se mogu postići i održavati optimalni uslovi za biorazgradnju. Prednosti površinskog tretmana kod bioremedijacije zagađenog zemljišta su jednostavnost i niski troškovi, a nedostaci su dugi period inkubacije, zaostajanje zagađivača, te potreba postavljanja folije. Prednosti reaktora su dobra kontrola reaktorskih uslova, mogućnost provođenja u aerobnim ili anaerobnim uslovima, poboljšana desorpcija iz zemljišta i kratak period inkubacije, a nedostaci su visoki troškovi, veličina reaktora, te potreba za predtretmanom zemljišta (26).

Od termičkih tretmana otpada treba izdvojiti: spaljivanje, sterilizaciju, renderiranje (kuvanje), te pirolizu, gasifikaciju i plazma postupak.

Termički tretman otpada je skup postupaka kojima se smanjuje zapremina otpada, pri čemu se izdvajaju i/ili uništavaju potencijalno opasne materije iz otpada. Uz to, termičkim tretmanom je moguće iskoristiti energetske vrijednosti otpada za proizvodnju električne energije i/ili toplotne energije.

Tehnologija spaljivanja otpada, koja je najrasprostranjenija tehnologija fizičko-hemijskog oksidacijskog procesa pri čemu se oslobađa energija (egzotermni proces), predstavlja oksidaciju zapaljivih materijala iz otpada. Postoje različiti postupci spaljivanja, kao što su spaljivanje na rešetki, u rotacionoj peći i fluidizovanom sloju. Energija dobijena procesima spaljivanja može se pretvoriti u električnu ili toplotnu energiju.

Sterilizacija je proces termičkog tretmana kod kojeg se potencijalno infektivni otpad (medicinski i sl.) direktno ili indirektno zagrijava na temperaturu dezinfekcije, odnosno sterilizacije. Najčešće se sterilizacija koristi u medicini za tretman medicinskog pribora ili predtretman medicinskog otpada prije mehaničkog tretmana (usitnjavanje) i konačnog zbrinjavanja. Najčešće korištena metoda sterilizacije otpada je vlažna sterilizacija u autoklavima koji koriste zasićenu paru odgovarajućeg pritiska, temperature i vremena trajanja postupka. Pored vlažne sterilizacije, koriste se i suva sterilizacija (izlaganje otpada određenoj temperaturi i vremenu trajanja da se obezbijedi sterilizacija cjelokupne količine otpada), hemijska

sterilizacija (izlaganje medicinskog otpada hemijski aktivnim materijama koje sprečavaju dejstvo patogenih mikroorganizama) i ostale savremene metode sterilizacije (mikrotalasna, gama i ultraljubičasta zračenja, inkapsulacija, filtriranje).

Renderiranje (kuvanje) je postupak karakterističan za tretman/reciklažu otpada životinjskog porijekla u pogonima za toplotni tretman (kafilarije). Na ovaj način se uginule životinje i slični otpad od klanja, rasijecanja i tretmana svih vrsta mesa izlaže visokim temperaturama u destruktorima, odnosno sterilizatorima i prevode u tri krajnja proizvoda: glavni proizvod mesno-koštano brašno (proteini životinjskog porijekla), mast (tehnička mast) i vodu.

Piroliza je fizičko-hemijski proces razgradnje organskih molekula pri povišenoj temperaturi, bez kiseonika i bez prisutva sredstava za gasifikaciju (vazduh, vodena para, CO_2 i sl). Tokom procesa dolazi do termičkog razlaganja viših spojeva organskih materijala u otpadu, pri čemu nastaju pirolitički gas, pirolitičko ulje i čvrsta faza bogata ugljenikom (katran).

Prema rasponu temperatura pri kojima se odvija, mogu se razlikovati tri varijante pirolize: nisko temperaturna (do 500°C), srednje temperaturna (od 500°C do 800°C) i visoko temperaturna (viša od 800°C). Pirolitički gas se obično spaljuje, a čvrsta se faza ili spaljuje ili prvo izlaže gasifikaciji, a zatim se spaljuju nastali gasovi. Pirolizom je moguć kontrolisani tretman s energetske iskoristivosti komunalnog otpada, otpadnih komunalnih muljeva, plastike, auto-guma, drveta, tekstila, ulja i sl.

Gasifikacija je kombinacija djelimične pirolize i djelimičnog sagorijevanja tokom kojega se pri povišenoj temperaturi u reaktor s gorivom bogatim ugljenikom dovodi sredstvo za gasifikaciju. Stoga je gasifikacija zapravo produžena piroliza. Proizvod reakcije je mješavina gasova poznata pod nazivom sintetski gas. Sintetski gas dobijen gasifikacijom može se spaljivati ili se može upotrijebiti za sintezu različitih tečnih ugljovodonika. Gasifikacija je pogodna za tretman organskog otpada, uz prethodni tretman uklanjanja neorganskih vrsta otpada.

Plazma postupak predstavlja varijantu gasifikacije. Plazma nastaje propuštanjem električne struje kroz struju gasa, pri čemu se postižu temperature od 5.000°C do 15.000°C . Postupak najčešće uključuje predtretman otpada, nakon kojeg se usitnjeni otpad unosi u reaktor s plazma plamenicima. Uslijed visoke temperature dolazi do razlaganja organskih materijala iz otpada, te topljenja neorganskih materijala. U gasovitoj fazi dolazi do intenzivne disocijacije organskih molekula, što gotovo u

potpunosti eliminiše štetne emisije. Neorganske materije se posle topljenja mogu deponovati i upotrijebiti kao građevinski materijal.

Hemijski tretman otpada uglavnom je karakterističan kod tretmana opasnog otpada i zasniva se na osnovnim procesima jonske izmjene, precipitacije, oksidacije, redukcije i neutralizacije. Ovo su specijalizovane tehnike tretmana veoma opasnih i problematičnih vrsta otpada s, uglavnom, visokim troškovima tretmana, koje se primijenjuju u slučajevima kada druge tehnologije nisu dovoljno efikasne. Stoga se za analizu navedenih tretmana predlažu studije izvodljivosti od slučaja do slučaja (26).

14. DEGRADACIJA TLA

Zemljište je osnovni prirodni resurs i zajedno sa vodom, vazduhom i organizmima sačinjava eko-sistem. Ono je teško obnovljivi prirodni resurs. Kao posledica sve intenzivnije urbanizacije, industrijalizacije i eksploatacije različitih sirovina (rudarenje), došlo je do kontinuiranog procesa oštećenja i uništenja zemljišnog fonda. Zemeljište se koristi multifunkcionalno, gdje se izdvajaju njegove dvije osnovne funkcije (ekološke i tehničke funkcije). Apsolutnih mjera zaštite zemljišta nema, ali postoje relevantne mjere, kako sačuvati najvrijednija zemljišta za bioprodukciju.

Na području BiH su dominantno prisutna automorfna zemljišta. Iz *Osnovne pedološke karte BiH M 1:50.000* Zavoda za agropedologiju, Sarajevo, u tabeli 2. navodi se udio najvažnijih tipova zemljišta.

Tabela 2. Procentualni udio najvažnijih tipova zemljišta u BiH

1. Automorfna zemljišta		
Tip tla	Zastupljenost	
	ha	%
1. Goli krš, kamenjar, litosol, regosol	442.300	8,65
2. Rendzina, ranker	217.200	4,25
3. Smonice	98.700	1,93
4. Smeđa tla na krečnjaku	816.200	15,97
5. Crvenice i smeđa tla na krečnjaku	797.700	15,50
6. Eutrični kambisol	250.000	4,89
7. Distrično smeđe i mranker	1.469.100	28,73
8. Lesivirano tlo	68.500	1,34
9. Obronačni pseudoglej	237.539	4,64
UKUPNO	4.750.039	92,90
2. Hidromorfna zemljišta		
1. Fluvisol, aluvijalno zemljište	188.300	3,68
2. Dolinski pseudoglej (stagnoglej)	79.761	1,56
3. Močvarno zemljište	81.600	1,60
4. Tresetna zemljišta	13.200	0,26
UKUPNO	362.861	7,10

Kao što je poznato, automorfna zemljišta su takva zemljišta na čiji nastanak i razvoj djeluju samo vode od padavina, odnosno nema suficitnog vlaženja.

S druge strane, hidromorfna zemljišta su pored vlastitog vlaženja padavinama i pod uticajem suficitnog vlaženja, koje može biti usled visokog nivoa podzemne vode, slivnih voda i poplavnih voda. Kao posledica takvog suficitnog vlaženja, došlo je do negativnih posledica i do njihovog nepovoljnog uticaja na biljnu proizvodnju.

U stručnoj i naučnoj literaturi sve su prisutniji termini antropogena i tehnogena zemljišta. U tom kontekstu, antropogena zemljišta se definišu kao takva zemljišta u kojima je došlo do izvjesnih promjena u odnosu na njihovo prirodno stanje, ali te se promjene odigravaju na licu mjesta (*in situ*). Uticaj čovjeka je više ili manje izražen (duboko oranje, rigolanje, đubrenje, odvodnjavanje, irigacija i dr.). U zavisnosti od intenziteta primjenjenih mjera, ova zemljišta mogu više ili manje izmjeniti svoja svojstva, čime se razlikuju od prirodnih zemljišta od kojih su nastala. S druge strane, tehnogena zemljišta su takva zemljišta, koja su primjenom raznih mjera pretrpjela takve poremećaje, da su potpuno izgubila prirodna svojstva i dobila nove karakteristike, novu morfologiju, te hemijska i fizička svojstva, odnosno došlo je do velikih promjena u njihovoj plodnosti.

U tabeli 3. se pregledno daje porijeklo izmjena prirodnih svojstava zemljišta po tipu tj. klasa tehnogenih zemljišta (28).

Tabela 3. Porijeklo izmjena prirodnih svojstava zemljišta

Tip zemljišta	Porijeklo izmjena prirodnih svojstava
Deposol	Odložni materijal iz rudarskih kopova
Rekultisol	Rekultivisani deposol
Cinerosol	Zemljišta na pepelu i šljaci
Crvenkasti tehnosol	Zemljišta na crvenom mulju
Garbisol	Zemljišta na smeću
Pirosol	Gorena zemljišta
Nekrosol	Zemljišta na grobljima
Urbisol	Zemljišta gradskih prostora
Tehnogeni koluvijski	Zemljišta na materijalu iz kamenoloma
Zemljišta staklenika	Zemljišta na staklenicima

Kao posledica raznih uzroka, mogu se izdvojiti sledeći procesi oštećenja zemljišta: biološka kontaminacija (infekcija), hemijska kontaminacija, antropogena degradacija i fizička destrukcija zemljišta. Prve tri grupe procesa dovode do privremenog ili ograničenog isključivanja tla iz biljne proizvodnje i odigravaju se *in situ*, gdje je zemljište manje ili slabije zahvaćeno, tako da je sačuvalo svoja morfološka svojstva u svom profilu. Ove promjene se odigravaju u površinskim, a dijelom i potpovršinskim

slojevima. Procesi destrukcije zemljišta dovode do potpunog uništavanja prirodnog zemljišnog profila, pri čemu dolazi do stvaranja novog zemljišta, čija svojstva i morfološke karakteristike dobijaju potpuno nova obilježja. Kao rezultat ovih procesa, došlo je do stvaranja potpuno novih zemljišta. Ova novonastala zemljišta su izdvojena u klasifikaciji kao tehnogena zemljišta (4).

U Programu Ujedinjenih naroda za zaštitu okoline iz 1993. godine, degradacija tla se definiše kao proces koji dovodi do smanjenja njegove plodnosti ili proizvodne sposobnosti naročito zbog ljudske aktivnosti (6). Mogu se izdvojiti slijedeći ključni procesi degradacije tla:

- erozija tla vodom i vjetrom;
- antropogeno zbijanje;
- dezertifikacija;
- smanjenje sadržaja organske materije i bioraznornosti tla;
- zakiseljavanje tla;
- zaslanjivanje tla;
- alkalizacija i štetne materije u tlu.

Erozioni procesi vodom i vjetrom se odnose na površinsku migraciju zemljišnog materijala i/ili matičnog supstrata pod uticajem površinskih voda ili vjetra (detaljnije u poglavlju 7).

Erozija tla vjetrom (eolska erozija) vrlo se rijetko dešava na zemljištima zaštićenim prirodnom vegetacijom, a naročito su ugrožene poljoprivredne površine.

Dezertifikacija

Dezertifikacija je proces degradacije tla izazvan ljudskom aktivnošću ili se dešava prirodno, a ima za posledicu nepoželjne promjene vodnog režima tla, pri čemu se plodna tla postepeno isušuju i pretvaraju u pustinje ili se stvaraju uslovi slični pustinjским. Pretežno se javlja u područjima aridne i semiaridne klime. S vremenom se gubi biološka raznornost i uspijevaju samo one biljne vrste s vrlo skromnim zahtjevima.

Od prirodnih faktora mogu se izdvojiti slijedeći: pojava suša, erozija vodom i vjetrom te zaslanjivanje. Antropogeni uticaj se odnosi na aktivnosti čovjeka, kao što su na primjer: pretjerana ispaša, skraćivanje vremena parloga, nepravilno navodnjavanje, neprilagođena obrada tla, izostavljanje trava i leguminoza iz plodoreda i krčenje šuma (deforestacija).

Vrlo efikasne mjere ublažavanja posledica dezertifikacije su pošumljavanje, sadnja vjetrozaštitnih pojaseva i zatravljivanje.

Antropogeno zbijanje tla

Intenzivna biljna proizvodnja, u kojoj se u velikoj mjeri primjenjuju agrohemikalije i gdje je plodored sužen ili se proizvodi u monokulturi gotovo bez upotrebe organskih đubriva, uzrok je pogoršanja fizičkih, hemijskih i bioloških karakteristika tla. Nepravovremena i intenzivna obrada (učestali prohodi), uzrok su antropogenog zbijanja, čime se remete vodeni, toplotni i hranidbeni odnosi u tlu. Zbijanje tla dovodi do pogoršanja većine fizičkih karakteristika kao što su: struktura, propusnost tla za vodu i stvaranje pokorice. Kvarenju strukture doprinosi i smanjena količina organske materije u tlu (blagi humus učestvuje u stvaranju stabilne strukture). Smanjena propusnost tla za vodu može pospješiti procese hidromorfizma, s mogućim nepoželjnim poslasticama na transformaciju organske materije u pravcu stvaranja humusa slabijeg kvaliteta (hidromorfni humus). Nedostatak organske materije i njena slabija kvaliteta, uz povećani udio čestica praha u tlu, doprinose stvaranju pokorice, što se nepovoljno odražava na nicanje.

Posledice antropogenog zbijanja tla mogu se ublažiti na sledeći način: pravovremenom obradom i smanjenim brojem prohoda (reducirana obrada), smanjenjem osovinskog pritiska mehanizacije, korištenjem organskih đubriva, korištenjem kombinovanih organskih i mineralnih đubriva, uzgojem usjeva u plodoredu u kojem su zastupljene leguminoze i djetelinaste travnate smjese.

Smanjenje sadržaja organske materije i bioraznovrsnosti tla

Organsku materiju u zemljištu, kako navode Lickacz i Penny (2001), čine nerazgrađeni biljni ostaci i mikroorganizmi (1-10%), aktivna organska frakcija (10-40%) i stabilna organska materija ili humus (40-60%). Nerazgrađeni biljni ostaci na površini tla umanjuju erozijske procese, a njihovo uklanjanje ili spaljivanje pospješuje eroziju tla. U tlu živi veliki broj različitih živih organizama u složenim i raznovrsnim zajednicama, poput glista, protozoa, gljiva, algi, aktinomiceta, bakterija i cijanobakterija. Ovi različiti organizmi imaju svoju ulogu u ekosistemu, stvarajući na taj način čitavu "mrežu" biološke aktivnosti. Na ove biološke zajednice utiču faktori okoline: temperatura, sadržaj vlage i kiselost tla, ali i ljudska aktivnost. Organizmi tla imaju ključnu ulogu u održivom funkcionisanju ekosistema. Humus ulazi u sastav koloidnog kompleksa tla (adsorpcijski kompleks), te ima sposobnost vezivanja kationa u tlu. Kapacitet adsorpcije kationa kod blagog humusa iznosi i do 300 mmol ekv. Može se reći da organska

materija u tlu ima sledeće bitne uloge: izvor je hrane za biljke i popravlja strukturu tla, te umanjuje erozione procese. Blagi humus povoljno utiče na stvaranje stabilne strukture i, takođe, umanjuje erozione procese.

Biološka raznovrsnost (bioraznovrsnost) tla definiše se kao varijabilnost živih organizama i ekoloških zajednica u tlu, što uključuje raznovrsnost unutar vrsta, te između vrsta i ekosistema. Pod padom bioraznovrsnosti podrazumijeva se smanjenje broja živih organizama u tlu. Razlog tome je manji sadržaj organske materije u tlu, te kvarenje hemijskih i fizičkih karakteristika tla.

Mogu se navesti sledeći primjeri biološke degradacije tla (29):

- primjena organskih đubriva niske pH vrijednosti može dovesti do akumulacije NH_4 jona, što nepovoljno utiče na aktivnost nitrifikacijskih bakterija (*Nitrobacter* L.), zbog čega se nakupljaju nitrati u tlu;
- za kruženje azota u prirodi važni su procesi mineralizacije, nitrifikacije, denitrifikacije i fiksacija azota. Nitrifikacijske bakterije (*Nitrosomonas* i *Nitrobacter* L.) su osjetljive na kisele uslove sredine i nedostatak kiseonika. Zbog toga u uslovima suficitne vode u tlu, dolazi do poremećaja u ovim procesima i biološke degradacije tla;
- u anaerobnim uslovima, koji su posledica antropogenog zbivanja, pojavljuju se velike koncentracije metana. On ukazuje na jake redukcijske uslove u tlu s nepoželjnim uticajem na ekosistem;
- nepovoljni uticaj na mikrobiološku aktivnost tla imaju toksični elementi u tlu i upotreba pesticida. Tako, na primjer, upotreba fungicida može smanjiti aeraciju (disanje) tla. Korištenje pesticida poput atrazina, bromacila i simazina, može na kraće vrijeme inhibirati procese nitrifikacije i simbiotske fiksacije azota. Zagađenje teškim metalima (npr. Cd, Cu, Ni, Pb i Zn) nepovoljno utiče na ciklus kruženja ugljenika, fiksaciju i nitrifikaciju azota.
- spaljivanje šuma može dovesti do povećanja pH vrijednosti u tlu, zbog čega se povećava pristupačnost kalcijuma i magnezijuma, te dolazi do gubitka sumpora, fosfora i bora. Spaljivanje šuma dovodi do smanjene infiltracije vode u tlo, te povećava oticanje vode i erozione procese.

Zakiseljavanje (acidifikacija) tla

Na procese zakiseljavanja (acidifikacije) tla utiču: tip tla, klimatski uslovi, organizmi i čovjek. Kiselu reakciju tla uslovljavaju joni vodonika (H^+). Tla su kisela ako je pH manji od 7. Odstupanja od stabilnog stanja, dovode do razlike u proizvodnji protona, što je razlog zakiseljavanja ili alkalizacije. Do zakiseljavanja tla dolazi u semihumidnim, humidnim i perhumidnim područjima. Proces zakiseljavanja dešava se na prirodan način ili ga može uzrokovati čovjek svojom aktivnošću. Prirodno zakiseljavanje je geogenog ili pedogenog porijekla. Geogeno porijeklo kiselosti tla u vezi je sa kiselim matičnim podlogama na kojima se razvijaju kisela tla, dok je kiselost pedogenog porijekla u vezi sa neutralnim i bazičnim stijenama. Međutim, treba istaknuti da je kod tla koja se razvijaju na kiselim stijenama, takođe primjetno stalno daljnje zakiseljavanje tla. Na zakiseljavanje tla značajno utiču i klimatske prilike, odnosno količine padavina.

Mogu se izdvojiti tri ključna procesa, koja se dešavaju tokom zakiseljavanja tla:

- dekarbonatizacija;
- debazifikacija;
- zakiseljavanje ili acidifikacija.

Dekarbonatizacija, odnosno ispiranje $CaCO_3$ u obliku $Ca(HCO)_3$ je proces koji se dešava pod uticajem H_2O i CO_2 (ugljične kiseline H_2CO_3). Dekarbonatizacija je početak zakiseljavanja tla, nakon čega slijedi ispiranje baznih kationa (Ca, Mg, K i dr.) iz koloidnog kompleksa tla (adsorpcijski kompleks). Na mjesto ovih baznih kationa, ulaze vodonikovi (H^+) joni pa se na ovakav način tlo zakiseljava. Kod nekarbonatnih zemljišta neutralne ili kisele reakcije, proces koji prethodi zakiseljavanju je debazifikacija, nakon koje slijedi acidifikacija, postepeno ulaženje vodonikovih jona (H^+) u adsorpcijski kompleks.

Zaslanjivanje i alkalizacija

Bazičnu reakciju tla uzrokuju OH^- joni. Tla su bazična, ako imaju pH veći od 7. Do procesa alkalizacije, isto kao i do zakiseljavanja, može doći na prirodan način ili pod uticajem čovjeka. Uzročnik bazične reakcije tla do pH 8,5 je kalcijum-karbonat $CaCO_3$, a alkalne iznad pH 8,5 soda (Na_2CO_3).

Uzrok zaslanjivanja su podzemne vode koje su obogaćene lako rastvorljivim solima. One se u dijelu godine podižu do same površine, a nakon njihovog spuštanja odozgo, zaostaju iscvjetanja soli (eflorescencije).

Visoke koncentracije soli koje zaostanu u zemljištu, onemogućavaju rast i razvoj biljaka i pogoduju erozionim procesima. Kada je nivo zaslanjene podzemne vode na dubini većoj od 5 metara, uglavnom izostaje uticaj na vegetaciju. Do zaslanjivanja obično dolazi na nižim reljefnim formama i u mikrodepresijama (Fitzpatrick, 2002), kada je nivo podzemne vode unutar 1,5 metara dubine tla. Čovjek, takođe, može izazvati zaslanjivanje tla navodnjavanjem nekvalitetnom vodom bogatom solima, kao i krčenjem prirodne vegetacije zbog podizanja nivoa podzemne vode bogate lako rastvorljivim solima. Tla su slana ako imaju više od 0,52% soli, zaslanjena su sa 0,13% do 0,52% soli i nezaslanjena su ako imaju manje od 0,13% soli (Husnjak, 2014).

Uzrok alkalizacije su joni natrijuma iz podzemnih voda koje su bogate natrijumom. Zbog visoke koncentracije jona natrijuma, ne dolazi do disocijacije drugih soli, najprije kalcijum i magnezijum-karbonata zbog čega u tlu dominiraju joni natrijuma, koji se vežu na koloide tla i pojavljuje se jako alkalna reakcija s pH vrijednošću tla od 8,5 do 11 (u reakciji s vodom stvara se NaOH). Ako ih ima više od 15% u adsorpcijskom kompleksu, tada je tlo alkalno. Alkalizirana tla imaju između 7% i 15% jona natrijuma, a nealkalizirana manje od 7%. Alkalna tla, osim što imaju veliku pH vrijednost, izrazito su nepovoljne strukture, te imaju izuzetno malu infiltracijsku sposobnost.

Uzročnici bazične reakcije tla prirodnim putem su:

- kalcit (CaCO_3) koji u reakciji sa vodom, u prisustvu CO_2 daje kalcijum-bikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i kalcijum-hidroksid $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pri čemu pH vrijednost tla može biti do 8,5,
- soda u Na_2CO_3 reakciji sa vodom daje natrijum-hidroksid NaOH i natrijum-bikarbonat NaHCO_3 , pri čemu je pH vrijednost tla preko 8,5.

Uzročnici bazične reakcije tla antropogenim putem su:

- brojne soli i hidroksidi (natrijum-hlorid, natrijum-karbonat i bikarbonat, natrijum-sulfat i hidroksidi), koji se koriste u industriji i domaćinstvima. Ove soli i hidroksidi mogu dospjeti u podzemnu vodu i povećati njenu bazičnost, a samim tim se povećava i bazičnost tla;
- pepeo lignita može biti uzročnik bazične reakcije. Lignit koji se koristi u termoelektranama sadrži kreč, koji rastvoren u vodi daje kalcijum-hidroksid, a on može biti uzrok bazične reakcije;

- korištenje omekšane vode za navodnjavanje, koja sadrži veliki procenat natrijum-bikarbonata i nešto manje kalcijuma i magnezijuma može biti uzrok bazične reakcije.

Štetne materije u tlu

Štetne (zagađujuće) materije u tlu su one čija koncentracija djeluje nepovoljno na njegovu osnovnu ulogu u proizvodnji hrane sa mogućim posljedicama na zdravlje ljudi i životinja. U ove materije se ubrajaju:

- teški metali;
- organske materije (industrijske hemikalije, pesticidi, produkti izgaranja iz industrijskih procesa);
- radionukleidi;
- patogeni organizmi.

Najčešći teški metali koji zagađuju tlo su Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn. Osim ovih, problem mogu predstavljati i drugi elementi. Tako su, na primjer, Fe, Mo i Mn bitni mikroelementi, čija toksičnost nije značajnije izražena. Zn, Ni, Cu, V, Co i Cr su toksični elementi, a As, Cd, Hg i Pb nemaju biološku funkciju i toksični su za organizme. Svi ovi metali imaju tendenciju neograničenog apsorbovanja u organizmu i biljnom tkivu, što je naročito opasno pri uzgoju povrća na zagađenim zemljištima. Efikasan način rješavanja problema teških metala u tlu je provođenje kalcifikacije, a u poslednje vrijeme se proporučuje i fitoremedijacija.

Policiklični aromatski ugljovodonici (PAH) su jedinjenja koja se sastoje od 4 ili više prstenova benzena (fenantren, piren, krizen, fluorantren, perilen), a po svojoj hemijskoj građi spadaju u trajne zagađujuće materije. Ova jedinjenja su kancerogena i mutagena, a u zemljište dolaze različitim antropogenim procesima. Druga grupa toksičnih aromatskih jedinjenja su postojane organske zagađujuće materije (POP), koje se koriste u organskim sintezama, u proizvodnji boja, kao konzervansi i kao pesticidi (insekticidi). Ova jedinjenja imaju kancerogeno dejstvo, djeluju na imunološki sistem i reproduktivne funkcije kod životinja.

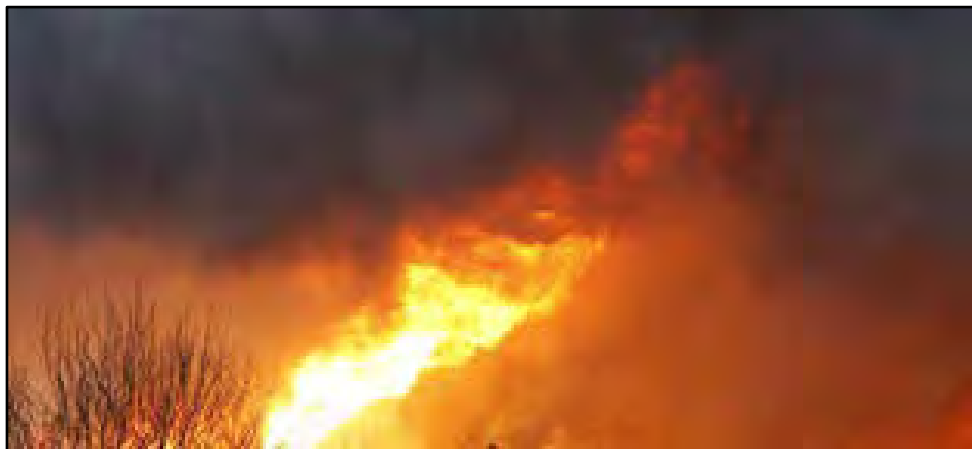
15. UTICAJ POŽARA I RATOVA NA ZEMLJIŠTE

Bosna i Hercegovina po pokrivenosti teritorija države šumama, spada u red najšumovitijih država Evrope. Površina Bosne i Hercegovine iznosi 51.209,2 km². Na šume i šumska zemljišta otpada oko 27.000 km², odnosno 48,3% teritorije. Šume Bosne i Hercegovine su prirodne šume, veoma značajne za cijelu Evropu. Karakteristične su po izuzetnom biodiverzitetu flore i faune i istaknutim prisustvom endemskih vrsta biljaka. Sjeveroistočna i istočna Bosna poznate su po hrastu kitnjaku, grabiću, hrastu sladuncu i šumama cera. Šumovito područje obraslo lipom je oko Goražda i Foče. Uz rijeku Savu možemo vidjeti hrast lužnjak koji je karakterističan za donje tokove Drine, Spreče, Bosne, Ukrine, Vrbasa, Sane i Une. Sjeveroistočni dio Bosne ima raširen pojas drveta topole, a šume johe i vrbe rastu u vlažnim zemljištima. Najveća zastupljenost i pokrivenost Bosne i Hercegovine vezana je za florističku oblast bukove šume. Veoma je poznata oblast koja se nalazi na nešto višoj nadmorskoj visini, zajednica bukve, jele i smrče.

Požari predstavljaju glavni uzrok smanjenja oblasti pod šumama. Postoje dva tipa šumskih požara: kontrolisani i nekontrolisani (divlji), pri čemu obje vrste požara utiču na biodiverzitet područja koja su pretrpjela djelovanje vatre, kao i na fizičke, hemijske i biološke karakteristike zemljišta, promjenu klimatskih uslova i šumskog ekosistema. To su procesi koji iniciraju prirodne cikluse, utiču na razvoj biljnih zajednica, dostupnost hranljivih materija iz zemljišta, na biodiverzitet, jednom rječju održavaju vitalnost ekosistema (30). S druge strane, požari mogu imati ogromne negativne uticaje na životnu sredinu i ljudsko društvo tako što degradiraju ekosistem iz osnove, prevashodno zemljište, s jedne strane promjenom sadržaja nutrijenata, a sa druge gubitkom površinskog sloja zemljišta erozijom i spiranjem (31). Požari predstavljaju glavni uzrok smanjenja organske materije, što bitno mijenja strukturu zemljišta i dovodi do kvalitativnih i kvantitativnih promjena zajednica mikroorganizama i beskičmenjaka u tlu (32).

Uticaj požara na zemljište i vegetaciju zavisi od stepena sagorjevanja žive i nežive materije, prirode zemljišta, kao i od uticaja toplote požara na fizičke i hemijske karakteristike zemljišta (33). Očigledan je uticaj požara na zemljište (slika 12). Naime, površina zemljišta koja je bila izložena vatri biva pokrivena crnim ili sivim pepelom u zavisnosti od inteziteta požara. Za vrijeme požara, s jedne strane, neka ugljenikova jedinjenja nestaju pretvaranjem u isparljive komponente, dok istovremeno dolazi i do

formiranja nus-proizvoda šumskih požara koji se naziva crni ugljenik. Nastali proizvod sadrži djelimično ugljenisan biljni materijal i karakteriše se povećanim sadržajem nutrijenata usled velikog kapaciteta sorpcije (34).



Slika 12. Šumski požari utiču na degradaciju zemljišta

Šumski požari izazvani udarom groma zagađuju tlo produktima sagorijevanja (najčešće su to oksidi azota) i sagorijevanjem površinskog sloja zemljišta, nastanjenog mnogim mikroorganizmima i biljnim i životinjskim vrstama, koje žive u zemljištu i koje ovom prilikom stradaju.

Teški metali koji se obično u malim količinama nalaze u zemljištu su rezultat raspadanja stijena ili drugih pedogenih procesa, koji se dešavaju u stijenovitom tlu u procesu nastajanja zemljišta. Takođe, poznato je i da se mineralizacijom organske materije usled požara izdvaja značajna količina teških metala, što može da predstavlja uzrok kontaminacije zemljišta. Količina teških metala koji se nalaze u pepelu zavisi od prirode samog metala, vrste zemljišta i temperature vatre koja je dostignuta za vrijeme požara (35). Sve to utiče na činjenicu da je nakon požara, usled različitog sastava, količine biomase i topografskih karakteristika tla, količina teških metala u pepelu vrlo promijenljiva (36). Mobilnost teških metala u zemljištu predstavlja složen proces, koji u osnovi zavisi od prirode samog metala, tipa interakcije čvrste faze i zemljišta, kao i drugih faktora kao što su kiselost, oksidacioni i/ili redukcionni uslovi, prisustvo liganada, jonski sadržaj zemljišnog rastvora (37).

Bosna i Hercegovina se i nakon dugog perioda od završetka rata suočava sa problemom visoke zagađenosti zemljišta minama. Pored mnogo uloženog napora i značajnog napretka u rješavanju minskog problema u prethodnom periodu, činjenica je da zaostala minska polja, koja su

rasprostranjena po cijeloj zemlji, predstavljaju jednu od glavnih prepreka za sigurnost građana i socio-ekonomski razvoj zemlje. Kada je u pitanju namjena minski sumnjive površine, 230,49 km² predstavlja zemljište I kategorije prioriteta sa namjenom za repatrijaciju, izgradnju infrastrukture, te zemljište koje predstavlja bitan ekonomski resurs. Površina od 400,80 km² predstavlja II kategoriju prioriteta, sa prvenstvenom namjenom za poljoprivredu. Površina od 828,94 km² predstavlja III kategoriju prioriteta, uglavnom uključujući šume i šumska zemljišta (12).

16. UTICAJ URBANIZACIJE NA ZEMLJIŠTE

Prvi alarmantni znaci pojave ozbiljnijeg zagađenja životne sredine poklapaju se sa procesom urbanizacije, odnosno industrijske revolucije. Mada su prvi gradovi bili osnovani u međuriječju Tigra i Eufrata pre 5-6 hiljada godina, sve do sredine XIX vijeka urbanizacija nije bila značajnija ni u jednoj zemlji svijeta. Tako, na primjer, u 1800. godini, samo 2.4% stanovništva živjelo je u gradovima, dok je bilo svega četiri grada sa više od milion stanovnika. Početkom XX vijeka, broj takvih gradova je iznosio 19, da bi 1965. godine, on narastao na 141. Krajem 2000. godine, više od polovine svjetske populacije živelo je u urbanim sredinama. Danas, na primjer, u Holandiji, Belgiji, Rurskoj oblasti, Šleziji, itd., gradsko stanovništvo čini 90% ukupnog broja stanovnika, a svjedoci smo obrazovanja ogromnih gradova - megapolisa u više industrijski razvijenih zemalja (38).

Potpuno je normalno da nauka o stanovništvu (demografija) bitno uslovljava stavove nauke o životnoj sredini. Naime, čovjek, odnosno njegova aktivnost, utiču na degradaciju životne sredine. Sa porastom broja ljudi na ograničenom prostoru, umnožavaju se i razlozi narušavanja životne sredine. Ne treba smetnuti sa uma ni sve veći uticaj urbanizacije, odnosno kvalitativnih promjena načina života (od ruralnog ka urbanom). Urbanizacija sa sobom nosi privrednu ekspanziju, a samim tim i povećanje zagađenja životne sredine, u prvom redu zemljišta i vode.

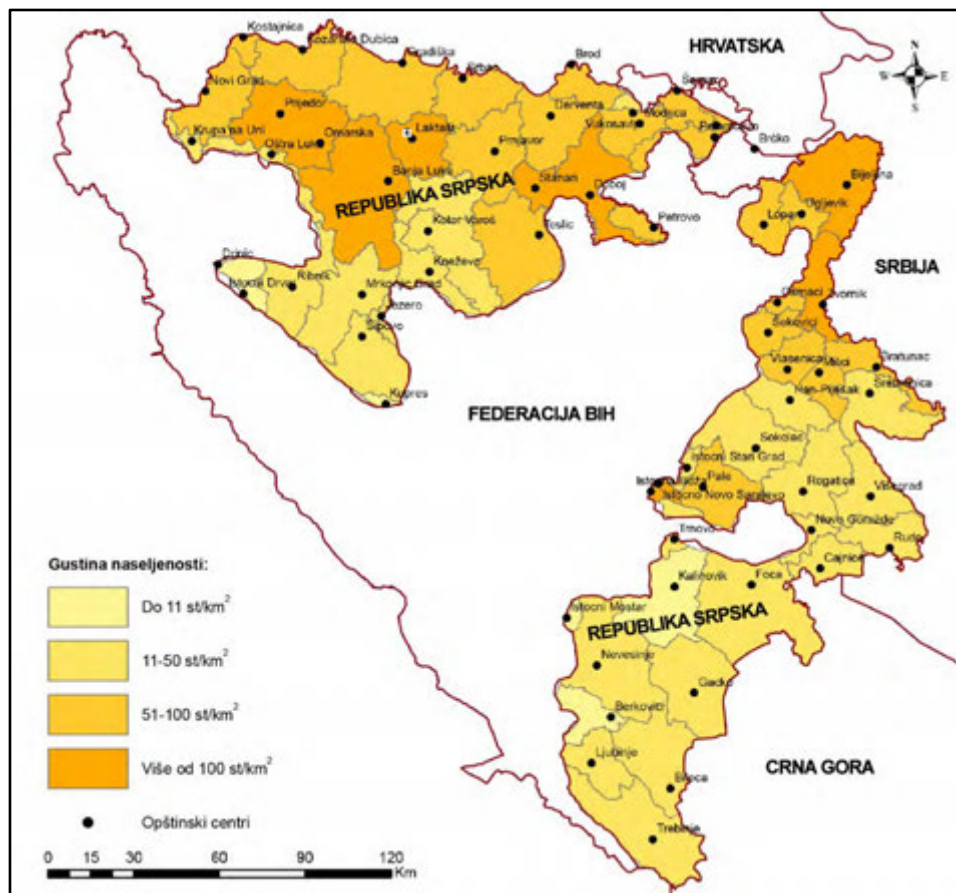
Sve većem zagađenju životne sredine doprinosio je skućeni prostor na kome je na jedinici površine živjelo sve više stanovnika i samim tim bilo sve više komunalnog otpada. Dolaskom u okolnu sredinu, otpadi se uključuju u biološki kružni tok, pa sve više slabi samoprečišćavajuća moć sredine i dolazi do narušavanja ekološke ravnoteže. U prvom redu, narušena je sposobnost samoprečišćavanja zemljišta, oslabila je biološka vrijednost podzemnih voda. Zagađena voda za piće u gradovima postala je izvor teških crijevnih oboljenja, da bi krajem XVIII vijeka, zbog nezadovoljavajućeg stepena komunalne higijene u Evropi, započela poznata era velikih razornih epidemija (pjegavi tifus, kuga, velike boginje, a početkom XIX vijeka i kolera).

Značajan impuls da se ubrza tempo zagađenja životne sredine dala je u XIX vijeku industrijalizacija. Zagađenje prirodne sredine zadobilo je novi karakter: ako je ranije ono bilo lokalno, sa razvojem industrije, zagađenje toksičnim materijama i različitim konačnim produktima zadobilo je zabrinjavajuće razmjere. Porast stepena industrijalizacije, razvoj novih

tehnoloških procesa i poboljšanje životnog standarda, izazvali su intenzivan rast industrijskih i komunalnih otpadnih materijala. Na taj način, problem sanitarnog i kontrolisanog deponovanja postaje prvorazredan, a kontrola otpadnih materijala - imperativ savremenog svijeta (38).

Atmosferske prašine u gradovima je stotinu puta više, iskorišćenih gasova od 5 do 25 puta više nego u selima. Zagađena atmosfera gradova apsorbuje oko 20% sunčeve svjetlosti, a pri niskim položajima sunca - više od 50%.

Republika Srpska je demografski heterogen prostor, jer skoro dvije trećine ili 63,3% stanovništva je koncentrisano u zapadnom dijelu, od Brčkog do Novog Grada i Ribnika, dok ostalo stanovništvo pripada istočnom dijelu, južno od Rače na Savi do Trebinja i juga istočne Hercegovine (39). Ovaj prostor karakteriše veoma neravnomjerna gustina naseljenosti (slika 13).



Slika 13. Prosječna gustina naseljenosti u Republici Srpskoj (40)

Prema procjeni za 2004. godinu, Republika Srpska je svrstana u gusto naseljene prostore (prema klasifikaciji - gusto naseljeni prostori imaju 51-100 st/km²). Međutim, prosječna gustina naseljenosti ovog prostora ne daje ni približno stvarnu sliku na terenu. Neki dijelovi Republike Srpske, pogotovo gradske sredine i veća naselja, u kotlinama i riječnim dolinama, imaju daleko veću prosječnu naseljenost od brdsko-planinskih i pograničnih međuentitetskih prostora. Mala gustina naseljenosti je karakteristična za najveći broj ruralnih sredina.

Promjene stepena koncentracije stanovništva na nivou opština, pokazale su da je proces polarizacije na zone koncentracije i zone emigracije i depopulacije sve izraženiji. Zone demografskog rasta vezane su za gravitacione sfere većih urbanih centara, a najveću demografsku ekspanziju ima urbani centar grad Banja Luka, zahvaljujući vodećim administrativnim, razvojnim i uslužnim funkcijama. Zone sličnih demografskih karakteristika formiraju se oko većih urbanih i razvojnih centara Republike Srpske kao što su: Prijedor, Doboj, Bijeljina i Trebinje.

U tabeli 4. su prikazane apsolutne vrijednosti porasta broja stanovnika u pojedinim centrima u Republici Srpskoj.

Tabela 4. Apsolutne vrijednosti porasta broja stanovnika u centrima u RS (39)

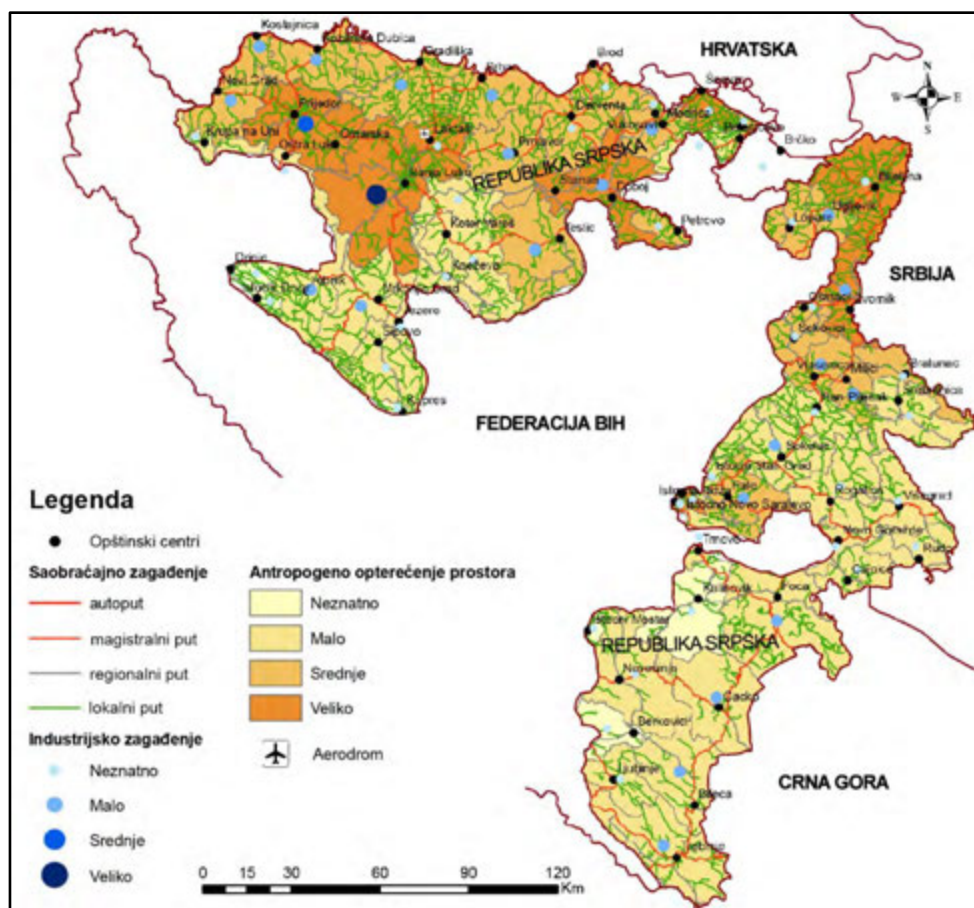
R. br.	Grad	Broj stan. 1981.	Broj stan. 2001. (procjena)	Apsolutni porast
1.	Banja Luka	124.000	178.000	54.000
2.	Bijeljina	31.000	60.000	29.000
3.	Prijedor	29.000	43.000	14.000
4.	Doboj	24.000	33.000	9.000
5.	Trebinje	17.000	28.000	11.000
6.	Derventa	14.000	21.000	7.000
7.	Gradiška	13.000	21.000	8.000
8.	Brod	13.000	17.000	4.000
9.	Zvornik	12.000	19.000	7.000
10.	Foča	12.000	17.000	5.000
11.	Novi Grad	12.000	16.000	4.000
12.	Kozarska Dubica	11.000	16.000	5.000
13.	Mrkonjić Grad	7.000	9.500	2.500
14.	Rogatica	6.500	9.000	2.500
15.	Višegrad	6.000	8.000	2.000

Podatke o vrijednostima porasta broja stanovnika treba uzeti sa rezervom, jer su ovo procijenjeni podaci iz 2004. godine i tek sa potpunim popisom stanovništva moći će se govoriti o tačnom broju stanovnika.

U sadašnjim okvirima RS, imajući u vidu prošlost ovog prostora, brži razvoj se usmjerava na relativno uske zone. U zapadnom dijelu to je šira zona Banja Luke, dijelovi dolina Sane i Une (od Novog Grada do Prijedora), dio doline Bosne (uz Doboj) i cijeli pojas uz Savu (sa zapada od Kozarske Dubice do Distrikta Brčko) i od Distrikta Brčko do Bijeljine i Drine. U istočnom dijelu, to su postojeća i nova zona Istočnog Sarajeva, dijelovi doline Drine i njenih pritoka (od Zvornika do Milića, kao i od Višegrada do Foče) i prostori niske Hercegovine (uz Trebinje). Brži privredni i socijalni razvoj se planira i za područje Semberije i Majevice, sa Bijeljinom kao svojim težištem.

Brzi razvoj i urbanizacija pomenutih centara dovela je do stvaranja određenih pritisaka na zemljište, a preko zemljišta i na površinske i podzemne vode. Najveći pritisak jeste nepostojanje sistema za prikupljanje i tretman otpadnih voda, te činjenica da se otpadne i atmosferske vode najčešće prihvataju mješovitim sistemom kanalizacije i najkraćim mogućim putem provode do najbližeg recipijenta. Od svih gradova u Republici Srpskoj, samo su u Trebinju i Bileći u funkciji postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Većina stanovništva je individualno rješavala pitanje konačne dispozicije otpadnih voda, na način da se otpadne vode sakupljaju u septičke jame, najčešće urađene tako da se njihov sadržaj procjeđuje u podzemlje i preliva u najbliži vodotok, čime se zagađuju resursi podzemnih i površinskih voda. Naselja koja zbog svoje veličine spadaju u kategoriju rasutih zagađivača, problem konačne dispozicije otpadnih voda danas rješavaju na neadekvatan način, najčešće direktnim ispuštanjem u vodotoke. Na slici 14 su prikazani neki izvori zagađenja nastali procesom urbanizacije.

Promjena stepena koncentracije stanovništva i urbanizacija dovela je i do značajnog povećanja komunalnog otpada, odnosno do nekontrolisanog odlaganja velikih količina otpada, koji takođe predstavljaju veliku opasnost za zemljište, izdani i životnu sredinu uopšte. Procjeđivanjem atmosferskih voda kroz tijelo odloženog otpada gradskih (regionalnih) deponija, nastaju procjedne vode koje bez odgovarajućeg nadzora, mogu uzrokovati značajno zagađenje zemljišta, odnosno podzemnih ili površinskih voda. Izgradnjom regionalnih deponija sa postrojenjima za reciklažu otpada i prečišćavanje procjednih voda, značajno će se smanjiti opterećenje zagađenja na zemljište, površinske, odnosno podzemne voda.



Slika 14. Izvori zagađenja nastali procesom urbanizacije (40)

Spiranjem opasnih materija sa saobraćajnica (ulja, nafta, curenje opasnih materija u akcidentnim situacijama), dolazi do infiltracije materija u zemljište, odnosno podzemne vode, što predstavlja značajan pritisak. Površinskom eksploatacijom ruda dolazi do značajne degradacije zemljišta i formiranja značajnijih rudarskih i industrijskih odlagališta. Sve ove pojave vidljive su u razvijenim industrijskim centrima.

U toku prethodnog rata i neposredno nakon prestanka rata, došlo je do velikih migracija stanovništva iz ratom porušenih dijelova teritorija u razvijenije gradske centre. Usled toga, došlo je do ubrzane izgradnje novih stambenih jedinica u gradovima, čime se i povećao stepen urbanizacije pojedinih gradova i regija. Samim tim, velike površine zemljišta su uništene i pretvorene u građevinsko zemljište. Postojeća infrastruktura u pojedinim

gradovima ne može izdržati opterećenja komunalnog i industrijskog otpada čime je direktno opterećeno zemljište i podzemna voda, a preko vode i ugroženo zdravlje ljudi. Takođe, veliki građevinski poduhvati (izgradnja auto-puta, saobraćajnica, tunela, hidroelektrana, termoelektrana, rudnika itd.) su značajni sa aspekta procesa urbanizacije Republike Srpske. Međutim, značajan je uticaj ovih projekata i na zagađenje životne sredine. Životna sredina (prije svega zemljište i podzemna voda) trpe velika opterećenja otpadnim vodama i pretjeranu emisiju zagađenja u vazduh, jer se svo zagađenje posle kiša i preko površinskih tokova ponovo vraća u zemljište i podzemne tokove (40).

17. UTICAJ POLJOPRIVREDE NA ZEMLJIŠTE

Zbog prisustva humina i glina, zemljište može da vezuje vrlo visoke koncentracije štetnih materija, odnosno elemenata. Sama raspodjela elemenata, iako nehomogena, određena je, u prvom redu, jonoizmenjivačkim osobinama zemljišta, zatim adsorpcionim svojstvima i prisustvom samostalnih jedinjenja pojedinih štetnih sastojaka. Transport štetnih materija kroz zemljište uglavnom vrši voda, djelimično vazdušne struje (vjetrovi), koje nanose sa sobom prašinu ili aerosole obogaćene tim materijama. Zemljište poseduje sposobnost biološkog samoprečišćavanja: u zemljištu dolazi do razlaganja palog otpada i njegove mineralizacije. Ukoliko zbog preopterećenosti zemljišta bude izgubljena ma koja od komponenata važna za odvijanje procesa mineralizacije, neizbežno dolazi do narušavanja mehanizma samoprečišćavanja i njegove potpune degradacije. I obrnuto, stvaranje optimalnih uslova za samoprečišćavanje zemljišta pogoduje očuvanju ekološke ravnoteže i uslova za egzistenciju svih živih organizama, uključujući čovjeka (24).

Ukupna površina BiH iznosi 5.112.900 ha, od kojih je 50% poljoprivredno zemljište (2,556,450 ha), a 48,3% je pokriveno šumama (2,628,000 ha). Površina ukupnog obradivog zemljišta u BiH iznosi 1,585,000 ha (ili 62% poljoprivrednog zemljišta): 765.000 ha u Federaciji BiH i 820.000 ha u Republici Srpskoj. Oranice zauzimaju 1,018,000 ha ili 19,9% ukupnog zemljišta, od kojeg je 478,000 ha ili 47% trenutno neobrađeno. U odnosu na broj stanovnika i kategoriju korištenja, po glavi stanovnika ima oko 0,23 ha vrtova i oranica, 0,36 ha ukupno obradivog i 0,59 ha ukupno poljoprivrednog (41).

Smanjenje obradivih poljoprivrednih površina usled miniranosti, zapuštenosti i neadekvatnog načina korištenja od strane čovjeka (urbanizacija, industrijalizacija, eksploatacija mineralnih sirovina, vodne akumulacije, erozija, klizišta i dr.), kao i pojava zagađenja zemljišta, značajno utiču na stanje zemljišnih resursa u BiH (12). Trenutno stanje načina korištenja zemljišta ukazuje na činjenicu da se samo manji procenat poljoprivrednog zemljišta obrađuje, od toga vrlo mali procenat se navodnjava, a uzimajući u obzir da su većina zemljišta u BiH niže pH reakcije i da je navodnjavanje nužna agrotehnička mjera (42), nameće se pitanje sa koliko kvalitetnih poljoprivrednih površina BiH raspolože.

Djelovanjem čovjeka, ubrzavaju se mnoge evolucione promjene zemljišta, pa je često ljudska aktivnost povezana sa negativnim uticajima prema zemljištu. Ovi uticaji su brojni i mogu se podijeliti na prijetnje

zemljištu usled: zagađivanja, degradacije i destrukcije (narušavanja), kao što je prikazano u tabeli 5.

Tabela 5. Vrste negativnih uticaja prema zemljištu

Zagađivanje	Degradacija	Destrukcija
Teški metali	Ispiranje CaCO_3	Površinski kopovi
Kisele kiše	Gubitak humusa	Odlaganje materijala
Pesticidi	Ispiranje gline	Vodne erozije
Radionukleidi	Površinska erozija	Naselja
Đubriva	Brazdasta erozija	Industrija
Industrijski otpad	Trošenje	Aerodromi
Komunalni otpad	Nepravilna obrada	Putevi
	Sabijenost zemljišta	Vodne akumulacije
	Zabarivanje	Igrališta
	Nestabilna struktura	

Svi ovi negativni uticaji su povezani. Tako na primjer, zakiseljavanje zemljišta dovodi do smanjenja organske materije i ispiranja baznih elemenata (Ca, Mg), a erozija zemljišta smanjuje biogenost i sl. Kada više negativnih uticaja djeluje istovremeno, njihov učinak se povećava, što na kraju, ako se ne spriječi može dovesti do trajne degradacije i gubitka zemljišta.

Neke od glavnih uzroka zagađenja zemljišta objasnićemo u daljnjem tekstu.

Uzroci zagađenja poljoprivrednog zemljišta i smanjenje proizvodne sposobnosti zemljišta

Glavni štetni procesi koji se odigravaju u poljoprivrednom zemljištu su: kvarenje strukture, antropogeno zbijanje zemljišta i kontaminacija zemljišta.

Struktura se kvari u najvećoj mjeri zbog gubitka humusa iz zemljišta, a posledica je smanjenog prometa organske materije, odnosno humusa kroz zemljište. Najbolji način za popravak strukture je unošenje organske materije u zemljište, pravilnom primjenom agrohemikalija, pojednostavljenim sistemom obrade i drugo.

Antropogeno zbijanje zemljišta je posljedica primjene teških mašina, priključnih oruđa i vozila pod teretom, težeg mehaničkog sastava i sklonih zbijanju i povezano je sa faktorima kvarenja strukture.

Kontaminacija zemljišta je dio opšteg zagađenja životne sredine. Osnovni zagađivači zemljišta su, u prvom redu, agrohemijske (đubriva i pesticidi). Od đubriva veliki problem su nitrati. Takođe, u zagađivače spadaju teški metali (hrom, bakar, živa, nikl, olovo, cink,), zatim radioaktivne materije, otpadne materije i riječni mulj, ako se na poljoprivrednim površinama primjenjuje više godina itd. Teški metali su sve prisutniji u poljoprivrednom zemljištu, pa samim tim i u poljoprivrednim proizvodima. Shodno tome je neophodno poštovati granične vrijednosti njihove prisutnosti uz zakonske sankcije za prekršioce (43).

Kada je riječ o zagađenju zemljišta, probleme ne treba rješavati nego spriječiti njihovu pojavu. Zagađivača zemljišta je mnogo, dolaze sa raznih strana, ne raspoređuju se ujednačeno, što sve zajedno otežava sagledavanje stepena kvalitativnog i kvantitativnog nivoa zagađenja i predlog mjera za njegove popravke (44).

Glavni zagađivači zemljišta su: mineralna đubriva (naročito azotna), organska đubriva, nitrati u biljkama, teški metali, kanalizacioni mulj, gradsko smeće, sredstva za zaštitu biljaka (herbicidi, fungicidi, insekticidi, rodenticidi). Sve su ovo potencijalni zagađivači, jer se većim dijelom mogu držati pod kontrolom.

Od svih elemenata ishrane biljaka, najveće probleme životnoj sredini stvara azot, odnosno **azotna đubriva**, koja se od svih mineralnih đubriva koriste u najvećoj količini. Međutim, ako se poštuju principi sistema kontrole plodnosti zemljišta i upotrebe mineralnih đubriva, kontaminacija zemljišta ovim đubrivima se može vidno smanjiti, pa čak i suzbiti. Zato treba kontrolisano primjenjivati kako mineralna tako i druga đubriva. Pretjerana upotreba azota dovodi do nakupljanja nitrata u zemljištu i vodi, što izaziva niz ekoloških problema i ugrožava zdravlje ljudi i životinja. Najveći problem koji je vezan za mineralna đubriva je ispiranje NO_3 u podzemnu vodu, koja svojim i površinskim tokovima zagađuje prostore, često vrlo udaljene od područja upotrebe đubriva.

Uloga **organskih đubriva** je prevashodno u poboljšanju fizičkih, hemijskih i bioloških svojstava zemljišta. Od organskih đubriva koja su u širokoj primjeni, najvažniji je stajnjak (čvrsti i tečni). Pretjerana upotreba stajnjaka uslovljava suvišnu akumulaciju hranjivih materija u zemljištu, utiče na umanjeње prinosa, remeti ravnotežu između pojedinih hranjivih

materija u zemljištu, povećava ispiranje rastvorljivih oblika hranjivih materija itd. Sa druge strane, pravilna upotreba stajnjaka, bilo da se radi o čvrstom ili tečnom, podrazumeva utvrđivanje njegove hranjive vrijednosti i potrebne doze za postizanje najveće ekonomske koristi od njegove primjene i najmanjeg zagađenja za zemljište, podzemne vode i okolinu.

Nitrati u biljkama su zapravo posledica prekomjernog i nekontrolisanog unošenja azotnih mineralnih đubriva i velikih količina stajnjaka. Najveći dio nitrata (oko 70%) koji dopijeva u ljudski organizam potiče iz povrća, dok znatno manji (oko 20%) potiče iz vode za piće. Po zdravlje čoveka, veću opasnost čine nitriti, jer oni veoma brzo reaguju sa hemoglobinom, pri čemu nastaje methemoglobin koji ne vezuje i ne prenosi kiseonik. Najbolja "mjera" za suzbijanje kontaminacije zemljišta, vode i biljaka azotom je rigorozna upotreba, uz obaveznu kontrolu proizvodne sposobnosti zemljišta i praćenje njegovog kretanja u zemljištu. U tom slučaju je azot slab uzrok kontaminacije.

Teški metali kontaminiraju zemljište i njihovo prisustvo u lancu ishrane je mnogo opasnije od prisustva azota. Mada, u većini poljoprivrednih zemljišta nivo teških metala još uvek nije tako visok da prouzrokuje akutne probleme toksičnosti, u pojedinim regionima njihovo povećano prisustvo se češće odražavalo kroz masovnija trovanja populacija. Najveću brigu čovjeku zadaju Cd, Pb, Cu, Zn, Hg, a u određenim slučajevima i neki manje značajni elementi mogu da budu priličan problem, kao na primjer As, Ni, Fe, F, Sb, St, itd. Neka mineralna đubriva sadrže u sebi u manjoj ili većoj mjeri izvjesne mikroelemente, ali i teške metale, s tim što su teški metali najviše zastupljeni u fosfornim đubrivima sa najvećim sadržajem Cd i Pb. Teški metali se unose u poljoprivredno zemljište na neki od sledećih načina:

- hemijskim zaštitnim sredstvima;
- primjenom đubriva;
- navodnjavanjem otpadnim vodama (industrijske, kanalizacione i vode sa stočarskih farmi);
- emisijom iz vazduha.

Kontaminacioni mulj podrazumeva sve vrste taloga i mulja koji se dobijaju prilikom prečišćavanja otpadnih voda industrije i gradova u kanalima, taložnicima i šahtovima. U sebi sadrži, u zavisnosti od porijekla, i znatne količine teških metala koji izazivaju zagađenje zemljišta i biljaka. U sebi može da sadrži i određene patogene, što upućuje na to da je potrebno kontrolisati upotrebu kontaminacionog mulja u biljnoj proizvodnji. Zbog

toga je razrađen metod za sušenje mulja, “kompostiranje mulja“, koji se smatra melioracionim sredstvom za poboljšanje fizičkih svojstava zemljišta.

Gradsko smeće se može koristiti kao đubrivo u biljnoj proizvodnji, ali s obzirom da u sebi sadrži velike količine teških metala, njegova upotreba u poljoprivredi je ograničena. Deponije gradskog smeća su ozbiljni zagađivači životne sredine, a takođe i “divlje deponije“ oko naseljenih mjesta.

Sredstva za zaštitu biljaka (herbicidi, fungicidi, insekticidi, rodenticidi), kada se upotrebljavaju u propisanim dozama, rjetko pokazuju toksičnost. Međutim, prilikom njihove zloupotrebe, odnosno primjene velikih doza vodeći se zabludom da će njihova primjena biti efikasnija, dolazi do kontaminacije zemljišta u dužem trajanju i sa čestim štetama na usjevima koji se gaje. Intenzivna proizvodnja hrane zahtjeva da se biljke štite od niza štetočina, bolesti i korova. Zbog toga se danas korištenje poljoprivrednog zemljišta gotovo ne može zamisliti bez upotrebe pesticida (insekticidi, fungicidi, herbicidi i sl.), sastojaka toksičnih čak i u malim dozama (ispitivanja su pokazala kancerogene efekte i kod pojedinih vrsta pesticida). Zagađivanje životnih namirnica pesticidima predstavlja vrlo prisutan problem. U literaturi je opisano blizu tri hiljade slučajeva neprofesionalnog trovanja nastalih posle upotrebe biljaka obrađenih organohlornim i organofosfornim preparatima, kao i onima na bazi arsena i žive. Među preparatima na bazi žive, namjenjenim zaštiti sjemena, široko je primjenjen fungicid. Ovim pesticidom, krajem 1971. i početkom 1972., izazvano je trovanje velikih razmjera u Iraku, kada je otrovano 6.530, a umrlo 459 osoba. Klinička slika ovog trovanja, izazvanog sjemenskom pšenicom zaštićenom organoživinim fungicidom, uvezenom iz Meksika, karakterisala se sledećim simptomima: parestezija, ataksija, sniženje koordinacije, narušavanje vida sve do sljepila, dizartrija, narušavanje sluha. Slično masovno trovanje odigralo se na državnoj farmi u Gani, maja 1967. godine. Ispitivanja su pokazala da najtoksičnija i najopasnija ekološka svojstva među pesticidima imaju takvi poznati otrovi kakav je DDT, tifios i drugi organohlorni pesticidi. Insekticidna svojstva DDT otkrivena su pred Drugi svetski rat, pa je od tada za sljedeće dvije decenije na poljima, u šumama (čak i u stambenim prostorijama), širom svijeta bila iskorištena kolosalna količina (oko 4,5 miliona tona) ovog veoma toksičnog jedinjenja. Kako posjeduje izvanrednu postojanost i nevjerovatnu migracionu sposobnost, DDT je konstatovan na velikim prostorima biosfere, u organizmima pingvina na Antarktiku, zatim bajkalskih tuljana, čak i u majčinom mlijeku. Poznata je osobina DDT da se akumulira u organizmu čovjeka u masnom tkivu, gdje djeluje kao kancerogeni agens.

U procesu hemizacije poljoprivrede, široku primjenu zadobili su herbicidi, pa im se proizvodnja značajno povećala u čitavom svijetu.

Mjere zaštite zemljišta

Mjere koje treba sprovesti u cilju zaštite zemljišta su:

- sprečavanje ili u krajnjem, svođenje na najmanju moguću mjeru korišćenje zemljišta u nepoljoprivredne svrhe;
- primjena tehnologije koja ne utiče na degradaciju zemljišta;
- sprečavanje gubitaka plodnog zemljišta izgradnjom akumulacija, bazena, naselja i industrijskih objekata;
- sprečavanje zagađenja zemljišta teškim metalima;
- zabrana odlaganja otpadnog materijala, muljeva, voda na plodnim zemljištima;
- u intenzivnoj biljnoj proizvodnji zaštititi zemljište od uticaja visoke tehnologije - teške mehanizacije (zbijanje zemljišta i pogoršavanje fizičkih osobina zemljišta), hemizacije (zagađenje zemljišta hemikalijama, pesticidima i mineralnim đubrivima i dr.);
- kontrolisati plodnost zemljišta i upotrebu đubriva u svrhu kontrole ekoloških faktora u biljnoj proizvodnji, odnosno za zaštitu zemljišta, vode, biljaka, ljudske i životinjske hrane od zagađenja i dr.

18. UTICAJ INDUSTRIJE NA ZEMLJIŠTE

Značajan impuls da se ubrza tempo zagađenja životne sredine dala je u XIX vijeku industrijalizacija. Na samom početku ovog perioda, zagađenje zemljišta je bilo lokalno. Sa razvojem industrije, zagađenje toksičnim materijama i drugim produktima zadobilo je zabrinjavajuće razmjere. Porast stepena industrijalizacije, razvoj novih tehnoloških procesa i poboljšanje životnog standarda, izazvali su intenzivan rast industrijskih i komunalnih otpadnih materijala. Na taj način, problem sanitarnog i kontrolisanog deponovanja postaje prvorazredan, a kontrola otpadnih materijala - imperativ savremenog svijeta.

Atmosferske prašine u gradovima je stotinu puta više, iskorištenih gasova od 5 do 25 puta više, nego u selima. Zagađena atmosfera gradova apsorbuje oko 20% sunčeve svjetlosti, pri niskim položajima sunca - više od 50% (38).

Industrija spada u jedan od značajnijih izvora zagađenja zemljišta. Prema fizičkim i prostornim karakteristikama, industrija spada u tačkaste izvore zagađenja. Industrija zagađuje zemljište direktno zagađujućim toksičnim materijama i posredno taloženjem polutanata iz vazduha. Zagađujuće materije kontaminiraju zemljište, a preko zemljišta prodiru dublje u slojeve i zagađuju podzemne vode. Iz zemljišta biljke apsorbuju zagađenje i tako ono ulazi u lanac ishrane svih živih organizama i životinja, sve do čovjeka.

Zagađenje izaziva pad pH vrijednosti što izaziva promjene u zemljištu sa negativnim posledicama. Jedan od primjera je sniženje pH vrijednosti zemljišta izazvano padanjem kiselih kiša. Mjerenja pH vrijednosti iznad industrijskih regija pokazuju da su kiše znatno kiselije nego u ruralnim sredinama.

Teški metali se u zemljištu uglavnom zadržavaju u površinskom, organskom dijelu, koji je bitan za produktivnost ekosistema. Stepenn zagađenja zemljišta zavisi od više faktora, a najznačajniji su: kiselost, količina i karakteristike organskih materija u pogledu kapaciteta kompleksovanja metala sa glinom i drugim neorganskim materijama. Značajan izvor zagađenja zemljišta su prašina i pepeo termoelektrana i proizvodnja cementa, jer se zagađuju površine u njihovoj blizini. Takođe, emisija aerosola i gasova iz hemijske industrije, topionica metala, termoelektrana, toplana zagađuju zemljište u blizini emitera (mokro i suvo taloženje u zemljište).

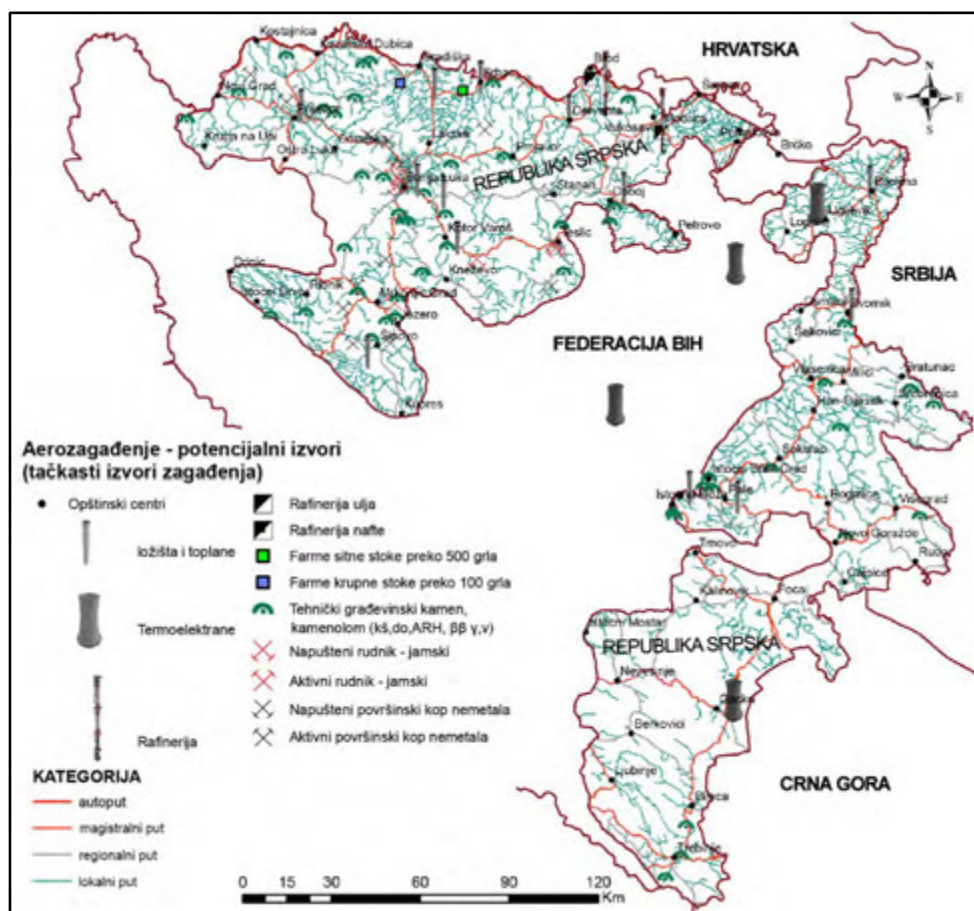
Udio industrije u bruto domaćem proizvodu u Republici Srpskoj od svega 8,63% je nizak, jer su proizvodni fondovi obezvrjeđeni, a zbog nedovoljne investicione aktivnosti u prethodnom periodu, očekivani pomaci u ekonomskom rastu su izostali. To posebno ima odraza na strukturu naše industrije, gdje preovladavaju kapitalno intenzivne grane visoko zavisne od investicija, što ima nedovoljne efekte u investicionom ambijentu u kome se nalazi Republika Srpska (39).

Republika Srpska raspolaže značajnim kapacitetima iz oblasti preradivačko-prehrambene industrije. Prehrambena industrija je izuzetno važna za Republiku Srpsku i u ukupnoj industriji u 2011. godini učestvuje sa 17,3% (45), a u ukupnoj zaposlenosti sa 4,0%. Najveće učešće u ukupnom izvozu prehrambenih proizvoda, pića i duvana, ima izvoz mliječnih proizvoda i jaja (25,5%), zatim izvoz povrća i voća (23,2%) i izvoz žitarica (20,8%). Učešće uvoza prehrambenih proizvoda, pića i duvana u ukupnom uvozu Republike Srpske u 2011. godini iznosi 15,7%.

Period od završetka rata u BiH i početka privatizacije u oba entiteta, u metalnom i elektro sektoru karakterisali su vrlo teški uslovi za pokretanje proizvodnje i osvajanje tržišta. Za budućnost razvoja metalnog i elektro sektora Republike Srpske, poseban značaj ima činjenica direktnog stranog ulaganja. Nakon potpisivanja ugovora o privatizaciji u navedenim kompanijama, realizovana su značajna ulaganja u stvaranju uslova za pokretanje integralne proizvodnje.

Industrijska proizvodnja doprinosi zagađenju životne sredine, prije svega zemljišta, vode i vazduha iz više razloga, od kojih se izdvajaju sledeći: tehnološki procesi su zastarjeli, malo se koriste sekundarne sirovine, energetska efikasnost je niska, postoji velika količina zatečenog i nezbrinutog otpada, kao i opasnog otpada, tehnološka disciplina je slaba, ne postoje stimulativne mjere koje bi dovele do smanjenja zagađenja, velika je količina otpada po jedinici proizvoda i ne postupa se na odgovarajući način sa industrijskim otpadom.

Na narednoj slici su prikazani samo neki značajniji izvori aerozagađenja na prostoru Republike Srpske. Polutanti nastali iz ovih emitera se ispuštaju u vazduh, a zatim se preko kiša i otpadnih voda vraćaju u površinske tokove, a preko njih direktno ili indirektno u zemljište i podzemne vode.



Slika 15. Potencijalni izvori aerozagađenja u Republici Srpskoj(40)

Slabo recikliranje i korištenje alternativne energije iz otpada predstavlja veliki ekonomski gubitak na svim nivoima. Implementira se tek nekoliko izolovanih pilot projekata za reciklažu, koji nisu bili efikasni po pitanju izgradnje svijesti kod ljudi. Otpadni gasovi se ne prečišćavaju ili je niska efikasnost postojećih uređaja za prečišćavanje, te nema potsticajnih mjera za smanjenje emisije. Velika količina otpadnih voda iz industrijskih postrojenja, koje sadrže organske i opasne materije ispuštaju se, uz tek nekoliko izuzetaka, u najbliže riječne tokove i deponuju na zemljištu, uz malo ili nimalo prečišćavanja (40).

Nerješeni problem nasljeđivanja odgovornosti za štetu pričinjenu životnoj sredini predstavlja značajan rizik za ozbiljne investitore, što može rezultovati njihovom nezainteresovanošću za ulaganja. Razvoj čistijih tehnologija, povećanje energetske efikasnosti i korišćenje obnovljivih izvora

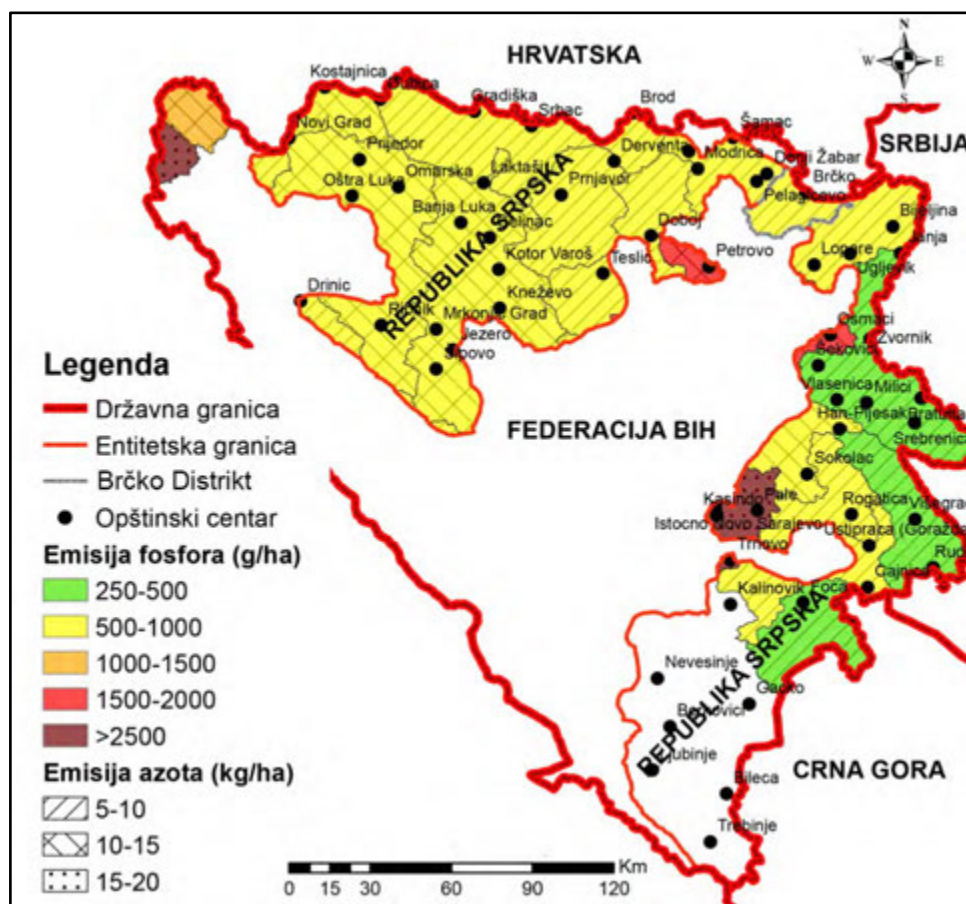
energije, svakako će uticati na smanjenje zagađenja zemljišta, tj. životne sredine uopšte.

Na slici 15 su prikazana samo neka od mjesta koja predstavljaju određeni pritisak na zemljište i životnu sredinu. Kao značajne emitere zagađenja, možemo definisati: rafinerije nafte i ulja, toplane i termoelektrane, magistralne i regionalne puteve, pruge, eksploatacije mineralnih sirovina, farme i sl. Sva zagađenja direktno ili indirektno dopijevaju u zemljište.

U sadašnjim okvirima Republike Srpske, imajući u vidu prošlost ovog prostora, brži razvoj se usmjerava na relativno uske zone. U zapadnom dijelu, to je šira zona Banja Luke, dijelovi dolina Sane i Une (od Novog Grada do Prijedora), dio doline Bosne (uz Doboj) i cijeli pojas uz Savu (sa zapada od Kozarske Dubice do Distrikta Brčko) i od Distrikta Brčko do Bijeljine i Drine. U istočnom dijelu, to su postojeća i nova zona Istočnog Sarajeva, dijelovi doline Drine i njenih pritoka (od Zvornika do Milića, kao i od Višegrada do Foče) i prostori niske Hercegovine (uz Trebinje). Brži privredni i socijalni razvoj se planira i za područje Semberije i Majevice, sa Bijeljinom kao svojim težištem.

Površinskom eksploatacijom ruda dolazi do značajne degradacije zemljišta i formiranja značajnijih rudarskih i industrijskih odlagališta. Sve ove pojave vidljive su u razvijenim industrijskim centrima.

U toku prethodnog rata i neposredno nakon prestanka rata, došlo je do velikih migracija stanovništva iz ratom porušenih dijelova teritorija u razvijenije gradske centre. Samim tim, došlo je do ubrzane izgradnje novih stambenih jedinica u gradovima, čime se i povećao stepen urbanizacije pojedinih gradova i regija. Time su velike površine zemljišta uništene i pretvorene u građevinsko zemljište. Postojeća infrastruktura u pojedinim gradovima ne može izdržati opterećenja komunalnog i industrijskog otpada, čime je direktno opterećeno zemljište i podzemna voda, a samim tim i ugroženo zdravlje ljudi. Takođe, veliki građevinski poduhvati (izgradnja auto-puta, saobraćajnica, tunela, hidroelektrana, termoelektrana, rudnika itd.) su značajni sa aspekta procesa razvoja industrije u Republici Srpskoj. Međutim, značajan je uticaj ovih projekata i na zagađenje životne sredine. Životna sredina (prije svega zemljište i podzemna voda) trpe velika opterećenja otpadnim vodama i pretjeranu emisiju zagađenja u vazduh (slika 16), jer se zagađenje posle kiša i preko površinskih tokova ponovo vraća u zemljište i podzemne tokove (40).



Slika 16. Emisija zagađenja vazduha na prostoru Republike Srpske (40)

19. UTICAJ NAVODNJAVANJA NA ZEMLJIŠTE

Navodnjavanje zemljišta ima za cilj nadoknaditi nedostatak vode koja se javlja u poljoprivrednoj proizvodnji, odnosno, dodatno vlažiti poljoprivredne kulture u pogodnom trenutku razvoja biljke. Navodnjavanje omogućava i bolje iskorištenje zemljišta, a pritom se kompenzuju negativni učinci smanjenja prihrane hemijskim sredstvima, te omogućava proizvodnja "zdrave hrane" (46).

Voda utiče na fizičke, hemijske i biološke procese koji se dešavaju u zemljištu. Na plodnost i strukturu zemljišta najveći uticaj ima pravilno navodnjavanje, dok nepravilno navodnjavanje kvari strukturu zemljišta. Navodnjavanje uslovljava raspadanje grudvica u gornjem sloju zemljišta, što dovodi do formiranja površinske pokorice, koja smanjuje poroznost zemljišta i vazdušni režim. Da bi se ovo izbjeglo, preporučuje se zalivanje brazdama, kapanjem, podzemno zalivanje i kišenje sa malim intenzitetom i malom veličinom kapi, dok se ne preporučuje zalivanje plavljenjem i prelivanjem, jer razaraju strukturu zemljišta na cijeloj površini. Kako se ne bi pogoršala struktura zemljišta, najbolje je unositi organsko đubrivo i uzgajati različite vrste trava. Tokom navodnjavanja, voda ulazi u zemljište i distribuira se unutar zemljišta gravitacijom i kapilarnim silama zemljišta. Kada se sav prostor pora napuni vodom, zemljište je zasićeno. U ovim uslovima, dominiraju gravitacione sile. Voda otiče na dole kroz zemljište, budući da je energija koja je potrebna da se jedinica vode ukloni iz zasićenog zemljišta mala. Oticanje je u početku brzo, ali kod većine zemljišta ono pada na vrlo nisku stopu posle 1-2 dana. Oticanje inicijalno uklanja vodu iz najvećih pora, tamo gdje se ona najslabije drži. Kako voda otiče, u ovim porama se stvara vazdušni prostor. Voda koja ostaje je nešto bliža površini čestica zemljišta i dovoljno se čvrsto drži da spriječi brzo oticanje pod uticajem gravitacije. Ovo stanje vode, kada se mjeri na terenu, zove se poljski vodni kapacitet (PVK).

Tokom usvajanja od strane biljaka, voda nestaje prvo iz pora srednje veličine. Sa sušenjem zemljišta, male pore poslednje gube vodu. U procesu usvajanja vode, vodeni film na česticama zemljišta postepeno postaje tanji, tako da je potrebna još veća energija da se ukloni svaki sledeći sloj vode. Na početku, promjena zahtjevanje energije je mala i ima malo uticaja na biljku. Kod terena sa većim nagibom treba biti oprezan pri navodnjavanju, jer može doći do pojave erozije. Kod terena pod nagibom i sa velikim brzinama vode može doći do erozije, koja izaziva veliku štetu u poljoprivredi. Erozija se javlja kod zalivanja kišenjem velikog intenziteta i trajanja, kao i kod

površinsko-gravitacionih načina zalivanja. Navodnjavanje dovodi do razmekšanja zemljišta, što olakšava njegovu obradivost i probijanje korjenovog sistema. Navodnjavanje treba vršiti sa strogo normiranim količinama kako ne bi došlo do viška vode. Ukoliko se javi višak vode od navodnjavanja, u zemljištu može doći do površinskog oticaja vode ili do infiltracije vode u dublje slojeve zemljišta, što kasnije može dovesti do zabarivanja terena. Usled intenzivnijeg navodnjavanja, sa vodom se odnose hranljive materije iz zemljišta i to kasnije može dovesti do zasoljavanja zemljišta. Kao mjera zaštite od zasoljavanja, koristi se povremeno ispiranje terena i nije preporučljivo koristiti mineralizovanu vodu pri navodnjavanju. Ipak, najpouzdanija mjera protiv zasoljavanja je izgradnja drenaža. Navodnjavanjem dolazi do porasta toplotnog kapaciteta zemljišta. Zato su vlažna zemljišta ljeti hladnija, dok su zimi toplija od suvih zemljišta. Navodnjavanje utiče na povećanje brojnosti mikroorganizama u zemljištu, a samim tim i na mikrobiološku aktivnost zemljišta (47). Navodnjavanje ima pozitivan uticaj na mikrobiološke procese u zemljištu, koji se ispoljava u intenzivnijem dejstvu anaerobnih mikroorganizama, čime se usporava mineralizacija organskih ostataka i usmjerava na stvaranje humusa i aktiviranja procesa nitrifikacije.

Primjenom navodnjavanja u poljoprivrednoj proizvodnji, utiče se na mikroklimu, kao i na fizičke, hemijske, biohemijske i biološke procese u zemljištu. Pod uticajem navodnjavanja, u domenu fizičkih i hemijskih osobina zemljišta, dolazi do promjena u vlažnosti zemljišta, temperature, toplotnog kapaciteta, mehaničkog sastava, poroznosti, strukture, vodopropustnosti, vodoodrživosti, visini nivoa podzemne vode i njene mineralizacije.

Navodnjavanjem dolazi do porasta toplotnog kapaciteta zemljišta. Toplotni kapacitet suvog zemljišta je manji nego kod vode, zato je u toplom periodu voda za navodnjavanje obično hladnija, a u rano proljeće i kasnu jesen toplija i od vazduha i od zemljišta. Vlažno zemljište u toku dana upije više toplote nego suvo, a u toku noći izrači manje toplote usljed vlažnog prizemnog sloja vazduha. Stoga je u letnjem periodu vlažno zemljište obično hladnije, a u hladnijim periodima godine toplije i suvlje. Pri vlaženju glinovitog zemljišta, sila sljepljivanja njegovih čestica i tvrdoća postaju manji, pa ova zemljišta zbog toga postaju mekša, nasuprot pojavi kod pjeskovitih zemljišta, koja postaju vezanija i tvrda prilikom vlaženja. Kod glinovitog zemljišta, kada se vlaži površinskim navodnjavanjem, potapanjem i prelivanjem, dolazi do pojave raspadanja njegovih strukturnih agregata. Posle prosušivanja, na njegovoj površini pojavljuje se pokorica koju je potrebno razbiti sa odgovarajućom obradom zemljišta.

Ukoliko se voda za navodnjavanje koristi iz površinskih izvora, voda može da sadrži nanos, koji se može taložiti na površini zemljišta ili se vodom može nanositi u dublje slojeve zemljišta, usljed čega dolazi do promijene mehaničkog sastava zemljišta.

Voda za navodnjavanje sadrži rastvorena mineralna i organska jedinjenja. Veći sadržaj minerala imaju podzemne vode, dok su površinske vode obično slabo mineralizovane. Ukoliko nema podzemnog oticaja vode, obilna navodnjavanja dovode do podizanja nivoa podzemne vode, koja može da prouzrokuje zabarivanje navodnjavanog zemljišta. Ukoliko je u takvim prilikama podzemna voda jače mineralizovana i sadrži štetne soli, to se kao posledica intenzivnog isparavanja vode, soli talože u površinskom sloju zemljišta, pri čemu se obrazuje zasoljeno zemljište (18).

20. UTICAJ SJEČE ŠUMA NA ZEMLJIŠTE

Šume su biološki sistemi, ali sa ekonomske tačke gledišta, možemo ih posmatrati kao kapital ili fond, koji ljudima može da donosi prinos. Međutim, to ne opravdava nekontrolisanu eksploataciju i uništavanje šumskih površina. Šume mogu značajno da doprinesu stabilizaciji CO₂ u atmosferi, te i smanjenju globalnog zagrijavanja i zagađivanja štetnim materijama. Međutim, to nikako ne znači da je to trajno stanje koje će tako trajati zauvijek (18).

Šume svojim sklopom i građom povoljno utiču na vodni režim zemljišta, sprečavaju eroziju zemljišta, čak i ekscesne vidove erozije kakve su pojave klizišta i odrona. Na ovaj način šume sprečavaju ili umanjuju pojave poplava i njihove štetne posledice. Uticaj šuma na vodni režim ogleda se u većoj akumulaciji i stvaranju rezervi vode i njenom sporijem oticanju. Šume krošnjama drveća utiču na postupno dospijevanje kiše na tlo, a šumska prostirka (lišće, iglice, grančice i sl.) ponaša se kao spužva, akumulirajući dospjele količine vode i postepeno je otpuštajući u podzemlje, smanjujući njeno površinsko oticanje. Šuma korijenovim sistemima, naročito šumsko drveće, povećava poroznost zemljišta i kapacitet za upijanje vode. Uz ovo, podzemne šupljine nastale odumiranjem korjenja, kao i radom brojnih vrsta pedofaune, povećavaju poroznost zemljišta. Veća poroznost zemljišta pod šumama utiče na to da šumska zemljišta mogu primiti veću količinu vode i da je njeno upijanje mnogo brže nego na poljoprivrednim površinama, čak i u odnosu na oranice. S tim u vezi je manje površinsko oticanje vode sa šumskih zemljišta, nego s otvorenih terena. Veoma velika površinska oticanja vode u brdsko-planinskim područjima uzrokuju često stvaranje bujica (48).

Jedan od glavnih problema sa kojima se susrećemo danas je deforestacija. Deforestacija je sječenje šuma da bi se dobilo zemljište za neku drugu namjenu, najčešće za poljoprivrednu proizvodnju ili za izgradnju puteva. Krčenje šuma je jedan od glavnih uzroka pojačanog efekta staklene bašte, dolazi do povećanja koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi, čime se značajno utiče na klimatske promjene, a samim tim i na zemljište. Remeti se i uništava stanište mnogih vrsta biljaka, čime se narušava struktura zemljišta, što direktno ima negativne posledice na vodni režim i zemljište (18). Krčenje šuma se najviše događa u slabo razvijenim državama, sa mnogo šuma i prašuma, gdje se šume krče kako bi se ostvarila zarada na prodaji drveta, te se na taj način dobijaju nove poljoprivredne površine.

Slične negativne posljedice imaju i gole sječe šumskih područja degradiranih izdanačkih šuma i šikara kod primjene tzv. direktne konverzije. Postojeća šumska vegetacija u potpunosti se uklanja, a na njeno mjesto se sade skoro isključivo četinarske vrste drveća. Ovako obešumljeni tereni kraće ili duže vrijeme izloženi su poremećaju vodnog režima zemljišta, vodoizvorišta i vodotokova, a često i erozionim procesima. I raširena pojava bespravnih sječa, kojom se često prekida ili narušava sklop šumskih područja, ima negativne posljedice po vodni režim i zemljište (48).

Brdovit teren i relativno velika količina padavina u BiH znači da je preveliki dio države izložen vodenoj eroziji, posebno centralni i južni dijelovi, gdje godišnja količina padavina dostiže i do 2000 mm. Budući da su u BiH više od 80% tereni sa nagibom većim od 13%, erozija izazvana vodom je značajan problem, posebno kada dođe do uklanjanja zemljišnog pokrivača zbog nekontrolisane eksploatacije drveta (49).

Najbolji stabilizator zemljišta i najefikasniji način za zaštitu zemljišta od erozije je šumska vegetacija, čak i kod ekscesnih erozionih procesa, kakve su pojave klizišta i odroni zemljišta. I kod tehničkih mjera njihove sanacije često su potrebne biomeliorativne mjere, tj. sadnja odgovarajućih vrsta dendroflora. U sprečavanju eolske erozije uloga šuma je velika. Eolska erozija naročito je izražena na obešumljenim visokoplaninskim područjima i u ravničarskim predjelima, u kojima je razvijena poljoprivredna proizvodnja.

Zato politika održivog upravljanja šumama i jeste od izuzetne važnosti - biomasa koja se nakupljala godinama ostaće i dalje dostupna za korištenje, ako ostane sačuvana. Principi upravljanja komercijalnim šumama često mogu biti u suprotnosti sa ekološkim ciljevima, što je dovelo do ozbiljnih problema gubitka šuma i biodiverziteta širom svijeta (50).

21. REKULTIVACIJA I REMEDIJACIJA ZEMLJIŠTA

Procesi rekultivacije su uobičajeni postupci vraćanja zemljišta prvobitnoj ili drugoj namjeni, nakon antropogenih procesa, koji su doveli do njegove degradacije, a u nastavku teksta se daje osnovni prikaz rekultivacije zemljišta.

21.1. Injektiranje u cilju poboljšanja geotehničkih karakteristika tla

Metode i tehnike injektiranja, odnosno poboljšanja fizičko-mehaničkih karakteristika tla intenzivnije su se počele razvijati početkom 19. vijeka, kada je francuski inženjer Charles Berigny (1802. godine), izvršio zaštitu riječnog nanosa iza drvenog zagata od erozije u luci Diéppe primjenom glinene suspenzije sa dodatkom kreča i korištenjem udarne pumpe krajnje jednostavne konstrukcije.

U 20. vijeku injektiranje doživljava ekspanziju, kako u metodološkom i tehničkom smislu, tako i u području ozbiljnijeg izučavanja parametara važnih za uslove izvođenja. Postepeno injektiranje nalazi sve širu primjenu pri izvođenju rudarskih okana, brana i pri fundiranju različitih objekata u slabije nosivim aluvijalnim sedimentima.

Na našim prostorima, injektiranje je prvi put primjenjeno pri građenju brane Grošnica na rijeci Grošnici kod Kragujevca. U fazi istraživanja je postojala ozbiljna dilema o mogućnostima izgradnje gravitacione brane na tektonski oštećenim jurskim flišolikim sedimentima. Po savjetu švajcarskog inženjera i profesora, dobro poznatog svima koji se bave injektiranjem na bilo koji način, M. Lugeona, izvršeno je injektiranje podloge i brana je uspješno završena 1939. godine. Šta više, u periodu 1962.-1965. brana je nadvišena, pri čemu je izvedeno i dodatno zaptivno injektiranje (55).

21.1.1. Osnovni pojmovi

Injektiranje (lat. *iniectare*, iterativ od *inicere*: uvesti unutra) je kontrolisano ubrizgavanje materijala (injekcione mase), obično u tečnom stanju, u tlo ili stijenu u cilju poboljšanja fizičko-mehaničkih karakteristika tla.

Razlozi primjene injektiranja uglavnom su:

- smanjenje vodopropusnosti;
- izvođenje vodonepropusnih barijera;
- povećanje čvrstoće, krutosti i nosivosti tla;
- očvršćavanje tla radi njegovog sigurnijeg iskopa;
- povećanje gustine;
- popunjavanje prirodnih šupljina;
- popunjavanje šupljina nastalih zbog djelovanja čovjeka;
- popunjavanje šupljina u blizini objekata u izgradnji;
- kompenzacija gubitka tla nastalog zbog radova.

Procjena mogućnosti injektiranja odnosi se uglavnom na sposobnost pora ili pukotina da budu zasićeni različitim vrstama injekcijskih smjesa.

Pore ili pukotine u stijenskim masama su najvažniji činilac od uticaja na deformabilnost, čvrstoću i vodopropusnost stijenskih masa. Osnovni ciljevi injektiranja se mogu postići njihovim ispunjavanjem masama odgovarajućih svojstava tzv. injekcionim masama.

U toku utiskivanja u pore ili pukotine, injekcione mase moraju imati svojstva fluida, a nakon toga one po određenom mehanizmu uslovljenom njihovim sastavom, prelaze u čvrsto stanje. Zavisno od svojstava očvrсле injekcione mase i stepena popunjenosti pora, injektirana stijenska masa zadobija bolja mehanička svojstva i/ili, manju vodopropusnost.

U tom smislu, prije planiranja programa injektiranja, mora se sprovesti detaljno ispitivanje svojstava tla ili stijene koja se injektira. Ispitivanja treba da se sprovedu zbog toga što svako tlo zahtijeva različite pristupe injektiranju.

Ispunjavanje pora injekcionom masom obavlja se posredstvom injekcionih bušotina i to sukcesivnim injektiranjem izolovanih dijelova - etaža, formiranih pomoću pakera. To su posebni elementi opreme za injektiranje, čijoj se konstrukciji i funkcionalnosti, s obzirom na svrhu, poklanja izuzetna pažnja (slika 17).



Slika 17. Šema osnovnih elemenata injektiranja (55)

Utiskivanje injektione mase u pore ili pukotine stijenske mase se vrši uz pomoć specijalne pumpe - injektora. Da bi se savladali otpori pri kretanju injektione mase kroz cijevi do etaže i dalje kroz stijensku masu, moraju se postići određeni injekcioni pritisci. Da bi ovo bilo moguće, potrebno je prije samog procesa injektiranja, izolovati etažu koju želimo injektirati uz pomoć pakera. Odabir injektione mase i postizanje odgovarajućih pritisaka pri injektiranju su najvažniji elementi injektiranja, od kojih bitno zavisi kvalitet ostvarenih efekata. Navedeni elementi su samo važniji dio u sistemu elemenata, čija operacionalizacija predstavlja cjelovit tehnološki postupak.

Zahvaljujući uslovljenosti karaktera osnovnih elemenata i načina međusobnog usklađivanja svrhom injektiranja, moguće je na bazi svrhe, kao kriterijuma klasifikacije, izdvojiti određene vrste injektiranja. Tome u prilog idu i mogućnosti i oblast primjene svake vrste injektiranja ponaosob, kako u pogledu tipova objekata, tako i prema najbitnijim svojstvima stijenskih masa.

Ishod injektiranja treba da bude očekivano, projektovano, poboljšanje svojstava stijenskih masa. Raznolikost vrsta objekata i njihovih konstruktivnih zahtjeva, s jedne, i svojstava stijenskih masa, s druge strane,

razlog su da injektiranje u određenim uslovima, po svojim elementima, može biti složenije ili jednostavnije, zavisno od ciljeva koji se postave.

21.1.2. Vrste injektiranja

Zavisno od toga koji se dio terena u odnosu na objekat injektira, i kakva su svojstva primjenjene mase, ostvareni rezultati mogu biti veoma različiti. U tom smislu, u zavisnosti od cilja koji želimo postići injektiranjem, mogu se izdvojiti sledeće vrste injektiranja (55).

Kontaktno injektiranje ima za cilj da ostvari neposredan kontakt između objekta i stijenske mase radi obezbeđenja kontinuiteta u prenošenju opterećenja i eliminisanja mogućnosti pojave deformacija objekta ili stijenske mase usled postojanja praznog prostora, posebno ako je on većih dimenzija. Ova vrsta injektiranja primjenjuje se pri izvođenju podzemnih objekata ili betonskih brana.

Vezno injektiranje ima cilj da obezbedi potrebno poboljšanje mehaničkih svojstava stijenskih masa u užem dijelu prostora sadejstva sa objektom. Ovom vrstom injektiranja se postiže kvalitetnija veza između objekta i dubljih dijelova stijenske mase povoljnijih mehaničkih svojstava. Primjenjuje se pri izvođenju različitih tipova podzemnih objekata, brana, temeljnih dijelova građevina itd.

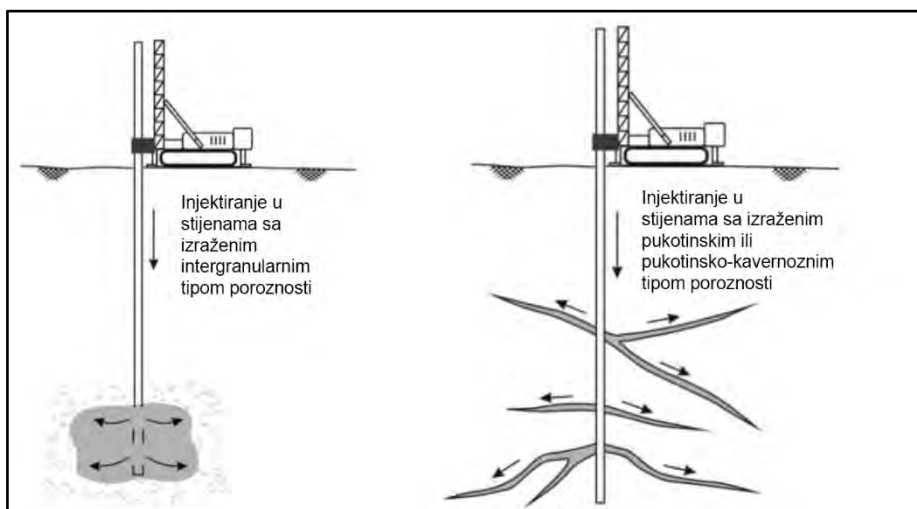
Konsolidaciono injektiranje ima prvenstveno za cilj da smanji deformabilnost i poboljša čvrstoće stijenskih masa u širem prostoru sadejstva sa objektom, pružajući mu potrebnu bezbjednost u odnosu na mogućnost pojave nedopuštenih deformacija ili loma. Ovom vrstom injektiranja se takođe smanjuje i vodopropusnost. Primjenjuje se pri temeljenju različitih objekata, izvođenju podzemnih objekata, brana itd.

Zaptivno injektiranje ima samo jedan zadatak, a to je formiranje vodonepropusnih barijera smanjenjem vodopropusnosti stijenskih masa, kako radi sprečavanja gubljenja ili doticaja vode, tako i radi zaštite sredine od pojave filtracionih deformacija, ostvarujući povoljniju raspodjelu brzina i gradijenata u prostoru u kome se odvija kretanje vode. Najčešće se izvodi uz brane i vještačke akumulacije, ali i pri građenju podzemnih objekata, za zaštitu različitih objekata od nepovoljnih uticaja vode, izdanskih voda od zagađenja, nekontrolisanog širenja zagađenja itd.

Naponsko injektiranje je specifična vrsta injektiranja, koja se primjenjuje samo kod hidrotehničkih tunela i okana pod pritiskom i to kao jedan od mogućih načina prednaprezanja obloge. Tako prednapregnuta obloga, s obzirom na ponašanje betona u odnosu na napone zatezanja u

uslovima djelovanja unutrašnjeg pritiska, može pružiti potrebnu bezbjednost i za manje, a time i ekonomičnije debljine.

Tradicionalno se prema vrsti stijenske mase u kojoj se odvija, razlikuje injektiranje u ispucalim čvrstim stijenskim masama i injektiranje u granularnim sredinama (slika 18). Ima puno valjanih razloga za usvajanjem ovakve klasifikacije, počev od mehaničkih, filtracionih i drugih bitnih svojstava važnih za izvršenje injektiranja, do tehnoloških mogućnosti ostvarenja potrebnih poboljšanja.



Slika 18. Injektiranje prema vrsti stijenske mase

Osim u obliku pomenutih osnovnih vrsta, injektiranje se može primjeniti u nekim posebnim, često krajnje specifičnim slučajevima, kakvo je, na primjer, gašenje požara u rudnicima uglja.

Primjenom različitih tehnologija injektiranja mogu se sanirati stare ili oštećene građevinske konstrukcije, sanirati neki tipovi klizišta, zaustaviti nekontrolisane provale većih količina vode u podzemne iskope itd.

21.2. Rekultivacija zemljišta

Rekultivacija je proces zatvaranja i preuređivanja oblasti nakon obustavljanja rudarske proizvodnje ili odlaganja otpada. Rekultivacija se vrši na rudnicima, površinskim kopovima, jalovištima, kamenolomima, gliništima, deponijama nakon prestanka eksploatacije u cilju sanacije degradiranih površina. Proces obuhvata sprečavanje dalje erozije, jačanje i stabilizaciju podloge, drenažu, nasipanje i natkrivanje jalovine, melioraciju,

ozelenjavanje, pošumljavanje. Nakon rekultivacije moguće je gajiti i ratarske i voćarske kulture.

Tehnička rekultivacija na površinskim kopovima obavlja se u procesu eksploatacije i predstavlja planirano oblikovanje prostora površinskog kopa i odlagališta, a uključuje planiranje površine terena, formiranje rekultivacione površine, izvođenje i ublažavanje nagiba bočnih kosina, izgradnju hidrotehničkih, melioracionih i drugih objekata koji prate radove na zemljišnim površinama (51).

Biološkom rekultivacijom se ostvaruje mogućnost korištenja zemljišta pripremljenog tehničkom rekultivacijom. Biološka rekultivacija je složen i dugotrajan proces, koji podrazumjeva primjenu niza neophodnih mjera, koje treba da olakšaju i ubrzaju pedološke procese. Sprovođenje biološke rekultivacije zahtjeva prethodnu analizu postojećeg stanja na terenu i izvođenje po fazama, kao i naknadno praćenje procesa i stalne korekcije. Biološke mjere primjenjuju se u završnoj fazi rekultivacije. Ove mjere podrazumjevaju primjenu poljoprivrednih i šumskih melioracija, koje doprinose stabilnosti i održavanju rekultivisanih površina, ali su mnogo značajnije sa aspekta revitalizacije prostora i uspostavljanja prirodnih biocenoza. Biološka rekultivacija podrazumjeva sjetvu ratarskih kultura, te sadnju voćarskih kultura i pošumljavanje. Da bi se proces odvijao bržim tempom, neophodno je unijeti velike količine organskih i mineralnih materija, kako bi se nadoknadio nedostatak osnovnih hranljivih elemenata, a naročito azota i fosfora. Prije nego što se pristupi izvođenju biološke rekultivacije, odnosno sjetvi travnjaka, potrebno je izvršiti pravilan izbor višegodišnjih trava, leguminoza ili smješa, koje odgovaraju za date uslove, područje, namjenu, odnosno predviđeni način iskorištavanja. Najčešće greške se prave prilikom izbora trava, leguminoza i smješa, jer se često pri zasnivanju travnjaka ne vodi računa o tome da li su one pogodne za određeni tip zemljišta (52).

21.3. Remedijacija zemljišta

Sanacija ili remedijacija zemljišta je postupak kojim se smanjuje ili uklanja zagađujuća materija iz zemljišta, toliko da njen sadržaj dopušta korištenje zemljišta sanitarne lokacije. Uopšteno, postoje tri pristupa u određivanju ciljeva remedijacije: čišćenje zemljišta do uslova na lokalnom nivou, čišćenje prema kriterijumima nastanka i čišćenje u skladu sa procjenama rizika i posebnim uslovima određene lokacije. Osnovni kriterijum pri odabiru tehnologije remedijacije su tip, vrsta i količina

zagađujuće materije, mjesto gdje bi se remedijacija provodila, ali i tip zemljišta na kojem bi tu tehnologiju trebalo primjeniti. Potencijalno moguće i ekonomski prihvatljive tehnologije remedijacije su: biološka, hemijska, fizička i termalna remedijacija, prikazane u tabeli 6. (53).

Tabela 6. Tehnologije remedijacije zemljišta

I. BIOLOŠKA REMEDIJACIJA	
I.1.	Bioremedijacija tla
I.2.	Bioventilacija tla
	I.2.1. Ubrizgavanje oksidacionih reagenasa u tlo
	I.2.2. Dodavanje organskih tečnih đubriva
I.3.	Fitoremedijacija tla
	I.3.1. Fitoekstrakcija/fitoakumulacija
	I.3.2. Fitostabilizacija
	I.3.3. Fitovolatizacija
II. HEMIJSKA REMEDIJACIJA	
II.1.	Elektrohemijska remedijacija
II.2.	Poplavljivanje tla
II.3.	Ispiranje tla
II.4.	Solidifikacija/stabilizacija tla
II.5.	Prirodno čišćenje
III. FIZIČKA REMEDIJACIJA	
III.1.	Prekrivanje (kapsuliranje) tla
III.2.	Iskopavanje tla
III.3.	Miješanje tla
IV. TERMALNA REMEDIJACIJA	
IV.1.	Spaljivanje tla
IV.2.	Vitrifikacija/postakljivanje tla
IV.3.	Solarna-fotohemijska razgradnja tla

Koja od tehnologija remedijacije će biti primjenjena na zagađenom zemljištu, zavisi od sledećeg (4):

- tipa i vrste zagađenja;
- prostornoj zahvaćenosti zagađenjem;

- tipu zemljišta (reakcije zemljišta, sadržaj organske materije, udio i tip gline);
- vremena izloženosti zagađenju;
- budućoj upotrebi zemljišta;
- zakonom propisanom stepenu sanacije (remedijacije).

Na osnovu svih prethodno navedenih parametara, odabere se tehnologija remedijacije, a isti parametri će poslužiti i za mjesto remedijacije tj. *in situ* (na mjestu zagađenja bez iskopavanja) ili *ex situ* (nakon iskopavanja se zagađeno zemljište transportuje na odlagalište).

21.3.1. Biološka remedijacija tla

U biološke remedijacije zemljišta se ubrajaju svi postupci u kojima se remedijacija izvodi uz pomoć mikroorganizama ili biljaka i to tako da se zagađujuća materija blokira ili odstrani. Ove procese predstavljaju bioremedijacija, bioventilacija i fitoremedijacija (49).

Bioremedijacija

Bioremedijacija je skup postupaka za remedijaciju uz primjenu mikroorganizama (bakterije, gljivice, kvasci), u kojima se biološka degradacija odvija u njihovim stanicama, kroz resorpciju neke zagađujuće materije, gdje je pomoću odgovarajućih enzima razgrađuju u metabolite. Bioremedijacija se može upotrijebiti za:

- razgradnju izlivenih sirovih nafte, kanalizacije, hlornih i nehlornih rastvarača koji se koriste u industriji;
- razgradnju ili razlaganje ugljenikovih proizvoda, poput fenola i cijanida;
- razgradnju ili razlaganje hemikalija u poljoprivredi i pesticida;
- razgradnju ili razlaganje loživih ulja;
- razgradnju ili razlaganje sredstava za očuvanje drveta.

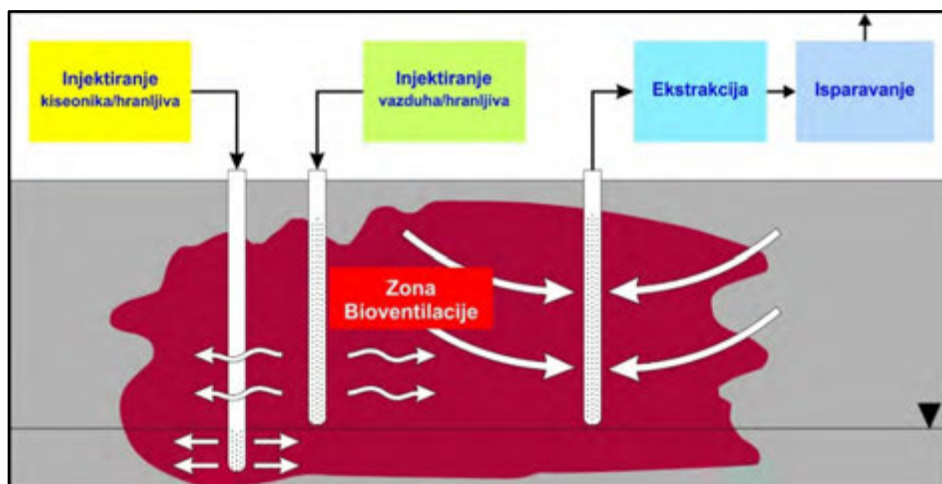
Zavisno od količine prisutnog kiseonika u zemljištu, bioremedijacija se može odvijati pod aerobnim i anaerobnim uslovima. Aerobnu razgradnju vrše aerobni mikroorganizmi i na nju, pored kiseonika, značajan uticaj ima prisustvo mineralnih soli, temperatura i pH vrijednost. Aerobni mikroorganizmi zahtijevaju soli azota, fosfora, kalijuma, magnezijuma, gvožđa i dr. Ako za primjer uzmemo naftu, najveći rast bakterija i gljivica oksidanasa ugljovodonika je u temperaturnom intervalu od 25 do 40 °C, dok je optimalna pH vrijednost za biorazgradnju između 7 i 8,5. Promjena kiselosti sredine može uticati na promjenu dominantne vrste

mikroorganizama, pa time i uslova za mikrobiološku razgradnju. Anaeroban proces se odvija pod dejstvom anaerobnih mikroorganizama i on je toliko spor da je njegov značaj zanemarljiv. Ipak je ustanovljeno da anaerobna razgradnja može biti uspješna, nakon što je nafta prethodno bila izložena aerobnim mikroorganizmima (54).

Bilo o kom tipu bioremedijacije da se radi, uspješno uspostavljanje procesa čišćenja na zagađenom lokalitetu zavisi od heterogenosti zemljišta i osmatranja. Pogodno zemljište je ono koje je moguće kontrolisati. Kod spontane bioremedijacije nema nikakvih intervencija. Kritični parametar za uspješno sprovođenje spontane bioremedijacije je predvidljivost toka podzemne vode u vremenu i prostoru. To je važno da bi se moglo znati gdje će mikroorganizmi djelovati (da li na svim mjestima gdje je prisutno zagađenje) i da li će djelovati dovoljno brzo da bi spriječili širenje zagađenja putem podzemne vode.

Bioventilacija

Bioventilacija je oblik bioremedijacije *in situ* u kojem se koriste: vazduh, kiseonik i/ili metan, a u zemljište se unose upumpavanjem (injektiranjem) kroz bušotine. Ovim postupkom se injektira vazduh ili drugi gas u zonu zagađenog zemljišta, takvom brzinom da se njegovim strujanjem pojačava isparavanje organskih zagađujućih materija i istovremeno ostvaruju optimalni uslovi za aerobno razlaganje slabo isparljivih organskih jedinjenja (slika 19).



Slika 19. Uprošćena šema bioventilacije

Tehnika bioventilacije se uspješno primjenjuje za sanaciju zemljišta zagađenih naftnim derivatima, kao što su benzin, kerozin, dizel, lož-ulja, ali

se može koristiti i za fenole, alkohole, razne hlorne rastvarače i BTEX komponente.

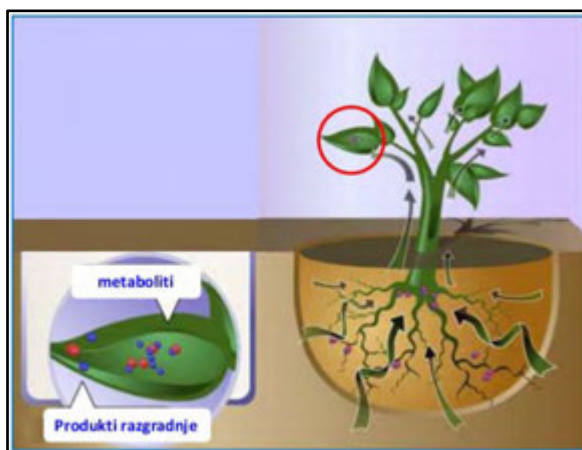
Sanacija zemljišta dodavanjem tekućih organskih đubriva je tehnika koja je dobra na lokacijama koje zahtjevaju tačniju kontrolu procesa i potpunu i brzu razgradnju zagađujućih materija. Ova tehnika se primjenjuje za zemljišta zagađena eksplozivima, naftnim ugljovodonicima, rastvaračima, pesticidima i drugim organskim hemikalijama.

Fitoremedijacija

Fitoremedijacija je sanacija zagađenog zemljišta korištenjem viših biljaka u procesima čišćenja, koje imaju sposobnost uklanjanja, razgradnje i imobilizacije relativno velikog broja zagađujućih materija, prije svega metala. Biljke imaju mogućnost akumulacije iz zemljišta onih metala koji su vitalni za njihov rast i razvoj (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo, Ni), a neke čak imaju mogućnost akumulacije teških metala koji nemaju poznatu biološku funkciju u biljkama (Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se, Hg). Mogućnost da tolerišu visoke koncentracije teških metala, te da ih akumuliraju, ima znatan broj biljaka koje su poznate i kao hiperakumulatori nikla, kobalta, bakra, mangana, olova, cinka i selen. Zavisno od vrste zagađujuće materije, mjesta zagađenja, obimu potrebne sanacije i tipu biljke, postupcima fitoremedijacije rješavamo štetne uticaje zagađujućih materija u zemljištu skladištenjem u zemljištu (fitostabilizacija) ili uklanjanjem (fitoekstrakcija i fitovolatizacija) iz zemljišta.

Fitoekstrakcija

Fitoekstrakcija je tehnologija sanacije zagađenog zemljišta u kojoj se koriste biljke za uklanjanje zagađenih materija iz zemljišta (teških metala i organskih zagađujućih materija) preko korijenog sistema u površinske dijelove biljke (slika 20 i slika 21).



Slika 20. Fitoekstrakcija



Slika 21. Akumulacija pri fitoekstrakciji

Nakon tretiranja zagađenog zemljišta ovim biljkama, one se uklanjaju sa površine i odlažu na odlagališta opasnog otpada ili se obrađuju u spalionicama, pa čak koriste i za dobijanje čistih metala. Postupak remedijacije se može ponavljati više puta dok se nivo zagađenja ne dovede u granične vrijednosti ili se zemljište potpuno ne obnovi. Uobičajeno vrijeme remedijacije se može kretati od 1 do 20 godina. U tabeli 7 su prikazane neke biljne vrste pogodne za fitoremedijaciju (53).

Tabela 7. Prikaz biljnih vrsta pogodnih za remedijaciju (53)

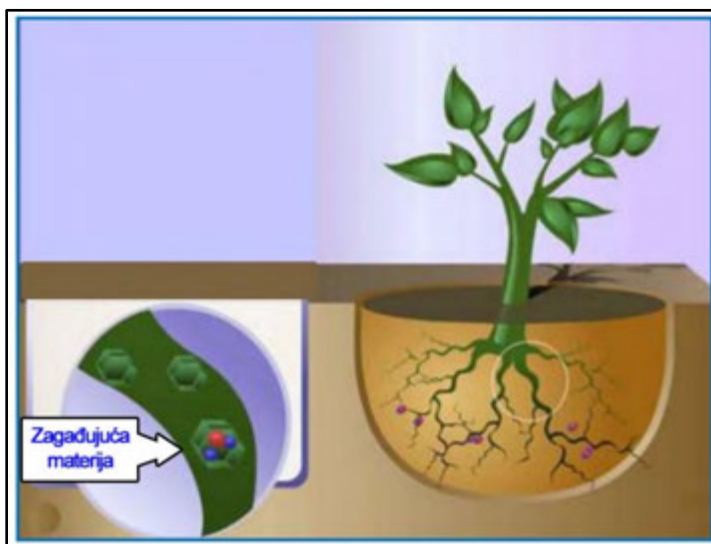
Zagađujuća materija	Biljna vrsta za fitoremedijaciju
Kadmijum (Cd)	Smeđa ili indijska slačica, etiopijska slačica, neke vrste vrba i breza, poljska čestika, konoplja...
Hrom (Cr ⁶⁺)	Smeđa ili indijska slačica
Cezijum (¹³⁷ Cs)	Karanfil, suncokret, kelj, neke vrste vrba
Bakar (Cu)	Smeđa ili indijska slačica, neke vrste vrba, uljana repica, konoplja...
Živa (Hg)	Smeđa ili indijska slačica, neke vrste vrba, suncokret, hibridne topole...
Nikl (Ni)	Smeđa ili indijska slačica, špinat, kupus, grašak, ječam, ricinus, konoplja...
Olovo (Pb)	Suncokret, grašak, heljda, hibridna topola, neke vrste kukuruza...
Arsen (As)	Hibridne topole, neke vrste johe, jasike i vrbe, paprati, uljana repica...
Selen (Se)	Kanadska uljana repica, konoplja...
Uran (U)	Kineski kupus, suncokret, kelj...
Cink (Zn)	Zob, ječam, neke vrste vrbe, uljana repica, konoplja...
Isparljiva i poluisparljiva zagađenja	Djeteline, raž, sirak, neke vrste vrba, topola i joha, borovnica smreka, vlasulja, dud...
Agrohemikalije	Djeteline, hibridne topole, vrbe, dud...
Eksplozivi	Raž, sirak, djeteline, neke vrste vrba, topola i jasika, čempres, šaš...

Fitoekstrakcija je pogodna za remedijaciju velikih zagađenih površina zemljišta na malim dubinama sa niskim do umjerenim količinama zagađujuće materije. Istovremeno treba voditi računa da se za fitoekstrakciju koriste biljke otporne na bolesti i pesticide, a istovremeno da nisu u lancu ishrane životinja kako bi se spriječio unos teških metala u lanac ishrane.

Fitostabilizacija

Fitostabilizacija je metoda fitoremedijacije u kojoj se koriste određene biljke za imobilizaciju zagađujućih materija u zemljištu, tako da one korjenim sistemom vrše apsorpciju i akumulaciju ovih materija (prvenstveno teških metala) u zoni korjena ili osiguravaju fizičku

stabilizaciju zemljišta i na taj način sprečavaju širenje zagađenja erozijom, vjetrom i vodom ili širenje ispiranjem u dublje slojeve (slika 22).

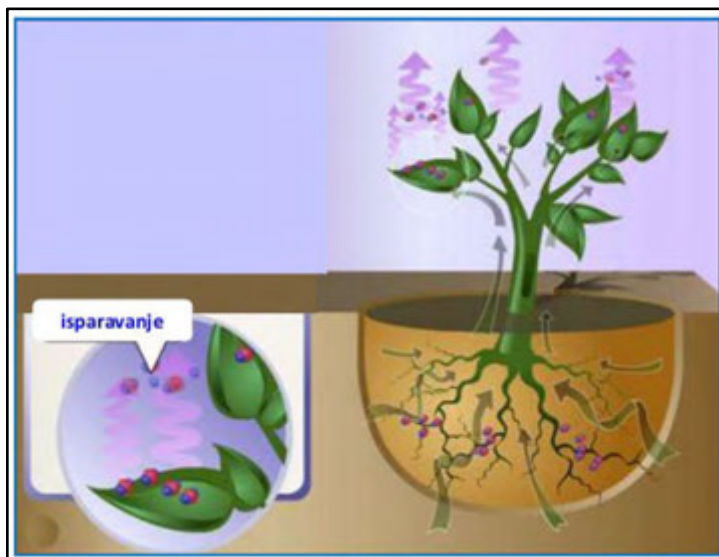


Slika 22. Apsorpcija i akumulacija u procesu fitostabilizacije

Fitostabilizacija daje najbolje rezultate u zemljištima zagađenim neorganskim materijama, na zemljištima sa visokim sadržajem organske materije, koristeći biljke sa vrlo razgranatim korjenim sistemom.

Fitovolatizacija

Fitovolatizacija je proces usvajanja, transporta i oslobađanja zagađujućih materija izlučivanjem vode u obliku vodene pare tj. transpiracijom kod viših biljaka uz otpuštanje zagađujućih materija u istom ili razgrađenom obliku u atmosferu (slika 23). Neke prirodne ili genetski modifikovane biljke, sposobne su apsorbovati teške metale iz zemljišta, biološki ih prevesti u gasnu fazu unutar biljke i preko lista otpustiti u atmosferu.



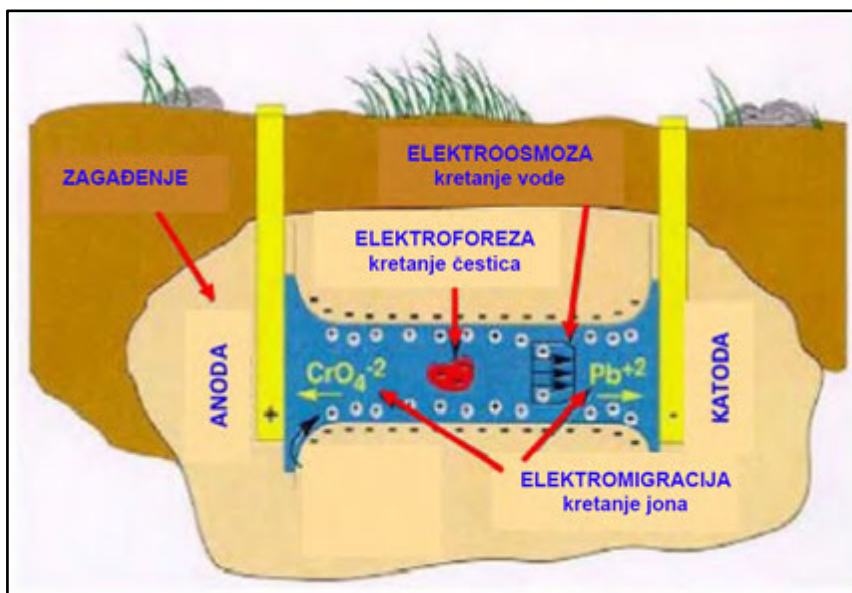
Slika 23. Fitovolatilizacija

Postavlja se pitanje da li je ova metoda remedijacije poželjna, jer emisija toksičnih teških metala u atmosferu može štetno djelovati na okolinu. Mnogi stručnjaci takođe tvrde da se fitovolatilizacija može uspješno primjenjivati za sanaciju zagađenih voda, a manje uspješno za sanaciju zagađenog zemljišta.

21.3.2. Hemijska remedijacija tla

Elektrohemijska remedijacija tla

Elektrohemijska remedijacija ili kraće elektroremedijacija je proces kojim se izdvajaju teški metali, radionukleidi ili organske zagađujuće materije iz tla, muljeva i sedimenata djelovanjem slabe istosmjerne struje ili napona kroz mrežu katoda i anoda u zagađenom tlu, a u svrhu pokretanja naponskog gradijenta. Propuštanjem struje kroz zagađeno tlo, nastaje niz procesa kao što je elektromigracija, elektroliza vode, elektroosmotsko kretanje vode, elektroforeza (kretanje koloidnih čestica), difuzija prikazanih na sledećoj slici.



Slika 24. Uprošćena šema elektrohemijske remedijacije tla

Da bi se primjenila remedijacija, potrebno je da se metali nalaze u jonskom obliku. Za vrijeme elektromigracije pozitivno naelektrisane čestice (kationi) kao što su metali, amonijum joni i neke organske vrste, kreću se prema katodi, a negativno naelektrisane čestice (anioni) poput hloridnih, fluoridnih, cijanidnih, nitratnih jone i neke organske vrste kreću se prema anodi.

Efikasnost ove remedijacije zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta, vlažnosti, okruženja, te zavisi od osobina i koncentracija metala u zemljištu. Na uklanjanje metala značajno utiče proces elektrolize vode koji se odvija na površini elektroda, gdje se na anodi formiraju H^+ joni, dok se na katodi formiraju OH^- joni. Prisustvo H^+ jona je poželjno u tlu jer doprinosi desorpciji jona metala sa česticama tla, dok se u baznoj sredini metali talože u obliku hidroksida i akumuliraju u tlu.

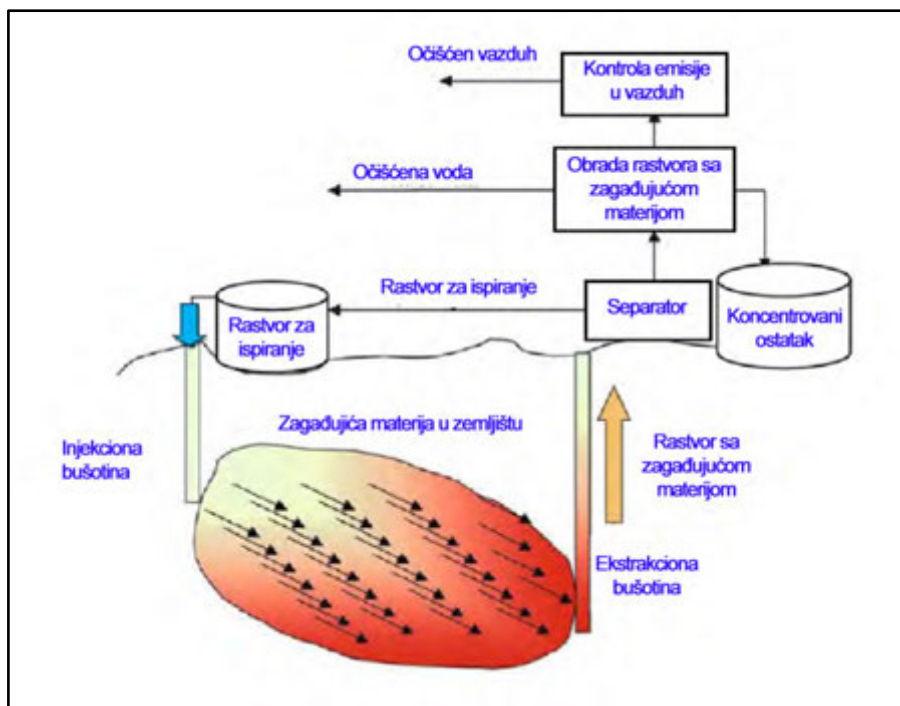
Elektrohemijska remedijacija se još uvijek smatra metodom u nastajanju, ali predstavlja održivu, relativno jeftinu *in situ* tehniku za uklanjanje teških metala iz zagađenog zemljišta.

Poplavljanje tla

Remedijacija zagađenog tla *in situ* tretiranjem različitim rastvorima naziva se poplavljanje tla. Zagađeno zemljište se poplavljuje vodom ili vodenim rastvorima kiselina, baza, deterdženata, što zavisi od rastvorljivosti zagađujuće materije u zemljištu. Na primjer: vodeni rastvor HNO_3 i HCl

koristi se za uklanjanje metala i nekih organskih materija, dok se vodeni rastvor NaOH može koristiti za uklanjanje fenola i nekih teških metala.

Rastvori se primjenjuju na površini ili se unose u tlo površinskim poplavljivanjem, injektiranjem u vertikalne ili horizontalne bušotine, bazenskim ili kanalskim infiltracijskim sistemom (slika 25).



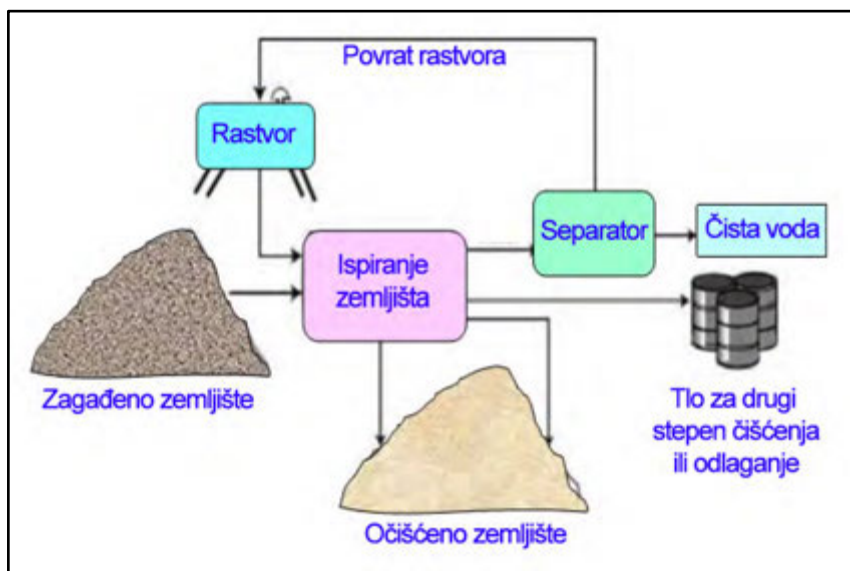
Slika 25. Metoda remedijacije poplavljivanjem tla rastvorima

Odabir i primjena odgovarajućih hemikalija za pripremu rastvora mora biti usklađena sa fizičko-hemijskim karakteristikama zagađujućih materija, koje se moraju ukloniti iz tla. Ova tehnologija ima svoja ograničenja koja proizilaze iz posljedica interakcije kiselih ili baznih vodenih rastvora i tla. Naime, ovi rastvori bez obzira na sastav i pH vrijednost, u kontaktu sa tlom, drastično mijenjaju hemijske karakteristike tla, prije svega njegovu reakciju (pH), a tokom remedijacije ili po njenom završetku uvijek postoji opasnost od mogućeg ispiranja primjenjenih hemikalija u podzemne vode.

Tehnologija poplavljivanja tla se može primijeniti na tla zagađena metalima (Cr^{6+} , As^{3+} , As^{5+} , Pb, Cd), kao i isparljivim i poluisparljivim organskim zagađujućim materijama.

Ispiranje tla

Za razliku od poplavljanja tla koje se izvodi *in situ*, ispiranje tla je *ex situ* postupak remedijacije, koji se temelji na ispiranju zagađujuće materije sa česticama tla vodenim rasvorima različitih aditiva ili se provodi u svrhu odvajanja čistog od zagađenog tla (slika 26). Postupak se bazira na činjenici da su zagađujuće materije sklone vezivanju za finoizrne čestice tla (muljevi i gline), pa je glavni cilj ispiranja tla odvajanje ove zagađene frakcije od čiste krupnozrne frakcije tla (pijesak i šljunak).



Slika 26. Metoda remedijacije ispiranjem tla rastvorima

Prednost ovog postupka kao sanacijske tehnike je u smanjenju zapremine tla, jer razdvajanjem čistog tla od zagađenog, količina tla koju je potrebno dodatno čistiti ili odlagati je puno manja. Postupak ispiranja tla nije pogodan za glinovita i muljevita tla, jer zbog jake povezanosti metala sa česticama tla, postupak se mora više puta ponavljati, čime se povećavaju troškovi. Takođe, potrebne su velike površine za postavljanje opreme za ispiranje tla.

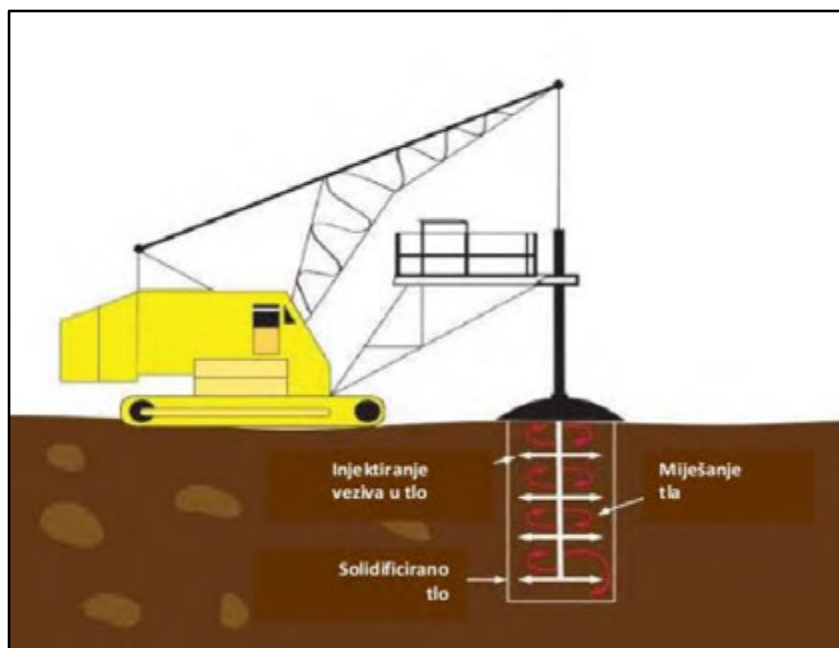
Postupak je isplativ za krupnozrna zemljišta i uglavnom se ne primjenjuje za zemljišta koja sadrže više od 50% mulja, gline ili organskih materija. Ispiranje tla se primjenjuje za tla zagađena različitim organskim i neorganskim materijama, kao što su: nafta i naftini derivati, radionukleidi, teški metali, pesticidi, cijanidi, isparljive organske materije i sl.

Solidifikacija/stabilizacija tla

Solidifikacija/stabilizacija tla je tehnologija remedijacije koja se zasniva na imobilizaciji zagađenih materija u tlu, za šta se koristi reakcija između dodatih reagenasa i zagađujuće materije u tlu. Solidifikacija predstavlja fizički, a stabilizacija hemijski proces. Ovi procesi se uglavnom temelje na sorpciji, taloženju ili razlaganju zagađujuće materije u kristalnu strukturu reagensa.

Postupci se mogu izvoditi *in situ* i *ex situ* zavisno od tehnika kao na primjer:

- obrada zagađenog tla u rotirajućim mješalicama ili reaktorima (bubnjevima);
- korišćenjem opreme za *in situ* miješanje zagađenog tla i injektiranog reagensa pomoću šupljeg svrdla (slika 27);
- direktno miješanje zagađenog tla sa reagensom u tankom sloju i nabijanjem;
- iskopavanje i *ex situ* stabilizacija miješanjem tla sa reagensima u pogonima namjenjenim za tu svrhu (slika 28).



Slika 27. Solidifikacija tla



Slika 28. Stabilizacija tla

Najbolji rezultati postižu se u postupcima remedijacije tla zagađenog teškim metalima. Remedijacija se može izvoditi postupkom solidifikacije, tako da se rastvorljivi metali imobiliziraju vezanjem sa vezivnim materijama i na taj način postaju inertni, dok se stabilizacijom rastvorljivi metali prevode u manje pokretljive i inertne oblike poput nerastvorljivih i slabo rastvorljivih hidroksida, sulfata, fosfata i silikata teških metala. Ovaj postupak remedijacije se ne provodi kod zagađenja lakoisparljivim materijama zbog njihovog isparavanja u procesu miješanja reagensa i zemljišta.

Prirodno čišćenje

Ovo je tehnika remedijacije *in situ* koja se koristi prirodnim procesima na duže vrijeme u kojem dolazi do slabljenja ili smanjenja zagađenja. U prirodne procese ovdje spadaju: biološka razgradnja, radioaktivni raspad, isparavanje, disperzija, slabljenje, procjeđivanje u podzemne vode, bočno oticanje u površinske vode, vezivanje zagađenja za organske materije ili glinu te vegetaciju sa površine tla.

Ovaj postupak se dosta primijenjivao u prošlosti, posebno kod zagađenja industrijskog zemljišta rastvorenim materijama. Zemljište je bilo prepušteno prirodnim procesima i vremenu koji su doveli do slabljenja

zagađenja. Ovaj postupak remedijacije se ogleda u vrlo niskim troškovima i gotovo nikakvoj opasnosti po radnike, jer nema rukovanja zagađenim tlom i može se smatrati trajnim rješenjem.

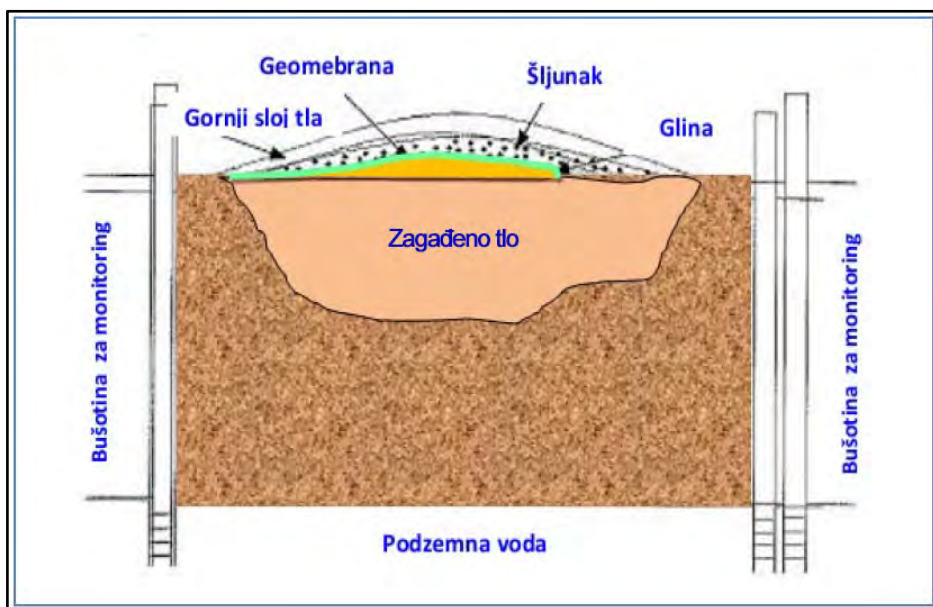
Osnovni nedostatak predstavlja potreba za dugotrajnim monitoringom smanjenja zagađenja tla i što produkti razgradnje u tlu mogu biti toksični i migracijom ugroziti neke druge ekosisteme.

21.3.3. Fizička remedijacija tla

Fizičkom remedijacijom tla ne dolazi do značajnih promjena hemijskih i bioloških karakteristika. Najčešći postupci fizičke remedijacije tla su: prekrivanje (kapsuliranje), iskopavanje i miješanje tla.

Prekrivanje (kapsuliranje) tla

Prekrivanje zagađenog tla je jedan od najčešćih oblika remedijacije na manjim lokacijama. Ovim postupkom se zagađeno tlo prekriva višeslojnim pokrovom, kako bi se zaštitilo od erozije vodom i vjetrom, te spriječio direktan uticaj zagađenog zemljišta na biljni i životinjski svijet. Prekrivanje se može izvesti sa jednim slojem plodnog tla ili izvoditi u više slojeva, kombinacijom slojeva zemljišta i geosintetskih materijala različite propusnosti (slika 29).



Slika 29. Prekrivanje zagađenog tla

Ovaj oblik remedijacije se koristi često kod zatvaranja odlagališta komunalnog otpada u kombinaciji sa fitostabilizacijom i/ili fitovolatizacijom.

Iskopavanje tla

Ova metoda remedijacije se primjenjuje uglavnom u slučajevima značajnog zagađenja zemljišta, kao što su zagađenja radionukleidima ili toksičnim teškim metalima visokih koncentracija. Za iskop se koristi različita građevinska mehanizacija (bageri, utovarivači, buldožeri i sl.), a zemljište se stavlja u kontejnere ili na nepropusne folije radi sprečavanja oticanja procjednih voda u podzemlje, zaštite radnika i okolnog stanovništva, te se odvozi na dalju obradu. Ova metoda remedijacije je efikasna za zagađenja malih površina. Trajno deponovanje zagađenog zemljišta na odlagališta opasnog otpada se rijetko primjenjuje jer je skupo, nesigurno i zauzimaju se velike površine. Češće se koristi neka od *ex situ* metoda, nakon čega se očišćeno zemljište vraća na lokaciju ili koristi u druge svrhe.

Miješanje tla

Miješanjem zemljišta se smanjuje koncentracija zagađenja razređenjem do koncentracija koje nisu opasne po okolinu. Ovo se može postići dovozom nezagađenog zemljišta i miješanjem sa zagađenim *in situ* ili se miješanje provodi primjenom agrotehničkih mjera (oranje, tanjiranje, drljanje i sl.), pri čemu se površinski zagađeno zemljište mješa sa dubljim slojem manje zagađenog ili čistog zemljišta. Ova metoda remedijacije je vrlo efikasna za zemljišta zagađena isparljivim i poluisparljivim zagađujućim materijama, te ostacima eksplozivnih materija. Ova metoda se u posljednje vrijeme uspješno provodi u kombinaciji sa *in situ* stabilizacijom, uz primjenu krečnih materijala, cementa, betona, zeolita i sl. Na ovaj način se zemljište mješa sa reagensima za stabilizaciju čime se zagađujuća materija prevodi iz opasnog u inertni oblik, te se nakon toga može trajno deponovati na odlagalište otpada.

21.3.4. Termalna remedijacija tla

Metoda termalne remedijacije tla može se izvoditi *in situ* i *ex situ*, u posebno konstruisanim postrojenjima, a zasniva se na djelovanju visokih temperatura (preko 1000°C) na zagađeno tlo, pri čemu dolazi do isparavanja zagađujućih materija na nižim temperaturama (od 340 °C do 480°C) ili se zagađujuće materije transformišu u manje štetne materije na višim temperaturama. Ova metoda remedijacije nije prihvatljiva u poljoprivredi,

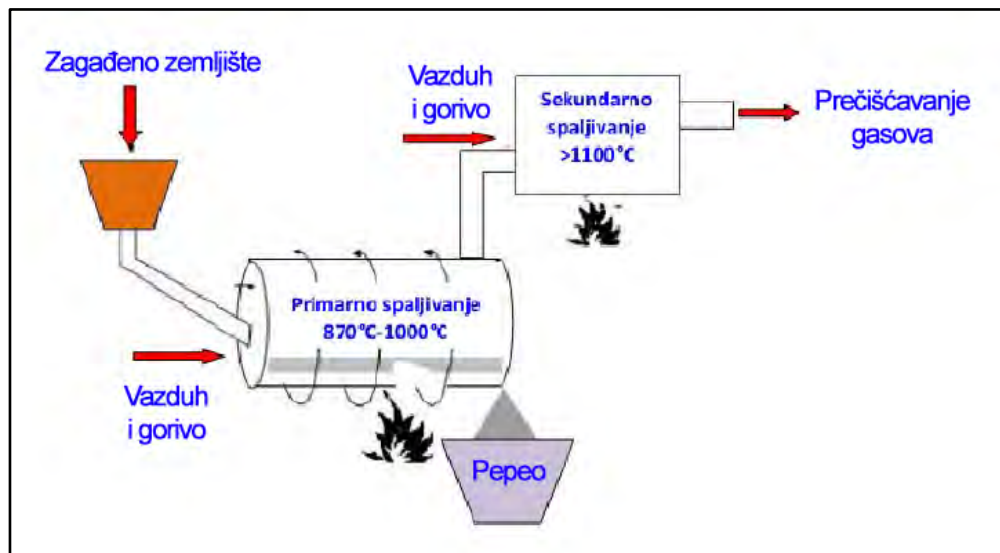
jer se obradom tla visokim temperaturama uništava sav biljni i životinjski svijet i ona više nije pogodna za svoju namjenu. Kada se radi o remedijaciji tla unutar industrijskih dvorišta ili tla namijenjenog u industrijske svrhe, onda se termalna remedijacija može uzeti u razmatranje. Termalno obrađeno zemljište je primjenjivo u građevinarstvu, kao materijal za prekrivanje odloženog otpada na deponijama, za izradu podloga u gradnji i sl. Zagađujuće materije koje se na ovaj način uklanjaju ili prevode u manje opasne oblike su: hlorni rastvarači, dioksini i furani, pesticidi i herbicidi, nafta i njeni derivati, živa, policiklični aromatski ugljovodonici itd.

Termalna remedijacija tla se može objasniti primjerom niskotoplotne desorpcije, kao najčešće primjenjive *ex situ* tehnologije za uklanjanje pesticida iz tla. Postupak se zasniva na zagrijavanju zagađenog tla na temperaturu od 129°C do 540°C , čime se postiže isparavanje, ali ne i razaranje organskih materija. Nastali gasovi, zatim prolaze kroz komoru za spaljivanje, nakon čega prolaze kroz sistem prečišćavanja, kako bi se spriječila njihova emisija u atmosferu (49).

U narednom tekstu će biti objašnjene neke od tehnika termalne remedijacije zagađenog zemljišta.

Spaljivanje tla

Tehnologija spaljivanjem tla se zasniva na obradi tla u uslovima visokih temperatura (870°C do 1.190°C), pri čemu dolazi do razgradnje zagađujućih materija sve do vode, CO_2 i NO_x (slika 30).

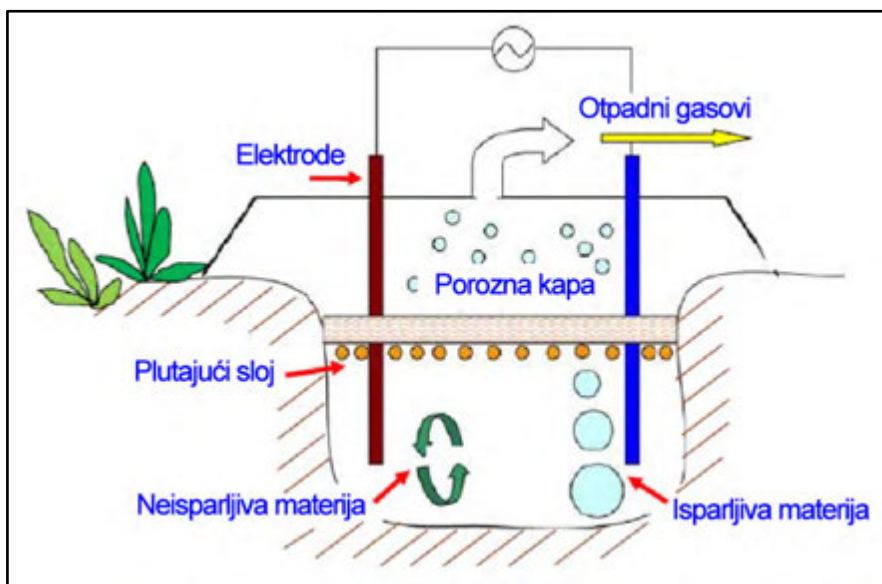


Slika 30. Spaljivanje tla

Spaljivanje se vrši u rotacionim pećima bez pojave mirisa i dima, a zapremina obrađenog tla se smanjuje na minimum (pepeo), što je značajna prednost u odnosu na ostale tehnologije, ukoliko se želi trajno zbrinuti na odlagalištu otpada. Ukoliko se koriste spalionice otpada, javljaju se neželjne posledice u vidu zagađenja atmosfere različitim produktima sagorjevanja zagađujućih materija iz tla.

Vitrifikacija (postakljivanje) tla

Tehnologija se zasniva na obradi zagađenog tla na temperaturama od 1.390°C do 2.000°C ili više, pri čemu dolazi do topljenja tla i nastajanja amorfne mase poput stakla. Tehnologija *ex situ* vitrifikacije zamišljena je na inaktivaciji i/ili imobilizaciji zagađujućih materija, prevodeći ih u staklastu amorfnu masu rastopljenog tla u uslovima visokih temperatura, a ne smanjenju njihove koncentracije u tlu. Nastala masa ima veliku čvrstoću i otporna je na otpuštanje u njoj zagađujućih materija, te je na taj način onemogućeno rastvaranje, migracija u podzemne vode ili bilo kakav uticaj na okolinu. Zavisno od tipa procesa verifikacije kao i načina hlađenja, nastala rastopljena masa se može naglo hladiti vodom tzv. gašenjem ili se prepusti sporom hlađenju na vazduhu (slika 31).



Slika 31. Vitrifikacija tla

Vitrifikacija se obično izvodi na sledeće načine i to:

- električni postupak - *in situ* proces, gdje se dovodi električna energija na grafitne elektrode utisnute u zagađeno zemljište;
- termalni proces u peći - *ex situ* proces koji se izvodi u posebnim reaktorima, koji su obično rotacione peći sa unutrašnje strane obložene vatrostalnim materijalom;
- plazma proces - obično *in situ* proces, koji se izvodi uvođenjem plazminih gorionika u zagađeno tlo, a temperatura plazme je izuzetno visoka (do 7.000 °C), na kojoj dolazi do topljenja tla i u njemu zagađujućih materija.

Ova metoda remedijacije je najefikasnija i najviše primjenjivama metoda u slučajevima zagađenja materijama neorganskog porijekla. Vrlo često se takođe koristi za obradu tla zagađenih metalima i radionukleidima, jer se postakljivanjem oni zarobe i spriječava se njihovo otpuštanje u podzemlje.

Solarna-fotohemijska razgradnja tla

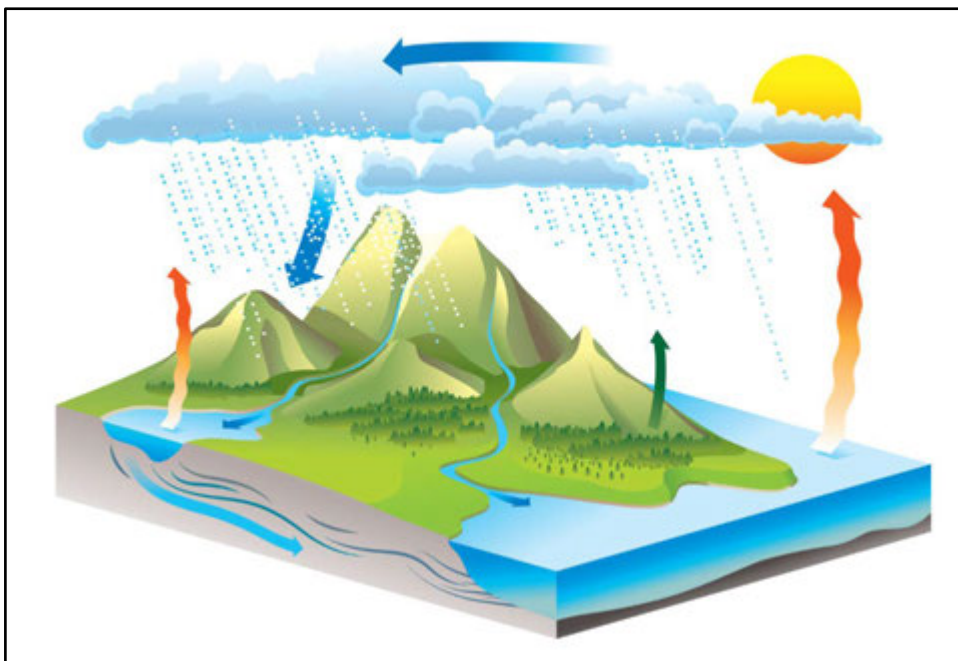
Za razgradnju nekih zagađujućih materija, kao što su isparljiva organska jedinjenja, goriva i nešto manje uspješno, eksplozivne materije, može se koristiti sunčeva svijetlost. Pojedini djelovi sunčevog spektra razgrađuju organske materije direktnom termalnom razgradnjom ili fotohemijskom reakcijom. Da bi se postigle ove reakcije, koriste se različiti sistemi ogledala tzv. heliostati za apsorpciju energije kojom se postižu temperature i do 2.000°C. Na ovaj način se mogu postići dobri rezultati u remedijaciji tla zagađenog poliaromatskim ugljovodonicima, monoaromatskim ugljovodonicima, poput benzena, toluena, etilbenzena i ksilena, itd.

DIO II

ZAGAĐENJE I ZAŠTITA PODZEMNIH VODA

22. KRUŽNO KRETANJE VODE U PRIRODI

Kruženje vode u prirodi ili hidrološki ciklus (slika 32) je termin koji se koristi da opiše ciklično kretanje vode u prirodi, u svim njenim oblicima. Sunčeva energija i sila Zemljine teže omogućavaju konstantno odvijanje kružnog kretanja vode.



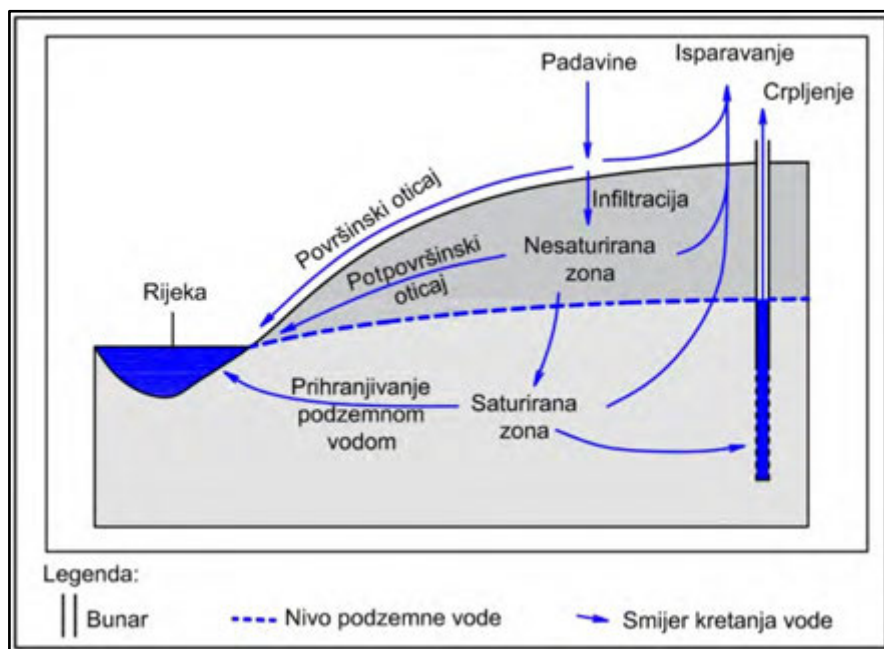
Slika 32. Kruženje vode u prirodi

Kao što se vidi sa slike 32, hidrološki ciklus je sačinjen iz nekoliko komponenti, koje su međusobno povezane. Hidrološki ciklus se može podijeliti na nekoliko komponenti, a to su:

- isparavanje sa slobodne vodene površine;
- isparavanje sa biljaka (intercepcija);
- isparavanje kroz biljke (transpiracija);
- kondenzacija vodene pare;
- vraćanje vode na površinu u vidu padavina (na zemlju, na površine mora, okeana, rijeka, jezera);
- površinski oticaj vode preko rijeka i na površini zemlje;
- potpovršinski oticaj vode;
- podzemni oticaj vode.

Pod uticajem Sunčeve energije dolazi do isparavanja sa vodenih površina (svijetski okeani, mora, jezera). Vodena para se nakon toga, u višim dijelovima atmosfere kondenzuje i stvara oblake. Jedan dio padavina iz oblaka se izluči na mjestu kondenzovanja, dok se drugi dio transportuje ka kopnu, gdje dolazi do izlučivanja padavina.

Kada kapi kiše padnu na zemljinu površinu (slika 33), jedan dio vode se zadržava na biljkama, odakle se vraća u atmosferu (intercepcija), jedan dio palih kiša dospijeva u rijeke i jezera (površinski oticaj), odakle dalje otiče ka morima i okeanima, dok jedan dio vode odlazi u podzemlje. Voda koja je dospjela u podzemlje ne završi kompletna u izdani, odnosno kao podzemna voda. Mali dio vode dospjelih u podzemlje isparava nazad u atmosferu, dok određenu količinu vode koriste biljke za svoje potrebe i kroz njih opet voda odlazi u atmosferu (transpiracija). Dio vode, u vidu potpovršinskog oticaja, otiče ka najbližem površinskom toku i voda koja na ovaj način otiče ne dospijeva do nivoa podzemnih voda. Ostatak vode u podzemlju se infiltrira dublje u izdan, čime se dopunjuju količine podzemnih voda, koja u vidu podzemnog oticaja opet prihranjuje rijeke, jezera ili se do površine dovodi putem vještačkih objekata.



Slika 33. Prikaz putanja kišne kapi sa površine

23. ODNOS POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA I NJIHOVA HIDRAULIČKA VEZA

Površinske i podzemne vode uglavnom nisu nezavisni resursi. Često postoji veza između površinskih i podzemnih voda, koja zavisi od dosta faktora. Prvi faktor od koga zavisi ova veza je svakako geološka građa terena, pa samim tim i hidrogeološke karakteristike. Pored ovog faktora, odnos površinskih i podzemnih voda zavisi i od morfologije terena i riječnog korita, dubine usijecanja korita, klimatskih faktora i dr.

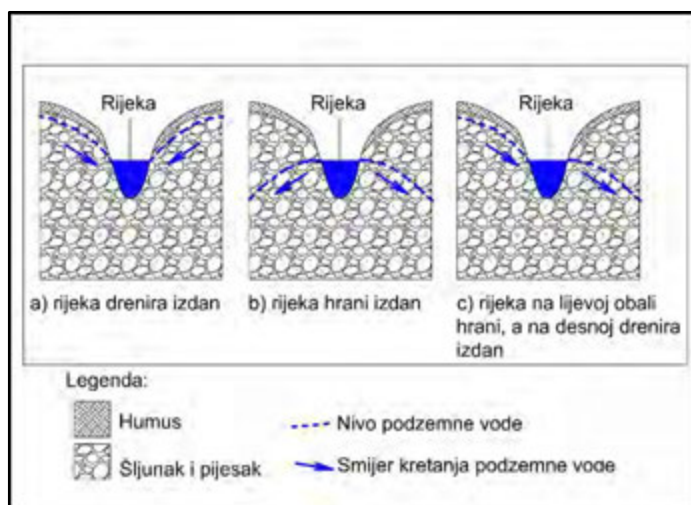
Veza površinskih i podzemnih voda može se najbolje predstaviti kroz dva procesa:

- prihranjivanje podzemnih voda na račun infiltracije površinskih voda;
- dreniranje površinskih voda na račun isticanja podzemnih voda.

Iako je ostvarena hidraulička veza površinskih i podzemnih voda, ona može imati različite forme, što zavisi od režima površinskih i podzemnih voda i hidrogeoloških uslova sredine. Na osnovu toga, izdvajaju se slijedeće šeme:

- nema direktne hidrauličke veze;
- povremeno ostvarivanje hidrauličke veze;
- postojano ostvarivanje hidrauličke veze.

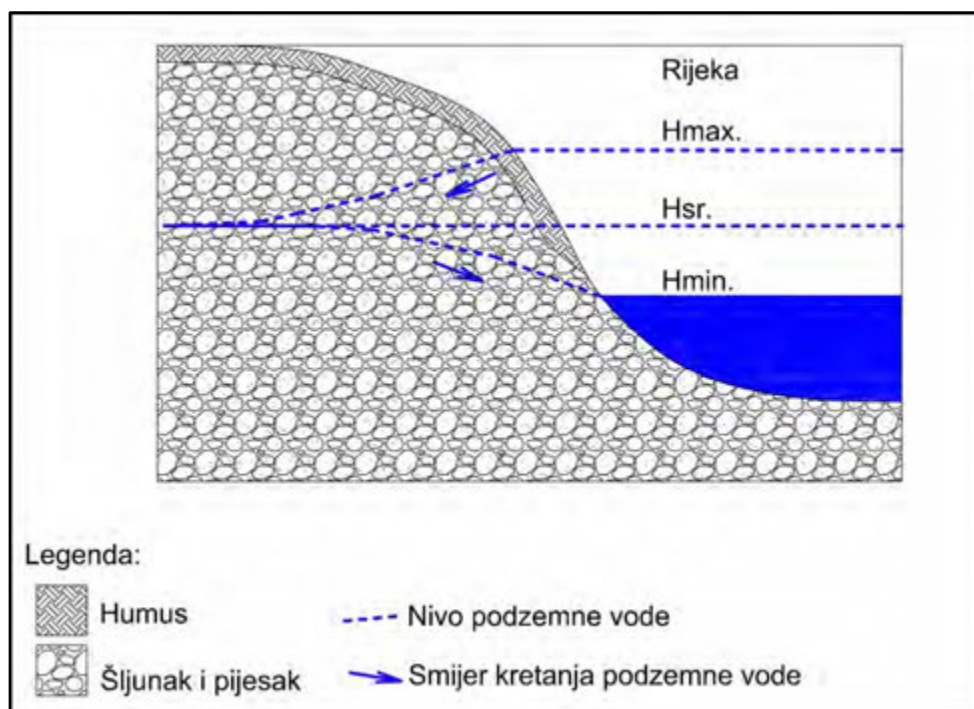
U akviferima intergranularnog tipa poroznosti sa slobodnim nivoom se ostvaruje više tipova hidrauličke veze površinskih i podzemnih voda. Primjeri tih veza su prikazani na slici 34 (3).



Slika 34. Odnos površinskih i podzemnih voda (ostvarena hidraulička veza)

Na slici 34. a) gdje rijeka drenira izdan je karakteristična za terene sa umjereno vlažnom i vlažnom klimom, dok se primjer sa slike 34. c) rijetko može naći u prirodi. Primjer sa slike 34. b) se najčešće nalazi u aridnim i poluaridnim oblastima, kao i u terenima sa umjereno vlažnom i vlažnom klimom u periodu godine sa obilnim padavinama ili u vrijeme naglog topljenja snijega.

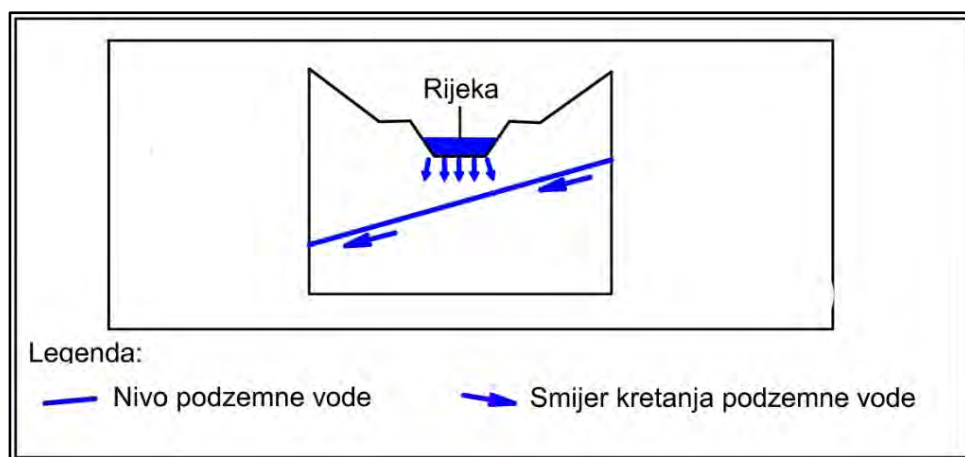
Na terenima na kojima preovladava umjerena i vlažna klima, tokom godine dolazi do oscilacija nivoa podzemne vode i vodostaja u rijeci, pa samim tim i do promjena hidrauličkih odnosa (slika 35). U periodima velikih padavina i topljenja snijega, nivo površinskih voda je u porastu i dostiže svoj maksimum. Tom prilikom je pravac kretanja voda usmjeren ka izdani, odnosno rijeka hrani izdan. U suprotnom, u periodu niskog vodostaja, kada je nivo u rijeci ispod srednjeg nivoa rijeke i teži da padne na minimalni, tada se voda iz izdani kreće ka rijeci i tada imamo pojavu da izdan hrani rijeku.



Slika 35. Položaj nivoa podzemne vode i pravac kretanja podzemne vode u zavisnosti od položaja nivoa vode u rijeci

Površinski tokovi kod kojih su kraći ili duži vremenski period nivoi vode iznad nivoa podzemne vode (rijeka hrani izdan), nazivaju se još i infiltrirajući tokovi. Suprotan slučaj, gdje su nivoi u rijeci ispod nivoa podzemne vode (izdan hrani rijeku) nazivaju se još drenirajući ili efluentni vodotoci.

Kao što je već rečeno, postoje i vodotoci koji nisu u direktnoj hidrauličkoj vezi sa podzemnim vodama (slika 36). Oni se u jednom djelu stručne literature nazivaju još i lebdeći vodotoci. U ovom slučaju, veza površinske i podzemne vode je prekinuta i njeno ostvarivanje sprečava porozna sredina nezasićena podzemnom vodom.

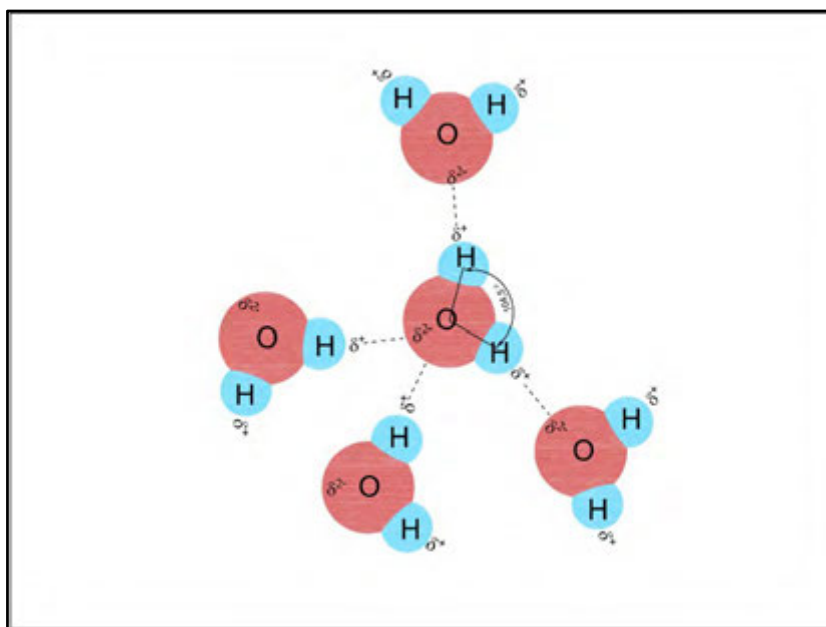


Slika 36. Odnos površinskih i podzemnih voda kada nije ostvarena hidraulička veza

Kada je u pitanju odnos površinskih i podzemnih voda, ako su u pitanju podzemne vode u akviferima sa izraženim karstno-pukotinskim tipom poroznosti, ovi odnosi su često i složeniji (zbog poniranja vode, kretanja vode duž razlomnih zona, kretanja podzemnih tokova kroz pećine i kaverne sa velikim sadržajem klastičnog materijala, zatim zbog neposrednog ili posrednog kontakta izdani u akviferima različitog tipa poroznosti), što zahtijeva izučavanje svakog slučaja ponaosob.

24. FORMIRANJE FIZIČKO-HEMIJSKOG SASTAVA PODZEMNE VODE

Voda kao supstanca je bezbojna tečnost, bez ukusa i mirisa, koja se sastoji od jednog atoma kiseonika i dva atoma vodonika. Dva atoma vodonika vezana su za atom kiseonika djeljenjem spoljašnjih elektrona, čime se formira kovalentna veza pod uglom od 105° . Voda je polaran molekul zbog asimetričnog polja formiranog između protona i elektrona. Zbog svoje polarnosti, dolazi do povezivanja molekula vode (8) među sobom (slika 37).



Slika 37. Prikaz povezivanja molekula vode

Sama podzemna voda je veoma složenog sastava, koji podrazumijeva sadržaj velikog broja jona, gasova i molekula, neorganskog i organskog porijekla.

Formiranje sastava vode počinje još u atmosferi, kada prilikom kondenzacije vodene pare i stvaranja kišnih kapljica dolazi do rastvaranja manjih količina gasova i drugih materija koje se nalaze u vazduhu. Prvenstveno, dolazi do rastvaranja gasova koji se nalaze u atmosferi (azot, kiseonik, ugljen-dioksid), zatim sitnih čestica koje se nalaze u atmosferi

(prašina), kao i rastvaranja azotnih oksida (NO_2^- i NO_3^-), koji nastaju nakon električnog pražnjenja (9).

Sve ove promjene su zanemarljive u odnosu na ono što se dešava kada kap kiše dopije na zemljinu površinu. Tada počinju glavne promjene i formiranje konačnog fizičko-hemijskog sastava podzemne vode. Prilikom infiltracije kroz zemljište, dolazi do obogaćenja solima i organskim materijama koje se nalaze u zemljištu, ali i do promjene gasnog sastava.

Samim fizičkim karakteristikama podzemnih voda smatraju se slijedeći: boja, mutnoća, temperatura, miris, ukus, gustina i viskozitet. Često su ovi faktori pokazatelji uslova formiranja, ali i njihovog kvaliteta. Promjene boje, ukusa, mirisa i mutnoće vode su često pokazatelji da je vjerovatno došlo do zagađenja podzemne vode.

Što se tiče temperature vode, ona varira u širokom opsegu. Njena vrijednost zavisi od dubine zalijeganja, geološke građe terena, uslova hranjenja, ali prvenstveno od fizičko-geografskih uslova. Sam uticaj savremenih klimatskih faktora utiče na temperaturu podzemne vode samo do granice sezonskih kolebanja temperature, dok ispod ovog pojasa, temperatura raste sa povećanjem dubine, prema geotermalnom gradijentu koji na teritoriji Republike Srpske ima prosječnu vrijednost od 1,0 do $5,0 \times 10^{-2}$ (10). Temperatura podzemne vode prve (plitke) izdani predstavlja srednju višegodišnju temperaturu vazduha na tom području, a na širem prostoru Dinarida u zavisnosti od nadmorske visine terena iznosi od 3°C , na vrhovima planine Volujak, odakle raste do 12°C ka sjeveru odn. ka toku rijeke Save i ka jugu do 14°C (krajnji južni dio istočne Hercegovine). Sezonska kolebanja temperature podzemne vode iznose oko 1°C do maksimalno 2°C . Ukoliko se izmjeri druga vrijednost, ona se može pripisati greški mjerenja, uticaju zagrijavanja uslijed hlađenja motora potapajuće pumpe vodom, koja se crpi i uzorkuje grijanju vode tokom transporta od izdani do mjesta uzorkovanja i sl. ili treba razmotriti mogućnost miješanja sa vodom izdani iz dubljih slojeva duž rasjeda.

Mutnoća podzemne vode pokazuje količinu suspendovanih materija u njoj. To su uglavnom fine čestice, neorganskog i organskog porijekla (glina, mulj, mikroorganizmi). Do pojave zamućenja podzemne vode dolazi pri turbulentnom kretanju vode, koje se obično javlja zbog velike vrijednosti hidrauličkog gradijenta i brzine podzemnog toka u izdanima karstno-pukotinskog tipa poroznosti, nakon obilnih padavina.

Kada se podzemna voda crpi bunarima, mutnoća vode je često odraz velikih ulaznih brzina vode u zoni filterskog šljunčanog zasipa ili na otvorima bunarskog filtera, kod filtera male poroznosti. Zbog toga je neophodno kod određivanja optimalnog kapaciteta bunara, osim primjene

kriterijuma dozvoljenog sniženja nivoa vode u akviferu, vršiti računsku provjeru kapaciteta sa aspekta kritičnih ulaznih brzina. Veće brzine od kritičnih pokreću suspendovane glinovite čestice ili čak pijesak.

Boja podzemne vode vezana je za rastvorene mineralne materije u njoj, odnosno za njihovu koncentraciju i karakter. Kišnica, koja se infiltrira u podzemlje i puni akvifer, je bezbojna, pa je samim tim i podzemna voda najčešće bez boje. Sama boja podzemne vode zavisi od hemijskog sastava rastvorenih materija u vodi. Organske supstance, koje se najčešće nalaze u podzemnim vodama, daju vodi žućkastu boju. Hidroksidi gvožđa boje podzemnu vodu u crveno-žutu boju, sulfati bakra u plavu, dok mangan daje tamnosivu boju vodi. Voda za piće treba biti bez boje.

Miris vode potiče od rastvorenih supstanci u njoj. Podzemne vode su bez mirisa, ali rastvoreni gasovi (H_2S daje miris na kuvana jaja) i mikroorganizmi (pri razlaganju organskih supstanci) daju miris vodi. Za piće bi trebalo da se koriste vode bez bilo kakvog mirisa.

Kao i kod mirisa, i ukus podzemne vode zavisi od rastvorenih supstanci. Tako, na primer, natrijum-hlorid daje vodi slan ukus, sulfati magnezijuma i gvožđa gorak, hidrokarbonati kalcijuma i magnezijuma prijatan ukus, ugljen-dioksid kiselkast, organske supstance sladunjav, a gvožđe lužast ukus.

Hemijski sastav podzemnih voda prvenstveno zavisi od sredine u kojoj se izdan formira, odnosno od sastava i rastvorljivosti materija kroz koje se voda infiltrira i sa kojima dolazi u dodir. Prilikom formiranja hemijskog sastava vode, jako je bitna i dužina trajanja kontakta stijena-voda, ali i kontakti sa drugim materijama koje se nalaze u podzemlju. Tu se misli na rastvaranje gasova i prisustvo mikroorganizama. U nastavku je prikazana šema koja to ilustruje (9):

Voda $\diamond$ Stijena $\diamond$ Gas $\diamond$ Mikroorganizmi

Ovom šemom je dat prikaz čitavog niza procesa koji se odvijaju neprekidno u formiranju hemijskog sastava vode. U današnje vrijeme, sve veći uticaj na formiranje hemijskog sastava ima i čovjek (antropogeni uticaj). U narednoj tabeli dat je prikaz faktora koji utiču na formiranje podzemne vode.

Tabela 8. Osnovni faktori koji utiču na formiranje hemijskog sastava podzemne vode (11)

Grupa	Osnovni faktor
Fizičko-geografski	Klima Hidrografija i hidrologija Reljef
Geološko-tektonski	Geološki sastav terena Tektonika Minerološki sastav stijena Magmatizam
Fizičko-hemijski	Rastvorljivost hemijskih jedinjenja Hemijska svojstva elemenata Kiselinsko-bazni i oksido-redukциони procesi
Fizički	Temperatura Pritisak Vrijeme Prostor
Biološki	Uticaj mikroorganizama, životinja i biljaka
Antropogeni	Zagađenje podzemnih voda Narušavanje prirodnog režima tokom eksploatacije mineralnih sirovina i podzemnih voda Navodnjavanje i odvodnjavanje (prvenstveno poljoprivrednih površina)

Fizičko-geografski faktori imaju veliki značaj u formiranju sastava podzemnih voda koje ne zaliježu duboko u zemljinu koru.

Klima kao faktor utiče na formiranje sastava podzemne vode na više načina. Jedan od načina na koji klima utiče na formiranje sastava podzemne vode su padavine. Ako je u nekim dijelovima terena količina padavina veća od isparavanja, sastav podzemne vode će zavisići od sastava kišnice i mogućnosti rastvaranja minerala na tom terenu. Takođe, dolazi do razblaživanja koncentracija rastvorenih minerala. U suprotnom slučaju, u predjelima gdje je količina isparavanja veća od padavina, dolazi do koncentrisanja materija u podzemnim vodama i nastajanja voda sa povišenom mineralizacijom. Vjetar je takođe, bitan klimatski faktor. U priobalnim dijelovima terena moguće je doći do promjena sastava atmosferskih padavina uslijed nanošenja ostataka soli nakon isparavanja vode. Isto tako, vjetar često nosi čestice koje su nastale kao produkt vulkanske aktivnosti, nerijetko i stotinama kilometara.

Hidrografija i hidrologija utiču na formiranje sastava na nekoliko načina. To prvenstveno zavisi od gustine riječne mreže. U dijelovima terena sa gušćom riječnom mrežom intenzivnija je vodozamjena u plićim terenima, te se tu nalaze vode sa manjom mineralizacijom. Ukoliko se desi da se riječni tok duboko usijekao u teren, može doći do otkrivanja dubljih vodonosnih horizonata, najčešće sa vodama više mineralizacije, i njihovog miješanja sa vodama plićih horizonata, te i promjenama sastava tih voda.

U terenima sa dobro izraženim reljefom (raščlanjeni tereni) prisutna je intenzivna i brza vodozamjena. U takvim slučajevima javljaju se malomineralizovane vode. Isti je slučaj i u visokim planinskim masivima sa velikim količinama padavina.

Geološko-tektonski faktori su slijedeća grupa faktora koja utiče na formiranje hemijskog sastava podzemne vode. Zalijeganje stijena koje su akviferi, određuju dužinu transporta, dubinu i pritiske, temperaturu, a tako utiču na formiranje hemijskog sastava podzemne vode. To je posebno izraženo kod termalnih i mineralnih voda. Minerološki sastav stijena ima veliku ulogu u formiranju hemijskog sastava podzemne vode. Kada dođe do kontakta stijene i vode, dolazi do rastvaranja minerala (neki su bolje rastvorljivi, neki slabije) i jona u vodeni rastvor. I uticaj tektonike ima bitnu ulogu u formiranju hemijskog sastava. Kroz tektonske razlome dolazi do kretanja podzemne vode, bilo naniže ili naviše, pri čemu dolazi do izmjene hemijskog sastava. Nije rijetkost da se duž tektonskih razloma javlja i kretanje određenih gasova, koji takođe imaju uticaj u formiranju sastava vode. Magmatizam, kao proces, je veoma često povezan sa tektonikom. Tokom magmatskih procesa, prilikom oslobađanja materije iz dubljih dijelova zemljine kore, dolazi do obogaćenja vode mineralima kojih nema pri površini terena.

Fizičko-hemijski faktori se najčešće povezuju sa svojstima molekula i jona (valentnost, jonski potencijal i dr). Rastvorljivost minerala je najvažniji faktor formiranja sastava vode. U prirodi se sreće veliki broj njih. Neki su dobro rastvorljivi (hloridi - halit (NaCl) 350.000 mg/L, sulfati - gips (CaSO_4) 2.500 mg/L), dok su neki slabije (silikati, karbonati (CaCO_3) samo 7 mg/L). Ipak, i slabije rastvorljivi minerali, uz određene uslove (prisustvo CO_2 , O_2 , organskih materija), mogu povećati svoju rastvorljivost i uticati bitno na formiranje hemijskog sastava. Migrativnost, kao jedan od bitnih svojstava hemijskih elemenata, određuje u velikoj mjeri sadržaj elemenata u podzemnoj vodi. Sama migrativnost zavisi od oksido-redukcionih uslova i kiselinско-baznih uslova sredine.

Fizički faktori, kao što su temperatura, pritisak i vrijeme, imaju uticaja na formiranje sastava podzemne vode. Temperatura ima uticaj na

strukturu molekula vode i dielektrične konstante. Takođe, ima uticaj na rastvorljivost gasova i minerala. Visoki pritisci dovode takođe do izmjene strukture molekula vode. Sa porastom pritiska, raste i rastvaračka moć vode. Vrijeme je bitan fizički faktor. Jako je bitna dužina trajanja kontakta stijena-voda, jer se neki minerali mnogo brže rastvaraju od drugih.

Bez bakterija, koje su ujedno i **biološki** faktor, nije moguće vršenje razlaganja organske materije i prelazak u rastvor, oksidacija i redukcija jedinjenja sumpora, procesi nitrifikacije i denitrifikacije. One imaju širok spektar uticaja na formiranje sastava podzemnih voda, kako u plićim, tako i u dubljim dijelovima terena.

Antropogeni faktor je danas sve izraženiji, ne samo u formiranju hemijskog sastava podzemne vode, već i u formiraju čitavog izgleda okruženja. Razvoj industrije, izgradanja fabrika, naselja, hidrotehničkih objekata, eksploatacija mineralnih sirovina i vode, navodnjavanje, vještačka đubriva i mnogi drugi faktori dovode do izmjene hemijskog sastava podzemne vode. Neke izmjene su zanemarljive, ali nažalost, sve je više promjena koje dovode do toga da se voda nakon toga više ne može upotrebljavati.

Što se tiče materija koje čine hemijski sastav vode, mogu se podijeliti u pet grupa, i to:

- rastvoreni gasovi;
- glavne komponente (joni) – makrokomponente;
- biogene materije;
- mikrokomponente;
- organske materije.

U grupu glavnih komponenti hemijskog sastava vode (9) spadaju slijedeći joni:

- a) Anjoni: hloridi (Cl^-), sulfati (SO_4^{2-}), hidrokarbonati (HCO_3^-), karbonati (CO_3^{2-}), hidroksilni joni (OH^-);
- b) Katjoni: natrijum (Na^+), magnezijum (Mg^+), kalcijum (Ca^{2+}), kalijum (K^+), vodonikovi joni (H^+);
- c) Rastvoreni gasovi: kiseonik (O_2), ugljendioksid (CO_2), azot (N_2), vodonik (H_2), sumporvodonik (H_2S), plemeniti gasovi (helijum-He, neon-Ne, argon-Ar).

Od komponenti koje ne spadaju u grupu glavnih komponenti (sekundarne komponente), a koje su takođe bitne za hemijski sastav vode su: fluoridi (F^-), bromidi (Br^-), jodidi (I^-), amonijum jon (NH_4^+), fosfati (PO_4^-), sulfiti (SO_3^{2-}), joni gvožđa (Fe^{2+} , Fe^{3+}), nitriti (NO^-), nitrati (NO_3^-), mangan (Mn^{2+}).

Da bi se ove komponente našle u podzemnim vodama i da bi učestvovala u njenom sastavu potrebno je da se odigraju slijedeći fizičko-hemijski i hemijski procesi (9):

- rastvaranje čvrste materije u vodi;
- izdvajanje taloga;
- procesi oksidacije i redukcije (redoks reakcije);
- katjonska izmjena (joni čvrste faze i joni iz vode);
- biohemijski procesi prilikom čega dolazi do raspadanja neorganskih jedinjenja (dolazi do formiranja SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- i dr.);

- apsorpcija gasova u vodi;
- desorpcija gasova iz vode;
- odnos gasne faze i jonskog sastava;
- mineralizacija organskih materija;
- proces fotosinteze.

Paralelno sa ovim procesima, dešavaju se i procesi koji se mogu svrstati u čisto fizičke procese, a koji mogu imati uticaj na krajnji hemijski sastav podzemnih vode. To su: miješanje vode različitog hemijskog sastava, povećanje priliva vode u podzemlje uslijed padavina ili topljenja snijega (smanjenje koncentracije rastvorenih materija), isparavanje vode i zaleđivanje vode (povećanje koncentracije rastvorenih materija).

Koji će proces biti dominantan i koliko, zavisi prvenstveno od prirodnih uslova u kojima se nalazi podzemna voda. Takođe je bitno napomenuti da se u prirodi rijetko kada odvija samo jedan proces, odnosno, veoma je često da se dešava više procesa istovremeno.

Jako bitnu ulogu kod definisanja hemijskih svojstava podzemnih voda imaju parametri koji određuju njihov sastav. To su pH vrijednost, oksido-redukcioni potencijal, tvrdoća, elektroprovodljivost i mineralizacija.

pH vrijednost podzemnih voda je parametar koji pokazuje koncentraciju (aktivnost) vodonikovih jona u rastvoru. Na temperaturi od 25°C vrijednost jonskog proizvoda vode je 1×10^{-14} , a u destilovanoj vodi, koncentracije H^+ i OH^- jona su jednake (iznose 1×10^{-7}). pH vrijednost se računa prema slijedećoj formuli (12):

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (3.1)$$

pH vrijednost se izražava skalom od 0 do 14. Preporučena vrijednost vode za piće je od 6,5 do 8,5, mada se ona kod podzemnih voda kreće od 1,8, pa do skoro 12. Vrijednost pH u vodi ne zavisi prvenstveno od disocijacije vode, koliko od sadržaja ugljene kiseline, humusne i organske

kiseline, hidrolize soli teških metala i mikroorganizama. Od pH vrijednosti zavisi migrativnost elemenata.

Oksido-redukциони potencijal (Eh) je poznat i kao redoks potencijal. Redoks potencijal je veličina koja je pokazatelj stepena procesa oksidacije ili redukcije u sistemu. Njena veličina zavisi od koncentracije oksidacione i redukcionne forme jedinjenja i pH vrijednosti. Klimentov (1980) i Mihajlov (1985) dali su jednačinu koja glasi:

$$Eh = Eo + \frac{0,0581}{n} + \log \frac{Ox}{Red} \quad pri \ t = 20^{\circ}C \quad (3.2)$$

gdje je:

Eo – normalni oksidacioni potencijal pri kome su koncentracije oksidacione i redukcionne forme jednake

Ox – koncentracija oksidacione forme jedinjenja

Red – koncentracija redukcionne forme jedinjenja

n – broj elektrona koji učestvuje u reakciji.

Na uticaj veličine Eh imaju odnosi elemenata promjenljive valentnosti (Fe^{2+} i Fe^{3+} , različiti oblici sumpora). Kod podzemnih voda vrijednost Eh varira između -400 (redukcionne sredine) i +700 (oksidacione sredine) mV.

Ukupna tvrdoća vode uslovljena je prisustvom svih soli kalcijuma i magnezijuma, i dobija se iz sadržaja kalcijuma i magnezijuma u mg. ekvivalentima.

Karbonatna tvrdoća je predstavljena rastvorenim količinom hidrokarbonata kalcijuma i magnezijuma, dok je nekarbonatna tvrdoća ukupna količina hlorida, sulfata, nitrata, nitrita i silikata kalcijuma i magnezijuma. Tvrdoća se izražava u mgekv/L ili mg/L. U praksi se najčešće koriste njemački stepeni ($^{\circ}dH$). Jedan njemački stepen je jednak:

$$1^{\circ}dH = 10 \text{ mg/L CaO} = 7,2 \text{ mg/L MgO} = 0,357 \text{ mgekv/L Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$$

Pored njemačkog stepena, upotrebljavaju se (ne tako često kod nas) i francuski, američki i engleski stepen. Odnos između njih definisan je slijedećom relacijom (9):

$$1 \text{ mgekv/L Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 0,357^{\circ} \text{ njemačkih} = 0,199^{\circ} \text{ francuskih} = 0,284^{\circ} \text{ engleskih} = 0,0199^{\circ} \text{ američkih}$$

Postoji i nekoliko klasifikacija na osnovu tvrdoće vode. Najpoznatija je prema Klut-u prikazana u narednoj tabeli:

Tabela 9. Klasifikacija vode prema tvrdoći po Klut-u

Tvrdoća °dH	Tip vode
0 - 4	Veoma meka
4 - 8	Meka
8 - 12	Umjereno tvrda
12 - 18	Dosta tvrda
18 - 30	Tvrda
> 30	Vrlo tvrda

Elektroprovodljivost predstavlja sposobnost vode da provodi električnu struju. Zavisí od količine rastvorenih materija u njoj (od ukupne mineralizacije). Zavisnost je uglavnom linearna (sa porastom mineralizacije raste i provodljivost).

Mineralizacija podzemne vode (ukupna mineralizacija) predstavlja ukupnu koncentraciju rastvorenih supstanci u vodi. U vodi za piće mineralizacija je predstavljena karbonatima, hidrokarbonatima, sulfatima, hloridima, nitratima natrijuma, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma. Postoji nekoliko klasifikacija podzemne vode na osnovu mineralizacije, mada većina autora kao granicu malomineralizovanih i mineralizovanih voda postavlja na 1.000 mg/L. Najčešće se koristi Hemova klasifikacija (1970.) (tabela 10).

Tabela 10. Klasifikacija vode prema mineralizaciji prema Hemm-u

Tip vode	Mineralizacija (mg/L)
Male mineralizacije	<1.000
Neznatne mineralizacije	1.000-3.000
Umjerene mineralizacije	3.000-10.000
Visoke mineralizacije	10.000-35.000
Rasoli	>35.000

Klimentov (1980.) je u okviru klase malomineralizovanih voda uveo i klasu ultramalo mineralizovanih voda (<200 mg/L).

Kao rezultat procesa formiranja podzemnih voda, javlja se hidrohemijska zonalnost podzemnih voda (13). Hidrohemijska zonalnost podzemnih voda javlja se po dubini.

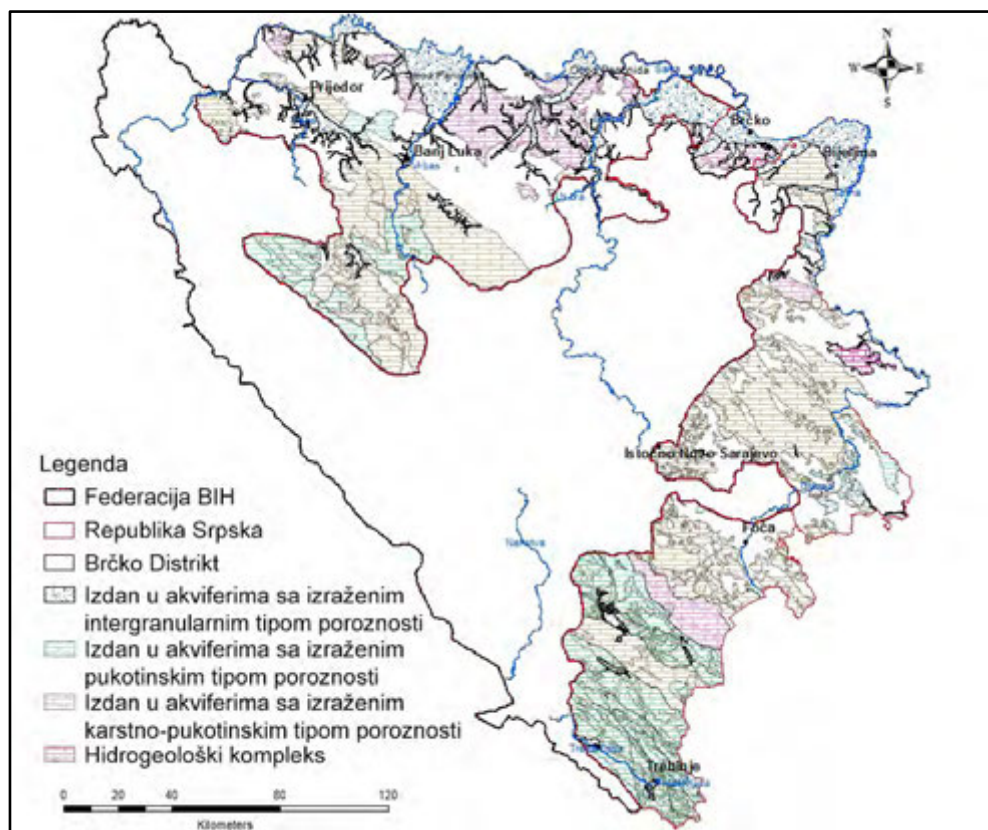
Kada atmosferske padavine, koje u sebi imaju rastvoren ugljen-dioksid, dospíju u zemljište, dolazi do rastvaranja karbonata (u reakciji sa slabom ugljenom kiselinom iz kišnice) i stvaranja hidrokarbonata. Nastavljajući dalje sa infiltriranjem, pod uticajem temperature i pritiska, u

dubljim dijelovima terena dolazi do jonske izmjene elemenata u vodi i taloženja nekih komponenti iz podzemne vode. Uslijed odsustva kiseonika, oksidacione procese zamjenjuju redukcioni. Sa povećanjem dubine dolazi i do povećanja mineralizacije podzemne vode.

U plitkim dijelovima, gdje je intenzivna vodozamjena, imamo malomineralizovane vode, hidrokarbonatne kalcijumske ili magnezijumske ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ili Mg). Sa povećanjem dubine i sve manjom količinom kiseonika, oksidaciona sredina prelazi u redukcionu i katjonskom izmjenom mijenja se sastav voda u hidrokarbonatno natrijumske ($\text{HCO}_3\text{-Na}$), da bi u nastavku hidrokarbonati bili zamijenjeni sulfatima ($\text{SO}_4\text{-Na}$). Na velikim dubinama, javljaju se visokomineralizovane (tzv. "rasolne") vode, hloridno-natrijumskog (Cl-Na) tipa.

25. PODZEMNE VODE REPUBLIKE SRPSKE I NJIHOV FIZIČKO-HEMIJSKI SASTAV

U poglavlju broj 24 dat je prikaz faktora i procesa koji utiču na formiranje fizičko-hemijskog sastava podzemne vode. Kao i u većini slučajeva, i na prostoru Republike Srpske, fizičko-hemijski sastav podzemnih voda je odraz geološke građe terena. Na osnovu geološke građe terena, na prostoru Republike Srpske su, za razliku od praktično bezvodnih terena, formirani akviferi sa intergranularnim, pukotinski, karstno-pukotinskim tipom poroznosti i hidrogeološki kompleksi. Na narednoj slici dat je prikaz izdani formiranih u različitim tipovima akvifera na prostoru Republike Srpske.



Slika 38. Karta tipova izdani na prostoru Republike Srpske (62)

Na prethodnoj slici su prikazane sve “prve po dubini” izdani koje se nalaze na prostoru Republike Srpske. One se na pojedinim dijelovima terena

i preklapaju, jer se često na terenu može javiti da se ispod izdani u jednom tipu akvifera prostire druga dublja izdan (ili više izdani po dubini). U narednoj tabeli data je površina izdani u akviferima različitog tipa poroznosti.

Tabela 11. Ukupna površina i procentualna zastupljenost izdani u akviferima različitog tipa poroznosti (62)

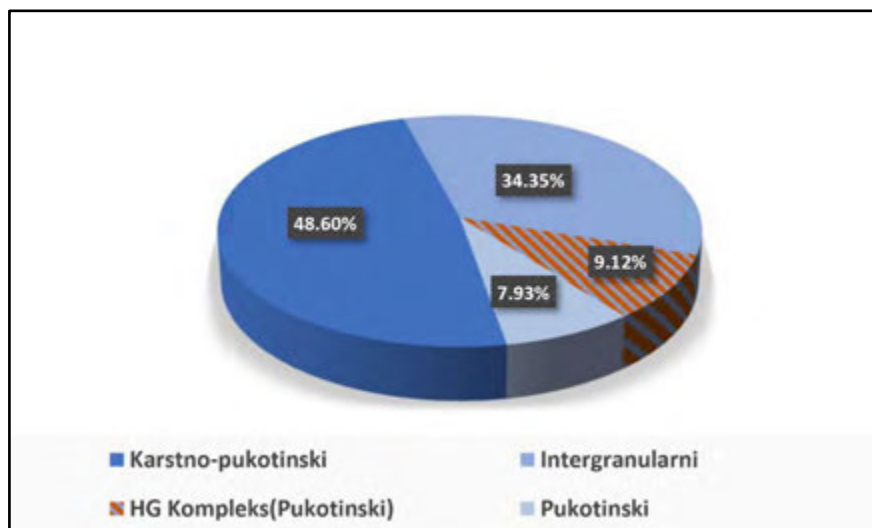
Tip poroznosti		Površina (km ²)
Akviferi	Intergranularni	5.714,35
	Pukotinski	5.301,80
	Karstno-pukotinski	17.111,78
Hidrogeološki kompleks	Pukotinski	3.126,07

Međutim, nisu sve izdani otkrivene na površini zemlje. Otkriveni dio izdani je često manji, jer većina izdani je pokrivena vodonepropusnim slojem koji ima funkciju prirodne zaštite izdani. Jedino su izdani u akviferima kvartarne starosti, sa izraženim intergranularni tipom poroznosti, često kompletno otkriven na površini terena, jer je to ujedno i najplića izdan formirana uglavnom oko riječnih tokova. U narednoj tabeli date su površine otkrivenog dijela izdani na prostoru Republike Srpske (62).

Tabela 12. Površina i procentualna zastupljenost otkrivenih dijelova izdani

Tip poroznosti		Površina (km ²)
Akviferi	Intergranularni	3.553,66
	Pukotinski	820,54
	Karstno-pukotinski	5.027,37
Hidrogeološki kompleks	Pukotinski	942,59

Na narednom dijagramu (slika 39) je prikazana procentualna zastupljenost površina otkrivenih dijelova izdani u akviferima različitog tipa poroznosti, značajna za monitoring podzemnih voda.



Slika 39. Procentualna zastupljenost otkrivenih dijelova izdani u Republici Srpskoj prema tipu poroznosti akvifera

Na osnovu geološke građe, ali i drugih procesa koji utiču na formiranje sastava vode, formirano je nekoliko tipova podzemnih voda prema fizičko-hemijskom sastavu.

Podzemne vode u području ofiolita i ultramafita odlikuje visok sadržaj magnezijuma u odnosu na druge podzemne vode. Sulfatne vode su vezane, uglavnom, za akvifere paleozojske starosti, a hloridne vode za manji dio akvifera miocenske i kredne starosti u kojima postoje naslage kamene soli (mineral halit). Česta je pojava da se bušotinama i bunarima istovremeno zahvata voda iz više vodonosnih slojeva odn. akvifera, pa se dobija mješavina navedenih karakteristika fizičko-hemijskog sastava vode u zavisnosti od procentualne zastupljenosti pojedinih tipova vode. Takav je slučaj sa bušotinama i bunarima više banja na području Balkana. Nažalost, veoma mali broj pijezometara i bunara ima adekvatnu izolaciju vodonosnih slojeva u kojima je bušotina izvedena, kako bi se vršila eksploatacija podzemne vode određenog hemizma iz nekog pojedinačnog dubljeg akvifera. Zato, nije rijedak slučaj da se u literaturnim navodima nađu pogrešni zaključci, zasnovani na loše izvedenim pijezometrima i bunarima, gdje dolazi do miješanja vode iz izdani različite dubine i fizičko-hemijskog sastava vode.

Da bi se lakše sagledao fizičko-hemijski sastav podzemnih voda Republike Srpske (slika 40), u narednom tekstu će se podijeliti na osnovu tipa poroznosti akvifera i na osnovu geografskog položaja.

Izdani u akviferu sa intergranularnim tipom poroznosti sa slobodnim nivoom podzemne vode

Ove izdani su veoma rasprostranjene na prostoru Republike Srpske. Formirane su u okolini svih većih i manjih tokova. Analiza fizičko-hemijskog sastava podzemne vode data je za sve veće slivove na prostoru Republike Srpske (Sava, Drina, Bosna, Vrbas, Una, Neretva i Trebišnjica).

Podzemne vode u akviferu sa intergranularnim tipom poroznosti sa slobodnim nivoom podzemne vode Republike Srpske, pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijumskoj grupi (62). Odstupanja od osnovnog sastava podzemnih voda se javljaju u području depresija i naseljenih mjesta, kao posledice lokalnih uticaja. U zoni ofiolita i u slivu Neretve je moguća pojava i voda sa visokim sadržajem magnezijuma, na mjestima na kojima je registrovano prisustvo ofiolita odn. stijena dijabaz-rožne formacije. U izdanskim vodama sa povišenom mineralizacijom, sliva rijeke Drine utvrđen je veći sadržaj jona magnezijuma i sulfata.

Mineralizacija podzemnih voda kreće se u opsegu od 300 do 1000 mg/L. Tvrdoća podzemne vode se kreće u intervalu od 8 do 16 °dH, a u sjevernom dijelu Republike Srpske i do 24 °dH. Prema tim vrijednostima, podzemne vode spadaju u grupu umjereno do dosta tvrdih voda prema Klutovoj klasifikaciji. Tokom proljetnih mjeseci primjetna je pojava povećanja mutnoće podzemne vode u slivu rijeke Trebišnjice. Mutnoća se javlja uslijed velikih brzina toka podzemne vode odn. uticaja padavina na nivo podzemne vode u proljetnim mjesecima i nakon naglog otapanja snijega u planinskim predjelima.

Na prostoru sliva Bosne i Save, uslijed usporene vodozamjene i većeg trošenja kiseonika na račun biohemijskih procesa i mikroorganizama, kao i biodegradacije organskih materija, stvoreni su preduslovi za povećan sadržaj gvožđa i mangana, a povremeno i nitrita i amonijaka. Na prostoru sliva rijeke Drine povišen sadržaj gvožđa javlja se u vodama niske pH vrijednosti ili sa povišenim sadržajem CO₂ gasa (zona miješanja pitke i mineralne vode-aluvijon rijeke Drine u Kozluku kod Zvornika). Višak slobodne ugljene kiseline u podzemnoj vodi smanjuje pH vrijednost i doprinosi stvaranju viška gvožđa u vodi (dvovalentno gvožđe). U slivovima naših rijeka (Une, Save i drugih rijeka) postoje izdani ili dijelovi izdani sa specifičnim geološkim režimom, gdje procesi oksidacije nisu završeni (tresetišta, naslage uglja i lapori pliocenske i pliokvartarne starosti). Uočeno je da voda ima povišen sadržaj gvožđa u akviferima, koji su u direktnom kontaktu sa laporovitim sedimentima, ugljem ili tresetom u podini ili povlati (Dubica, Prijedor, Kozluk). Povišen sadržaj gvožđa i mangana, a povremeno

i amonijaka u podzemnim vodama kod Kozarske Dubice rezultat je anaerobnih uslova geosredine u zonama osiromašenim kiseonikom zbog prisustva treseta i laporovitih glina u podini aluvijalnih šljunkova i pijeskova (utvrđeno bušotinama u području Đolovi i Međeđa i prema rijeci Savi u zamočvarenim terenima). Povišen sadržaj gvožđa u vodi je karakterističan i za neke rudničke vode (područje rudnika Omarska kod Prijedora).

Izdani u akviferu sa izraženim pukotinskim i pukotinsko-kavernoznim tipom poroznosti i hidrogeološki kompleksi

Radi lakšeg predstavljanja fizičko-hemijskog sastava ovih izdani, u narednom tekstu se daje njihov teritorijalni prikaz. Prostor Republike Srpske je za potrebe ovog prikaza izdani, u skladu sa uproštenom hidrogeološkom kartom Bosne i Hercegovine i hidrogeološkim rejonima (24) podijeljen na četiri rejona (sjevernobosanski, banjalučko-višegradski, srednjobosanski, hercegovački).

Hemizam podzemnih voda sjevernobosanskog hidrogeološkog rejona u karstno-pukotinskim sredinama (tortonski i sarmatski krečnjaci) je ujednačen. Podzemne vode se odlikuju nešto povišenom mineralizacijom, koja je reda veličine 600-800 mg/L. To su uglavnom vode hidrokarbonatne klase, kalcijumske grupe. Povišena mineralizacija dovodi i do povećanja ukupne tvrdoće u odnosu na karbonatne stijene susjednog regiona. Količina karbonata je između 350-520 mg/L, a jona kalcijuma oko 160 mg/L. Ukupna tvrdoća se kreće u granicama od 16 do 24°dH, što ih po klasifikaciji Kluta svrstava u tvrde do dosta tvrde vode.

Fizičko-hemijske karakteristike banjalučko-višegradskog rejona se razlikuju zavisno od litološkog sastava stijena. Podzemne vode u području ofiolita i ultramafita vezane su za infiltracione vode u plitkom raspadnutom dijelu terena. Hemizam ovih voda zbog brze vodozamjene odlikuje se niskom mineralizacijom (100-250 mg/L). To su vode hidrokarbonatne klase, kalcijumsko-magnezijumske grupe, normalnog pH i niske tvrdoće (do 6 °dH). Hemizam izvorskih voda iz izdani akumuliranih u karbonatnim akviferima sa područja Doboja i Romanije karakteriše relativno niska mineralizacija zbog brze vodozamjene (do 450 mg/L). Podzemne vode Romanije nemaju prirodno povišen sadržaj gvožđa, mangana, nitrita i amonijaka, jer vode u karbonatnim akviferima imaju visok sadržaj rastvorenog kiseonika. Preovladava hidrokarbonatno-kalcijumski tip vode sa ukupnom tvrdoćom od 10 do 16 °dH. Najveći dio podzemnih voda ovog

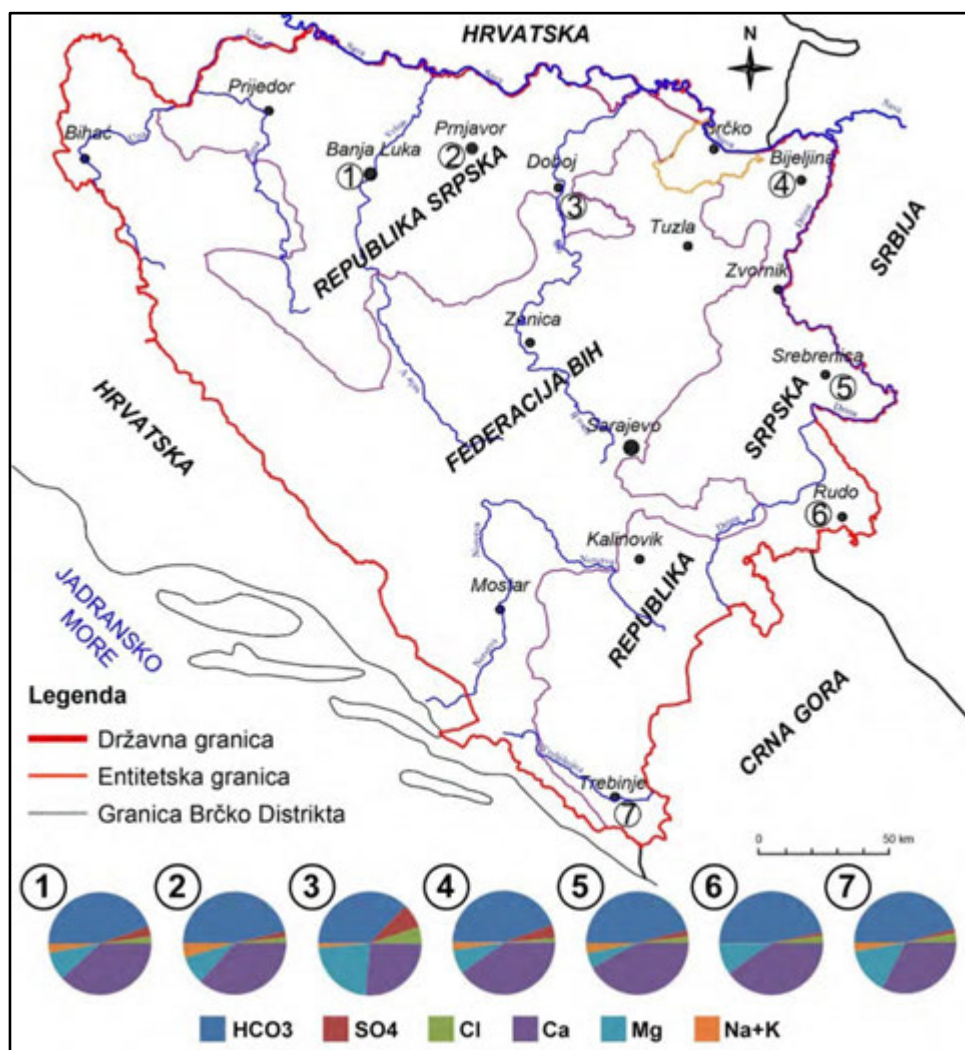
hidrogeološkog rejona pripada hidrokarbonatnoj klasi, a samo manji dio, klasi sulfatnih i hloridnih voda.

Prema katjonskom sastavu, podzemne vode ovog hidrogeološkog rejona su kalcijumske, rjeđe kalcijumsko-magnezijumske grupe, a veoma mali procenat su natrijumsko-magnezijumske grupe voda. Ovaj hidrogeološki rejon karakteriše veliki broj pojava mineralnih, termalnih i termo-mineralnih voda. U području dacito-andezitskog masiva Srebrenice nalaze se mineralne vode sa veoma visokim sadržajem arsena, i do 17 mg/L (izvor Očna voda), te gvožđa od 100-300 mg/L. Mineralne vode sa H_2S javljaju se iz trijaskih klastičnih naslaga u području Jelovca i Mlječanice. Sadržaj H_2S se kreće i do 250 mg/L pri ukupnoj mineralizaciji od oko 1300 mg/L. To su vode sulfatne klase, kalcijumsko-magnezijumske ili natrijumsko-kalcijumske grupe. Termalne vode nalaze se u području Teslića (banja Vručica), gdje su vode hidrokarbonatne-sulfatne klase, kalcijumsko-magnezijumske grupe. Pretpostavka je da se vode javljaju iz srednje-trijaskih krečnjaka. Ukupna mineralizacija ove vode je 3,7 g/L, a temperatura 28 °C. Termomineralne vode na području Banja Luke javljaju se u Slatini i Gornjem Šeheru - Srpske Toplice. Na području Slatine, vode se javljaju iz srednje-trijaskih krečnjaka i to su vode sulfatno-hidrokarbonatne klase, kalcijumsko-magnezijumske grupe, ukupne mineralizacije 30 g/L, sa sadržajem CO_2 od 1,2 mg/L i temperature 41°C. Termomineralne vode Srpskih Toplica su hidrokarbonatno-sulfatne klase, kalcijumsko-magnezijumske grupe. Ukupna mineralizacija je oko 1,3 g/L i temperatura 34°C. Termalne vode ove hidrogeološke jedinice imaju sličan osnovni hemijski sastav, kao i svježije (hladne) vode što je i razumljivo, jer im je akvifer krečnjak trijaske starosti. Takve su i termalne vode kod Rudog, Višegrada i Laktaša.

Hemizam podzemnih voda srednjobosanskog rejona odlikuje se velikom raznolikošću u zavisnosti od litološkog sastava terena. Vode iz magmatskih stijena, zbog njihove rezistentnosti, odnosno male rastvorljivosti imaju nisku mineralizaciju (oko 150 mg/L). To su vode hidrokarbonatno-hloridne klase i natrijumsko-kalcijumske grupe. Vode iz trijaskih evaporita imaju znatno veću mineralizaciju i preko 1 g/L, a vode su hidrokarbonatno-sulfatne ili sulfatno-karbonatne klase. Podzemne vode karbonatnog masiva Manjače i Podrašničkog polja izljevaju se na vrelima Krupe u slivu Vrbasa i izvoru rijeke Gomjenice u slivu rijeke Sane. Po hemijskom sastavu, podzemne vode ovih vodonosnika su hidrokarbonatne klase, kalcijumske grupe sa ukupnom mineralizacijom do 300 mg/L.

Hemizam podzemnih voda rejona Hercegovine je relativno sličan. Relativna ujednačenost litološkog sastava i uvećane brzine cirkulacije podzemnih voda imaju svoj odraz na hemizam podzemnih voda karstnih

terena. To su vode mineralizacije 200-700 mg/L, hidrokarbonatne klase, kalcijumske grupe. Ukupna tvrdoća se kreće od 6 do 16 °dH. Vode iz dolomita imaju povećan sadržaj Mg i SO₄ jona. Učešće jona magnezijuma se kreće od 15 do 50 mg/L, a sulfatnih jona 9-24 mg/L. Vode iz fliša i promine imaju povećanu mineralizaciju 600-800 mg/L. Preovladava voda hidrokarbonatno-sulfatne klase, kalcijumsko-magnezijumske grupe. Podzemne vode Hercegovine i Romanije, te sliva gornjeg toka Drine nemaju povišen sadržaj gvožđa, mangana, nitrita i amonijaka.



Slika 40. Prikaz hemijskog sastava vode na prostoru Republike Srpske

26. TIPOVI IZDANI U ZAVISNOSTI OD HIDROSTATIČKOG PRITISKA I TIPA POROZNOSTI AKVIFERA

Zavisno od toga da li je izdan sa slobodnim nivoom vode ili sa nivoom vode pod pritiskom, razlikujemo freatske, arteske i subarteske izdani.

U zavisnosti od tipa poroznosti akvifera u kome su amulirane podzemne vode jedne izdani, razlikujemo izdani u akviferima sa izraženim intergranularnim tipom poroznosti i izdani u akviferima sa izraženim pukotinskim ili pukotinsko-kavernoznim tipom poroznosti.

26.1. Freatske izdani i izdani pod pritiskom u stijenama intergranularnog tipa poroznosti

Kako je već pomenuto na početku poglavlja 25 gdje su date opšte informacije o podzemnim vodama, podzemne vode mogu na osnovu hidrodinamičkih karakteristika nivoa biti pod pritiskom ili sa slobodnim nivoom.

Izdani u akviferima sa izraženim intergranularnim tipom poroznosti (zbijeni tip izdani), a iznad kojih neposredno nema vodonepropusnih stijena, imaju freatski karakter (engl. *unconfined aquifer*). Takve izdani formirane su uglavnom u šljunkovito-pjeskovitim sedimentima, aluvijalnih, ali i deluvijalnih, proluvijalnih, glacijalnih i drugih rastresitih naslaga.

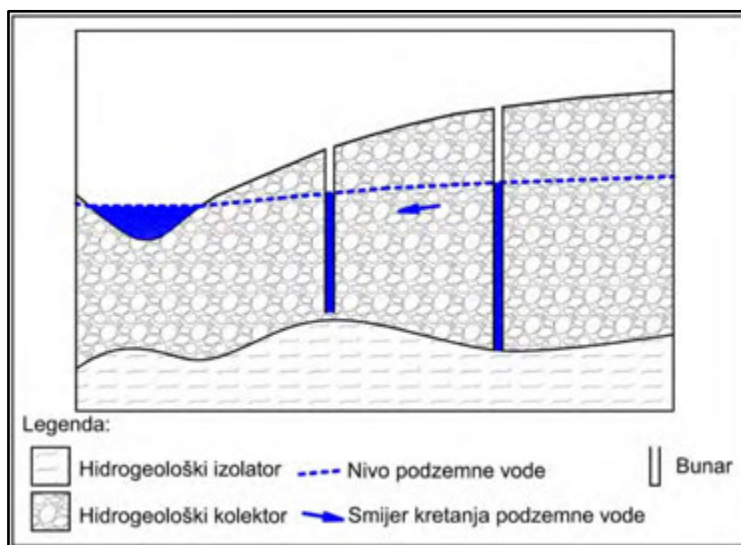
Glavna karakteristika ovog tipa izdani je kontinualno prostiranje izdanske zone (nivoa izdani), što se može dokazati i izvođenjem bušenja u svakoj tački izdani i registrowanjem nivoa podzemne vode.

Ipak, ove izdani se međusobno razlikuju. Zavisno od sedimentacione sredine, geneze nastajanja i ostalih faktora, razlikuje im se površina rasprostranjenja, debljina izdani, vodopropusnost, način prihranjivanja i dreniranja, kvalitet podzemne vode i hidrodinamičke karakteristike nivoa.

Izdani sa slobodnim nivoom (freatske izdani) su široko rasprostranjene u stijenama sa izraženim intergranularnim tipom poroznosti (slika 41). Naime, to su izdani koje su formirane u aluvijalno-terasnim sedimentima riječnih dolina, te i ne čudi odakle njihova velika rasprostranjenost.

Izdani sa slobodnim nivoom se sastoje od izdanske i nadizdanske zone. Gornju granicu ove izdani čini nivo podzemne vode, dok je donja granica vodonepropusna podloga.

Ove izdani se hrane na račun atmosferskih padavina, infiltracija voda iz rijeka, ali i na račun doticaja iz dubljih vodonosnih sredina, duž rasjeda.



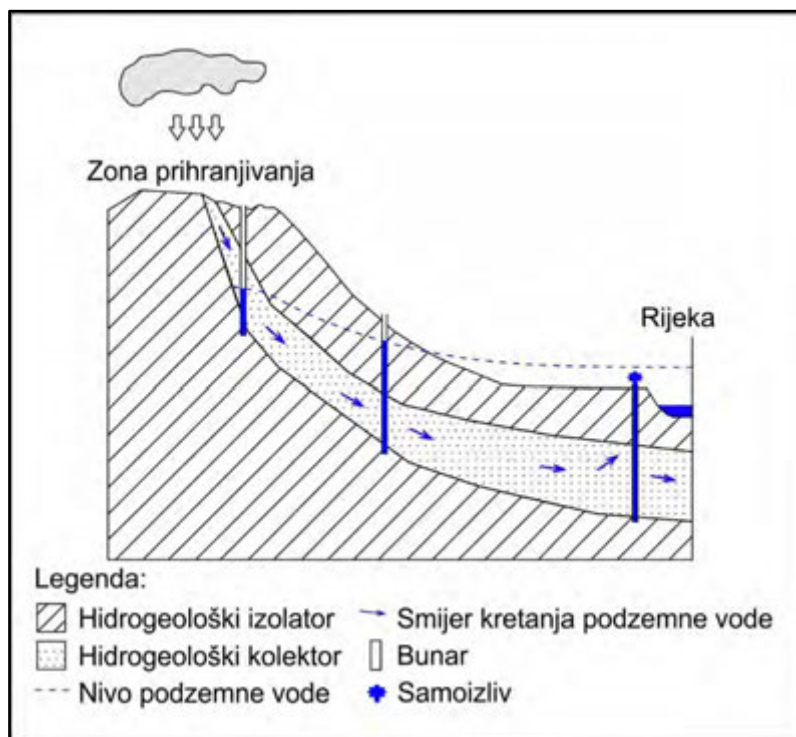
Slika 41. Freatski tip izdani u akviferima intergranularnog tipa poroznosti

Glavni problem ovih izdani je relativno mala dubina zalijeganja, brza vodozamjena i iz tog razloga njihova eksploatacija je intenzivna. Zbog toga i veze sa površinom terena veoma su lako podložne zagađenju, što fizičko-hemijskom, što mikrobiološkom. Isto tako, jako je izraženo variranje nivoa podzemne vode, a samim tim i količine dostupne vode tokom godine (sezonska variranja). Tokom sušnih mjeseci, kada nema padavina i kada opadne nivo vode u rijeci, smanjuje se i količina vode koja se infiltrira u podzemlje, a samim tim i količina vode koja se može koristiti iz izdani. Sa količinom, opada i kvalitet vode, jer se može javiti i precrpljivanje izdani, pa su i veće šanse da zagađenje brže stigne do izdani zbog povećanih hidrauličkih gradijenata u raznim smjerovima. Temperaturna kolebanja su još jedna odlika ovakvog tipa izdani. Uslijed plitkog zalijeganja i dobre veze sa površinom, često se dešava da tokom godine imamo i manje promjene temperature podzemne vode, koje ipak i nemaju veliki uticaj na njen krajnji kvalitet.

Izdani pod pritiskom ili arteske izdani su dobile svoj naziv po francuskoj provinciji Artoa (Artesia), gdje je tokom 1126. godine izveden prvi bunar, ne samo u Francuskoj, nego i u Evropi, kod koga je registrovan pritisak veći od atmosferskog. Takvi bunari su nazvani arteski bunari i ovaj

termin je ostao do danas u upotrebi za sve pojave podzemnih voda, koje se nalaze pod pritiskom.

Izdani u akviferima sa izraženim intergranularnim tipom poroznosti, koje su pod pritiskom (slika 42), su one izdani kod kojih se podzemne vode nalaze pod većim pritiskom nego što je atmosferski (4). Formirane su u vodonosnim sredinama, koje su potpuno zasićene slobodnom podzemnom vodom, a koje su prekrivene vodonepropusnim ili relativno vodonepropusnim stijenama (engl. *confined aquifer*).



Slika 42. Arteski tip izdani u akviferu sa intergranularnim tipom poroznosti

Prilikom izvođenja bušotina u ovakvim sredinama, nivo podzemne vode se, u zavisnosti od veličine pritiska u toj tački izdani, izdiže iznad donje granice vodonepropusne podine - subarteska izdan, a nerijetko se javlja i samoizliv na bušotinama (slika 43) - arteska izdan.

Visina do koje će se podzemna voda podići u bušotini naziva se i pijeziometarski nivo. U većini slučajeva je pijeziometarski nivo viši u zoni prihranjivanja. Glavni razlog za to je odnos veće količine vode, kojom se izdan prihranjuje i količine vode koja podzemno otiče odn. koja se drenira

izvorima i crpi iz izdani preko bunara i sl. ili postojanje rastvorenih i slobodnih gasova, čijim se širenjem uvećava pritisak u izdani.

Izdani formirane u stijenama intergranularnog tipa poroznosti, koje se nalaze pod pritiskom se sastoje iz slijedećih dijelova: izdanska (vodonosna) zona, vodonepropusna ili relativno vodonepropusna podina i povlata, oblast hranjenja, oblast formiranja i rasprostranjenja pritiska, zona isticanja i sabirna površina (spoljašnja oblast hranjenja). Kod ovih izdani izostaje nadizdanska zona (vadozna zona).

Što se tiče režima i kvaliteta podzemnih voda formiranih u izdani pod pritiskom, može se reći da su oni dosta stabilniji u odnosu na podzemne vode formirane u freatskim izdanima. Usljed zaštite koju pruža vodonepropusni dio iznad vodonosne sredine, spriječen je, ili u najgorem slučaju mnogo usporen, prodor zagađenja sa površine terena. Pored bolje zaštite, temperatura, kvalitet i količina vode su postojaniji, odnosno nema sezonskih variranja kao kod freatskih izdani.

Za zahvatanje podzemnih voda sa arteskim karakterom izdani veoma je značajno, da se radovi izvedu u skladu sa savremenim, najboljim dostupnim tehnikama, a sve u cilju zaštite očuvanja arteskog pritiska i zaštite od miješanja podzemnih voda iz različitih akvifera, koje najčešće imaju i različit fizičko-hemijski sastav.

Na slici 43 je prikazana istražna bušotina koja na širem prostoru Brezičana kod Prijedora, jedina ima samoizliv, iako je u prethodnom periodu izvedeno više bušotina i bunara na tom prostoru. Razlog za to je što prethodno izvedenim bušenjima, nije izvršena izolacija plićih akvifera tokom izvođenja procesa bušenja, pa dolazi do proticaja i miješanja voda plitkih i arteskizdani kroz prstenasti prostor, između zida bušotine i ugrađene pijezometarske ili bunarske cijevi.

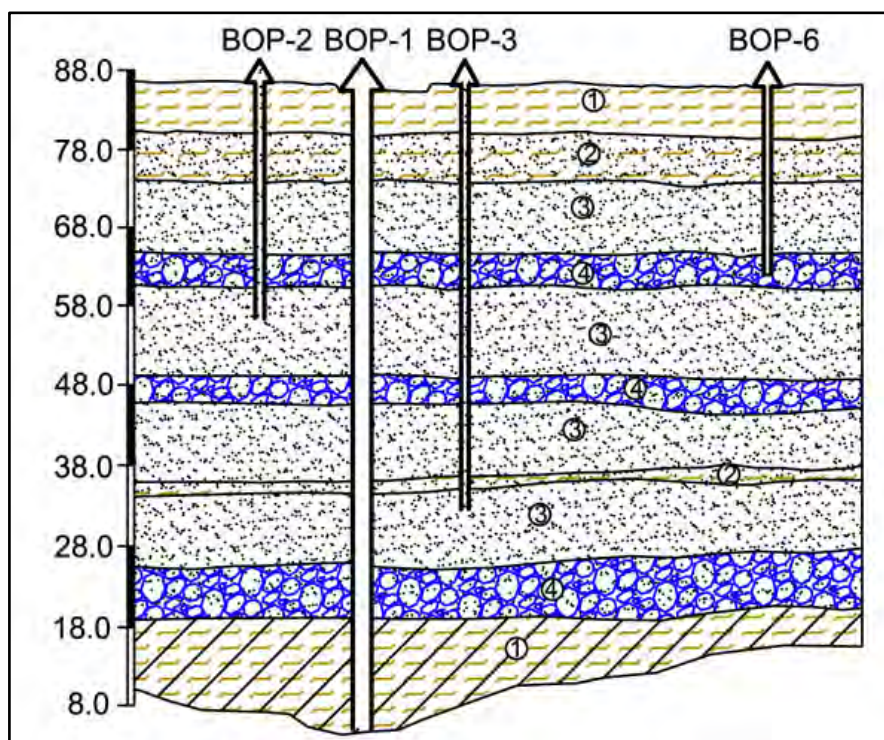
Na izvoristu Prijedorčanka, gradskog vodovoda Prijedora je 2007. g, izvođenjem bunara B-3 sa samoizlivom 4 l/s od strane preduzeća "IPIN" iz Bijeljine, zahvaćena kvalitetna voda iz arteskizdani akumulirane u karbonatnom akviferu, sa izraženim pukotinsko-karstnim tipom poroznosti, za razliku od drugih bunara u neposrednoj blizini, koji nemaju samoizliv, a u nekima voda ima i povišen sadržaj gvožđa i mangana zbog miješanja voda različitog kvaliteta, odn. zahvatanja vode pliće izdani u šljunkovito-pjeskovitom akviferu, neogene starosti sa izraženim intergranularnim tipom poroznosti. Zahvaljujući kvalitetnoj izolaciji plićih akvifera, cementacijom prstenastog prostora između cijevi i zida bušotine, i tako sprečavanju prodora zagađene vode sa površine i sprečavanju nekontrolisanog isticanja vode pored cijevi pijezometra i bunara, dobijen je samoizliv, što je i

najsigurniji dokaz zaštite da zagađujuća materija sa površine terena, neće dospjeti u vodonosan sloj izvorišta.



Slika 43: Samoizliv bušotine IB-3, izvorišta Prijedorčanka u Prijedoru

Primjer loše izvedenih bunara u cilju zahvatanja podzemnih voda dubljih subarteskkih i arteskkih izdani, bez izrade izolacije prostora oko bunarske cijevi, u vidu cementacije ili tamponiranja glinom je na primjeru izvorišta “Novo naselje” u Brodu (slika 44). Na ovom izvorištu je izvedeno više bunara, gdje su pospajane izdani različitog nivoa odn. pritiska podzemne vode i različitog hemijskog sastava.



Slika 44: Hidrogeološki profil izvorišta "Novo naselje" u Brodu

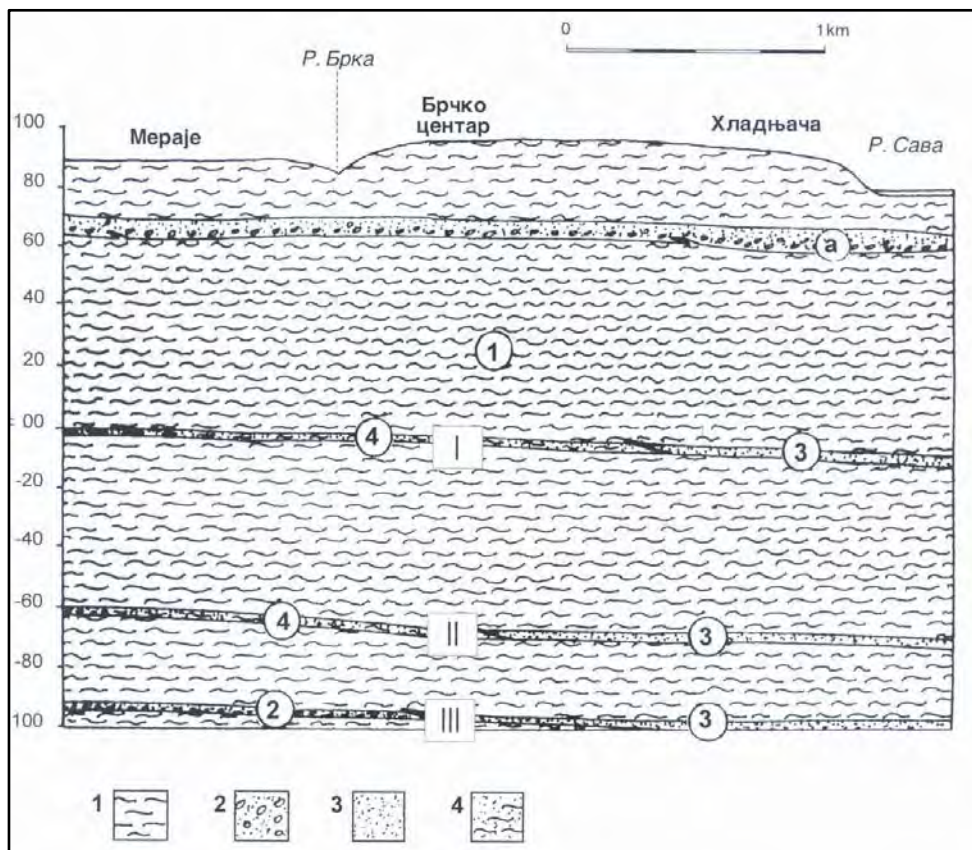
Najveći broj tzv. arteskkih bunara je na prostoru Republike Srpske izveden po obodu panonskog basena, odn. na prostoru Posavine i jednog dijela Semberije.

Na slici 45 je prikazan hidrogeološki presjek izdani na prostoru Brčkog (5), na kojem se vidi prisustvo više izdani različite dubine, od kojih je prva freatska, a dublje tri izdani sa nivoom pod pritiskom (artenska izdan).

U Republici Srpskoj je, nažalost prisutna pojava izrade "arteskkih" bušotina i bunara od strane priučenih majstora, na nestručan način pomoću bušačih garnitura koje, u praksi, imaju tretman "poljoprivrednih mašina" i sa lošim konstrukcionim karakteristikama, koje ne omogućuju zaštitu ove izdani, a omogućuju njenu nekontrolisanu eksploataciju. Kao izvođači se pojavljuju preduzeća i pojedinci koji ne ispunjavaju uslove i nemaju licencu za obavljanje ovih poslova (5). To trajno narušava režim i bilans artenske izdani. Osim toga, uslijed primjenjene neadekvatne metode bušenja, a bez hidrogeološkog nadzora, nije rijetka pojava da neki od arteskkih vodonosnih slojeva uopšte ne bude primjećen tokom bušenja.

Treba napomenuti i opasnost od precrcpljivanja izdani, što može dovesti do gubljenja arteskog karaktera ove izdani. Veći dio arteskkih bunara

na području grada Brčko, uošte više nema samoizliv, iako je imao od pedesetih do osamdesetih godina prošlog vijeka.



Slika 45: Hidrogeološki presjek na području Brčkog (5)

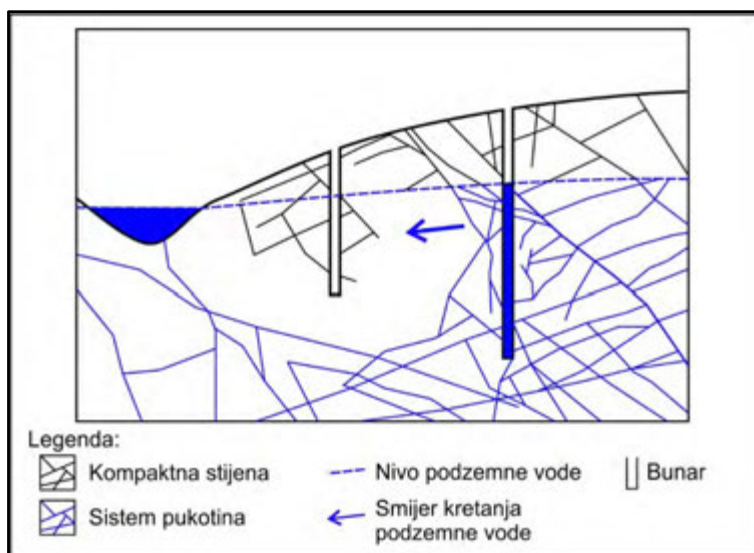
Legenda: 1. glinoviti vodonepropusni do slabovodopropusni sedimenti; 2. šljunkovito-pjeskoviti dobrovodopropusni sedimenti; 3. pjeskoviti dobrovodopropusni sedimenti; 4. pjeskovito-glinoviti slabovodopropusni sedimenti; I - prva artenska izdan; II - druga artenska izdan i III - treća artenska izdan, a – freatska izdan u aluvijalnim i terasnim šljunkovito-pjeskovitim sedimentima.

Povećana i nekontrolisana eksploatacija arteskkih izdanskkih voda može da promijeni režim i bilans izdani. Do sada nije kvantitativno utvrđeno koliki uticaj na nivo arteskke izdani brčanske Posavine ima eksploatacija vode iz ove izdani na području Slavonije i cijele Panonske nizije, a radi se o prekograničnoj izdani.

Može se konstatovati da se radi o obnovljivom, ali ne i neograničenom resursu, s obzirom da je vodozamjena arteskih izdani brčanske Posavine veoma spora uslijed slabog prihranjivanja i udaljenosti zone prihranjivanja izdani vodom sa površine terena. Naime, eksploatacija podzemne vode je ograničena prihranjivanjem izdani u određenom vremenskom intervalu. Neophodno je uskladiti intenzitet ukupne odn. zbirne vrijednosti crpljenja arteske izdani, od strane svih korisnika, sa stvarnim rezervama (regulacionim) podzemne vode. Ovo je moguće primjenom zakona iz oblasti rudarstva i geologije (istražno i eksploataciono pravo i koncesije).

26.2. Izdani u akviferima sa pukotinskim i pukotinsko-karstnim tipom poroznosti

Izdani u akviferima sa izraženim pukotinskim tipom poroznosti (slika 46) su formirane uglavnom u čvrstim stijenama (magmatskim i stijenama sa visokim stepenom kristaliniteta), kao i u čvrstim sedimentnim stijenama (breče, konglomerati).



Slika 46. Izdan u akviferu sa izraženim pukotinskim tipom poroznosti

Sama vodonosnost stijena sa pukotinskim tipom poroznosti uslovljena je prvenstveno stepenom ispucalosti, često uzrokovanom tektonskim deformacijama, ali je uslovljena i petrološkim sastavom,

sadržajem glinovite i karbonatne komponente, kao i stepenom dijageneze. Sa povećanjem sadržaja glinovite komponente, opada stepen ispucalosti stijena, jer postaju elastičnije, a samim tim su i manje vodonosne. Veći sadržaj karbonatne komponente čini stijenu više krutom i samim tim podložnom pucanju i takve stijene mogu biti jako vodonosne. Jako bitna odlika ovih stijena je ta da se poroznost i prisustvo podzemne vode mijenja u svim pravcima masiva, što znači da se u neposrednoj blizini mogu naći dijelovi masiva koji su jako porozni i zavodnjani i dijelovi koji su bezvodni. Intezitet ispucalosti ne definiše to da li je u stijenama akumulirana veća količina podzemne vode kao i njihova povezanost, veličina pukotina (njihova dubina i širina) i stepen njihove zapunjenosti.

Kao i kod akvifera sa izraženim intergranularnim tipom poroznosti, i akviferi sa izraženim pukotinskim tipom poroznosti mogu biti sa slobodnim nivoom podzemne vode i pod pritiskom.

Dio izdani iznad lokalnog erozionog bazisa, formiran je u gornjim dijelovima masiva. U tom dijelu akvifera preovlađuju pukotine fizičkog i hemijskog raspadanja stijena. U ovom dijelu izdani, nivo vode je uvijek slobodan, a podzemna voda se kreće pod uticajem gravitacije, odnosno silazno. Zbog male dubine do nivoa podzemne vode, ovaj dio izdani je podložan zagađenju.

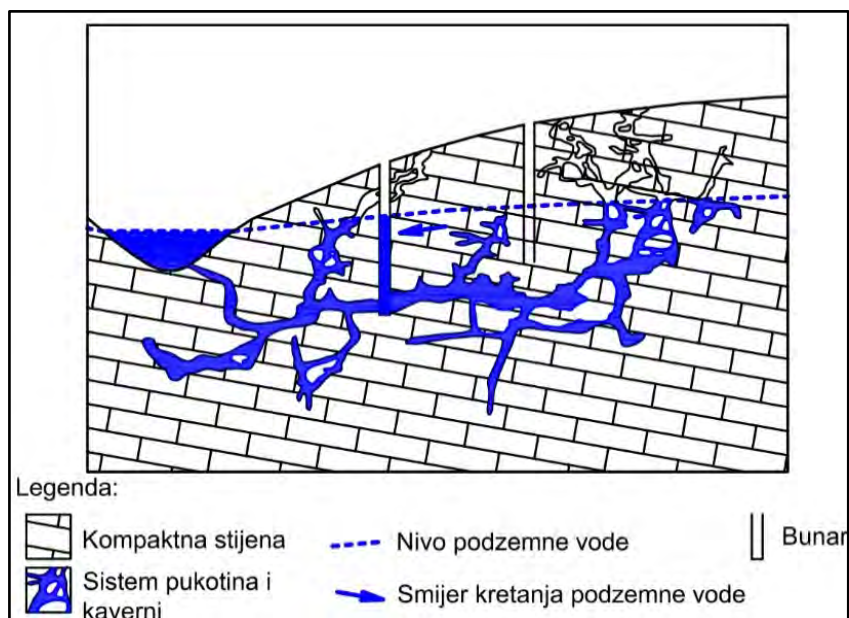
Dio izdani ispod lokalnog erozionog bazisa je formiran u tektonski predisponiranim zonama sa izraženim pukotinama i razlomima. Širina zone može biti i kilometarska, dok joj je dužina nerijetko i nekoliko desetina kilometara. Poznato je da je veliki broj rijeka formiran duž pravaca velikih razlomnih struktura, zato se ovaj dio hrani na račun infiltracija voda riječnih tokova, atmosferskih padavina, ali i doticanjem iz susjednih izdani. Nivo podzemnih voda, u ovom dijelu izdani je najčešće pod pritiskom, te i kretanje podzemnih voda može biti silazno i uzlazno.

Akviferi sa izraženim pukotinsko-karstnim tipom poroznosti su, po pravilu stijene rastvorljive dejstvom vode. To su uglavnom karbonatne stijene (krečnjaci, manje dolomiti), sulfatne i hloridne naslage (6). Ipak, s obzirom na rasprostranjenje, najznačajnije su izdani u karbonatnim stijenama.

U tim naslagama voda teče kroz pukotine i kanale (slika 47), koji se vremenom šire kako proces karstifikacije napreduje.

Izdani formirane u akviferima koje čine karbonatne stijene su jako specifične. Sama oblast prostiranja izdani može se poklapati sa onim što se vidi na površini terena (otkriveni karst) ili može biti prekrivena nekim drugim stijenama, nekarbonatnog tipa (pokriveni karst).

Prihranjivanje izdani sa karstnim tipom poroznosti se odvija infiltracijom atmosferskih padavina ili poniranjem površinskih voda, kada dospiju u karbonatne terene. Poniranje se odvija kroz pukotine na površini terena, koje su jako prisutne u karstu (uvale, vrtače, škrape, ponori). Linearni rasporedi pukotina duž trase rasjeda i razloma u krečnjacima, na kojima ponire površinska voda, su često pokazatelji i pravca kretanja vode kroz podzemlje u karstu. Velike dimenzije karstnih kanala i pukotina, kao i njihova povezanost i velika propusnost površinskih zona u karstu su uzroci brzog punjenja podzemlja vodom. Ali kako se podzemlje brzo puni vodom, isto tako brzo je i pražnjenje vode iz istog. Iz tog razloga, u ovim izdanima dolazi do znatnih oscilacija u nivou podzemne vode, ali i u izdašnosti izvora, za kratak vremenski period (7).



Slika 47. Izdan u akviferu sa izraženim pukotinsko-karstnim tipom poroznosti

Izdani formirane u akviferima sa izraženim pukotinsko-karstnim tipom poroznosti se najčešće prazne preko karstnih vrela (koja su često snažna i velikog kapaciteta). Česta je pojava i manjih izvora koji se javljaju duž razlomnih linija ili na kontaktima sa nekarbonatnim dijelovima terena.

Kao i kod izdani sa pukotinskim tipom poroznosti, i ovaj tip izdani ima usmjereno kretanje podzemnih voda ka erozionom bazu.

Izdan formirana u akviferu sa izraženim pukotinsko-karstnim tipom poroznosti je jako specifična. Još je Cvijić početkom 20. veka izdvojio tri hidrografske zone u ovom tipu izdani. On je izdvojio suhu, prelaznu i stalno vlažnu zonu.

Suva zona je prva zona od površine terena. Ona se može izjednačiti sa zonom aeracije. U ovoj zoni nema stalnih izdanskih tokova, već se oni javljaju u periodima velikih padavina ili u proljeće kada dolazi do topljenja snijega. Ispod nje se nalazi prelazna zona. U ovoj zoni tokom velikih padavina dolazi do usporenog kretanja, pa čak i zaustavljanja infiltracije vode u dubinu. Tom prilikom se formiraju tokovi podzemne vode. U ovoj zoni se formiraju povremeni izvori, u periodu velikih voda. Najdublja i najvažnija je stalno vlažna zona. U njoj se formira izdan i iz nje podzemna voda otiče ka erozionom bazu (zonama isticanja podzemne vode). Bitno je reći da zone nisu jasno definisane i sa evolucijom karstnog procesa dolazi i do njihovog pomijeranja.

27. ZAHTJEVI ZA VODOM ODREĐENOG KVALITETA, TE ZAŠTITA IZVORIŠTA VODE OD ZAGAĐENJA – ZONE SANITARNE ZAŠTITE

Sa razvojem društva i industrije, razvija se i potreba za većim količinama vode, a u zavisnosti od njene namjene, voda mora da ispuni i određene zahtjeve po pitanju kvaliteta.

Zbog naglog porasta stanovništva, povećane su i potrebe za pitkim vodama, kako bi se mogao obezbijediti zdrav i normalan život. Problemi nastaju i zbog toga što voda nije ravnomjerno raspoređena svuda po svijetu i što u nekim dijelovima postoji precrcpljivanje izdani, koje dodatno utiče na kvalitet vode.

Iz svega ovoga treba zaključiti da postoje neki prioriteti u korišćenju podzemnih voda. Prioritet treba dati korišćenju voda za ljudsku upotrebu (prije svega za piće). Pored ljudske upotrebe, podzemna voda se koristi i za potrebe industrije (u proizvodnji hrane, za hlađenje postrojenja, u proizvodnim procesima), za potrebe flaširanja vode, za navodnjavanje poljoprivrednih površina, za rekreaciju (gradski bazeni).

Kako je već rečeno, prioritet korišćenja podzemne vode mora biti za ljudsku upotrebu, odnosno za vodosnadbijevanje stanovništva. Za te potrebe, ona mora zadovoljiti odgovarajuće propise. Sve manje voda u prirodi može ispuniti sve parametre kvaliteta vode za piće, te se uglavnom mora primijeniti neki dodatni tretman na njoj da bi se mogla koristiti za tu svrhu.

Kvalitet vode za ljudsku upotrebu direktno utiče na zdravlje potrošača. Da bi se koristila za ljudsku upotrebu, podzemna voda mora da zadovolji određene mikrobiološke parametre, organoleptičke i fizičko-hemijske parametre i parametre radioaktivnosti. Granične vrijednosti pomenutih parametara propisuje svaka država donoseći odgovarajući Zakon o vodama i prateće propise (o zdravstvenoj ispravnosti vode namenjene za ljudsku upotrebu, o zaštiti izvorišta i ostale propise koji su u vezi sa korišćenjem voda).

U Republici Srpskoj je na snazi Zakon o vodama (trenutno je važeći objavljen u Sl. glasniku Republike Srpske br. 50/06, 92/09 i 121/12) i Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode namjenjene za ljudsku potrošnju (trenutno je važeći objavljen u Sl. glasniku Republike Srpske br. 88/17). Članom 52. stavom 1. Zakona o vodama, propisano je da će kvalitet vode koja je namijenjena za ljudsku upotrebu odgovarati uslovima utvrđenim u članu 22. istog zakona i propisu o vodi za piće koji donosi ministarstvo

nadležno za oblast zdravstva. U članu 22. stav 2. Zakon o vodama, poziva se na primjenu Okvirne direktive o vodama, Direktive EU 80/778/EC od 15. jula 1980. godine, koja se odnosi na vodu namijenjenu za ljudsku upotrebu i direktivama kojima je dopunjena, Direktiva EU 98/83EC od 3. novembra 1998. godine koja se odnosi na kvalitet vode namijenjen ljudskoj upotrebi. Pored Okvirne direktive o vodama, moraju se poštovati i propisi Republike Srpske u pogledu kvaliteta vode za piće koje mora ispunjavati voda kao ljudska namirnica. Cilj Direktive EU 98/83EC je zaštita zdravlja od štetnih efekata bilo kakvog zagađenja koje se može naći u vodi i to tako što će se obezbjediti da ona bude zdrava i čista. Važeći pravilnik, koji reguliše ovu oblast je, prema koncentraciji neorganskih materija u vodi za piće, usklađen sa Direktivom EU. U pogledu pesticida važeći pravilnik je u potpunosti usaglašen sa Direktivama EU. U Direktivama EU vrijednosti glavnih parametara kojima se definišu organoleptičke karakteristike vode (boja, miris, ukus i mutnoća) date su opisno. Direktive EU su u parametre kvaliteta vode uvrstile provodljivost, koncentraciju jona vodonika i oksidabilnost, koje su usklađene sa važećim pravilnikom.

Pored vode za piće iz javnih sistema, dosta se koriste i flaširane vode.

Prirodna mineralna voda je podzemna voda koja ispunjava propisane mikrobiološke zahtjeve i koja se puni na izvoru, a razlikuje se od vode za piće po svom prirodnom karakterističnom sadržaju minerala (prema opšteprihvaćenim klasifikacijama ako ima ukupnu mineralizaciju preko 1,0 g/l), elemenata u tragovima ili drugih sastojaka, te zavisno od slučaja, određenim efektima na organizam.

Stona voda se proizvodi od vode za piće, prirodne izvorske ili prirodne mineralne vode, uz dozvoljene tretmane i dodavanjem jedne ili više dopuštenih supstanci, a sve u svrhu poboljšanja organoleptičkih i dr. osobina vode. Stona voda je zdravstveno ispravna, ako zadovoljava propisane vrijednosti fizičko-hemijskih i mikrobioloških parametara. Dozvoljeni tretmani u cilju zadovoljavanja zdravstveno ispravne stonog vode su: odvajanje nestabilnih elemenata kao što su jedinjenja gvožđa, mangana, arsena, sumpora, postupci oksidacije, filtracije i dekantacije. Stonoj vodi se mogu dodavati: natrijum-hlorid, kalcijum-hlorid, natrijum-hidrokarbonat, magnezijum-karbonat, natrijum-sulfat, magnezijum-sulfat, ugljen-dioksid i natrijum-fluorid u skladu sa dozvoljenim vrijednostima propisanim za stonog vode.

Prirodna izvorska voda je namijenjena ljudskoj upotrebi u svom prirodnom stanju, ukoliko se puni na izvoru i zadovoljava propisane

mikrobiološke zahtjeve i maksimalno dozvoljene koncentracije supstanci prirodno prisutnih u prirodnoj izvorskoj vodi.

Prirodna mineralna i prirodna izvorska voda u svom izvornom stanju na izvoru mogu se podvrgnuti slijedećim tehnološkim postupcima: odvajanje nestabilnih elemenata (jedinjenja gvožđa, mangana, arsena i sumpora), oksidaciji, postupcima filtracije ili taloženja, ukoliko ovi postupci ne mijenjaju sastav prirodne mineralne ili prirodne izvorske vode u pogledu bitnih sastojaka. Moguće je izvršiti i djelimično ili potpuno uklanjanje ugljen-dioksida. Prirodnoj mineralnoj ili prirodnoj izvorskoj vodi nije dozvoljeno dodavati bilo koje sastojke osim uvođenja ugljen-dioksida.

Prirodna mineralna i prirodna izvorska voda ne smije da sadrži na izvoru ili na tržištu parazite i patogene mikroorganizme.

Zahtjevi kvaliteta vode za industrijsko korišćenje veoma variraju, u zavisnosti od njene namjene. U nekim slučajevima se čak i slane i brakične vode mogu koristiti za hlađenje. One se ne mogu koristiti više puta, već samo jednom i nakon toga se ponovo mogu odlagati bez uticaja na životnu sredinu (14).

Vode koje se koriste u industrijskim procesima moraju imati mnogo veći kvalitet od rashladnih voda. Dešava se da sanitarni uslovi voda koje se koriste u industriji proizvodnje mlijeka, mesa i konzervirane hrane prevazilaze standardne čak i za pijaću vodu. Što se tiče upotrebe voda za grijanje (veliki sistemi za grijanje, kotlovi), naročito je važna tvrdoća vode, pa se često primjenjuje postupak omekšavanja vode. To se zahtjeva da ne bi došlo do taloženja kamenca (CaCO_3) na unutrašnjim zidovima kotlova i cijevi i time se smanjila efikasnost sistema i protok.

Postoji dosta slučajeva gdje podzemna voda može biti korištena u industriji zbog svoje niske i relativno konstantne temperature. U drugim slučajevima, podzemne vode su povoljne zbog svoje prirodne tvrdoće, jer proizvodnja piva, pekare i destilerije trebaju tvrdu vodu. Sa druge strane, ponekad čak i male količine gvožđa, mangana ili kalcijuma mogu prouzrokovati velike štete (proizvodnja papira, plastike). Zato su u narednoj tabeli uopštene kvalitativne vrijednosti pojedinih elemenata u vodi koja se koristi u određenoj industriji.

Tabela 13. Kvalitet vode za industrijske procese (14)

Industrija	Mutnoća	Boja	Tvrdoća mg/L CaCO ₃	Alkalnost mg/L CaCO ₃	Fe+Mn mg/L	Minera- lizacija mg/L	Ostalo
Industrija hrane							
Pekare	10	10	+	....	0,2	....	<i>a</i>
Pivo	10	....	....	75-150	0,1	500-1000	<i>a, b</i>
Konzervirana hrana	10	....	25-75	....	0,2	....	<i>a</i>
Slatkiši	....	....	....	....	0,2	100	<i>a</i>
Led	5	5	....	30-50	0,2	300	<i>a, c</i>
Pranje	....	....	50	....	0,2	....	....
Industrijski proizvodi							
Koža	20	10- 100	50-135	135	0,4	....	....
Papir	5	5	50	....	0,1	200	<i>d</i>
Plastika	2	2	...	....	0,02	200	....
Tekstila	5	20	20	....	0,5	...	....

+ – *poželjna je određena tvrdoća*; *a – mora ispunjavati standarde za pijaće vode*; *b – koncentracija NaCl ne smije biti veća od 250 mg/L*; *c – koncentracija SiO₂ ne smije biti veća od 10 mg/L, hidrokarbonati kalcijuma i magnezijuma su problematični, pojedinačne koncentracije sulfata i hlorida natrijuma, kalcijuma i magnezijuma ne smiju prijeći 300 mg/L*; *d – ne smije se formirati mulj.*

Za potrebe tekstilne industrije, voda mora imati malu tvrdoću i mali sadržaj gvožđa, za potrebe proizvodnje šećera voda mora biti minimalne mineralizacije, dok je za industriju papira potrebna voda bez gvožđa, mangana, silicijumove kiseline.

Što se tiče kvaliteta vode za navodnjavanje, ona mora da ispuni određene zahtjeve da bi se mogla koristiti u te svrhe. Glavni problemi pri korišćenju voda za navodnjavanje su salinitet i toksičnost. Elementi koji su posebno nepovoljni u vodama za navodnjavanje su hloridi, teški metali i organske zagađujuće materije.

Natrijum u prirodnim vodama najčešće potiče od halita, ali i od plagioklasa feldspata (14). Vode sa povišenim sadržajem natrijuma su vrlo nepogodne za navodnjavanje. Kada se natrijumske vode koriste za navodnjavanje, joni natrijuma lako istiskuju i mijenjaju jone kalcijuma i magnezijuma u zemljištu. Takva zemljišta postaju zaslanjena i nepogodna za dalji uzgoj kultura.

Postoji nekoliko klasifikacija na osnovu kojih se određuje kvalitet vode za navodnjavanje (irigacioni koeficijent po Stebleru, klasifikacija po Nejgebaueru, modifikovana FAO klasifikacija i klasifikacija Američke laboratorije za slatine-SAR indeks).

Najrasprostranjenija metoda je metoda Američke laboratorije za slatine, a podrazumijeva određivanje SAR (Sodium Adsorption Ratio) indeksa. Ona pokazuje aktivnost natrijuma u reakcijama izmijenjivanja sa elementima iz zemljišta. Računa se prema slijedećoj formuli:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (27.1.)$$

gdje je:

SAR – vrijednost SAR indeksa

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} - vrijednosti koncentracija katjona (meq/L)

Ako je udio natrijuma veliki, velika je i opasnost od alkalizacije zemljišta, dok se u slučaju velikog udijela kalcijuma i magnezijuma, smanjuje opasnost.

Pored koncentracija, mjeri se i elektroprovodljivost vode.

Izdvađa se po 4 klase opasnosti od zaslanjivanja i 4 klase opasnosti od alkalizacije.

Klase prema opasnosti od zaslanjivanje su slijedeće:

C_1 (malo slana voda) – može se upotrebiti za navodnjavanje svih biljnih vrsta;

C_2 (srednje slana voda) – može da se upotrebi za navodnjavanje, ako postoje uslovi za isparenje srednjeg inteziteta;

C_3 (slana voda) – ne može da se upotrebi na zemljištima slabe drenaže;

C_4 (vrlo slana voda) – nije pogodna za navodnjavanje, ali može da se upotrebi pod specijalnim okolnostima (dobra propustljivost zemljišta sa mogućnošću isparenja).

Klase prema opasnosti od alaklizacije su slijedeće:

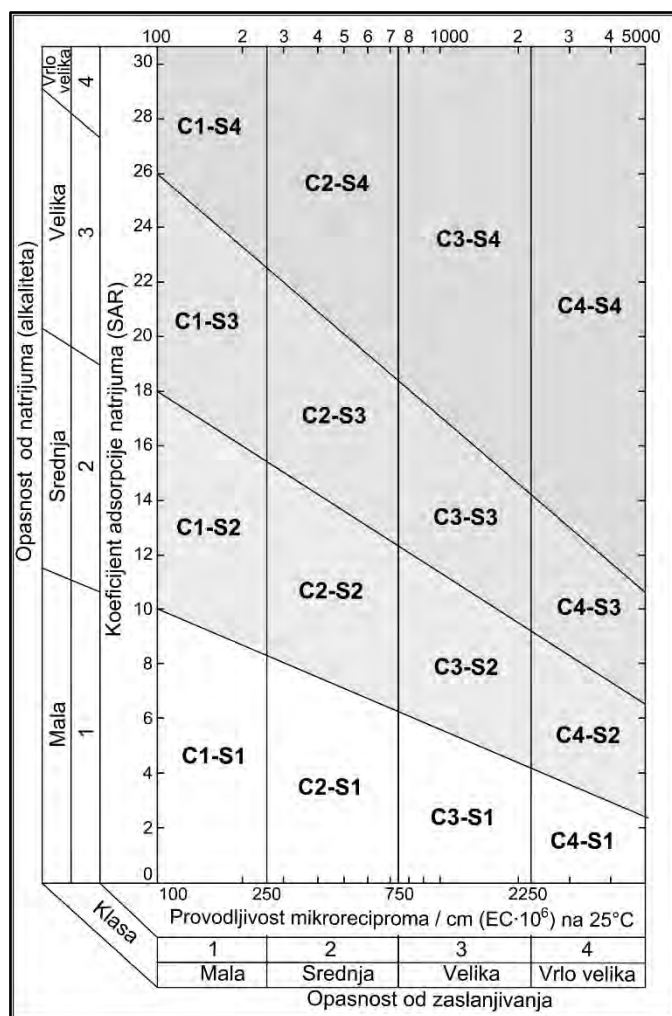
S_1 (mali sadržaj natrijuma u vodi) – može se upotrebiti za navodnjavanje većine biljaka;

S_2 (srednji sadržaj natrijuma u vodi) – predstavlja priličnu opasnost od alkalizacije za zemljište sa visokim stepenom adsorpcije (posebno za zemljišta sa slabom drenažom i malim sadržajem kalcijuma i magnezijuma);

S₃ (visok sadržaj natrijuma u vodi) – može da dovede do štetnog nivoa adsorbovanja natrijuma u većini slučajeva i potrebne su specijalne mjere (dobra drenaža, unošenje organskih materija, ispiranje zemljišta),

S₄ (vrlo visok sadržaj natrijuma u vodi) – nepogodna za navodnjavanje, osim u slučajevima malo slanih i srednje slanih voda.

Kombinacije ovih klasa date su na dijagramu na slijedećoj slici.



Slika 48. Dijagram klasifikacija voda za navodnjavanje (prema podacima USGS-a)

Zakonom o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u poljoprivrednom zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama za njihovo

ispitivanje (Sl. glasnik Republike Srpske, br 56/16), definisane su maksimalne dozvoljene količine teških metala i ugljovodonika u poljoprivrednom zemljištu, ali se u istom pravilniku ne spominju koncentracije istih materija u vodi.

Podzemna voda se takođe može koristiti kao voda za kupanje (javni i privatni bazeni). Da bi se mogla koristiti bez uticaja na ljudsko zdravlje, mora zadovoljiti određene propise. Evropska komisija je u okviru svoje Direktive o vodama za kupanje (2006/7/EC) propisala koje uslove voda za kupanje mora da ispunjava. U tom dokumentu se navodi da se u vodi za kupanje ne smiju sadržati mehaničke nečistoće (staklo, guma, plastika i dr.). U istom dokumentu se navodi da se trebaju pratiti i cijanobakterije, makro-alge i fitoplankton. U slučaju njihovog namnožavanja u vodi, moraju se preduzeti mjere koje uključuju obavješćavanje javnosti o neispravnosti vode i njihovo uklanjanje iz vode.

Zaštita izvorišta podzemne vode od zagađenja je jako bitna, posebno sa aspekta vodosnadbijevanja, jer se time obezbjeđuje duži vijek korišćenja izvorišta i jeftiniji proces dobijanja vode (smanjene su potrebe za njenom preradom). Bitno je zaštititi izvorišta podzemne vode od namjernog ili slučajnog zagađenja ili bilo kog drugog uticaja, koji kao krajnji rezultat ima narušavanje ispravnosti vode. Mjere zaštite se sprovode kroz propise, koje donosi svaka država.

Najbitnija mjera je uspostavljanje preventivne zaštite izvorišta. Danas se to vrši uglavnom određivanjem zona i mjera sanitarne zaštite i donošenjem odgovarajućih programa sanitarne zaštite. Svaka država propisuje pravila i standarde za određivanje zona sanitarne zaštite.

Međutim, zaštita izvorišta počinje već kod izrade vodozahvatnih objekata. Na taj način se spriječava prodor vode sa površine terena u toku bušenja, u fazi korištenja bunara i nakon njegovog prestanka rada. Na narednoj slici je prikaz radilišta u vrijeme izrade bušenog bunara.

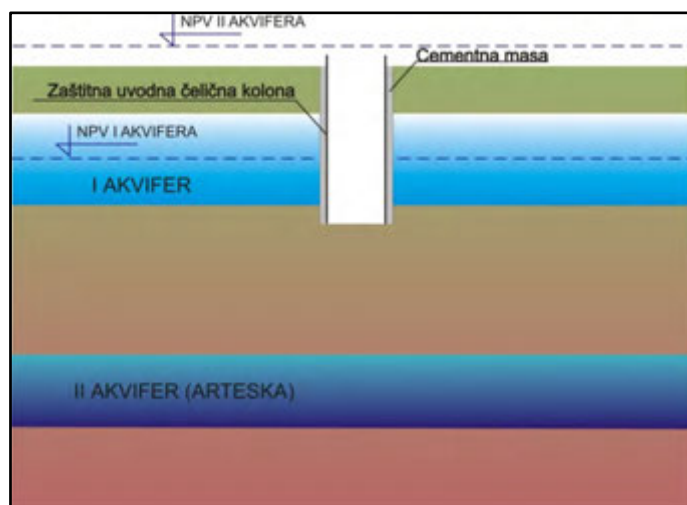


Slika 49: Izvođenje bunara u Domaljevcu kod Orašja

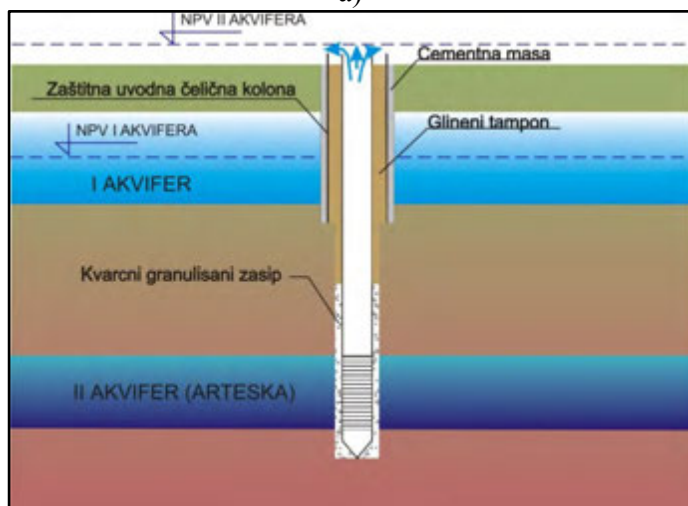
Tokom radova na izvođenju bunara neophodno je pridržavati se svih mjera zaštite životne sredine, posebno vodeći računa da u akvifer ne dospiju nafta i naftni derivati ili maziva, a po završetku radova je neophodno ukloniti sve ostatke sa radilišta i teren privesti namjeni odnosno vratiti u prvobitno stanje. Ukoliko dođe do prinudnog obustavljanja radova na izvođenju bunara, obavezno je sačiniti program i na terenu provesti propisane mjere sanacije bušotine sa mjerama koje će obezbijediti da u narednom periodu ne dođe do prodora zagađujuće materije u izdan, do miješanja voda iz različitih akvifera, odn. izdani i da se sačuva prirodni artesi karakter izdani, ako su bušenjem zahvaćeni akviferi sa arteskim nivoom vode.

Izvođenje bunara zahtijeva ugradnju uvodne čelične kolone u plitkom sloju vodonepropusnih glina, a između cijevi i zida bušotine prstenasti prostor se zapunjava vodonepropusnom cementnom masom ili se vrši tamponiranje vodonepropusnom glinom. U suprotnom, ukoliko se taj prostor zapuni heterogenim materijalom slabe do dobre vodopropustljivosti, rizikuje se da zagađenje sa površine terena, pored bunarske cijevi, dospije do vodonosnog sloja.

Ako se zahvataju dublji slojevi, neophodno je izvesti bušenje kroz plice vodonosne slojeve, zatim ugraditi čeličnu kolonu i izvršiti cementaciju ili tamponiranje glinom prstenastog prostora između cijevi i zida bušotine, a tek u nastavku bušenja kroz vodonepropusni sloj i kroz akvifer zahvatiti subartesku ili arteskku izdan (slika 50).



a)



b)

Slika 50: Zaštita arteskog nivoa podzemne vode i sprečavanje miješanja voda različitog kvaliteta iz freatske i arteskizdani kroz pravilan način izvođenja bušotina, pijezometara i bunara

a) prva faza bušenja; ugradnja uvodne kolone i njena cementacija u zoni pokrovnih vodonepropusnih glina i plitkog akvifera;

b) bušenje i ugradnja cijevne i filterske konstrukcije sa pratećim materijalom, radi pravilnog zahvatanja vode iz dubljih arteskizdani i subarteskizdani.

Mjere zaštite izvorišta podzemne vode su definisane na prostoru Republike Srpske Pravilnikom o mjerama zaštite, načinu određivanja,

održavanja i obilježavanja zona sanitarne zaštite (Sl. glasnik Republike Srpske, br. 76/16). Pravilnik je urađen u skladu sa Zakonom o vodama (Sl. glasnik Republike Srpske, br. 50/06, 92/09 i 121/12). Prema Pravilniku o mjerama zaštite, načinu određivanja, održavanja i obilježavanja zona sanitarne zaštite (Sl. glasnik Republike Srpske, br. 76/16), na prostoru Republike Srpske su propisane tri zone sanitarne zaštite i to:

- zona neposredne zaštite;
- zona uže zaštite;
- zona šire zaštite.

Zona neposredne zaštite predstavlja tačno određenu, omeđenu i ograđenu zemljišnu površinu, sa svim rastinjem na njoj, kao i postavljenim zahvatnim objektima, pumpnim postrojenjima, rezervoarima, hlornim stanicama, prilaznim i unutrašnjim putevima i drugim objektima koji služe neposredno izvoristu. Granica zone neposredne zaštite se određuje tako da odgovara vremenu toka podzemne vode od sedam dana do vodozahvatnog objekta, s tim da udaljenost granice do vodozahvatnog objekta ne smije biti manja od 50 m. U slučajevima zahvatanja mineralnih, termalnih ili zahvata vode za piće na izvoristima do 5 L/sek, gdje se voda zahvata iz dubokih slojeva, dozvoljeno je da granica zone bude na rastojanju ne manjem od 10 m od vodozahvatnog objekta. Granice zone neposredne zaštite moraju se dati precizno, sa tačnim tekstualnim opisom pružanja i geodetskim prikazom prelomnih tačaka granice.

Na području zone neposredne zaštite, zabranjuje se vršenje svih aktivnosti koje se ne odnose na pružanje usluga vodosnabdijevanja. Potrebno je održavati ovu zonu (čišćenje prostora) i da se koristi kao sjenokos, ali bez upotreba bilo kakve vrste prihranjivanja ili upotrebe zaštitnih sredstava. Pravno lice koje je zaduženo za upravljanje sistemom vodosnabdijevanja je nadležno i za korišćenje zemljišta ove zone. U ovoj zoni je ograničeno kretanje ljudi i sredstava i ono se vrši u skladu sa planom rada zaposlenih u objektima, za potrebe održavanja zone, inspeksijskih organa ili lica koja se nalaze na stručnom usavršavanju. Za sva lica koja posećuju ovu zonu vodi se evidencija (upisuju se u knjige njihovi podaci).

Zona uže zaštite izvorista podzemne vode je tačno određena i omeđena zemljišna površina na kojoj se nalaze objekti koji ne moraju biti isključivo vodoprivredni, a ispunjavaju propisane uslove funkcionisanja koji su dati u ovom pravilniku. Pored njih, na području zone uže zaštite se nalaze i prilazni i unutrašnji putevi i objekti koji služe neposredno izvoristu. Granice zone uže zaštite se postavljaju na udaljenost koja odgovara vremenu kretanja čestice podzemne vode u trajanju od 90 dana, ali je i potrebno da je najmanja udaljenost granice zone uže zaštite od granice zone neposredne

zaštite 250 m. Za slučaj zahvatanja mineralnih, termalnih ili zahvata vode za piće na izvoristima do 5 L/sek, gdje se voda zahvata iz dubokih slojeva, dozvoljeno je da granica zone bude na rastojanju ne manjem od 20 m od granice zone neposredne zaštite.

Prema važećem pravilniku, u zoni uže zaštite nije dozvoljeno:

- 1) izvođenje svih aktivnosti koje nisu dozvoljene u zoni šire zaštite;
- 2) izgradnja industrijskih pogona, zanatskih radnji, poljoprivrednih objekata i skladišta građevinskog materijala, osim manjih pogona koji ne upotrebljavaju i ne proizvode opasne i štetne materije navedene u Pravilniku o uslovima ispuštanja otpadnih voda u površinske vode i Pravilniku o uslovima za ispuštanje otpadnih voda u javnu kanalizaciju i ukoliko dobiju vodoprivrednu saglasnost ili dozvolu Javne ustanove "Vode Srpske";
- 3) izgradnja puteva, željezničkih pruga, parkirališta i rezervoara bilo koje namjene, ukoliko se ne sprovedu mjere zaštite u skladu sa najbolje dostupnim tehnikama i ukoliko za tu dionicu ne dobiju vodoprivrednu saglasnost ili dozvolu Javne ustanove "Vode Srpske";
- 4) izgradnja kolektora kanalizacije, osim nepropusnog, koji služi samo za objekte koji su na tom području;
- 5) izgradnja ribnjaka;
- 6) izgradnja terena za kampovanje, sportskih terena, turističkih i stambenih objekata kolektivnog stanovanja;
- 7) transport radioaktivnih ili drugih, za vodu štetnih i opasnih materija, bez posebnih najava i sprovođenja mjera posebne pratnje i zaštite kroz ta područja i uz sprovođenje plana za akcidentna zagađenja;
- 8) svako uskladištenje nafte i naftnih derivata;
- 9) svaka rudarska i građevinska djelatnost kojom se oštećuje zaštitni pokrov ili omogućava otvoreno sakupljanje vode, osim aktivnosti ispitivanja koje su predviđene i služe funkciji vodosnabdijevanja;
- 10) otvaranje šljunkara, tresetišta, pozajmišta gline, zasjeka, kamenoloma, preduzimanje bilo kojih poljoprivrednih i šumarskih zahvata kojima bi mogla biti oštećena aktivna zona zemljišta ili smanjena debljina krovine, pospješila ili ubrzala eroziju zemljišta, osim radnji koje to sprečavaju;
- 11) postavljanje torova, osim ispaše;
- 12) otvoreno uskladištenje i primjena hemijskih sredstava štetnih za zemljište i vodu, pesticida i sredstava za regulisanje i rast bilja;
- 13) logorovanje i kupanje u površinskim vodama;
- 14) pranje vozila, radnih mašina i uređaja, kao i zamjena ulja, rezervnih dijelova i slično;
- 15) otvaranje novih grobalja i ukopavanje na postojećim grobljima;

16) površinsko i dubinsko miniranje;

17) upotreba zemljišta u poljoprivredne svrhe, osim livada i organske proizvodnje ratarskih biljaka bez korišćenja stajnjaka, mineralnih đubriva i pesticida.

Zona šire zaštite podzemnih voda je tačno određena i omeđena zemljišna površina sa na njoj postavljenim objektima, koji nisu isključivo vodoprivredni i u te svrhe izgrađeni, a koji ispunjavaju uslove za funkcionisanje propisane ovim pravilnikom, kao i prilaznim i unutrašnjim putevima i drugim objektima koji služe neposredno toj zoni. Granice šire zone zaštite podzemnih voda definisane su rastojanjem koje je potrebno da čestica vode prijeđe za vrijeme od 180 dana, ali ono ne smije biti kraće od 200 m od granica uže zone zaštite podzemnih voda. U slučaju zahvatanja mineralnih, termalnih ili zahvata vode za piće na izvorima do 5 L/sek, gdje se voda zahvata iz dubokih slojeva, dozvoljeno je da granica zone bude na rastojanju ne manjem od 50 m od granice zone neposredne zaštite.

U zoni šire zaštite nije dozvoljeno:

- 1) upuštanje otpadnih voda u zemljište;
- 2) izgradnja objekata bazne industrije koji ispuštaju radioaktivne ili druge za vodu štetne i opasne materije ili otpadne vode (rafinerije nafte, nuklearni reaktori, metaloprerađivački pogoni, hemijske fabrike i drugo);
- 3) odlaganje, zadržavanje ili uvođenje u podzemlje radioaktivnih materija;
- 4) odlaganje, zadržavanje, uvođenje u podzemlje za vodu opasnih i štetnih materija navedenih u Pravilniku o uslovima ispuštanja otpadnih voda u površinske vode i Pravilniku o uslovima za ispuštanje otpadnih voda u javnu kanalizaciju, osim ako nije riječ o materijama koje se mogu ispuštati u javnu kanalizaciju i ako su te štetne materije u potpunosti odvedene nepropusnom kanalizacijom izvan uticajnog područja;
- 5) izgradnja cjevovoda za tečnosti koje su štetne i opasne za vodu;
- 6) uskladištenje radioaktivnih i drugih za vodu štetnih i opasnih materija, osim uskladištenja lož-ulja za domaćinstvo i pogonskog goriva za poljoprivredne mašine, ako su sprovedene najbolje dostupne tehnike, kao što su sigurnosne mjere za izgradnju, dovoz, punjenje, uskladištenje i upotrebu;
- 7) izgradnja rezervoara i pretakališta za naftu i naftne derivate, radioaktivne i ostale za vodu opasne i štetne materije;
- 8) izvođenje istražnih i eksploatacionih bušotina za naftu, zemni gas, mineralnu vodu, radioaktivne materije i izrada podzemnih skladišta;
- 9) otvoreno uskladištenje i primjena vještačkog đubriva i drugih pesticida;

10) korišćenje otpadnih voda u poljoprivredi, uključujući i oborinske vode sa saobraćajnih površina, te upuštanje ovih voda u akumulaciju ili njene pritoke;

11) izgradnja naselja, bolnica, odmarališta, industrijskih i zanatskih pogona, osim ako se otpadne vode iz njih ne odvede u cijelosti nepropusnom kanalizacijom izvan zone zaštite;

12) izgradnja stočnih, peradarskih i drugih farmi i tovilišta;

13) izgradnja poletno-sletnih staza u vazдушnom saobraćaju;

14) izgradnja vojnih skladišta i sličnih vojnih objekata;

15) izgradnja željezničkih i autobuskih stanica i auto-transportnih terminala;

16) izgradnja uređaja za prečišćavanje otpadnih voda i uređaja za spaljivanje smeća;

17) izgradnja novih grobalja i proširenje postojećih (humanih i stočnih);

18) formiranje deponije čvrstog otpada, mrciništa, auto-otpada i starog željeza;

19) upotreba materijala štetnih za vodu prilikom izgradnje objekata (npr. smole, bitumenizirani materijali, šljaka i slično);

20) pražnjenje vozila za odvoz fekalija;

21) upuštanje u zemljište rashladnih i termalnih voda;

22) otvaranje iskopa u površinskom zaštitnom sloju, osim na mjestima izgradnje objekata;

23) eksploatacija mineralnih sirovina;

24) pranje vozila i zamjena ulja uz površinske vode;

25) napajanje stoke iz površinskih voda i gonjenje stoke preko vodotoka;

26) komercijalni uzgoj ribe, osim biološkog održavanja i poribljavanja u prirodnim tokovima;

27) krčenje šuma i druge djelatnosti koje izazivaju eroziju zemljišta.

Zone sanitarne zaštite se obilježavaju odgovarajućim znakovima. Znakovi se postavljaju na puteve koji vode u/iz uže i šire zone sanitarne zaštite i na prostoru van saobraćajnica.

Na ogradi koja ograničava zonu neposredne zaštite, postavlja se najmanje 4 znaka koji upozoravaju na prostiranje ove zone.

Da bi se usvojile zone sanitarne zaštite, svaki grad je dužan da donese Program sanitarne zaštite izvorišta vode za piće i ljudsku upotrebu.

Za razliku od pravilnika Republike Srpske, u Pravilniku o načinu određivanja i održavanja zona sanitarne zaštite izvorišta vodosnabdijevanja (Sl. glasnik Republike Srbije, br. 92/2008), zone se određuju prema

vremenskom intervalu, ali za svaki tip izdani je propisan vremenski interval. Tako se za granicu uže zone sanitarne zaštite u intergranularnom tipu izdani uzima vremenski interval putovanja čestice od 50 dana, dok je za izdani karstno-pukotinskog tipa vrijeme putovanja čestice 1 dan.

Za Australiju, prva zona obuhvata rastojanje 50 m od izvorišta, druga vrijeme putovanja čestice vode od 10 godina, dok je treća zona predstavljena cjelokupnim slivnim područjem. U Njemačkoj prva zona obuhvata rastojanje 10-30 m od izvorišta, druga je predstavljena vremenom putovanja čestice od 50 dana, dok je treća predstavljena cijelim slivnim područjem. Irska, za razliku od ovih država, nema propisanu drugu zonu sanitarne zaštite, dok joj je prva propisana vremenom kretanja čestice od 100 dana ili rastojanjem od 300 m, a treća cjelokupnim slivnim područjem ili rastojanjem od 1000 m. Oman propisuje da je prva zona sanitarne zaštite područje sa koga dolazi čestica vode za period od 365 dana (69).

Kako je pravilnikom propisano vrijeme putovanja čestice do objekta, tako je potrebno i izvršiti proračune i odrediti koje je to rastojanje koje čestica prelazi u određenom vremenu. Danas je razvojem tehnologije omogućeno to raditi uz pomoć kompjuterskih programa. Već je u poglavlju 28 bilo riječi o praćenju čestice podzemne vode, odnosno *particle tracking*. To se postiže preko programa za matematičko modeliranje toka podzemne vode Modpath (koji radi na grafičkoj podlozi Modflow-a). Ovim programom moguće je odrediti koji put čestica prelazi u određenom vremenskom intervalu. Program predstavlja pomoćno sredstvo pri određivanju zona sanitarne zaštite izvorišta u kome glavnu ulogu ima vrijeme kretanja čestice do izvorišta. Više o ovom procesu će biti u poglavlju broj 33.

Za preduzimanje mjera za indentifikaciju i procjenu rizika zagađenja podzemnih voda, tokom poslednjih 30-tak godina, sve veći značaj pridavan je izradi karata ranjivosti (*vulnerability map*) podzemnih voda. Ranjivost podzemnih voda se prvi put spominje još 1970. godine. Margat je definisao ranjivost kao suprotnost prirodnoj zaštiti podzemnih voda (33). U svijetu one predstavljaju jedan od alata koji se koristi pri zaštiti podzemnih voda i izdani. Izrađuju se uz pomoć programa ArcGis, razvijen od strane kompanije ESRI (34). Dobijene karte ne koriste samo hidrogeolozima, već i ljudima koji se bave prostornim planiranjem i izgradnjom objekata. Na osnovu njih se mogu dobiti zone koje su visokog rizika, što se tiče zagađenja podzemne vode i u tim zonama se ne treba graditi ništa, pogotovu ne skladišta nafte i opasnih materija, deponije, postrojenja za preradu otpadnih voda, industrijski objekti, otvarati rudnike i ostale objekte koji predstavljaju potencijalne zagađivače.

Agencija za zaštitu životne sredine SAD-a (US EPA) je 1993. godine objavila da je potrebno razlikovati ranjivost kolektora i ranjivost podzemnih voda. Ranjivost podzemnih voda je definisana (72) kao vjerovatnoća da zagađenje stigne do određene tačke u izdani, nakon što je unešeno sa površine terena, odnosno iznad najviše izdani. Ranjivost predstavlja funkciju karakteristika sistema toka podzemne vode, blizine izvora zagađenja, karakteristike zagađenja i drugih faktora koji mogu uticati na povećanje zagađenja u izdani (73).

Za određivanje ranjivosti podzemnih voda, postoji veliki broj metoda koje se koriste. Za sada nema opšte prihvaćene metode, jer izbor zavisi od hidrogeoloških uslova sredine i dostupnosti podataka, što se razlikuje od terena do terena. Postoje metode za čiju je primjenu potrebno i do desetine parametara, dok postoje metode koje rade na osnovu samo tri parametra. Sve metode ranjivosti izdani baziraju rad na vremenu putovanja čestice vode sa površine terena do izdani. Metode određivanja ranjivosti se mogu podijeliti u dvije grupe:

- Statističke, procesno zasnovane metode (dobijaju se kategorije osetljivosti koje se definišu kao mala, srednja i velika i na taj način je moguće donošenje odluka o namjeni prostora i vodnim resursima);
- metode subjektivne procjene (rezultati su vezani za naučne ciljeve, zahtjevaju dodatnu interpretaciju od strane autora za potrebe donošenja daljih odluka).

Metode za određivanje ranjivosti izdani, koje se najčešće koriste su:

- DRASTIC metoda (razvijena od strane US EPA, 1985), koja zahtjeva poznavanje nekoliko parametara. U slučaju da nisu dostupni svi parametri, može se koristiti zamjenska metoda GOD (potrebno je tri parametra);
- GLA metoda (razvijena od strane Državnog instituta za geološka mjerenja Njemačke, 1995). Danas se koristi njena razvijenija metoda, PI metoda (36);
- EPIK metoda koja se koristi za isključivo karstne terene;
- COP metoda koja je predložena da bude metoda na Evropskom nivou za određivanje ranjivosti podzemnih voda u karstu od strane COST 620 (European cooperation in science and technology – Evropska saradnja u nauci i tehnici).

DRASTIC metoda

Razvijena je od strane US EPA, odnosno od L. Aller-a 1985. godine. Ova metoda je najrasprostranjenija indeksna metoda. Skraćenica ima slijedeće značenje (37) (38):

Depth to water table – dubina do nivoa izdani;

Recharge net – zona prihranjivanja;

Aquifer media – sredina u kojoj je formirana izdan;

Soil media – tip zemljišta;

Topografy – topografija;

Impact of the vadose zone – uticaj zone aeracije;

Conductivity (hydraulic) of the aquifer – koeficijent provodnosti akvifera.

Vrijednost Drastic indeksa dobija se slijedećom jednačinom:

$$DRASTIC\ Indeks = D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w \quad (27.2)$$

gdje je:

r – procjenjeni parametar

w – vrijednosni parametar

Vrijednosti procjenjenih parametara se očitavaju iz tabela koje su date sa uputstvom za primjenu DRASTIC metode. Oni se kreću u intervalu od 1 do 10.

Tabela 14. Vrijednosti procenjenih parametara za primjenu DRASTIC metode (37)

Parametar	Vrijednost	Procjena	Uobičajna procjena
D (m)	0-1,5	10	
	1,5-4,5	9	
	4,5-9	7	
	9-15	5	
	15-22,5	3	
	22,5-30	2	
	>30	1	
R (mm/god)	0-51	1	
	51-102	3	
	102-178	6	
	178-254	8	
	>254	9	
A	Krečnjak	9-10	10
	Bazalt	2-10	9
	Pijesak i šljunak	4-9	8
	Masivan krečnjak	4-9	6
	Masivan pješčar	4-9	6
	Sekvence uslojenih pješčara, krečnjaka, škriljaca	5-9	6
	Glacijalni til	4-6	5
	Raspadnuti vulkaniti/ metamorfiti	3-5	4
	Vulkaniti/metamorfiti	2-5	3
	Masivni škriljac	1-3	2
S	Tanak ili nedostaje	10	
	Šljunak	10	
	Pijesak	9	
	Treset	8	
	Skupljajuće i/ili nagomilane gline	7	
	Pjeskovita ilovača	6	
	Ilovača	5	
	Muljevita ilovača	4	
	Glinovita ilovača	3	
	Gnojivo	2	
	Nenagomilane gline	1	
T (%)	0-2	10	
	2-6	9	
	6-12	5	
	12-18	3	
	>18	1	

Parametar	Vrijednost	Procjena	Uobičajna procjena
I	Krečnjak	8-10	10
	Bazalt	2-10	9
	Pijesak i šljunak	6-9	8
	Vulkaniti/metamorfiti	2-8	4
	Pijesak i šljunak sa proslojcima mulja i gline	4-8	6
	Pijesak i šljunak sa značajnim količinama mulja i gline	4-8	6
	Pješčari	4-8	6
	Krečnjaci	2-7	6
	Škriljci	2-5	3
	Mulj/glina	2-6	3
	Sloj pokrovnih glina na površini	1	1
C (m/dan)	>82	10	
	41-82	8	
	29-41	6	
	12-29	4	
	4-12	2	
	0-4	1	

Vrijednosni parametri se takođe očitavaju iz tabele koja je data sa uputstvom za primjenu DRASTIC metode. Vrijednosti su date u narednoj tabeli.

Tabela 15. Vrijednosti vrijednosnih parametara za primjenu DRASTIC metode (37)

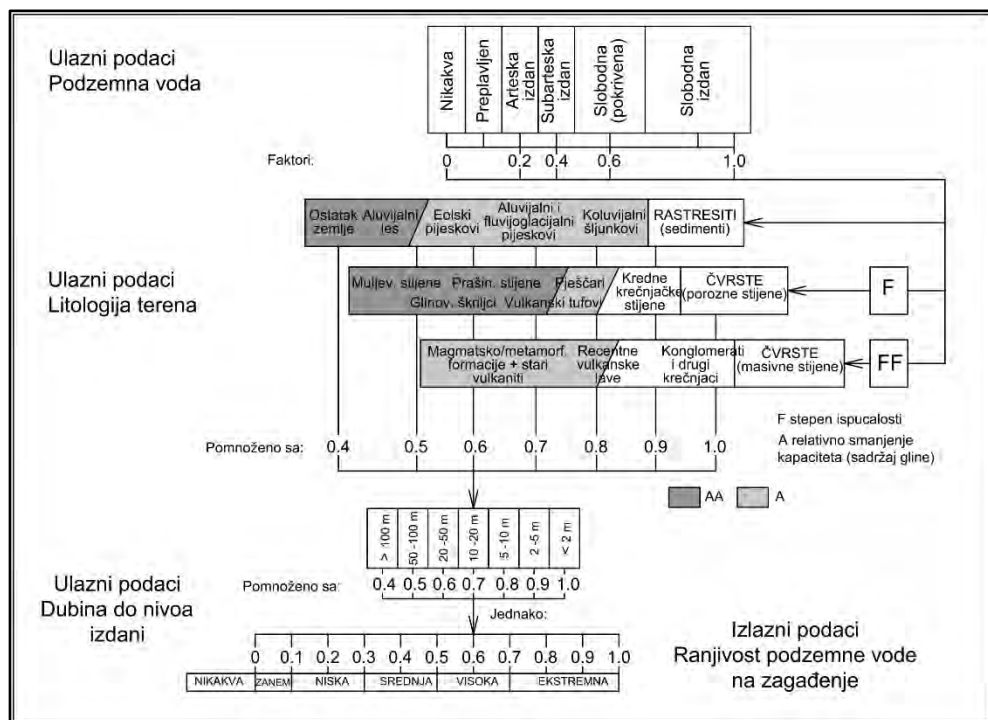
Parametar	Vrijednost DRASTIC indeksa	Vrijednost DRASTIC indeksa (agrikultura)
D	5	5
R	4	4
A	3	3
S	2	5
T	1	3
I	5	4
C	3	2

Autori DRASTIC metode (37) nisu dali klasifikaciju ranjivosti prema dobijenim vrijednostima indeksa, ali je ostavljeno autorima karata da na osnovu svog iskustva daju klasifikaciju terena na osnovu dobijenih vrijednosti (39). Gogu (2003) je klasifikacijom indeksa dao 5 klasa, prikazanih u slijedećoj tabeli:

Tabela 16. Klasifikacija ranjivosti na osnovu vrijednosti DRASTIC Indeksa (39)

Vrijednost indeksa	Opis
<79	Veoma niska
80-119	Niska
120-159	Srednja
160-199	Visoka
>199	Veoma visoka

Kao zamjenska metoda, kada je poznat manji broj parametara, koristi se GOD metoda (40). Za korišćenje GOD metode potrebno je poznavanje dubine do podzemne vode, litologije terena i uslova u kojima se nalazi podzemna voda (slobodan nivo, nivo pod pritiskom). Šema proračuna data je na slici 51.



Slika 51. Šema proračuna ranjivosti podzemne vode primjenom GOD metode

GLA metoda

GLA metoda je razvijena od Državnog instituta za geološka istraživanja Njemačke (41). Ova metoda razmatra nadizdansku zonu, odnosno zaštitnu ulogu zemljišnog pokrivača i nadizdanske zone. Za dobijanje karata ranjivosti potrebno je slijedećih šest parametara:

S – efektivni kapacitet zemljišta za zadržavanje vode ($\sum eFC$ u mm do 1 m dubine);

W – brzina infiltracije;

R – tip stijene (tvrde i nekonsolidovane);

T – debljina zemljišnog pokrivača;

Q – dodatna vrijednost za lebdeće izdani;

HP – dodatna vrijednost za izdani pod pritiskom (arteske izdani).

Vrijednost zaštite podzemne vode ovom metodom se dobija primjenom slijedeće formule:

$$P_T = P_1 + P_2 + Q + HP \quad (27.3)$$

gdje je:

P_1 – efikasnost zaštite zemljišnog pokrivača; $P_1 = S \times W$

P_2 – efikasnost zaštite nadizdanske zone

$P_2 = W \times (R_1 \times T_1 + R_2 \times T_2 + \dots + R_n \times T_n)$

Glavni nedostatak GLA metode je taj što infiltraciju podzemnih voda tretira kao da se ona dešava difuziono, odnosno ne uzima u obzir dominantne pravce kretanja podzemne vode, kakvi se javljaju u karstu. Iz tog razloga se ne može primjenjivati za određivanje ranjivosti podzemnih voda karstnih terena. Zato se javila potreba za njenim modifikovanjem.

π metoda

Goldšrajder (2000) je definisao π metodu. Ova metoda se sastoji od dva faktora, P faktora (zaštitni pokrivač) i I faktora (brzina infiltracije). Oba faktora se zasebno računaju i na kraju se njihovim spajanjem dobija karta ranjivosti prema π metodi.

Prilikom izrade karte ranjivosti podzemnih voda dobijene π metodom, prvo je određen P faktor, koji se računa po modifikovanoj verziji GLA metode. Na slici 52. data je proračunska šema određivanja P faktora.

Poljski kapacitet zemljišta - T

e FC (mm) do dubine od 1 m	T
> 250	750
> 100-250	500
> 140-200	250
> 90-140	125
> 50-90	50
< 250	0

Donji sloj tla - S

Tip tla (granulomet.sastav)	S
Glina	500
Ilovačasta glina, slabo prašinstva glina	400
Slabo pjeskovita glina	350
Prašinstva glina, glinovito-prašinstva ilovača	320
Glinovita ilovača	300
Jako prašinstva glina, pjeskovita glina	270
Jako ilovačasta prašina	250
Slabo glinovita ilovača, glinovito-prašinstva ilovača	240
Jako glinovita prašina, prašinstva ilovača	220
Jako pjeskovita glina, pjeskovito-prašinstva ilovača, ilovačasta prašina, glinovita prašina	200
Pjeskovita ilovača, slabo ilovačasta prašina	180
Slabo glinovita prašina, pjeskovito-ilovačasta prašina, prašina, jako pjeskovita ilovača	160

Prihranjivanje - R

Prihranjivanje (mm/god)	R
0-100	1,75
> 100-200	1,50
> 200-300	1,25
> 300-400	1,00
> 400	0,75

Litologija - L

Litologija	L
Glinac, škriljac, laporac, agriodist	20
Pješčar, kvarcit, vulkanske stijene, plutonit, metamorfna stijena	15
Porozni pješčar, porozna vulkanska stijena (pr. tuf)	10
Konglomerat, breča, krečnjak, dolomit, gips	5

Ispucalost - F

Ispucalost	F
Ne ispucala	25,0
Slabo ispucala	4,0
Osrednje ispucala, slabo karstifikovana ili su karstni kanali u potpunosti ispunjeni	1,0
Osrednje karstifikovana ili su karstni kanali uglavnom ispunjeni	0,5
Jako ispucala ili jako karstifikovana, karstni kanali su neispunjeni	0,3
Epikarst dobro razvijen, pukotine su neispunjene	0,0
Nepoznato	1,0

Debljina svakog sloja u (m) - M

Podina - B (B=L*F)

Funkcija zaštitnog pokrivača

$$P_{TS} = \left[T + \left(\sum_{i=1}^m S_i \times M_i + \sum_{j=1}^n B_j \times M_j \right) \right] \times R + A$$

Arteski pritisak A
1500 poena

Vrijednost P _{ts}	Efikasnot zaštitnog pokrivača	Faktor P	Primjer
0-10	Veoma mala	1	0-2 m šljunka
> 10-100	Mala	2	1-10 m pijeska sa šljunkom
> 100-1000	Osrednja	3	2-20 m slabo prašinstvog pijeska
> 1000-10000	Velika	4	1-20 m gline
> 10000	Veoma velika	5	> 20 m gline

↓
P - karta

Slika 52. Šema određivanja P faktora (36)

Faktor I se uvodi da bi se opisalo bočno površinsko i pripovršinsko kretanje voda i kako se ona infiltrira u podzemlje. Prostorna distribucija I faktora se prikazuje na I karti. I faktor se dobija spajanjem dvije komponente:

- I' faktora koji opisuje uslove direktne infiltracije. Ono se računa preko karakteristika tla, nagiba terena i vegetacije. Prikazuje se na I' karti;
- Karta površinskih slivova koja pokazuje slivna područja ponora i ponirućih površinskih tokova.

Prvo je potrebno izračunati zaštitnu funkciju svakog sloja (veličina B) kao proizvod parametara litologije (L) i stepena ispucalosti i karstifikacije (F).

U slučaju da postoje dvije ili više izdani vertikalno raspoređene, zaštita je potrebna najvišoj izdani. Kao rezultat toga, π metoda uzima u obzir nivo podzemnih voda u najvišoj. U slučaju postojanja arteske izdani, dodaje se 1500 poena pri proračunu P_{TS} .

Funkcija ukupnog zaštitnog pokrivača P_{TS} se dalje dijeli na 5 klasa, koje predstavljaju faktor P. Prostorno rasprostranjenje ovih klasa daje kartu P faktora. Na slici 53 data je proračunska šema određivanja I faktora.

Prvi korak: Određivanje dominantnog toka

		Dubina do slabo propusnog sloja u tlu		
		<30 cm	30 - 100 cm	>100 cm
Koeficijent filtracije gornjeg dijela tla (m/s)	$>10^{-4}$	Tip D	Tip C	Tip A
	$>10^{-5}-10^{-4}$		Tip B	
	$>10^{-6}-10^{-5}$	Tip E		
	$<10^{-6}$	Tip F		

Drugi korak: Određivanje faktora I'

Šuma				
Dominantni tok		Nagib		
		< 3,5 %	3,5 - 27,0 %	> 27,0 %
Infiltracija	Tip A	1,0	1,0	1,0
Pripovršinski tok	Tip B	1,0	0,8	0,6
	Tip C	1,0	0,6	0,6
Površinski tok	Tip D	0,8	0,6	0,4
	Tip E	1,0	0,6	0,4
	Tip F	0,8	0,4	0,2
Polje, livada, pašnjak				
Dominantni tok		Nagib		
		< 3,5 %	3,5 - 27,0 %	> 27,0 %
Infiltracija	Tip A	1,0	1,0	0,8
Pripovršinski tok	Tip B	1,0	0,6	0,4
	Tip C	1,0	0,4	0,2
	Tip D	0,6	0,4	0,2
Površinski tok	Tip E	0,8	0,4	0,2
	Tip F	0,6	0,2	0,0

Treći korak: Određivanje faktora I

Karta površine sliva		I' faktor					
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
A	Ponor, ponirujući tok i tampon 10 m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B	Tampon 100 m sa obje strane ponir. toka	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
C	Vododjelnica ponirućeg toka	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0
D	Zona pražnjenja unutar karsta	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0
E	Zona pražnjenja izvan karsta	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

↓
Karta faktora I

Slika 53. Šema određivanja I faktora (36)

Množenjem P i I faktora dobija se raspored π faktora:

$$\pi = P \times I \quad (27.4)$$

Vrijednosti π , P i I faktora se kreću u rasponu od 0,5 do 5. Visoke vrijednosti označavaju visok stepen prirodne zaštite i male ranjivosti. Legenda je ista za sve tri karte.

Tabela 17. Legenda za karte ranjivosti za P, I i π faktor

	Opis	Faktor π	Faktor P	Faktor I
Crvena	Ekstremna	0-1	1	0,0-0,2
Narandžasta	Visoka	>1-2	2	0,4
Žuta	Srednja	>2-3	3	0,6
Zelena	Niska	>3-4	4	0,8
Plava	Vrlo niska	>4-5	5	1,0

EPIK metoda

To je metoda koja je uvedena u praksu na prijedlog COST grupe Evropske komisije i Univerziteta Nojšatel (Centar za hidrogeologiju i kartiranje ranjivosti podzemnih voda u karstnim oblastima). Razvoj metode je upotpunila Švajcarska agencija za životnu sredinu, šume i zemljište i uvrstila je kao standardnu metodu za određivanje zona zaštite podzemnih voda u karstnim oblastima. EPIK metoda sadrži slijedeće parametre (33):

E – razvoj epikarsta;

P – efikasnost zaštitnog pokrivača;

I – uslovi infiltracije;

K – razvoj karstne mreže.

Za potrebe klasifikacije navedenih parametara date su određene vrijednosti, prikazane u narednoj tabeli.

Tabela 18. Standardna klasifikacija za parametre EPIK metode (42)

Parametri razvoja epikarsta			
Osmotrena karstna morfologija (odnosi se na epikarst)	E ₁	Pećine, ponori, doline, škrape, ruiniran reljef	
	E ₂	Prelazne zone locirane duž dolinskih strana, uvale, suve doline, kanjoni polja	
	E ₃	Ostatak slivnog područja	
Parametri zaštitnog pokrivača			
		A.Zemljište leži direktno na krečnjačkim formacijama ili na klastičnim naslagama sa velikom propusnošću	B.Zemljište leži na geološkim formacijama slabe propustljivosti (debljine > 20 cm)
Nedostaje zaštitni pokrivač	P ₁	0-20 cm zemljišta	
	P ₂	20-100 cm zemljišta	20-100 cm zemljišta i formacije slabe propustljivosti
	P ₃	> 100 cm zemljišta	>100 cm zemljišta i formacije slabe propustljivosti
Značajan zaštitni pokrivač	P ₄		>8 m slabo propustljivih formacija ili >6 m veoma slabo propustljivih formacija sa 1 m zemljišta (neophodno mjerenje u tačkama)
Parametar infiltracije			
Koncentrisna infiltracija	I ₁	Trajni ili povremen ponor, korita trajnog ili povremenog toka koji ponire, infiltracija površinskog toka-oblast sliva koja se vještački drenira	
	I ₂	Zona sliva koji se ne drenira vještački i gdje je nagib veći od 10 % za kultivisane zone i veći od 25 % za livade i pašnjake	
	I ₃	Zona sliva koji se ne drenira vještački i gdje je nagib manji od 10 % za kultivisane zone i manji od 25 % za livade i pašnjake. Izvan sliva podnožja nagiba i strmi nagibi (veći od 10% za kultivisane oblasti i veći od 25% za pašnjake i livade) gdje se vode koje otiču infiltriraju.	
Difuziona infiltracija	I ₄	Ostatak slivnog područja	
Parametar razvoja karstne mreže			
Dobro razvijena karstna mreža	K ₁	Dobro razvijena karstna mreža, kanali decimetarskih do metarskih dimenzija, dobro povezani i sa malo ispune	
Slabo razvijena karstna mreža	K ₂	Srednje razvijena karstna mreža sa slabom povezanošću ili neispunjeni kanali i pukotine, centimetarskih dimenzija	
Kombinovana ili ispućala sredina u kojoj je formirana izdan	K ₃	Porozna sredina u zoni pražnjenja sa mogućom zaštitnom ulogom-ispućala nekarstna sredina u kojoj je formirana izdan	

U narednoj tabeli date su vrijednosti za određene parametre.

Tabela 19. Standardne vrijednosti EPIK parametara (42)

Parametar	E ₁	E ₂	E ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	K ₁	K ₂	K ₃
Vrijednost	1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

Zaštitni faktor EPIK metodom se računa preko slijedeće formule:

$$F = \alpha E + \beta P + \chi I + \delta K \quad (27.5)$$

gdje su:

α – težinski koeficijent za epikarst, ima vrijednost 3

β – težinski koeficijent zaštitnog faktora, ima vrijednost 1

χ – težinski koeficijent infiltracije, ima vrijednost 3

δ – težinski koeficijent razvoja karstne mreže, ima vrijednost 2

Vrijednosti zaštitnog faktora se kreću u intervalu od 9 do 34. Svrstavaju se u 3 klase: visoka (prema švajcarkoj zaštitnoj zoni S₁), srednja (S₂) i mala (S₃).

Na slici 54 prikazan je zaštitni faktor prema EPIK metodi.

K ₁ =1	I ₁ =1			I ₂ =2			I ₃ =3			I ₄ =4		
	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4
P ₁ =1	9	15	18	12	18	21	15	21	24	18	24	27
P ₂ =2	10	16	19	13	19	22	16	22	25	19	25	28
P ₃ =3		17	20	14	20	23	17	23	26	20	26	29
P ₄ =4		18	21	15	21	24	18	24	27	21	27	30
K ₂ =2	I ₁ =1			I ₂ =2			I ₃ =3			I ₄ =4		
	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4
P ₁ =1	11	17	20	14	20	23	17	23	26	20	26	29
P ₂ =2	12	18	21	15	21	24	18	24	27	21	27	30
P ₃ =3		19	22	16	22	25	19	25	28	22	28	31
P ₄ =4		20	23	17	23	26	20	26	29	23	29	32
K ₃ =3	I ₁ =1			I ₂ =2			I ₃ =3			I ₄ =4		
	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4	E ₁ =1	E ₂ =3	E ₃ =4
P ₁ =1	13	19	22	16	22	25	19	25	28	22	28	31
P ₂ =2	14	20	23	17	23	26	20	26	29	23	29	32
P ₃ =3		21	24	18	24	27	21	27	30	24	30	33
P ₄ =4		22	25	19	25	28	22	28	31	25	31	34

Situacija ne postoji na terenu

Vrijednost indeksa zaštite pokazuje visoku ranjivost podzemne vode, kao zaštitna zona S₁ Švajcarske

Vrijednost indeksa zaštite pokazuje srednju ranjivost podzemne vode, kao zaštitna zona S₂ Švajcarske

Vrijednost indeksa zaštite pokazuje nisku ranjivost podzemne vode, kao zaštitna zona S₃ Švajcarske

Uslovi primjenjivi na ostatak slivnog područja

Slika 54. Zaštitni faktor prema EPIK metodi (42)

Kao i ostale metode, i ova metoda nije savršena. Goldšrajder (2002) je naveo nekoliko primjedbi na ovu metodu, od kojih su neke: nedostajanje faktora prihranjivanja i debljine nadizdanske zone, faktor epikarsta je procijenjen na osnovu površinskih oblika (nedostaju podzemni oblici), kaže se da zaštitna uloga pokrivača ima najveći značaj, a dodjeljen joj je najmanji koeficijent, nije primjenljiva za sve sredine i u svim slučajevima i dr.

COP metoda

Metoda razvijena od strane stručnjaka sa Univerziteta u Malagi (odsjek za hidrogeologiju) u okviru programa COST 620. Metoda je slična π metodi, ali se u proračun uvršćuju i padavine. Koristi se za određivanje ranjivosti podzemnih voda u karstnim sredinama. Pri primjeni COP metode, detaljno se analiziraju 3 parametra (43):

- Concentration of flow - Koncentracija toka;
- Overlying layers - Povlatni slojevi;
- Precipitation – Padavine.

Pri izradi karte ranjivosti COP metodom, prvo se vrši proračun O faktora.

Za potrebe računanja O faktora uzima se u obzir zaštitna funkcija nadizdanske zone i karakteristike slojeva zemljišta (Os) i nadizdanske zone (Ol - litologija). Faktor Os zavisi od parametara tekture (uglavnom zavisi od granulacije) i debljine, dok se faktor Ol računa preko parametara litološkog sastava i izrasjedanosti terena (ly), debljine sloja (m) i hidrauličkih uslova (cn). Indeks sloja se računa kao i kod GLA i π metode (dodavanjem vrijednosti za litološki sastav i izrasjedanost svakog sloja pojedinačno sa debljinom). Računa se prema slijedećoj formuli:

$$Index\ sloja = \sum (ly \times m) \quad (27.6)$$

Nakon toga, vrijednost indeksa sloja se množi sa vrijednošću hidrauličkih uslova da bi se dobio faktor Ol.

Kada se sračunaju oba faktora, vrši se njihovo sabiranje i dobija se O faktor.

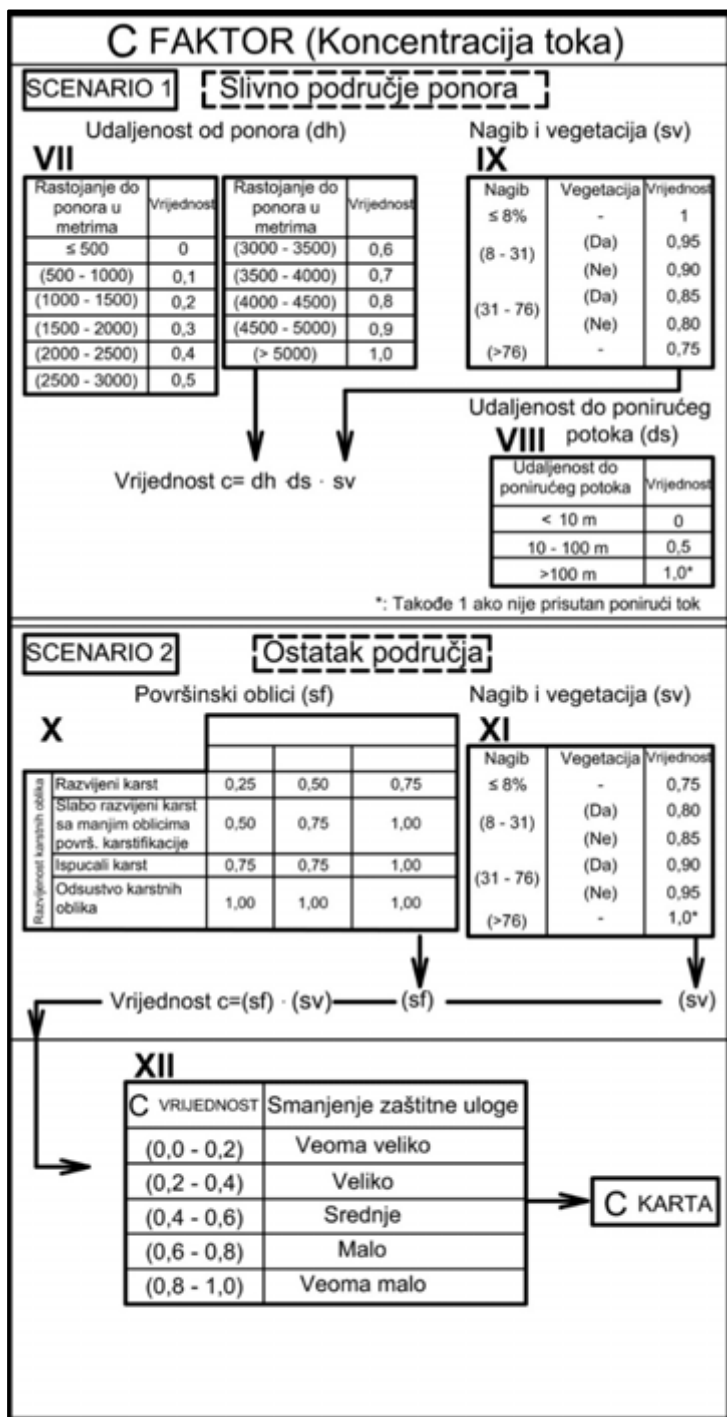
Faktor C se može definisati kao stepen koncentracije toka vode ka karstnim kanalima. Proračun faktora C zavisi od dva scenarija - prvi kada se akvifer prihranjuje kroz ponore (sva voda teče kroz ponor) i drugi, kada se akvifer ne prihranjuje kroz ponore (zavisi od karakteristika površine). U prvom slučaju zavisi od udaljenosti od ponora (d_h), udaljenosti od ponirućeg toka (d_s) i efekata nagiba i vegetacije (sv). U drugom slučaju zavisi od karakteristika površine (sf) i nagiba terena (sv).

Faktor P predstavlja ukupnu količinu, učestalost i trajanje padavina. Sastoji se od dvije komponente, koje se posebno računaju, količine padavina (P_Q) i inteziteta padavina (P_I).

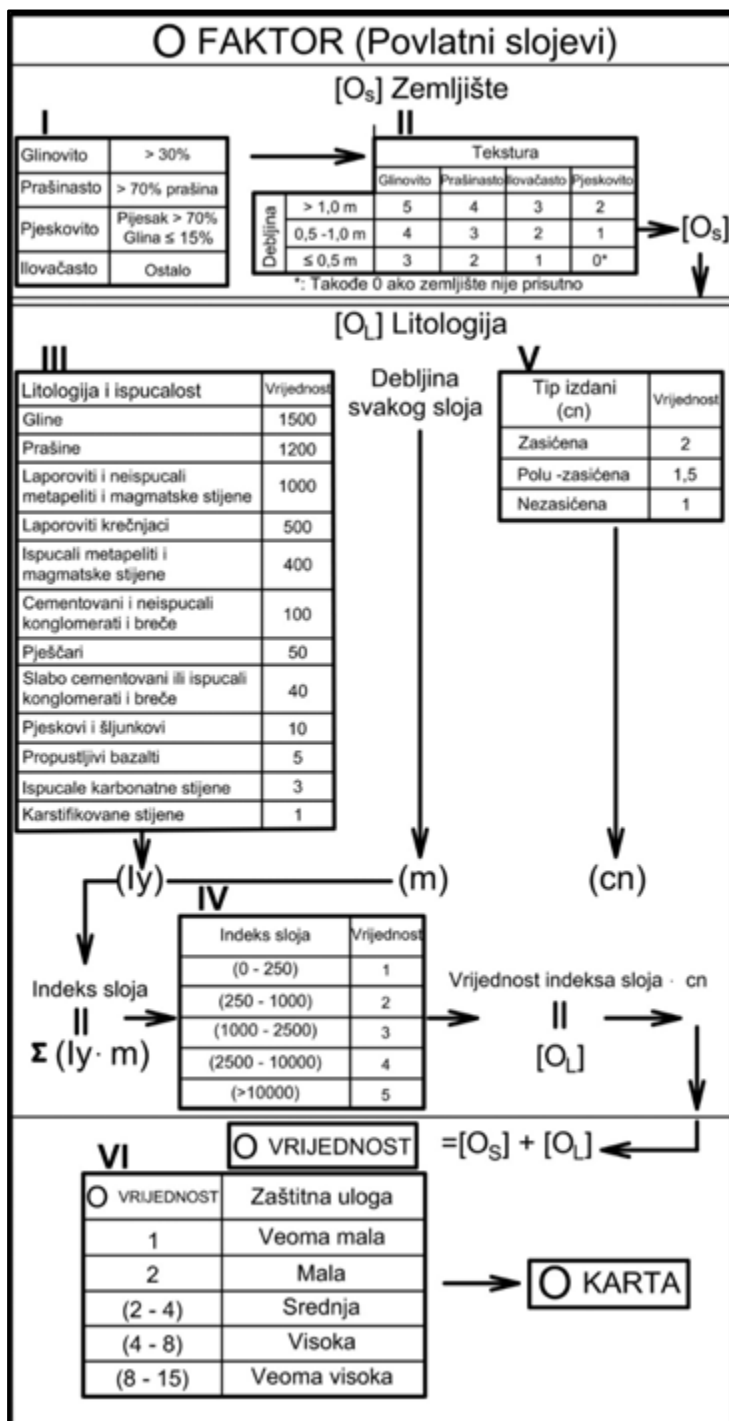
Za računanje P_Q faktora se koriste podaci količine padavina tokom kišnih godina, odnosno kada je količina padavina za 15 % veća od višegodišnjeg prosjeka. Veća količina padavina smanjuje efekat zaštite. Smatra se da je do količine padavina od 1200 mm/godišnje proces transporta bitniji od procesa razblaživanja.

Faktor P_I se dobija kada se srednje godišnje padavine podijele sa prosječnim brojem kišnih dana. Smatra se da što je veći intezitet padavina da je i veći doticaj vode ka karstnim kanalima kroz koje se obavlja infiltracija.

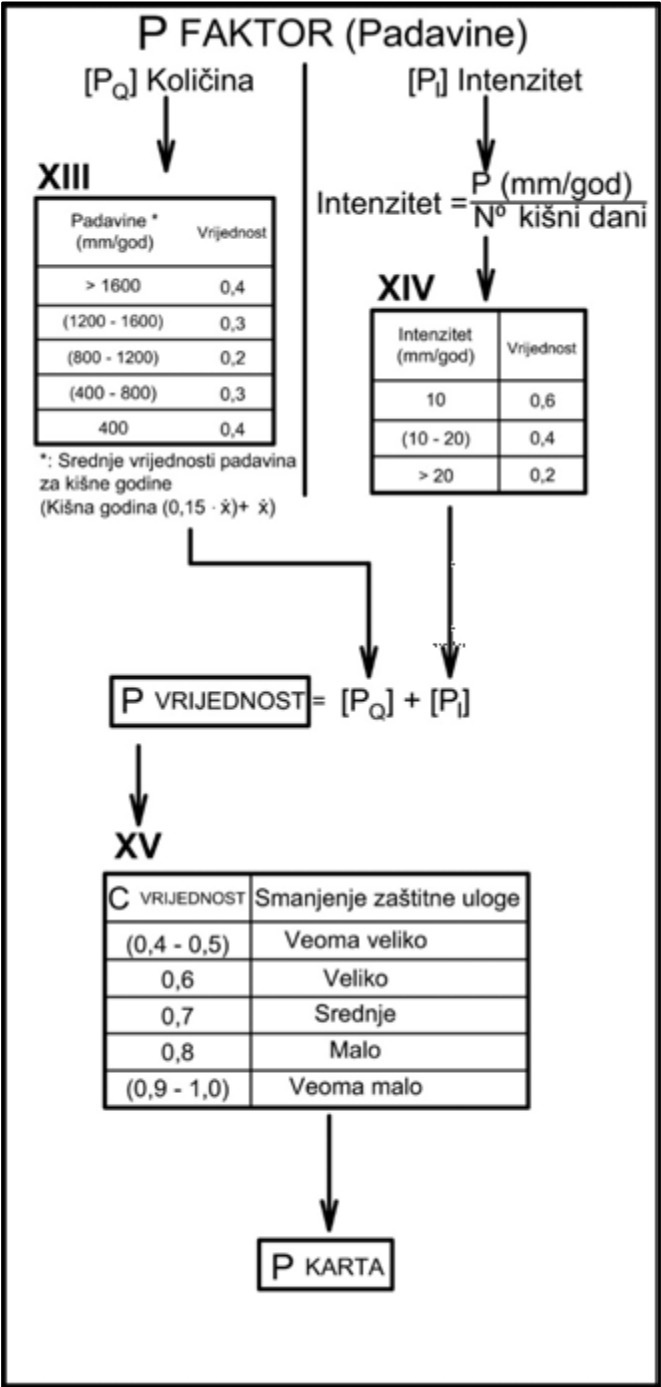
Na narednim slikama date su šeme proračuna faktora za primjenu COP metode.



Slika 55. Šema proračuna faktora C (42)



Slika 56. Šema proračuna faktora O (42)



Slika 57. Šema proračuna faktora P (42)

Vrijednost COP faktora se dobija kada se vrijednosti parametara C, O i P pomnože:

$$COP_{indeks} = C \times O \times P \quad (27.7)$$

Dobijaju se vrijednosti COP faktora od 0 do 15. Klasifikacija ranjivosti na osnovu metode COP data je u narednoj tabeli.

Tabela 20. Legenda karte ranjivosti za COP metodu (44)

Boja na karti	COP indeks	Klasa ranjivosti
Crvena	0-0,5	Veoma velika
Narandžasta	0,5-1	Velika
Žuta	1-2	Srednja
Zelena	2-4	Mala
Plava	4-15	Veoma mala

COP metoda se može koristiti i za zaštitu izvora i bunara u karstu (Daly, 2002). Za te potrebe uvodi se faktor K kojim se definiše i opisuje funkcija mreže karstnih kanala, slično faktoru K u EPIK metodi. Tom prilikom se vrši kombinovanje vertikalnog kretanja (od površine zemlje do nivoa podzemne vode) i horizontalnog kretanja čestice vode (kroz izdan do izvora ili bunara koji je uključen u razmatranje).

Faktor K uzima u obzir i mrežu karstnih kanala koja je formirana u okviru izdani. Bazira se na opisu stijena, čiji se opisi kreću u opsegu od akvifera formiranih u okviru poroznih karbonatnih stijena, do karstnih izdani sa razvijenim sistemom kanala (43).

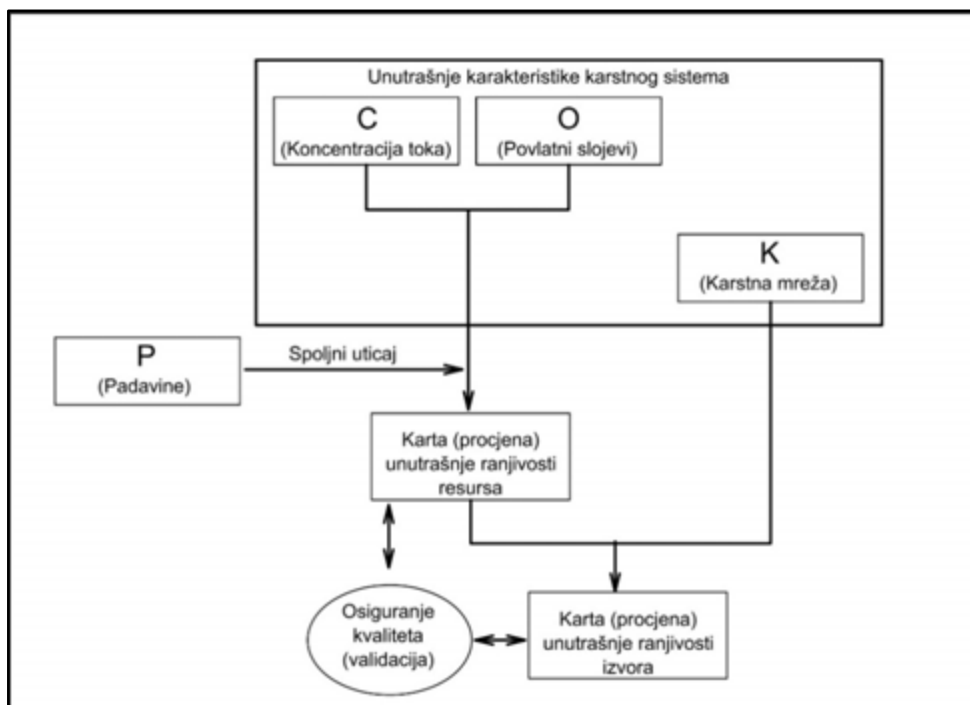
Izdvajaju se dvije vrste mreža kanala - spora i brza aktivna mreža kanala. Kod spore aktivne mreže imamo sistem kanala koji nije širok i neefikasan prilikom dreniranja izdani, dok je kod brze dobro razvijen sistem kanala sa efikasnim dreniranjem izdani.

Ocjena karstne mreže se vrši preko slijedećih faktora: geologija i geomorfologija, karte pećina i karsta, rezultata trasiranja podzemne vode, rezultata testa crpljenja bunara, analiza hidrografa izvora, hidrohemijskih analiza, podaci dobijeni bušenjem bušotina, karotažna mjerenja i geofizička ispitivanja, daljinska detekcija, uzorkovanje stijena i laboratorijska ispitivanja, rezultati modeliranja (43). U narednoj tabeli je data klasifikacija karbonatnih akvifera.

Tabela 21. Klasifikacija karbonatnih akvifera (73)

Izrasjedana i intergranularna sredina			Pukotine uvećane procesom rastvaranja			Sistem kanala					
Filtracija u intergranularnoj sredini	Rasjedi		Velika izdašnost	Mala izdašnost	Bez značajnije akumulacije podzemnih voda	Spora aktivna mreža kanala			Brza aktivna mreža kanala		
	Velika izdašnost	Mala izdašnost				Velika izdašnost	Mala izdašnost	Bez značajnije akumulacije podzemnih voda	Velika izdašnost	Mala izdašnost	Bez značajnije akumulacije podzemnih voda

Korišćenjem sva četiri pomenuta faktora, moguće je kreiranje karata ranjivosti resursa (podzemnih voda) i izvora (izvora, bunara u karstu). Prilikom određivanja ranjivosti resursa, površina podzemne vode je cilj i ne daje se značaj vertikalnom protoku. U tom slučaju se koriste faktori C, O i P. Za određivanje ranjivosti izvora, izvori i bunari pitke vode su cilj, i tada se horizontalno kretanje vode mora uzeti u obzir. Karta izvora ranjivosti se tada dobija kombinacijom faktora O, C, P i K (šema prikazana na narednoj slici).



Slika 58. Šema određivanja ranjivosti COP metodom kombinacijom faktora C, O, P i K (43)

Izrada karata ranjivosti bilo kojom od pomenutih metoda je zasnovana na manjoj ili većoj subjektivnosti autora metoda (izražava se pri izboru bitnih parametara, njihovoj klasifikaciji i davanju poena koji utiču na krajnji izgled karata). Zbog različitih skala i izraženosti rezultata veoma je teško uraditi verifikaciju rezultata.

Poslednjih par godina javila se potreba dobijanja karata ranjivosti kojima se određuje vrijeme dolaska čestice do izvorišta (45). Stručnjaci su počeli da razvijaju metodu koja se bazira na vremenu dolaska čestice do izvorišta, tzv. *time-input metode* (vrijeme-ulaz). Metoda je razvijana na modelu u dolomitima austrijskih Alpa i na tom području je ispitana. Glavni faktori su, kako i sam naziv kaže, vrijeme za koje čestica pređe put od površine zemlje do podzemlja (izraženo u sekundama) i ulaz, odnosno količina vode kojom se vrši prihranjivanje (izraženo u mm). Malo veću značajnost u ovoj metodi ima vrijeme putovanja čestice nego prihranjivanje podzemnih voda (ulaz).

Metoda vrijeme-ulaz se temelji na tri osnovna preduslova. Vjeruje se da se potencijalni zagađivači ponašaju slično idealnom traseru i kreću više ili manje poput infiltrirane vode (specifična procjena ranjivosti se ne

razmatra). Druga glavna meta procjene ranjivosti je površina najplićih izdani (zaštita resursa), jer to omogućava konzistentno ispitivanje ukupnog područja prihranjivanja. Za zaštitu pojedinih bunara ili izvora (zaštita izvora), udaljenost do izvora i bočna kretanja u zasićenoj zoni se uzimaju u razmatranje. Na kraju se prvenstveno procjenjuju “srednji loši uslovi” hidrološke godine i zbog toga se srednji uslovi perioda sa prilično brzim vremenom putovanja i visokim ulazom istražuju, tako da ekstremni uslovi nisu istraživani (45).

Osnovni podaci za određivanje ranjivosti podzemne vode dobijaju se sa postojećih geoloških karata, hidrogeoloških karata, mapa zemljišta, terenskih mjerenja i osmatranja.

Ranjivost je izražena kao vrijeme putovanja (mjereno u sekundama) koje se modifikuju korekcionim faktorom (ULAZ) koje se bazira na prihrani podzemnih voda mjereno u milimetrima po godini [mm].

Osnovni podaci potrebni za dobijanje prvog faktora, vrijeme putovanja, su debljina svakog povlatnog sloja nekonsolidovanih naslaga (zemljišni pokrivač) i različiti slojevi osnovnih stijena (građe nadizdanske zone). Nekonsolidovani slojevi, često imaju ulogu zaštitnog pokrivača, uključujući i površinski i podzemni sloj, dok se osnovna stijena sastoji od nekarbonatnih formacija i nesaturisane zone jedne ili više karbonatnih formacija. Debljina zemljišta se dobija iz podataka terenskih mjerenja ili sa karata tog dijela terena. Debljina stijena se dobija na osnovu podataka istražnog bušenja terena ili geofizičkih ispitivanja. Informacije o rasjedima i karstifikaciji se dobijaju na osnovu seizmičkih metoda geofizike, strukturne geologije i morfologije terena. Za svaki sloj je potrebno znati i koeficijent provodljivosti. U slojevima stijenskih masa, pogotovo u karstnim sredinama, koeficijent provodljivosti će biti mnogo veći u zonama rasjeda i dijelovima u kojima je izražena karstifikacija.

Faktor ULAZA je klasifikovan kao korekциони faktor. Male količine prihranjivanja imaju visoke faktore korekcije, čime se povećava vrijeme i smanjuje ranjivost i obrnuto. Međutim, kada visoke ulazne vrijednosti značajno razvodnjavaju kvantitativno ograničene zagađivače na nivo koncentracije ispod regulatorne granične ili vrijednosti toksičnosti, faktor korekcije mora se koristiti u suprotnom smjeru, kao one koje se koriste kada se pretpostavljaju visoke vrijednosti unosa da bi se stvorila veća ranjivost. ULAZ-faktor zavisi od količina padavina, solarne radijacije, nagiba slojeva, vegetacije, vrste i debljine tla i slivnog područja i izražen je kao prihranjivanje podzemnih voda u mm/godina. Za sve parametre date ovdje, postoje korekциони faktori koji se koriste pri njihovom računanju u

zavisnosti od vegetacije, nagiba, orijentacije terena. Takođe je potrebno vršiti korekcije u zavisnosti od klimatske zone.

Jednačina za određivanje ranjivosti ovom metodom glasi:

$$\text{Ranjivost} = \text{Vrijeme} \times \text{Ulaz} \quad (27.8)$$

Šema proračuna elemenata jednačine data je na narednoj slici.

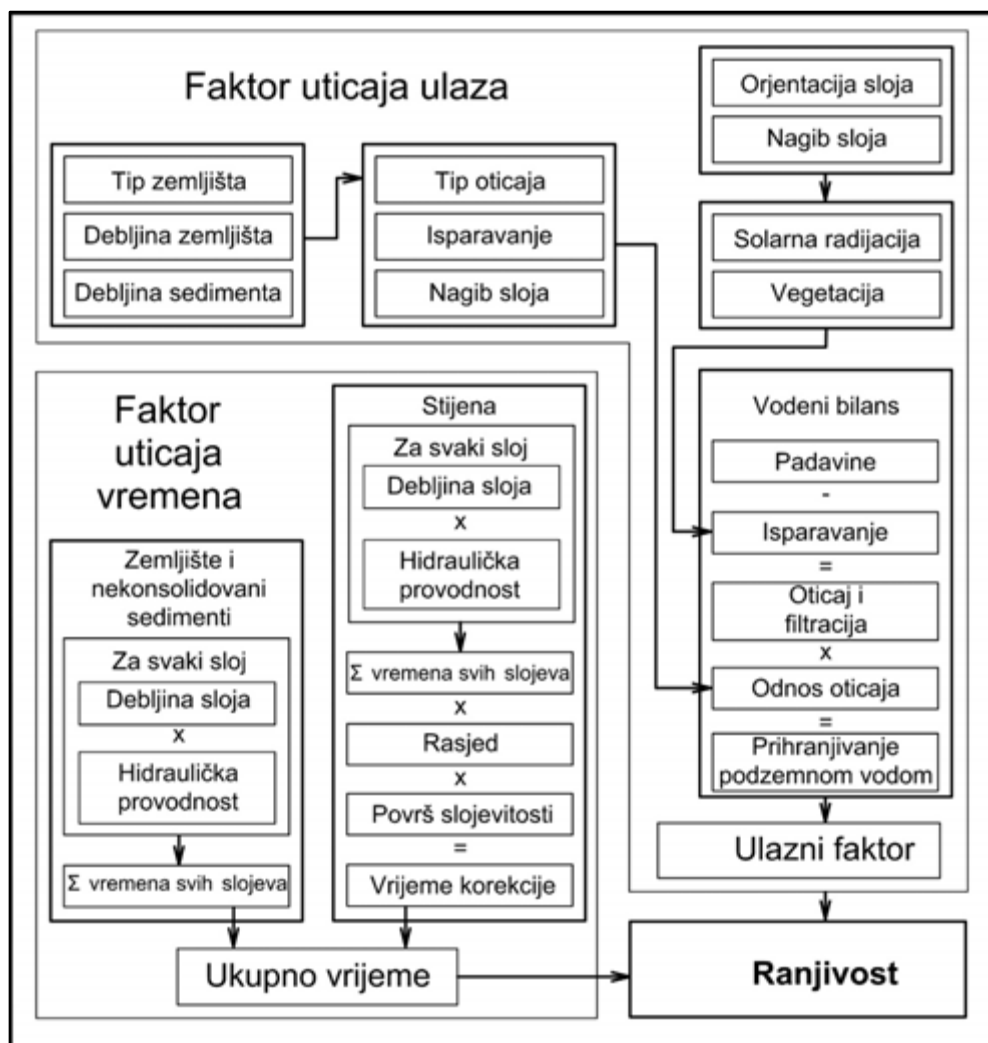


Tabela 22. Korekциони faktor za ULAZ-prihranjivanje podzemne vode na osnovu vrijednosti infiltracije (45)

Prihranjivanje podzemne vode od infiltracije	Korekциони faktor
0-200 mm	1,50
200-400 mm	1,25
400-600 mm	1,00
600-800 mm	0,75
800-1000 mm	0,50
>1000 mm	0,25

Dobijene konačne vrijednosti ranjivosti date su u narednoj tabeli.

Tabela 23. Pripisivanje ukupne zapremine prihranjivanja (vrijeme-putovanja) vremenskim klasama (45)

Vrijeme-klasa	Vrijeme-interval	Zapremina infiltracijonog vremena u sekundama	Klasa ranjivosti
1	< 12 sati	<43200	Ekstremna
2	12-24 sata	43200-86400	
3	1-2 dana	86400-172800	Visoka
4	2-4 dana	172800-345600	
5	4-7 dana	345600-604800	
6	1-2 nedelje	604800-1209600	Srednja
7	2 nedelje-1mjesec	1209600-2592000	
8	1-3 mjeseca	2592000-7776000	Niska
9	3-6 mjeseci	7776000-15552000	
10	>6 mjeseci	>15552000	

Glavne prednosti ove metode su smanjenje nivoa subjektivnosti i olakšavanje verifikacija dobijenih rezultata, jer je skala ranjivosti data na osnovu vremena putovanja čestice podzemne vode do samog izvorišta.

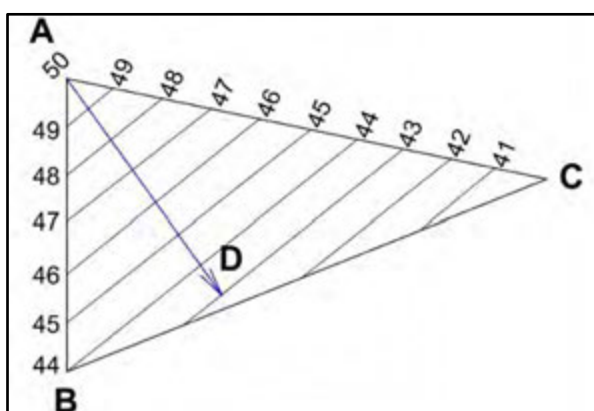
Prilikom izrade karata ranjivosti i dobijanja rezultata bilo kojom metodom i njihovim kombinacijama sa kartama rizika (lokacije i karakter zagađivača), omogućuje se zaštita izvorišta i zona koja je rizična sa aspekta zagađenja, pri izradi prostornih planova i planiranju izgradnje objekata za različite namjene.

28. ODREĐIVANJE SMIJERA I BRZINE KRETANJA PODZEMNIH VODA

Pri korišćenju podzemnih voda, jako je bitno znati njen smijer i brzinu kretanja. To je potrebno iz više razloga, a jedan od njih je i mogućnost da se preduzmu odgovarajuće mjere u slučaju da zagađujuća materija dospije u izdan i da se spriječi njeno dalje širenje.

Kretanje podzemnih voda (još se može nazvati i filtracija) dešava se pod dejstvom hidrauličkog gradijenta (razlike nivoa podzemne vode u dvije tačke). Voda koja sa površine zemlje stigne u podzemlje i kada kroz vadoznu zonu, vertikalno naniže, dospije do zone zasićenja (zonu saturacije), ona nastavlja da se kreće ka nižoj vrijednosti nivoa podzemne vode.

Da bi se odredio smijer kretanja podzemne vode, potrebno je znati nivoa podzemnih voda u najmanje tri tačke na terenu. To se može dobiti mjerenjima apsolutne visine nivoa podzemne vode u postojećim osmatračkim objektima (pijezometrima) na terenu. U slučaju da ne postoje osmatrački objekti na posmatranom terenu, potrebno je izvesti i oformiti mrežu za buduće potrebe osmatranja. Mreža treba biti dovoljne gustine da može obezbjediti kvalitetne podatke. Dovoljno je imati vrijednosti nivoa podzemne vode sa tri objekta, ukoliko te tačke mogu oformiti trougao. Interpolacijom vrijednosti koje se nalaze na tjemenu trougla dobijamo hidroizohipse (linije koje povezuju tačke sa istim vrijednostima). Šematski prikaz ovakvog načina određivanja smijera dat je na narednoj slici.



Slika 60. Šema određivanja smijera podzemne vode

Smijer kretanja odn. prirodnog toka podzemne vode se na osnovu ovoga može odrediti u svakoj tački polja. On se određuje tako što se linija iz tačke, kojoj se određuje smjer, povlači upravno na izolinije nivoa podzemne vode, a u pravcu opadanja vrijednosti (ka nižoj vrijednosti nivoa podzemne vode).

U slučaju da se ne može izmjeriti nivo podzemne vode, ili da nema razlike vrijednosti, te da se ne može napraviti karta izolinija, potrebno je izvesti dodatne pijezometre ili pristupiti drugim načinima određivanja smijera podzemne vode.

Prema postupku koji je dao Aljtovski (15), na terenu je potrebno postaviti centralni bunar (u koji će se ubaciti indikator) i oko njega osmatračke bunare (na kojima će se osmatrati pojava indikatora). U narednoj tabeli data je preporuka rastojanja centralnog i osmatračkih bunara.

Tabela 24. Rastojanja centralnog i osmatračkih bunara pri opitu indikatorom (15)

Stijene	Rastojanje osmatračkih bunara B, C, D od centralnog bunara A (m)	Rastojanje osmatračkih bunara (m)
Lakopropustljive (pijesak, šljunak, valutice)	3 – 7	1 – 1,5
Slabopropustljive (sitnozrni pijesak, gline, les)	1,5 – 0,75	1,5 – 0,75

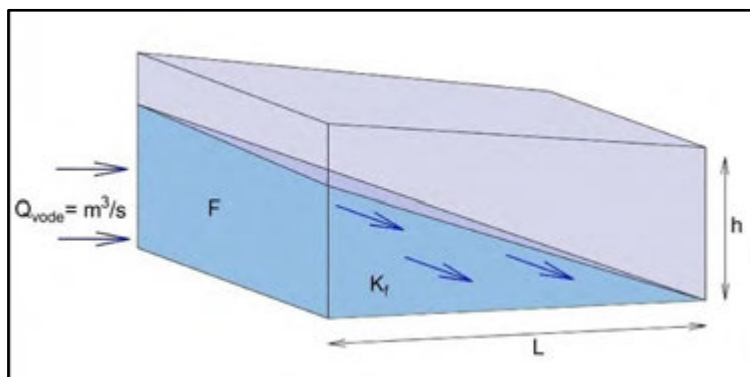
Kada se indikator spusti u podzemlje, mjeri se njegova koncentracija u osmatračkim tačkama. Kada se utvrdi u kome je bunaru najveća koncentracija, može se odrediti i smjer kretanja podzemne vode.

Drugi bitan faktor koji je potrebno odrediti je i brzina kretanja podzemne vode. Brzine kretanja podzemne vode se dosta razlikuju od slučaja do slučaja. Najčešće se u prirodi javlja laminarni i turbulentni režim kretanja podzemne vode.

Laminarno kretanje podzemnih voda se javlja pri malim brzinama tečenja vode. Karakteriše ga kretanje toka u paralelnim strujnicama, bez njihovog međusobnog presecanja (16). U prirodi se najčešće ovaj tip kretanja dešava u intergranularnim i pukotinskim sredinama.

Ovaj tip kretanja se može opisati Darsijevim zakonom (slika 61) (1856). On je definisao laminarno kretanje kao prosječan zapreminski

proticaj kroz poroznu sredinu koja je direktno proporcionalna hidrauličkom gradijentu, ako se pretpostavi da je tok laminaran i inercija zanemarljiva.



Slika 61. Šematski prikaz Darsijevog zakona (17)

$$Q = Kf * \frac{h}{L} * F \quad (28.1.)$$

gdje je:

Q – filtracioni proticaj (m^3/s)

Kf – koeficijent filtracije (m/s)

F – površina poprečnog presjeka kroz koji se filtrira podzemna voda (m^2)

I – razlika nivoa podzemnih voda na putu filtracije (hidraulički gradijent-bezdimenzionalna veličina)

Kako hidraulički gradijent predstavlja razliku nivoa podzemne vode u dvije tačke na određenom rastojanju, on se može izraziti kao:

$$I = \frac{h}{L} \quad (28.2)$$

A kako se brzina može izraziti kao količina vode koja protekne kroz jediničnu površinu:

$$V = \frac{Q}{F} \quad (28.3)$$

Tako se vraćanjem jednačina 28.2 i 28.3 u jednačinu 28.1 dobija slijedeći izraz:

$$V = Kf * I \quad (28.4)$$

Dobijeni izraz se koristi za računanje fiktivne (prividne) brzine podzemne vode, zanemarujući stijenu i otpore u njoj. Poznato je da se podzemna voda kreće samo kroz pore stijene, te prethodna formula nije reprezentativna. Da bi se dobila stvarna brzina kretanja podzemne vode, potrebno je uključiti i efektivnu poroznost (povezane pore koje su ispunjene vodom) u proračune. Tako se dobija slijedeća jednačina:

$$n_e = \frac{F_e}{F} \quad (28.5)$$

gdje je:

n_e – efektivna poroznost

F_{ef} – efektivna površina presjeka kroz koji se kreće voda

F – ukupna površina presjeka porozne sredine

Na taj način se dobija stvarna brzina kretanja podzemne vode:

$$V_e = \frac{V}{n_e} \quad (28.6)$$

gdje je:

V_e – stvarna filtraciona brzina (m/dan)

V – fiktivna (tzv. „Darsijeva“) brzina (m/dan)

n_e – efektivna poroznost

Ipak, moguće je i da se javi odstupanje od Darsijevog zakona. To se događa pri velikim brzinama podzemnih voda u jako karstifikovanim stijenama ili pri jako malim brzinama u glinovitim stijenama. Turbulentno kretanje voda javlja se u sredinama sa Reynoldsovim brojem većim od 10. Reynoldsov broj definisao je Osborn Reynolds eksperimentalnim putem. Za računanje Reynoldsovog broja upotrebljava se izraz:

$$Re = 1 + \frac{V_{ef}}{v} \quad (28.7)$$

gde je:

Re - Reynoldsov broj (bezdimenziona vrijednost)

V - brzina filtracije (m/s)

d_{ef} - efektivni prečnik zrna (m)

v - kinematska viskoznost vode (m²/s)

Zato se danas pribjegava određivanju brzine podzemne vode na terenu. Prednost toga je da se tim putem određuje stvarna brzina kretanja podzemne vode. Postoji više načina da se odredi stvarna brzina.

Prvenstveno je potrebno odrediti geološki sklop terena koji se istražuje i pravac kretanja podzemne vode. Istražne bušotine, bunari se postavljaju u pravcu kretanja podzemne vode. Još je lakše ako se radi u karstnim terenima, pa je moguće iskoristiti postojeće ponore i izvore. Princip se ogleda u tome da se u uzvodni objekat ubacuje indikator, dok se na nizvodnom objektu vrše osmatranja i mjerenja indikatora.

Određivanje brzine kretanja vode se najčešće radi kolorimetrijskim, hemijskim i elektrohemijskim putem.

Pri kolorimetrijskom određivanju brzine kretanja podzemne vode, mjeri se vrijeme putovanja rastvorene boje. Kao indikatori se najčešće koriste: za alkalne vode (fluorescin, eozin, eritrozina), za kisele vode (metilensko plavo, ponso crvenilo, anilinsko plavilo). Prije ubacivanja boje u tačku upuštanja, ona se rastvara u manjoj količini vode i po potrebi slabe kiseline. Određivanje stepena bojenja vrši se fluoroskopom.

Pri hemijskom određivanju brzine kretanja voda, indikatori su soli (natrijum-hlorid, amonijum-hlorid, litijum-hlorid).

Za elektrohemijsko određivanje brzine kretanja podzemne vode koriste se elektroliti koji povećavaju elektroprovodljivost vode. Najčešće se koriste amonijum-hlorid ili natrijum-hlorid. Ovaj metod se najčešće koristi, jer omogućuje neprekidno praćenje kretanja rastvorene soli između mjesta upuštanja i mjesta registrovanja.

Na kraju izvođenja opita, vrši se proračun brzine kretanja podzemne vode. Stvarna brzina se računa prema formuli:

$$V = \frac{L}{T} \quad (28.8)$$

gdje je:

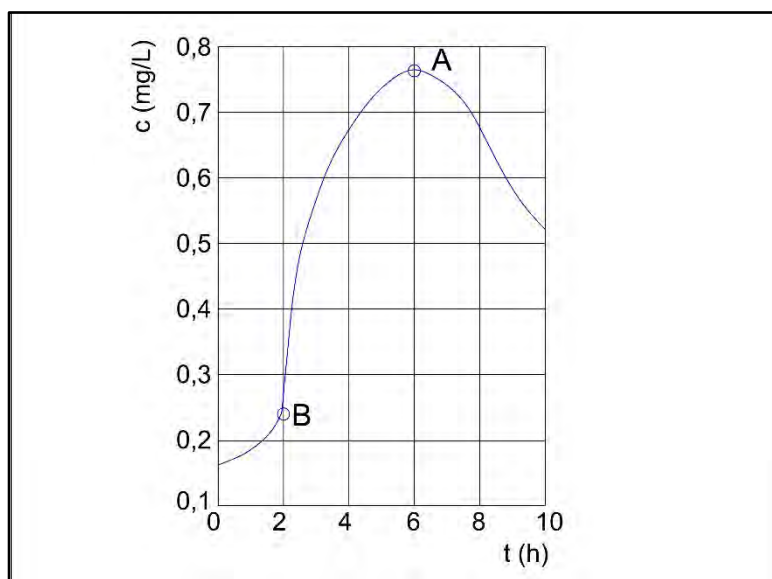
U – stvarna brzina kretanja podzemnih voda (m/dan)

L – rastojanje između upusnog i osmatračkog objekta (m)

T – vrijeme putovanja indikatora između dva bunara ili pijezometra (dan)

Vrijeme trajanja putovanja indikatora se određuje sa grafika koncentracije u osmatračkom objektu. Prilikom obrade rezultata, na ordinatu se nanose brojevi koji karakterišu stepen bojenja (kolorimetrijski metod), koncentraciju u miligramima po litru (hemijski metod) ili veličinu inteziteta elektroprovodljivosti (elektrohemijski metod).

Pri izvođenju opita za proračun brzine podzemnih voda, sa krive date na slici 62, za potrebe vodosnabdijevanja, uzima se kao vrijeme dolaska tačka A. Izborom te tačke dobija se najmanja vrijednost brzine podzemne vode, te se time osigurava određena sigurnost. Ako se računa brzina ispiranja, sa krive se bira tačka B, koja prikazuje trenutak pojave indikatora (izražena promjena izgleda krive-počinje da raste).



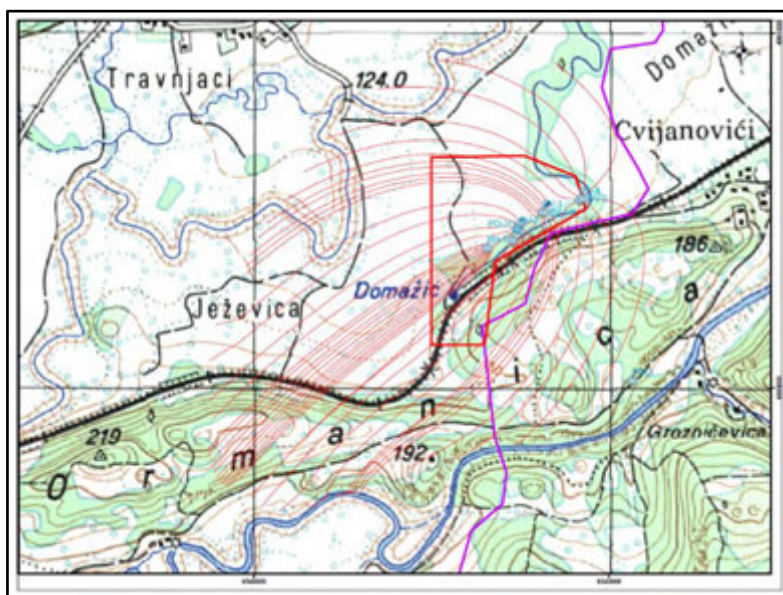
Slika 62. Grafik promjene inteziteta indikatora sa vremenom (15)

Drugi način određivanja smijera i brzine podzemne vode, koji se danas češće koristi je izrada matematičkih modela. Prednost matematičkog modeliranja je ta što se u isto vrijeme vrši sinteza i obrada velikog broja podataka za dobijanje preciznih rezultata. Najrasprostanjeniji program je Modflow (napravljen od strane USGS-a, odnosno Geološkog zavoda SAD-a). Pored njega postoje brojni programi koji rade na istoj programskoj podlozi (Visual Modflow, Groundwater Vistas, GMS). Praćenje brzine i smjera kretanja podzemne vode je prvi put omogućeno 1994. godine, kada je programu Modflow pridodata opcija Modpath (77) (78).

Modpath je opcija koja vrši proračune i daje simulaciju smijera i brzine kretanja čestice podzemne vode (slika 63). Kao ulazni podaci u proračunu kretanja čestice (*particle tracking*) se koriste vrijednosti pijeziometarskog nivoa za svako polje i zapreminski proticaj po jedinici vremena, dobijeni izradom modela (20). Zato je potrebno najprije napraviti hidrodinamički model i odraditi pravilnu diskretizaciju modela. Dobar

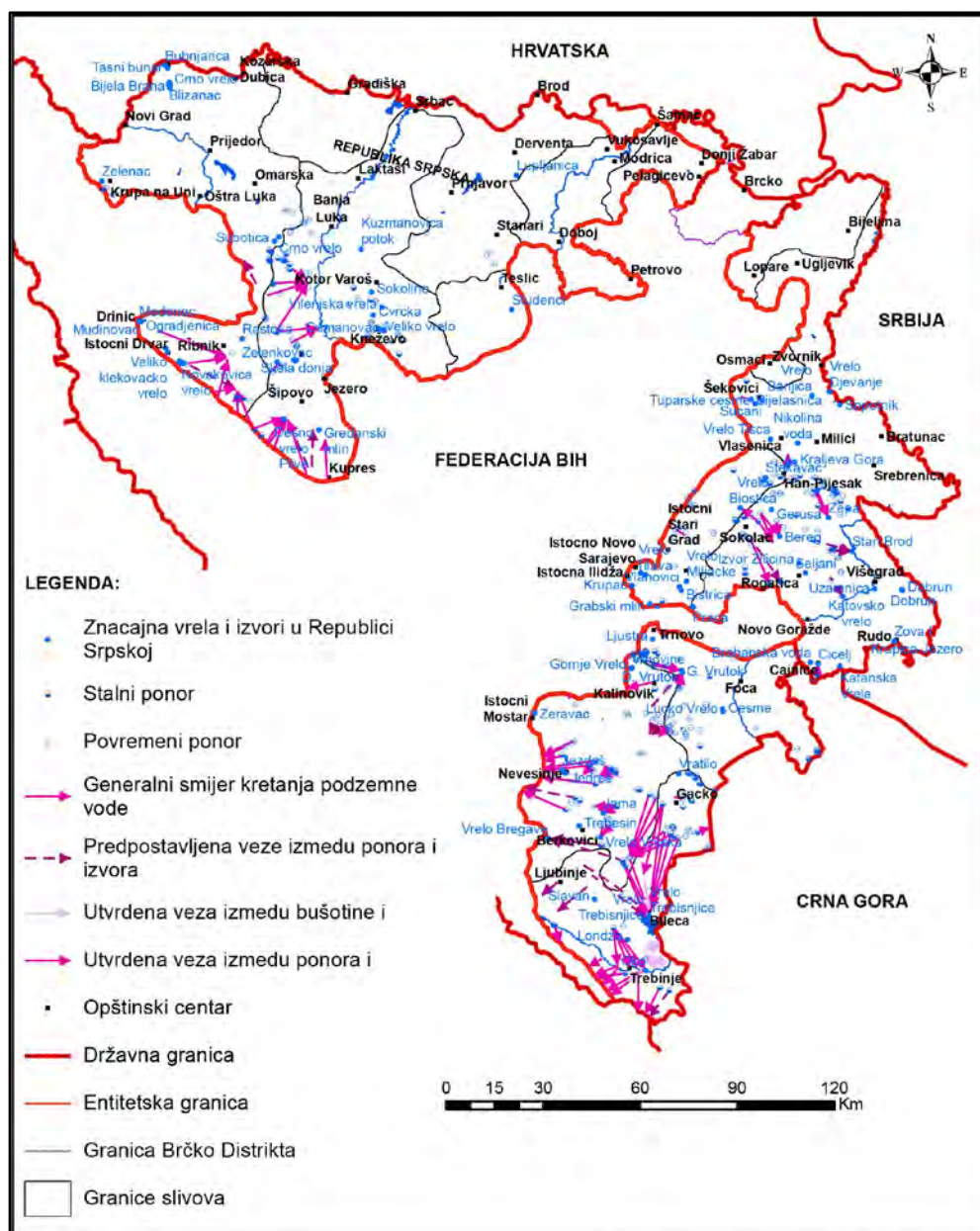
hidrodinamički model se dobija unošenjem dovoljnog broja podataka sa terena (kapaciteti crpljenja, nivo podzemne vode, nivo vode u okolnim rijekama, poroznost, padavine i dr.), ali i postavljanju pravilnih graničnih uslova. Nakon izrade i kalibracije hidrodinamičkog modela, gdje se dobija nivo podzemne vode u izdani, može se pristupiti simulaciji kretanja čestice.

Ovaj metod ima veoma veliku primjenu pri određivanju pravca i brzine kretanja čestica vode, kao i određivanja zona sanitarne zaštite izvorišta na osnovu vremena koje je potrebno da čestica stigne do izvorišta.



Slika 63. Prikaz putanje i brzine kretanja čestice za period od 3 godine na primjeru izvorišta Domažić, kod Gradačca

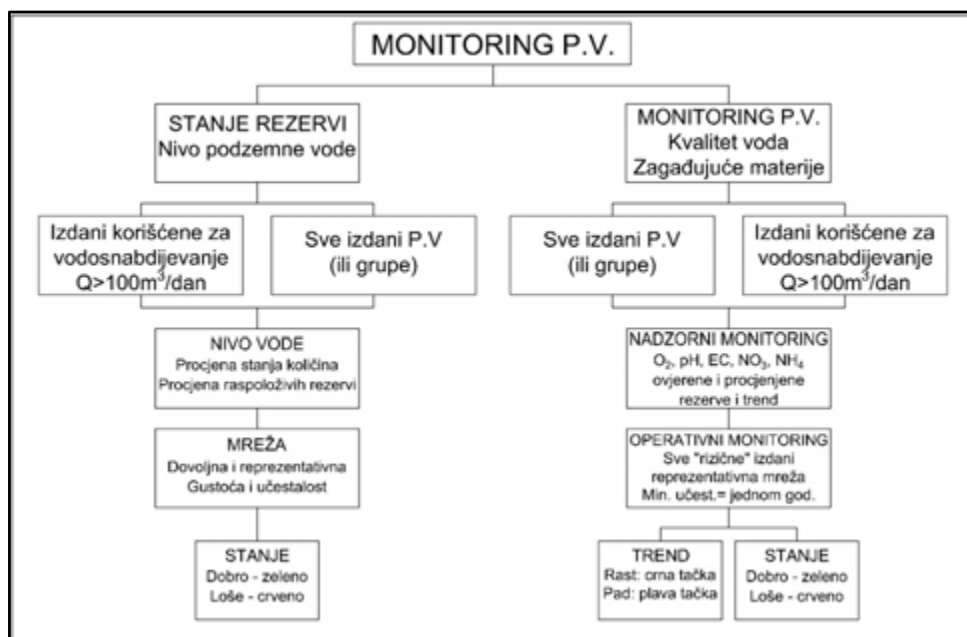
Prilikom utvrđivanja stanja izdani Republike Srpske (62), dat je prikaz smijerova kretanja podzemnih voda u karstnim terenima, utvrđenih upotrebom trasera (slika 64).



*Slika 64: Karta smjerova kretanja podzemnih voda u karstnim terenima, utvrđenih upotrebom trasera u Republici Srpskoj (65)
(na osnovu OGK 1:100000)*

29. MONITORING PODZEMNIH VODA, OSMATRAČKI BUNARI I PIJEZOMETRI

Monitoring (kontrolisanje, nadgledanje) podzemnih voda predstavlja praćenje svih dostupnih karakteristika vode. Prije početka vršenja monitoringa podzemnih voda, potrebno je odrediti karakteristike izdani i u kakvom se početnom stanju nalaze podzemne vode. Tu se prije svega misli na količinu podzemne vode koja se zahvata iz izdani i nivo podzemne vode, na njen kvalitet, kao i popis svih potencijalnih zagađivača izdani. Na narednoj slici data je šema monitoringa podzemne vode (62).



Slika 65. Šema elemenata monitoringa podzemne vode (Prema uputstvima Direktive o vodama 2000/60/EC)

Stanje izdani je važno sagledati prvenstveno zbog zaštite rezervi (količina) i kvaliteta podzemne vode, kao i zaštite povezanih ekosistema, kada su u pitanju tzv. "rizične izdani" i zbog sprečavanja konflikata između država i naroda kada je u pitanju korištenje "prekograničnih izdani".

Prekogranične izdani su najčešće pokrivene plićim vodonepropusnim stijenama i plićim izdanima, koje nemaju prekogranični karakter. Plitke izdani uglavnom imaju hidrauličnu vezu sa rijekom, a granice između država su u većem dijelu duž riječnih tokova. Zbog toga je

bočna granica stalnog prihranjivanja, ujedno i međudržavna granica, pa plitke izdani, formirane u takvim šljunkovito-pjeskovitim akviferima pored graničnih riječnih tokova, ne predstavljaju prekogranične izdani.

Prilikom utvrđivanja stanja izdani Republike Srpske (62), identifikovano je više prekograničnih izdani na teritoriji Republike Srpske, a koje prelaze državnu granicu Bosne i Hercegovine.

Na slici 66 dat je prikaz izdani koje prelaze granicu Bosne i Hercegovine, a prostiru se na teritoriji Republike Srpske. Izdvojeno je ukupno 74 prekogranične izdani. Od toga su 53 prekogranične izdani u akviferima sa izraženim pukotinsko-kavernoznim tipom poroznosti, 12 prekograničnih izdani u akviferima sa izraženim pukotinskim tipom poroznosti, 4 prekogranične zbijene izdani u akviferima tercijerne starosti, sa izraženim intergranularnim tipom poroznosti i 5 prekogranični hidrogeološki kompleksi slabe vodopropusnosti.



Slika 66: Karta prekograničnih izdani Republike Srpske, koje prelaze državnu granicu Bosne i Hercegovine (65)

Oznaka prekograničnih izdani koje prelaze državnu granicu BiH, po modulu katastra podzemnih voda Republike Srpske

Izdani sa izraženim pukotinsko-kavernoznim tipom poroznosti:

7. Una - Dubovik
23. Vlasenica - Sušica
59. Vlahovići - Višegrad
64. Stakorina
66. Čajniče
67. Klakorina - Čajniče
69. Vukušići - Foča
72. Papratno - Foča
73. Trtoševo - Foča
76. Maglić - Vučevo
77. Volujak
97. Jelovačka gora - Radovina
99. Bjelašnica - Gatačko polje
100. Zvornik
106. Staro Rudo
107. Ustibar - Rudo
108. T vrdac - Šuplja stijena
109. T rtoševo - Čeotina
133. Gack o - G. Kazanci
136. Dubica - Komlenac
140. Ugljevik - Bijeljina
146. Manita Gora
147. G. Kazanci
151. Dabarsko polje - Radimlja
153. Radimlja
154. Glumina - Grančarevo
156. Oko - Bijela Greda
157. Grab - Trebinje
158. Trebinje - T vrdoš
159. Ljubinje - Popovo polje
160. Bileća- Dabarsk o polje
161. Bregava - Bileća
169. Leotar
174. Berkovići - Nevesinje
177. Bijela gora
178. Fatničko polje - Meka Gruda
180. Korita - Torič
186. Bijela gora - Konjsko
187. Orjen
191. Podštirovnik - Orjen
192. Konjsko
195. Dulici - Stepen
196. Kremen Do

197. Viduša - Radimlja
198. Trebinje - Gomiljani
202. Bileća - Podosoje
204. Konjsko - Željeva
205. Somina - Bobija
206. Bilečko jezero
207. Orjen - V. Jastrelica
208. Konjsko - Bijela gora
209. Gareva - Dobrelji
210. Gareva

Izdani sa izraženim pukotinskim tipom poroznosti:

2. Kozluk
3. Dobrun - Stari Vlah
13. Šcepan Polje
26. Dabarsko polje - Bileć a
28. Crvanj - Gatačko polje
29. Nevesinje - Gacko
30. Bileća - Radimlja
31. Trebinje jug
32. Javor - Trebinje
33. Ljubomir - Trebinje
34. Golobrdje - Hodžić i
40. Viduša-Mosko

Zbijeni tip u naslagama Tc starosti:

1. Lijeve polje
2. Brodska Posavina
3. Semberija
4. Šamačko-brčanska Posavina

HG kompleks:

6. Majevisa - sjeverni obod
7. Brod - Derventa
8. Ulog - Lebršnik
11. Mraovo polje - Kostajnica
12. Kostajnica

Na terenu se monitoring izvodi uz pomoć pijezometra i osmatračkih bunara (formiranje monitoring mreže). U izdanima sa izraženim kavernozno-pukotinskim tipom poroznosti u planinskim predjelima, monitoring podzemne vode vrši se na vrelima i izvorima mjerenjem proticaja i parametara kvaliteta vode.

Što se tiče samog vršenja monitoringa, to bi trebalo da vrše istovremeno i zagađivači (industrija, saobraćaj, deponije otpada, rudničke i industrijske deponije, benzinske pumpe i sl.) i korisnici (javni i industrijski vodovodi, hidroelektrane, fabrike flaširane mineralne i izvorske vode, banje i sl.). Potrebno je uložiti napore da se spriječi kontakt zagađujućih materija sa podzemnim vodama ili ako je zagađujuća materija već dospjela u podzemne vode, da se prati kuda će se kretati i u kojoj koncentraciji. Rezultate do kojih se dođe tokom praćenja treba bilježiti i dostavljati nadležnom ministarstvu, da bi se mogli preduzimati određeni postupci i procedure u cilju zaštite zdravlja i bezbjednosti stanovništva i životne sredine. Time bi se stekao uvid u stanje podzemnih voda, mogućnost za njihovo korišćenje, ali i zaštita podzemnih voda u budućnosti.

Monitoring kvantitativnog stanja podzemne vode podrazumijeva obezbijedene pouzdane procjene stanja rezervi izdani. U tom smislu je neophodno utvrditi početno stanje rezervi i nivoa podzemnih voda. Nakon utvrđivanja funkcionalne veze proračunatih vrijednosti rezervi podzemne vode i nivoa podzemne vode (kao što je funkcionalna veza nivoa vode u rijeci i proticaja rijeke na određenom profilu - $f=Q/H$), neophodno je dugotrajno osmatranje nivoa podzemne vode na osmatračkim objektima u projektovanoj mreži monitoringa.

U skladu sa evropskim direktivama u oblasti upravljanja vodama, mora se izvršiti pouzdana procjena za sve izdani, što uključuje i procjenu raspoloživih rezervi i zahvatanja podzemne vode. Kvantitativni status podzemne vode se vrši pojedinačno, za svaku izdan, koja se koristi za vodosnabdijevanje, u količini preko 100 m³/dan ($Q>100$ m³/dan) i za sve izdani ili grupe izdani.

Dobro kvantitativno stanje podrazumijeva da je nivo podzemne vode u izdani takav, da dugoročno prosječno godišnje zahvatanje ne prevazilazi raspoloživi resurs, odnosno obnovljive količine podzemne vode. Naime, podzemne vode predstavljaju obnovljiv resurs, ali su svakako ograničene brzinom obnavljanja, pa u tom smislu govorimo o kontrolisanom korišćenju rezervi podzemne vode.

Nivo podzemne vode, u izdanima sa dobrim kvantitativnim stanjem nije izložen antropogenim promjenama koje bi dovele do:

- neuspjeha u postizanju ciljeva životne sredine iz člana 4. Okvirne direktive o vodama, za povezane površinske vode;
- značajnog pogoršanja stanja takvih voda;
- bilo kakve značajne štete po suvozemne ekosisteme koji direktno zavise od izdani;
- promjene smjera toka uslijed promjena nivoa mogu biti povremene ili neprekidne u prostorno ograničenom području, pri čemu te promjene ne izazivaju prodor slanih ili drugih voda i ne ukazuju na stalnu i jasno određenu tendenciju pravca toka pod antropogenim uticajem, koja se može javiti pri takvim prodorima.

Ipak, nisu svuda dostupni svi podaci potrebni za vršenje monitoringa kvantitativnog stanja. Da bi se obezbjedilo vršenje kvalitetnog monitoringa kvantitativnog statusa, potrebno je izvršiti:

- reinterpretaciju postojećih podataka iz literature i fondovske dokumentacije;
- prikupljanje dopunskih podataka na terenu;
- izvesti osposobljavanje postojećih i određen obim novih hidrogeoloških istražnih radova (pijezometara).

Nakon tumačenja kvantitativnog stanja, njegovo predstavljanje se vrši zelenom bojom za "dobro" i crvenom bojom za "loše" stanje podzemne vode u smislu kvantitativnog stanja.

Monitoring kvalitativnog stanja podzemne vode podrazumjeva sveobuhvatno sagledavanje hemijskog stanja podzemne vode. Takođe, monitoring treba da otkrije postojanje dugotrajnih trendova povećanja koncentracija zagađujućih materija koji su prouzrokovani ljudskim aktivnostima.

Definisanje stanja hemizma podzemne vode neke izdani ili grupe izdani, vrši se monitoringom kvaliteta podzemne vode i posebno stanje transporta zagađujućih materija.

Stanje hemizma podzemne vode se takođe vrši pojedinačno, za svaku izdan koja se koristi za vodosnabdijevanje, u količini preko 100 m³/dan ($Q > 100 \text{ m}^3/\text{dan}$) i za sve izdani ili grupe izdani.

Pri monitoringu podzemnih voda, neophodno je obezbjediti pouzdanu informaciju da li:

- koncentracija zagađujuće materije ispoljava efekte prodora u izdan;
- premašuje standarde kvaliteta;
- hoće/neće rezultirati neispunjenju zadataka čl. 4. Okvirne direktive, ciljeva za površinske vode, smanjenju ekološkog ili hemijskog kvaliteta ili značajno štetiti kopnenim ekosistemima.

Dodatni kriterijum za kvalitet podzemnih voda je to da li je procenjen trend uzrokovan antropogenim faktorom.

Parametri za određivanje hemijskog statusa su sve supstance koje mogu da dovedu u rizik postizanje ciljeva životne sredine u pogledu podzemnih voda. Glavni parametri za ocjenu stanja hemizma podzemne vode su:

1. parametri zagađenja (O_2 , pH, elektroprovodljivost, NO_3^- i NH_4^+);
2. promjena osnovnog hemijskog stanja podzemne vode (prelaz iz jedne grupe voda u drugu);
3. povišen sadržaj drugih komponenata fizičko-hemijskog sastava;
4. promjena fizičkih svojstava podzemne vode;
5. promjena upotrebljivosti vode;
6. precrpljivanje.

Važno je razlikovati početne odn. prirodne hidrohemijske uslove sredine od zagađenja, odnosno pravilno tumačiti pojedine parametre kvaliteta i njihove vrijednosti.

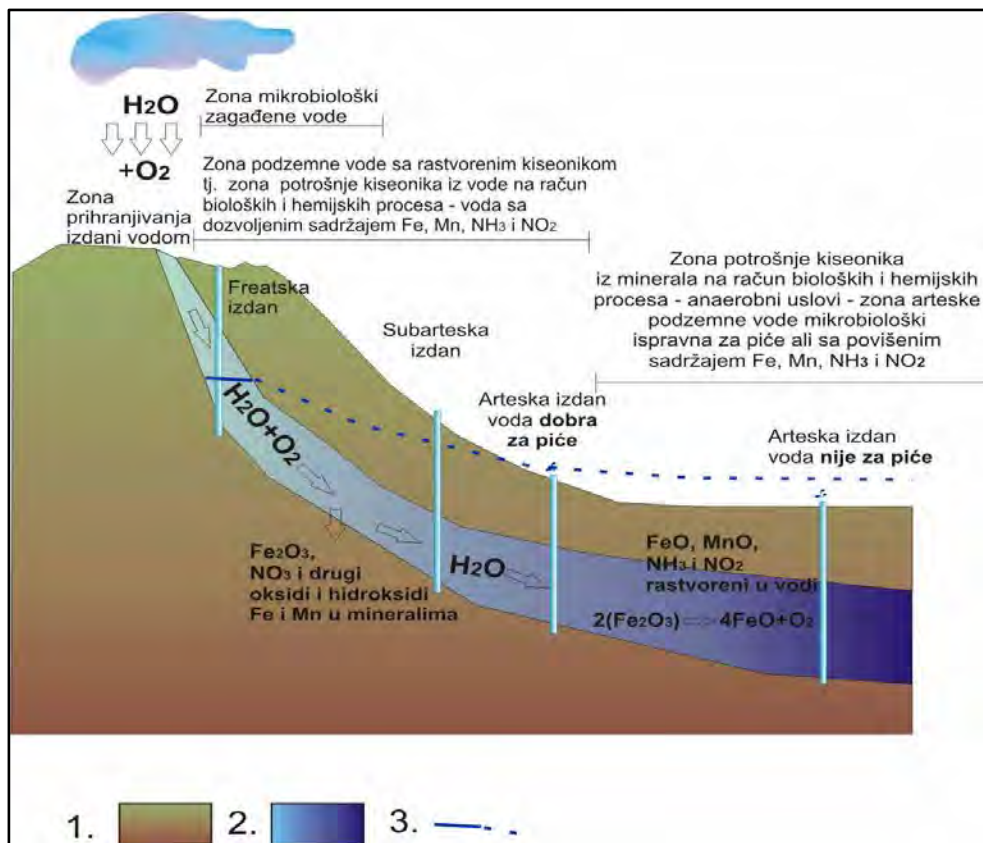
Biohemijski procesi koji se prirodno dešavaju u akviferu, prvenstveno trošenje kiseonika tokom podzemnog toka vode na račun tih biohemijskih procesa, utiču na fizičko-hemijski sastav vode. Tako se smanjuje sadržaj kiseonika u vodi, povećava sadržaj FeO na račun Fe_2O_3 , nitrati prelaze u nitrite, a u nastavku redukcionih (anernih) uslova u toku podzemne vode prelaze u amonijak. Amonijak, nastao na ovaj način, nema veze sa eventualnim zagađenjem sa površine, nego je isključivo odraz oksido-redukcionih uslova u sloju odnosno nedostatka kiseonika.

Na krajnjem sjeveroistoku Republike Srpske, u obodnom dijelu panonskog basena (Semberija i Posavina), dugogodišnjim istraživanjem i praćenjem, autori su utvrdili da od zone prihranjivanja u brdovitom dijelu planine Majevice, podzemna voda u plio-kvartarnim pjeskovito-šljunkovitim sedimentima ima izvrsne karakteristike, a kako se podzemni tok udaljava od zone prihranjivanja (već blizu rijeke Save), u arteskima vodama iz istih slojeva, voda ima povišen sadržaj gvožđa, a ponekad u nekim bušotinama i mangana. Na slici 67 prikazan je konceptualni hidrogeološki model oboda panonskog neogenog basena, koji u zoni udaljenoj od zone prihranjivanja, nema vadoznu zonu u samom akviferu, tj. nema prirodne aeracije, dakle ima anaerobne uslove i time uslove za stvaranje povišenog sadržaja gvožđa i mangana (4).

Takozvano "trošenje" kiseonika u podzemnom toku se odvija zbog prisutnih mikroorganizama u vodi, na račun biodegradacije organskih materija u podzemnoj vodi i geosredini i na račun hemijskih procesa

oksidacije u geosredini. Kišnica u prosjeku sadrži 63,2% azota, 35,0% kiseonika i 1,8 %CO₂. To podrazumjeva visok sadržaj rastvorenog kiseonika u podzemnoj vodi, jer se u **brdskom dijelu**, gdje plio-kvartarni slojevi imaju kontakt sa površinom terena, prihranjivanje izdani vodom vrši uglavnom na račun padavina bogatih rastvorenim kiseonikom.

U **prelaznoj zoni**, tj. prvom dijelu podzemnog toka, iako nema prisutne vadozne zone prirodne aeracije u samom akviferu, "troši" se kiseonik rastvoren u vodi, te voda u tom dijelu izdani, po fizičko-hemijskim karakteristikama, odgovara vodi za piće.



Slika 67: Uprošćen šematski prikaz zone povišenog sadržaja gvožđa u vodi arteske izdani na obodu panonskog neogenog basena u funkciji nepostojanja vadozne zone u samom akviferu, a na račun "trošenja" kiseonika tokom transporta podzemnih voda (4)

Legenda: 1 – vodonepropusne stijene; 2 – akvifer; 3 – nivo podzemne vode

U zoni bližoj **zoni prihranjivanja** ovog dijela podzemnog toka, voda po svom fizičko-hemijskom sastavu, često odgovara normama vode za piće, ali je mikrobiološki neispravna. U **prelaznoj zoni** je i fizičko-hemijski i bakteriološki ispravna. Međutim, u zoni **udaljenoj od zone prihranjivanja**, tj. u zoni gdje je cio akvifer u saturiranoj zoni odn. gdje vadozna zona u akviferu potpuno izostaje, voda postaje neispravna za piće zbog povišenog sadržaja gvožđa, a ponekad i mangana, iako je i dalje bakteriološki ispravna (primjer Posavine). Povišen sadržaj gvožđa u akviferima pospješuju i mala brzina podzemnog toka, prisutni laporoviti sedimenti i treset, kao i nizak pH.

Izdan odn. vodno tijelo podzemnih voda ima dobar hemijski status (dobro kvalitativno stanje) kada:

1. rezultati praćenja parametara statusa pokazuju da je hemijski sastav podzemne vode takav da se ni na jednom mjernom mjestu na vodnom tijelu ili grupi vodnih tijela ne prelaze vrijednosti granične vrijednosti koncentracije zagađujućih supstanci;

2. koncentracije zagađujućih supstanci ne ukazuju na prodor visokomineralizovanih voda;

3. koncentracije zagađujućih supstanci ne ugrožavaju ekološki i hemijski status površinskih voda povezanih sa vodnim tijelom podzemne vode;

4. ne dolazi do negativnih uticaja na kopnene i akvatične ekosisteme povezane sa vodnim tijelom;

5. nije značajno ugrožena mogućnost korišćenja vodnog tijela za ljudsku upotrebu.

Hemijski status vodnog tijela podzemnih voda određuje se kao dobar, kada je vrijednost srednje godišnje koncentracije (SGK) za svaku zagađujuću materiju u podzemnoj vodi na svim mjernim mjestima manja ili jednaka graničnim vrijednostima koncentracije (GVK) utvrđenih posebnim propisom, u skladu sa zakonom kojim se uređuju vode.

Vodno tijelo podzemnih voda (izdan) može imati dobar hemijski status i u slučaju kada su granične vrijednosti koncentracije zagađujućih supstanci prekoračene na jednom ili više mjernih mesta, ukoliko dodatna ispitivanja pokažu da:

1. koncentracije zagađujućih supstanci, koje prelaze granične vrijednosti koncentracija, ne ugrožavaju životnu sredinu u mjeri da nije moguće dostići ciljeve životne sredine za podzemne vode utvrđene u Planu upravljanja vodama i Okvirnoj direktivi o zaštiti podzemnih voda 2006/118 EC, uzimajući u obzir, tamo gde je to potrebno, u kom obimu je vodno tijelo pod uticajem zagađenja;

2. su ispunjeni svi drugi uslovi koji definišu hemijski status sa početka;

3. je spriječeno pogoršanje kvaliteta vodnih tijela podzemnih voda koja su značajna za zahvatanje podzemnih voda za potrebe snabdijevanja vodom;

4. zagađenje ne umanjuje u značajnoj mjeri mogućnost korišćenja vodnog tijela podzemnih voda za ljudsku upotrebu;

5. koncentracije zagađujućih supstanci koje prelaze granične vrijednosti koncentracija nisu posledica zagađenja već prirodnih karakteristika akvifera.

Pri određivanju stanja hemizma, rezultati sa pojedinih mijernih mjesta na jednoj izdani, objediniće se na izdan u cjelini. Na izdanima, za koje se utvrđen značajan rizik da neće postići dobro stanje, pratiće se i parametri koji ukazuju na uticaj tih pritisaka.

Nakon tumačenja hemijskog stanja, predstavljanje se vrši zelenom bojom za "dobro" i crvenom bojom za "loše" stanje podzemne vode u smislu hemijskog stanja. Crnom tačkom će se označiti one izdani koje su izložene stalnom i značajnom trendu povećanja koncentracija zagađujućih materija uslijed uticaja ljudske aktivnosti. Plavom tačkom će se označiti preokret trenda.

Da bi definisali status vodnih tijela kao dobar, i kvantitativni i kvalitativni status vodnog tijela podzemne vode (izdani) moraju biti definisani kao dobri.

Na jednom području se sprovode operativni i nadzorni tip monitoringa.

Nadzorni monitoring ima za cilj da obezbijedi nedostajuće podatke i potvrdi postojeće podatke, pri procjeni rizika od zagađenja podzemnih voda, i da pomogne pri određivanju trenda promjena koji je rezultat prirodnih i antropogenih zagađivača. Izbor parametara za praćenje je jako bitan, jer odabirom pravih parametara se dobija kompletna slika o stanju podzemnih voda. Zato se pri vršenju nadzornog monitoringa prate slijedeći parametri: pH, EC, O₂, NO₃⁻, NH₄⁺ i zagađujuće materije.

Operativni monitoring se sprovodi u periodima između realizacija nadzornog monitoringa i to minimalno jednom godišnje. Cilj operativnog monitoringa je da se dobiju podaci o početnom stanju hemizma izdani ili grupe izdani, utvrđivanje hemizma izdani za koje je dokazano da su izložena riziku i praćenje trenda promjene koncentracije zagađujuće supstance.

Gustina mreže monitoringa mora biti takva da pruži potpuno sagledavanje kvalitativnog i kvantitativnog stanja izdani. Danas je čest slučaj da na terenu nemamo dovoljno objekata za vršenje monitoringa stanja

podzemne vode. Zato se pribjegava izvođenju dodatnih hidrogeoloških radova na terenu. Pod time se misli na izradu bunara i pijezometara, koji će služiti za dalji monitoring.

Prilikom izrade dodatnih hidrogeoloških objekata, dobijamo i uvid u litološki sastav terena, koji nam olakšava razumijevanje hemizma podzemne vode. Objekti treba da budu tako dimenzionisani da zahvate cio vodonosan sloj ili barem dobar dio njega (u slučaju kada je izdan na velikoj dubini, nema potrebe raditi duboke pijezometre).

Pravilo je da se uzorak vode za fizičko-hemijsku analizu ne uzima iz stajaćih voda, jer se tako ne dobija prava slika o stanju podzemne vode. Dimenzije objekata treba da budu takve da omoguće spuštanje pumpe u njih za potrebe crpljenja za uzimanje uzorka vode za određivanje i praćenje hemijskog sastava. Prije početka crpljenja, potrebno je izmjeriti nivo podzemne vode za potrebe kvantitativnog monitoringa. I tokom vršenja crpljenja, potrebno je pratiti nivo podzemne vode da bi se pratile oscilacije nivoa podzemne vode za potrebe budućeg korišćenja.

30. KLJUČNI ZAGAĐIVAČI, PRITISCI NA ZEMLJIŠTE I PODZEMNE VODE

Opšte je poznato da je u svijetu jedan od najvećih problema nedovoljna količina pitke vode. Nije tajna da je danas pristup vodi velikom broju stanovnika uskraćen ili nije obezbjeđen u dovoljnoj količini. Stručnjaci predviđaju da će se u budućnosti broj stanovnika koji neće imati dovoljne količine vode povećati.

Već je rečeno da formiranje fizičko-hemijskog sastava podzemne vode počinje još u atmosferi, a da veliki uticaj na sam fizičko-hemijski sastav podzemnih voda ima geološka sredina kroz koju se kreće. Zato je potrebno pokušati smanjiti i paziti, ne samo na supstance koje se upuštaju u podzemlje, već i na supstance koje se ispuštaju u atmosferu.

U prethodnim poglavljima su dati procesi koji utiču na formiranje sastava podzemne vode, neke smjernice kakvog kvaliteta podzemna voda treba biti da bi se mogla koristiti za određene potrebe i način vršenja monitoringa podzemne vode, da bi se kontrolisao njen kvalitativni i kvantitativni status. Pošto kvalitet podzemne vode zavisi i od supstanci koje pod uticajem antropogenog faktora dospevaju u podzemne vode, često u većoj koncentraciji nego što je to dozvoljeno, u daljem tekstu će se dati prikaz najčešćih potencijalnih zagađivača i zagađujućih materija koje opterećuju podzemne vode.

Zagađenje podzemne vode i sredine je proces izazvan najčešće ljudskom aktivnošću, prilikom kog se koncentracije organskih i neorganskih elemenata i jedinjenja povećavaju u podzemnoj vodi i tom prilikom dolazi do narušavanja određenog kvaliteta podzemne vode. Pri zagađenju podzemne vode, treba razlikovati zagađivača i zagađujuću materiju.

Zagađivač je izvor zagađenja i može biti bilo šta (fabrika, deponija, naselje). Kao takvi, oni ispuštaju u sredinu supstance koje sa sobom nose jednu ili više zagađujućih materija.

Zagađujuća materija je supstanca (organska ili neorganska), koja se vještačkim putem, a rjeđe prirodno, zbog ljudskog faktora unosi u nedozvoljenim količinama (preko propisanih MDK) u izdansku i nadizdansku zonu, direktno ili indirektno, stalno ili povremeno, čije porijeklo se može odvojiti od porijekla sastojaka i osobina podzemne vode i sredine (73).

Podjela zagađujućih materija i zagađivača je prikazana u narednoj tabeli.

Tabela 25. Opšta klasifikacija zagađujućih materija i zagađenja (73)

1. Po porijeklu					
Fizičko-mehaničko		Hemijsko		Bakteriološko	
Mutnoća		Neorgansko Toksični elementi (Teški metali: Pb, Hg, Cd i dr.)	Organsko Ugljovodonici (Nafta i derivati)		
Boja		Radionukleidi	Pesticidi, đubriva		
Miris i ukus		Ostali	Fenoli, deterdženti		
Temperatura			Ostale organske materije		
Ostalo					
2. Po prostornom djelovanju					
Tačkasto (punktuelno)			Prostorno		
3. U odnosu na fizičko stanje					
Tečni	Tečno-čvrsti	Čvrsti	Gasno-čvrsti	Gasni	Gasno-tečni
4. Po vremenu trajanja u izvoru					
Neprekidno (kontinualno)			Povremeno (paketno)		
5. Po stepenu dejstva u izvoru					
Ustaljeno zagađenje		Smanjivanje	Povećanje	Promjene u zagađenju	
6. Po intezitetu aktivnosu u geološkoj sredini					
Vrlo aktivni		Aktivni	Slabo aktivni	Inertni	
7. Po načinu zagađivanja podzemnih voda i sredine					
Neposredno			Posredno		
Antropogeno		Prirodno	Antropogeno		Prirodno
Direktno zagađenje izdani (preko riječnih voda, kanalske mreže, bušotina, bunara)			Aerozagađenje Zagađenje nadizdanske zone Zagađenje površine terena		

Najveći udio u zagađenju podzemnih voda na planeti ima čovjek, tj. antropogeni faktor. Zagađivače antropogenog porijekla možemo podijeliti u dvije grupe:

- koncentrisane izvore zagađivanja;
- rasute izvore zagađivanja.

Koncentrisani izvori zagađivanja su razni objekti u kojima se obavlja neka ljudska ili industrijska djelatnost. Njih je lako uočiti i to su: industrijski

objekti (otpadne vode), otpadne vode naselja, energetska postrojenja (razni tipovi elektrana), poljoprivredni objekti i deponije.

Rasuti izvori zagađivanja su ruralna naseljena mjesta, šumarstvo, poljoprivredne površine i saobraćaj.

Koncentrisani izvori zagađenja

Zagađujuće materije ovog tipa zagađivača, dospevaju u podzemlje kao otpadne vode. One se mogu podijeliti u tri grupe:

- otpadne vode iz naselja (komunalne otpadne vode);
- industrijske otpadne vode;
- atmosferske vode (spiranje zemljišta).

Komunalne otpadne vode preko kanalizacionih sistema se ulivaju u rijeke, jezera, ali često i u podzemlje. Postoje naseljena mjesta koja nemaju riješenu kanalizacionu mrežu, što je još gora solucija sa aspekta zaštite. U kanalizacionim otpadnim vodama mogu se naći razne organske tečnosti, deterdženti, ali i hemijska sredstva, jer mnogi manji industrijski objekti svoje otpadne vode priključuju na kanalizaciju naselja.

Komunalne otpadne vode sadrže organske materije u koje spadaju: fiziološke izlučevine ljudi, ostaci hrane, a uz to ima i materija koje potiču od sredstva za pranje, raznih deterdženata i čvrstih komada različitog sastava. Sapuni i deterdženti su površinski aktivna jedinjenja, koja mijenjaju površinski napon vode i koncentrišu se na površinu vode. Sa promijenom površinskog napona vode, dolazi do smanjene razmjene kiseonika sa vazduhom. Zbog toga dolazi do izumiranja živog svijeta u vodi, što za posledicu ima povećanje anaerobnih bakterija. Deterdženti su postojani u vodi i njihova razgradnja može da potraje i do nekoliko mjeseci.

Atmosferske otpadne vode putem padavina, kišnice i otopljenog snijega, sa sobom nose razna zagađenja sa površine. Atmosferske vode spiraju razne rasute zagađujuće materije. One najčešće sadrže sulfate, hloride, nitrare, ulja i niz drugih organskih i neorganskih jedinjenja.

Industrijske otpadne vode potiču od raznih industrijskih postrojenja. U ovim vodama su često prisutne velike količine ulja i otrovnih materija. Industrijske otpadne vode svakim danom postaju sve veći problem, jer su veliki zagađivači podzemnih voda. Njihov sastav i toksičnost zavise od vrste industrije. Najčešće otpadne vode su od prehrambeno-prerađivačke industrije, mljekara, klanica, tekstilne industrije, energetskih i termoelektričnih objekata i hemijske industrije.

Otpadne vode prehrambene industrije u sebi sadrže ostatke od procesa pranja, organske ostatke od voća, povrća, pa i neorganske ostatke zemlje i pijeska.

Otpadne vode mljekara najčešće sadrže sredstva za pranje i dezinfikovanje i kiseline, što obara pH vrijednost vode. Pored toga, sadrže često i organske supstance (proteine, šećere).

Otpadne vode klanica sadrže uglavnom organske materije podložne raspadanju. To su masti životinja, dijelovi kože, krvi i dr. One doprinose velikom zagađenju potrošnjom kiseonika.

Od mnogih industrijskih zagađivača, može se istaći da je industrija celuloze jedan od najvećih. Otpadne vode celuloze sadrže organske i mineralne materije. Otpadne vode ove industrije sadrže još i kaolin, sulfid aluminijum i celulozna vlakna.

Iz industrije za proizvodnju deterdženata u vodu dospevaju obično sulfati različitih organskih jedinjenja, soli, fenoli ili slično. Najznačajniji su svakako polifosfati, soli polimerizovane fosfatne kiseline. Kad se nađu u vodi, oni ometaju razmjenu kiseonika između vazduha i vode.

U nekim otpadnim vodama hemijske industrije mogu istovremeno da se nađu organske i neorganske zagađujuće materije. Najveći zagađivači neorganskim materijama su fabrike kiselina. Zagađujuće materije iz ovih fabrika mijenjaju pH vrijednost vode.

Otpadne vode koje se javljaju u postrojenjima za preradu naftnih derivata su jako opasne. Kao posebna zagađujuća materija u njima, koja predstavlja jedan od najvećih zagađivača podzemnih voda je nevodena tečna faza (*NAPL-non-aqueous phase liquid*). Naime, ove supstance se ne mješaju sa vodom. Izdvajaju se dvije komponente - teška nevodena faza (DNAPL), koja kada dospije u izdan pada na dno izdani i lakša nevodena faza, (LNAPL) koja pliva po površini vode. Obje faze mogu biti ili mješavine više komponenti ili hemijski jednorodne supstance.

Zagađenje otpadnim vodama energetskih objekata najčešće dopijevaju putem otpadnih voda u podzemlje kada se desi neka havarija ili se u nekim slučajevima direktno upuštaju u podzemlje. To su najčešće otpadne vode sa sadržajem kiselina i baza u sebi, deterdžentima, sa ostacima ulja i maziva, kao i voda sa određenom količinom pepela i šljake u sebi.

Možda, kao najopasniji od svih, se mogu izdvojiti policiklični ugljovodonici, koji se nalaze u mazivima i uljima. Dokazano je da su policiklični ugljovodonici veoma kancerogeni. Otežavajuća okolnost je i ta što se ulje veoma dobro razliva po površini vode i stvara tanak film koji prekriva vodenu površinu i sprečava razmijenu kiseonika između vode i atmosfere.

Pri proizvodnji koksa, koji se koristi pri različitim termičkim procesima, jer obezbjeđuje visoku temperaturu, nastaju mnogobrojne zagađujuće supstance. Sastav otpadnih voda prilikom proizvodnje koksa je

različit i zavisi od vrste uglja koja se koristi, tehnološkog procesa stvaranja koksa i sadržaja primjesa u uglju. Prilikom stvaranja koksa (usijani koks se hladi vodom, pa se zatim para kondenzuje), stvaraju se otpadne vode sa organskim i neorganskim jedinjenjima uglja koji se koristio i prašine koja se može naći u vodi.

U posebnu grupu mogu se svrstati tople otpadne vode, nastale u procesima hlađenja reaktora. Hlađenjem reaktora na elektranama dolazi do termičkog zagađenja voda. Takve vode se mogu upustiti u podzemlje i zbog razlike u temperaturama može doći do ugrožavanja živog svijeta u vodama i promjene fizičko-hemijskih karakteristika vode, zbog upuštanja vode povišene temperature. Najveći izvori toplotnog zagađenja su termoelektrane, ali mogu biti i bunari sa termalnom vodom, ukoliko se voda direktno upušta u vodotok.

Rasuti izvori zagađenja

Otpadne vode sa poljoprivrednih površina nastaju prilikom spiranja zemljišta sa poljoprivrednih površina na kojima su primjenjeni hemijski tretmani i đubrenje. Sa tih površina u podzemlje dospijevaju velike količine teških metala iz pesticida (arsen, olovo, kadmijum, živa i cink) i azota i fluora iz veštačkih đubriva. Osim pesticida i veštačkog đubriva, i stajska đubriva su izvori zagađenja. Iz njih dolazi do oslobađanja fekalija i bakteriološkog zagađenja podzemnih voda.

Otpadne vode deponija su opasne, kako sa organizovanih, tako i sa divljih deponija (slika 68). I na organizovanim deponijama, koje su izgrađene da zaštite okolnu sredinu, vremenom se javljaju procjedne vode, koje u sebi nose velike količine neorganskog, organskog i bakteriološkog zagađenja. U zavisnosti od vrste materijala koji se odlaže, deponije mogu biti komunalne, industrijske, medicinske, građevinske. Svaka deponija ima svoje karakteristične procjedne vode koje, kada dospiju u podzemlje, dovode do zagađenja podzemne vode. Divlje deponije su uglavnom deponije komunalnog otpada, mada se na njima mogu naći i ostaci uginulih životinja, građevinski šut i pepeo. Kod divljih deponija, posebno u karstu, nije rijedak slučaj da se i otpadni materijal nađe u podzemlju, jer one nisu planski izgrađene da zaustave prodor otpada i otpadnih voda u podzemlje. Divlje deponije su veliki problem, jer se mogu naći skoro na svakom koraku i ne zna se od kada se tu nalaze, tako da se veoma često kasno utvrdi njihov položaj i uticaj na podzemlje i tada su već voda i izdan zagađeni.



Slika 68. Deponija komunalnog otpada u karstnom polju kod Drinića

Zagađenje nekontrolisanom eksploatacijom šuma i aktivnosti koje je prate (izgradnja šumskih puteva, prevoz i izvlačenje isječene drvene mase od mjesta sječe do saobraćajnica, korištenje mehanizacije, formiranje šumskih gradilišta itd.), kao posljedicu ima povećanje erozije i unosenje suspendovanih materija u vodotok. Skraćuje se vrijeme koncentrisanja padavina i putovanja do vodotoka, što za posljedicu ima učestalu pojavu ekstremnih vrijednosti proticaja. Takođe, opasnost predstavlja prevoz i uskladištenje goriva i maziva koja se koriste za mehanizaciju na šumskim radilištima, servisiranje mehanizacije, kao i odlaganje iskorištenog ulja.

U daljem tekstu će biti prikazani pritisci na podzemne vode Republike Srpske. Oni se mogu očekivati u dijelu Republike Srpske gdje je poljoprivredna proizvodnja intenzivna (prekomjeran unos đubriva u zemljište i neadekvatno korištenje insekticida i pesticida), zatim u dijelu gdje se vrši neplanska eksploatacija šuma, usled čega dolazi do erozije zemljišta, kao i u djelovima gdje su nastale industrijske i rudničke deponije jalovine, površinski kopovi, gradske deponije otpada, čime se otpadne vode infiltriraju u tlo i dolaze u direktni kontakt sa podzemnim vodama.

Pritisci na izdani se mogu očekivati i u urbanim sredinama, zbog nepostojanja ili nefunkcionisanja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u najvećem broju gradova Republike Srpske. Otpadne vode se direktno ispuštaju u vodotoke ili druge recipijente, a postoje i gradovi koji nemaju riješene kanalizacione sisteme, gdje se otpadne vode sakupljaju u neadekvatne septičke jame, koje su obično vodopropusne, uslijed čega

dolazi do procurivanja otpadnih voda i njihovog kontakta sa podzemnim vodama.

Urbane aglomeracije, kao značajni koncentrisani zagađivači, kvantificirani su i prostorno locirani na osnovu statističkih podataka o naseljenim mjestima, pri čemu je važno napomenuti da je stepen pokrivenosti kvalitetnim prikupljanjem, odvođenjem i tretmanom otpadnih voda naselja u Republici Srpskoj izuzetno nizak.

Nepostojanje pouzdanog registra industrijskih zagađivača i podataka o teretu zagađenja kojeg ispuštaju, prevaziđeno je korištenjem podataka o ispitivanju kvaliteta efluenta, koji se povremeno provodi u cilju određivanja osnove za plaćanje naknada za zaštitu voda od industrije. Ovako dobijeni podaci sadrže u sebi značajan stepen nepouzdanosti (jednokratno mjerenje, promjene u pogledu tehnologija i kapaciteta, diskontinuiranost u prikupljanju podataka i sl.) i kao takvi teško mogu biti dobra polazna osnova za procjenu uticaja pojedinih privrednih subjekata. Kao glavni uzrok zagađenja javljaju se komunalne otpadne vode naseljenih mjesta, čiji je stepen zagađenja moguće dosta pouzdano procijeniti. Ovim je olakšano stvaranje baze podataka, koja je omogućila preliminarnu procjenu značajnih tačkastih izvora zagađenja i njihovog uticaja na izdani. Zagađenja koja dospijevaju u podzemne vode putem procjednih voda sa deponija su najmanje istražena.

Primjenjena metodologija koja se koristila u Studiji stanja izdani na prostoru Republike Srpske (62) je prikazana u tabeli 26.

Iz date tabele proizlazi da je osnovni kriterijum za određivanje da li neka komunalna otpadna voda (prečišćena ili neprečišćena) predstavlja značajan izvor zagađenja definisan pragom od 10.000 ES, a za prečišćene otpadne vode (bez trećeg stepena tretmana), ako kvalitet izlazne vode prelazi unaprijed definisane granice. Danas ni jedno od naselja u RS sa brojem stanovnika većim od 10.000 ES ne posjeduje postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda (izuzev Trebinja i Bileće), što praktično znači da su sva naselja veća od 10.000 ES ujedno i značajni izvori zagađenja, prema datim kriterijima.

Tabela 26. Definicija značajnih koncentrisanih izvora zagađenja

Ispust	Procjena značajnosti	
Komunalna otpadna voda		
Svaka komunalna otpadna voda od:	Naselja < 10.000 ES PPOV < 10.000 ES	Nije značajno
Netretirana komunalna otpadna voda od:	Naselja > 10.000 ES	Značajno
Samo mehanički tretirana komunalna otpadna voda iz	PPOV >10.000 ES	Značajno
Mehanički i biološki tretirana komunalna otpadna voda bez tercijarnog tretmana iz	PPOS >100.000 ES	Značajno ako je barem jedan parametar prekoračen
		BPK* > 25 mg/L O ²
		HPK* > 125 km/L O ²
		N _{total} > 10 mg/L N
	P _{total} ** > 1 mg/L P	
Industrijska otpadna voda	Značajno ako je bar jedan parametar prekoračen	
		HPK*** > 2 t/god
		Pesticidi**** > 1kg/god
	Teški metali i jedinjenja*****	As _{total} > 5 kg/god
		Cd _{total} > 5 kg/god
		Cr _{total} > 50 kg/god
		Cu _{total} > 50 kg/god
		Hg _{total} > 1 kg/god
		Ni _{total} > 20 kg/god
		Pb _{total} > 20 kg/god
		Zn _{total} > 100 kg/god
Otpadne vode poljoprivrednih tačkastih izvora (stočne farme)	Značajno ako je barem jedan parametar prekoračen	
	N _{total} ***** > 50.000 kg/god	
	P _{total} ***** > 5.000 kg/god	

Legenda: PPOV – postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda; * saglasno tabeli 1 EU Direktive o tretmanu otpadnih voda (91/271/EEC); ** saglasno tabeli 2 EU Direktive o tretmanu otpadnih voda (91/271/EEC); *** ekvivalentno 13 mg/L N u Njemačkoj, određen za dvosatni kompozitni uzorak; **** prag kao što je u EMIS propisu za industrijske ispuste 2000; ***** pragovi u kg/god kao što je to u EPER-u; ***** pragovi kao u EPER-u (EMIS popis za tačkaste poljoprivredne izvore 2002)

Kriterijumi za industrijske otpadne vode su definisani pragovima prekoračenja preuzetim iz odgovarajućih (u tabeli citiranih), za pojedina područja posebno utvrđenih, Direktiva i drugih dokumenata EU, a za otpadne vode sa životinjskih farmi pragovima definisanim od strane ICPDR (EMIS EG).

Što se tiče naseljenih mjesta kao zagađivača, prema propisima navedenim u Direktivi o gradskim otpadnim vodama (91/271/EEC), kao integralnog dijela Okvirne direktive o vodama (ODV) i uvažavajući današnje stanje u RS, u fazi podjele na tipove zagađenja od stanovništva, usvojen je princip da se kao koncentrisani izvori zagađenja računaju sva naseljena mjesta sa 2.000 i više stanovnika. Procjena je da danas u naseljima većim od 2.000 stanovnika živi oko 800.000 stanovnika, te je taj broj stanovnika svrstan u koncentrisane izvore zagađenja.

Najveće opasnosti naseljenih mjesta po zagađenje podzemne vode predstavljaju neuređeni kanalizacioni sistemi. Uslijed stare i dotrajale kanalizacione mreže ili nepostojanja iste, u značajnom dijelu RS dolazi do procurivanja otpadnih voda naselja u podzemlje. Tom prilikom se zagađuje izdan i podzemna voda.

Gradske otpadne vode Sokoca se upuštaju direktno u rijeku Rešetnicu, koja ponire u podzemlje u ponoru Megara i tako direktno odlazi u podzemne vode ove izdani. Gradske otpadne vode Han Pijeska se takođe direktno upuštaju u površinske vodotoke na dva mjesta, te tako dospijevaju direktno u tok podzemne vode.

Otpadne vode su značajan izvor nutrijenata (posebno azota i fosfora). U Republici Srpskoj još uvijek ni na jednom od postrojenja nisu implementirane tehnologije za uklanjanje nutrijenata. Nekontrolisano ispuštanje nutrijenata, naročito azota (N) i fosfora (P), dovodi do razvoja procesa eutrofikacije voda. Zagađenje nutrijentima je glavni izazov za slatke vode. Emisije nutrijenata i uticaj koncentrisanih izvora, mogu se mjeriti i izraziti u pogledu neorganskog azota, ukupnog azota (Nt), amonijačnog azota (NH₄-N), nitrarnog azota (NO₃-N), nitritnog azota (NO₂-N), ukupnog fosfora (P) i fosfata (PO₄).

Glavni problem definisanja industrijskih zagađivača na prostoru Republike Srpske je nedostatak sistematskog monitoringa kvaliteta i količina efluenta industrijskih zagađivača. To je rezultiralo da se ocjene tereta zagađenja pojedinih vodotoka i samih podzemnih voda zasnivaju na podacima dobijenim, ili na osnovu mjerenja provedenih za potrebe procjene produkcije otpadnih voda velikih zagađivača, ili na osnovu procjena zasnovanih na podacima vezanim za tip i obim proizvodnje pojedinih privrednih subjekata, urađenih u cilju dobijanja osnove za naplatu taksi za

ispuštanje otpadnih voda. Podaci koji su obrađeni u Studiji (62) pokazuju da se otpadne vode industrijskih objekata uglavnom upuštaju direktno u vodotoke i javne kanalizacije. Podaci pokazuju da na većini objekata ne postoje postrojenja za tretman otpadnih voda i da se one nakon iskorištenja u procesu proizvodnje ispuštaju bez ikakvog tretmana. Za veliki broj industrijskih objekata ne postoje nikakvi podaci o količini potrošene vode, niti o tome gdje se ispušta i da li ima tretmana vode prije ispuštanja.

Među deponijama otpada koje indirektno, putem procjednih voda emituju zagađenje u podzemne vode, značajno mjesto imaju deponije čvrstog otpada. Najveći broj deponija na prostoru Republike Srpske nema monitoring niti egzaktna podatke o produkciji zagađenja i njegovom uticaju na promjenu stanja kvaliteta podzemnih voda.

Takođe, na osnovu podataka korištenih za analizu zagađenja riječnog sliva Dunava (26), dobijene su karte emisije azota i fosfora. Na bazi ovih karata zaključuje se da je opterećenje emisijom azota primjetno na području sarajevske regije (dio koji se nalazi u Republici Srpskoj). Opterećenje azotom se kreće u granicama 5 -15 kg/ha za cijeli prostor Republike Srpske, dok je u sarajevskoj regiji opterećenje u granicama 15 - 20 kg/ha.

Slična situacija je i sa emisijom fosfora. Skoro cijela teritorija Republike Srpske opterećena je emisijom fosfora u granicama 250 - 1000 g/ha. Izuzetak ponovo čini sarajevska regija (dio u Republici Srpskoj) sa opterećenjem preko 2500 g/ha, dok je nešto bolja situacija u dijelovima opština Petrovo i Osmaci, gdje je opterećenje fosforom u granicama 1500 - 2000 g/ha. Pretpostavka je da su veće vrijednosti za azot i fosfor posljedica direktnog ispuštanja otpadnih voda industrije i urbanih područja u vodotoke, a samim tim i u podzemne vode.

Prema rezultatima Studije o stanju izdani Republike Srpske (62), rasuti izvori zagađenja su direktno vezani za aktivnosti čovjeka koje se odnose na naseljavanje ruralnih prostora i korištenje zemljišta (naselja, poljoprivreda, šumarstvo, transport i sl.), a po načinu postanka su prostornog karaktera. Specifičnost u Republici Srpskoj je da najveći broj stanovnika u ruralnim dijelovima nije obuhvaćen nikakvim kanalizacionim sistemima, te se prikupljanje i konačna dispozicija otpadnih voda svodi na veliki broj direktnih ispusta u vodotoke ili nepropisno izvedenih septičkih jama, te se ono u ukupnom bilansu zagađenja može svrstati u tip rasutog zagađenja.

Voda iz štala se često sliva nekontrolisano u manje vodotoke i zagađuje ih veoma opterećenim organskim sadržajima: amonijakom, makroelementima (azot, fosfor, itd.), koji stvaraju uslove za eutrofikaciju i

dugotrajno zagađivanje vodenih ekosistema. To svakako uslovljava proces zagađivanja vlastitih i susjednih lokalnih izvorišta karakterističan i za aluvijalna izvorišta u riječnim dolinama, ali i za izdani u akviferima sa izraženim pukotinsko-karstnim tipom poroznosti, kod kojih se zbog povezanosti karstnih oblika reljefa i podzemnih kaverni, zagađenje tečnim i čvrstim otpacima može da prenosi na dosta velike udaljenosti.

Podaci o mogućem zagađenju ruralnih naselja su vrlo oskudni i generalno pritiske na izdani možemo posmatrati samo kroz mogući pretpostavljeni uticaj korištenja zemljišta (da li je razvijena poljoprivredna proizvodnja i stočarstvo u ruralnim sredinama).

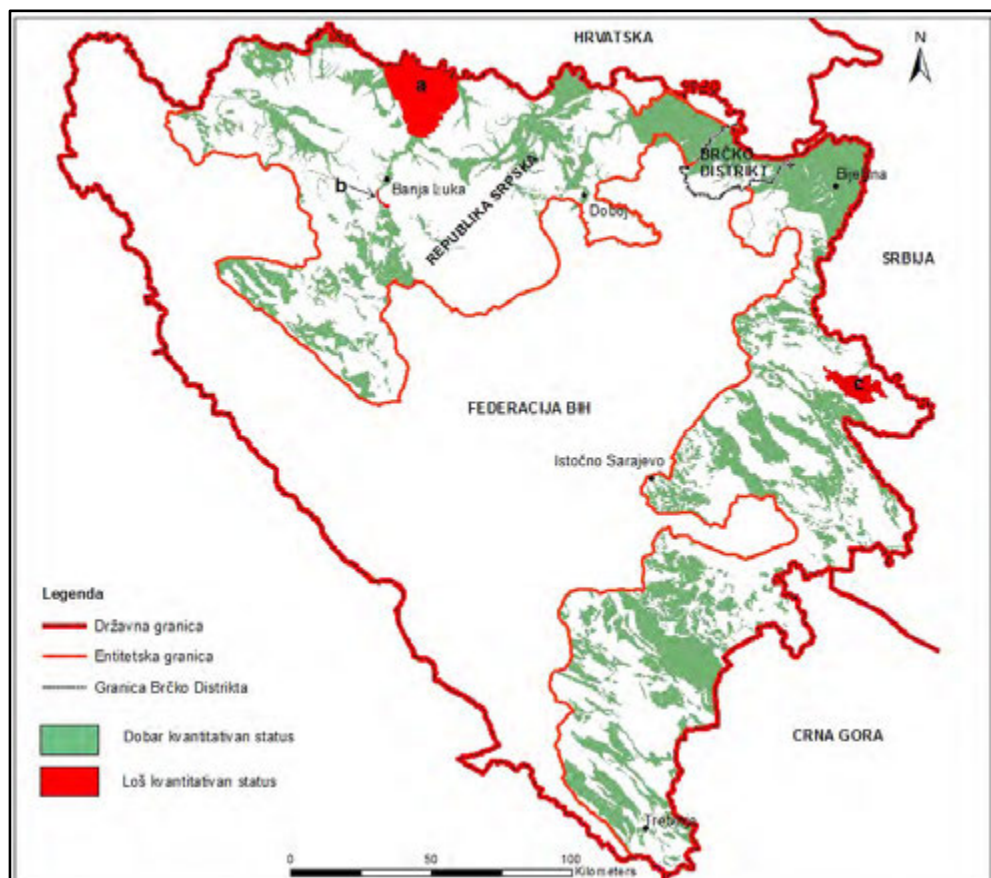
Što se tiče zagađenja koje dopire sa poljoprivrednih površina, ono je dobijeno na osnovu podataka korištenja zemljišta, odnosno sa karata namjene zemljišta. Ovim istraživanjima su obuhvaćeni i podaci o korištenju sredstava za zaštitu bilja, kao i prirodnog i vještačkog đubriva, ali i drugi elementi koji utiču na produkciju zagađenja sa određenog prostora. Dobijeni podaci pokazuju da je korištenje sredstava za zaštitu bilja, kao i prirodnog i vještačkog đubriva u Republici Srpskoj ograničeno, prije svega finansijskom situacijom u poljoprivredi, tj. veliki broj poljoprivrednika zbog slabe finansijske situacije nije u mogućnosti zemljište tretirati sa potrebnim količinama đubriva i sredstvima za zaštitu bilja. Na taj način je i produkcija zagađenja od ovih izvora znatno niža nego što je to situacija u razvijenim zemljama u okruženju.

Tokom 2015. godine završena je Studija o stanju izdani Republike Srpske i procjeni rizika po kvalitet i rezerve podzemne vode (62). Cilj izrade studije je bilo definisanje početnog stanja izdani na prostoru Republike Srpske. Tom prilikom je izvršena kvantitativna i kvalitativna ocjena stanja izdani.

Analizom svih dostupnih podataka, došlo se do zaključka da je loše kvantitativno stanje podzemne vode na području izdani Lijeve polje (oznaka a) na slici 69) i Novoselije, (oznaka b) na slici 69) nastalo zbog precrpljivanja vode izazvane ljudskim aktivnostima. Prema postojećim podacima, trend precrpljivanja izdani kroz višedecenijski pad nivoa podzemne vode, zabilježen je i na prostoru površinskih kopova uslijed odvodnjavanja zbog eksploatacije ruda ili uglja. Imajući u vidu da se vrši dopunsko prihranjivanje izdani vodom rijeke Vrbas, u prostoru Novoselije preko infiltracionih bazena, ovaj trend je u svrhu obezbjeđenja vode za vodosnabdijevanje, odnosno nema negativnih efekata po životnu sredinu i potrebe stanovništva u tom području (62).

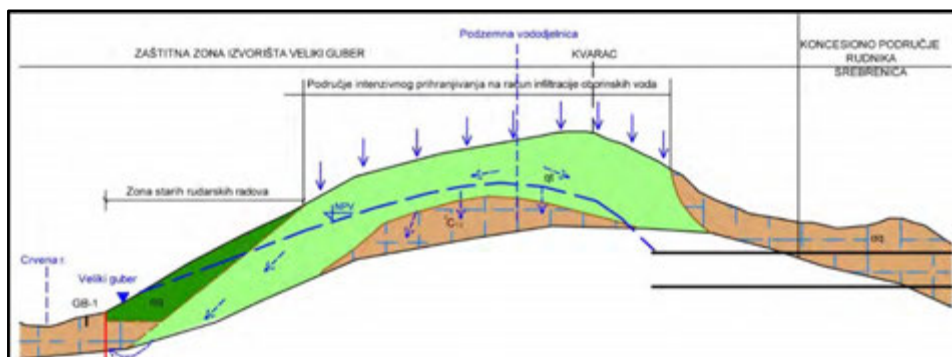
Za potrebe definisanja početnog stanja izdani neophodno je dati prikaz koristeći GIS:

- značajnijih bunara gradskih vodovoda i privrede, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- bušotina i bunara u banjama, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- bušotina i bunara u fabrikama mineralne i izvorske flaširane vode, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- bunara i bušotina sa termalnom i termomineralnom vodom, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- značajnih bušotina za naftna i druga istraživanja, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- značajnih bušotina za hidroelektrane, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- značajnih izvora i vrela, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- značajnih ponornica, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- podataka o smjerovima kretanja podzemne vode u karstnim terenima, utvrđenih upotrebom trasera, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda;
- rezultata obimnijih monitoringa pojedinih izdani u Republici Srpskoj za potrebe pojedinih korisnika, sa atributnim podacima koje traži Modul katastra podzemnih voda.



Slika 69. Karta kvantitativnog statusa podzemnih voda na prostoru Republike Srpske (65)

Krajem 2016. godine urađen je Projekat monitoringa podzemnih voda sliva rijeke Drine na prostoru Republike Srpske (22). Tom prilikom je izdvojena izdan formirana u okolini Srebrenice (oznaka c) na slici 69), kao kvantitativno ugrožena. Treba napomjenuti da ova izdan drenira jedinstvenu mineralnu vodu, prevashodno zbog bogatog sadržaja gvožđa, arsena, mikroelemenata i povišene radioaktivnosti. Smjer kretanja podzemnih voda nije u svim dijelovima izdani ka izvoru Guber i okolnim izvorima, već se jedan dio izdani drenira ka podzemnim rudarskim prostorijama (slika 70).



Slika 70. Hidrogeološki profil dijela terena između izvora Guber i rudnika Sase (81)

Ovakvo dreniranje izdani dovodi do sniženja nivoa podzemne vode. Iako se rudarske prostorije nalaze van granica površinskog sliva, dreniranje ove izdani preko podzemnih prostorija rudnika Sase može dovesti do pomjeranja vododijelnice u planu i opadanja nivoa podzemne vode u izdani. Nastavak širenja rudarskih radova van koncesionog prostora može povećati količinu voda koja se iz izdani drenira u njih, a i polako smanjenje kapaciteta izvora Guber (slika 71) i okolnih izvora, pa i njegovog presušivanja (81).



Slika 71: Kaptažni objekat izvora mineralne vode Guber kod Srebrenice

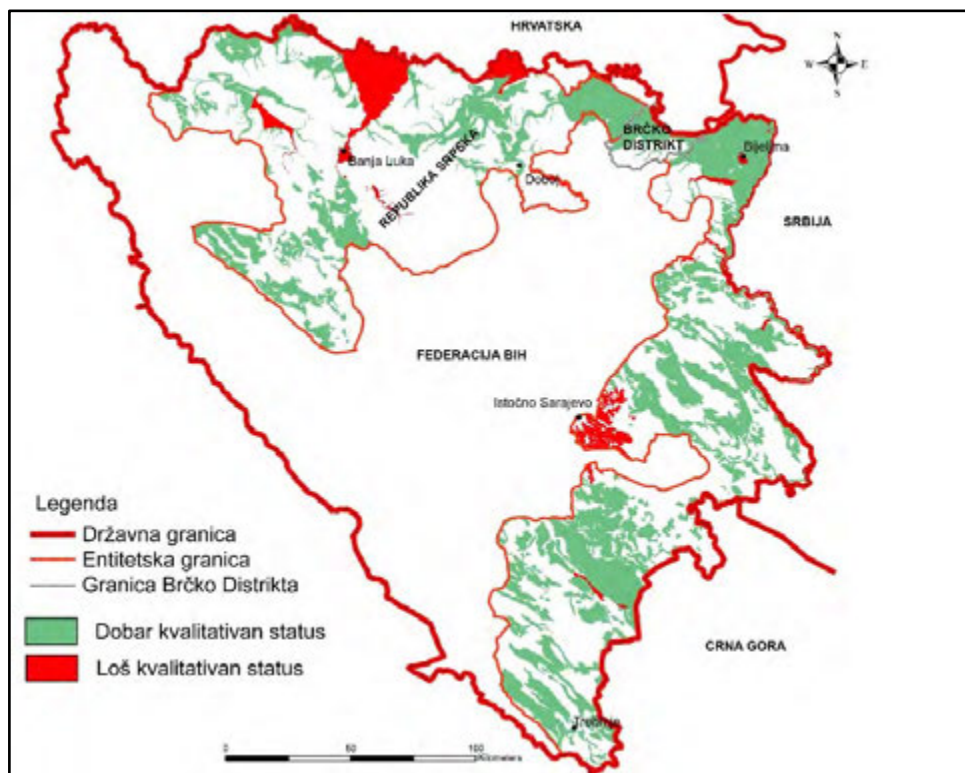
Kvalitativna analiza izdani na prostoru Republike Srpske (62) je pokazala da postoje više rizičnih izdani. Ovih izdani je mnogo više nego kvantitativno ugroženih. To su izdani koje se nalaze u blizini industrija, deponija, rudnika i rudarskih odlagališta, ali i naseljenih mjesta sa neuređenim ili neizgrađenim kanalizacionim sistemom. Kao glavni kriterijum određivanja kvalitativnog stanja podzemnih voda, bio je povećana vrijednost BPK₅ za industrijska postrojenja i granična vrijednost BPK₅ od 1 mg/L za procijenu uticaja urbanih otpadnih voda, emisija azota i fosfora na prostoru Republike Srpske, a sve saglasno EU Direktivi o tretmanu otpadnim vodama (91/271/EEC), EMIS propisima za industrijske ispuste, EU Direktivi 2006/118 o zaštiti podzemnih voda od zagađenja i pogoršanja kvaliteta, Uredbi o klasifikaciji i karakterizaciji vodotoka (Sl.glasnik RS broj 42/2001). Spisak potencijalno kvalitativno ugroženih izdani dat je u narednoj tabeli.

Tabela 27. Kvalitativno potencijalno ugrožene izdani (62) (22)

Izdan	Mjesto	Zagađivač	Kriterijum
rijeka Janja	Ugljevik	RiTE "Ugljevik"	otpadne vode - povećana BPK ₅
		Naselje Ugljevik	otpadne vode - povećana BPK ₅
	Janja	Naselje Janja (septičke jame)	otpadne vode - povećana BPK ₅
rijeka Mezgrajica	Ugljevik	Deponija komunalnog otpada Deponija šljake i jalovište TE "Ugljevik"	otpadne vode - povećana BPK ₅
Ročević-Tilić ada	Kozluk	Naselje Kozluk (septičke jame)	otpadne vode - povećana BPK ₅
rijeka Sapna	Zvornik	Industrijske deponije fabrike glinice „Birač“ Deponija komunalnog otpada Industrijske otpadne vode	otpadne vode - povećana BPK ₅
Mejdan	Zvornik	Naselje Zvornik	otpadne vode - povećana BPK ₅
rijeka Križevica	Srebrenica	Rudnik "Sase"	otpadne vode - povećana BPK ₅
Semberija	Bijeljina	Grad Bijeljina (septičke jame)	otpadne vode - povećana BPK ₅

Bijelovac	Bratunac	Deponija komunalnog otpada Naselje Bratunac	otpadne vode - povećana BPK ₅
Rakitnica	Rogatica	Industrijske otpadne vode Deponije komunalnog otpada	otpadne vode - povećana BPK ₅
Sokolac- Rogatica	Sokolac i Han Pijesak	Gradske otpadne vode Deponije komunalnog otpada	otpadne vode - povećana BPK ₅
rijeka Križevica	Srebrenica	Rudnik "Sase"	otpadne vode - povećana BPK ₅
Gatačko polje	Gacko	TE "Gacko"	otpadne vode - povećana BPK ₅
V. Usora	Teslić	ad "Destilacija", doo "Dević Tekstil"	otpadne vode - povećana BPK ₅
Vrbanja	Kotor Varoš	doo "Sportek"	otpadne vode - povećana BPK ₅
Brodsko Posavina	Brod	Rafinerija nafte	otpadne vode - povećana BPK ₅
Komlenac	Kozarska Dubica	doo "Mlijekoprodukt"	otpadne vode - povećana BPK ₅
rijeka Gomjenica	Prijedor	doo "Arcelor Mittal", ad "Saničani"	otpadne vode - povećana BPK ₅
Laktaši- Banja Luka	Laktaši, Banja Luka	doo "Marbo", SHP Celex, ad "Vitaminka", ad "Banjalučka pivara"	otpadne vode - povećana BPK ₅
rijeka Spreča	Osmaci, Petrovo	Industrija regije Tuzla	povećanje emisije azota i fosfora
izdani sarajevske regije	Pale, I. Sarajevo, Trnovo	Industrija, komunalne otpadne vode.	povećanje emisije azota i fosfora

Na narednoj slici je prikazan kvalitativni status podzemnih voda Republike Srpske (62).



Slika 72: Karta kvalitativnog statusa podzemnih voda na prostoru Republike Srpske (65)

31. TRANSPORT ZAGAĐUJUĆE MATERIJE U PODZEMNIM VODAMA

Zagađujuća materija, kada dospije u podzemlje, najčešće nastavlja kretanje tokom podzemne vode. Da bi se sprečilo dalje zagađenje izdani, potrebno je znati kuda će se ono dalje kretati da bi se moglo intervenisati.

Transport zagađujuće materije se dešava neprestano tokom kretanja vode kroz podzemlje i najčešće nastavlja kretanje tokom podzemne vode. Da bi se spriječilo dalje zagađenje izdani, potrebno je znati kuda će se ono dalje kretati da bi se moglo intervenisati.

Transport zagađujuće materije se dešava neprestano tokom kretanja vode kroz podzemlje. Tada dolazi do premiještanja čestice zagađujućih materija kroz pore geološke sredine. Tom prilikom dolazi do fizičkih, hemijskih, bakterioloških i drugih procesa između podzemne vode, zagađujuće materije i same geološke sredine. Zbog tih procesa dolazi do izmjene fizičko-hemijskog sastava podzemne vode, uslijed koga se neke komponente gube iz vode, neke komponente povećavaju svoju koncentraciju, a u nekim slučajevima imamo i nastajanje novih supstanci. Bitno je reći da se procesi ne mogu posmatrati kao samostalni i nije ih moguće lako razdvojiti, te se zbog toga najčešće definiše skup više procesa koji vrše uticaj na kretanje. Proces koji se dešavaju u podzemlju i mjenjaju sastav voda su (27) (84):

- advekcija;
- molekularna difuzija;
- hidrodinamička disperzija;
- sorpcija;
- biodegradacija;
- ostali procesi.

Advekcija je proces kretanja zagađene materije pod uticajem kretanja vode. Zavisi od osobina akvifera, odnosno od koeficijenta filtracije, efektivne poroznosti i hidrauličkog gradijenta, odnosno od brzine kretanja podzemne vode. Zato se promjena koncentracije zagađujuće materije uslijed advekcije daje slijedećom formulom:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = V_x \frac{\partial C}{\partial x} \quad (31.1)$$

gdje je:

C – koncentracija zagađujuće materije (μg/L)

t – vrijeme (dan)

V_x – srednja linearna brzina (m/dan)

x – dužina toka (m)

Da bi se mogla primjenjivati formula, potrebno je da se definiše srednja linearna brzina, koja se dobija prema slijedećoj formuli:

$$Vx = \frac{K_x}{n_e} \frac{dH}{dL} \quad (31.2)$$

gdje je:

K_x – koeficijent filtracije (m/dan)

n_e – efektivna poroznost

dH/dL – hidraulički gradijent

Molekularna difuzija predstavlja proces prenosa materije pod uticajem različitih koncentracija, u našem slučaju zagađenih voda i voda koje se nalaze u podzemlju. Zavisi od hemijskih karakteristika zagađujuće materije i od karakteristika izdani (najviše od ukupne poroznosti izdani i tzv. “krivudavosti“ izdani).

Proces molekularne difuzije se može posmatrati samostalno i može se odvijati i ako nema kretanja tečnosti. Čestice vode, koje ispunjavaju pore sredine, se sastoje iz velikog broja molekula. Pod dejstvom molekularne difuzije, svaka čestica mijenja molekul sa susjednom česticom, osim ako se ne radi o čistoj vodi, gdje nema razlike u koncentracijama.

Sam proces difuzije opisuje se prvim i drugim Fikovim zakonom. Fikov zakon se odnosi na miješanje dvije tečnosti u slobodnim fazama.

Prvi Fikov zakon se odnosi na fluks zagađujuće materije i glasi:

$$F = -D \frac{dC}{dx} \quad (31.3)$$

Dok drugi opisuje promjenu koncentracije zagađujuće materije:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \quad (31.4)$$

gdje je:

F – fluks zagađujuće materije

D – koeficijent difuzije

Koeficijent difuzije zavisi od karakteristika zagađujuće materije. Njegova vrijednost je veća u slobodnoj vodi nego u poroznoj sredini i tada se naziva koeficijentom efektivne difuzije (D^*). Ta vrijednost se dobija kada

se koeficijent difuzije (D) pomnoži sa empirijskim koeficijentom (w – ima vrijednosti od 0,01 do 0,5).

Hidrodinamička disperzija predstavlja proces miješanja vode i zagađujuće materije prilikom kretanja oba fluida. Zависи od karakteristika akvifera i hemijskih karakteristika zagađujuće supstance, a krajnji ishod ovog procesa je smanjenje koncentracije zagađujuće materije. Tokom disperzije imamo širenje zagađujuće materije duž pravca kojim se kreće podzemna voda, upravo na pravac kretanja i po vertikali na pravac kretanja podzemne vode. Uzdužna disperzija uvijek ima najveću vrijednost i ona se izražava preko koeficijenta hidrodinamičke disperzije.

$$D_x = \alpha_x V_x + D^* \quad (31.5)$$

gdje je:

D_x – koeficijent hidrodinamičke disperzije po x osi (uzdužne)

α_x – uzdužni disperziviteta (longitudinalni disperziviteta)

V_x – brzina po x osi (longitudinalna brzina)

D^* - koeficijent efektivne difuzije

Stvarne vrijednosti disperzije je na terenu jako teško odrediti (veliki broj osmatračkih objekata, izvođenje dugotrajnih opita trasiranja sa inertnim traserima). Zato se pri određivanju sve češće koriste empirijske formule i za vrijednost poprečnog disperziviteta se uzima 10-ti dio vrijednosti uzdužne disperzije, a za vertikalnu 100-ti dio vrijednosti uzdužne disperzije.

Sorpcija predstavlja proces reakcije između čestica izdani i zagađujuće materije (sorpcija teških metala na česticama gline, organske supstance se sorbiraju na organski ugljenik i dr.). Ona zavisi od karakteristika poroznog materijala izdani (sadržaj gline, sadržaj organskog ugljenika, poroznost izdani, površina kontakta) i karakteristika zagađujuće materije. Prilikom procesa sorpcije, dolazi do smanjenja brzine kretanja i koncentracije zagađujuće materije u vode. Tokom procesa, zagađujuća materija koja je sorbirana od strane sredine, ne mijenja hemijski sastav i njena masa u izdani je ista. Tek kada dođe do promjene uslova u fluidu (voda i zagađujuća materija), dolazi do toga da se sorbirana čestica vraća u fluid sa čvrste sredine i nastavlja kretanje sa njim kroz podzemlje.

Dvije bitne komponente preko kojih se izražavaju efekti sorpcije su koeficijent retardacije i koeficijent distribucije.

Koeficijent retardacije je bezdimenzionalna veličina kojom se određuje koliko je puta brzina zagađujuće materije (V_c) u vodi manja od brzine kretanja vode (V_w).

$$R = \frac{V_w}{V_c} \quad (31.6)$$

Koeficijent distribucije pokazuje odnos koncentracije zagađujuće materije sorbirane na čvrstoj fazi izdani (C_s) i koncentracije zagađujuće materije rastvorene u tečnoj fazi (C_l). Iskazuje se kao mL/g.

$$K_d = \frac{C_s}{C_l} \quad (31.7)$$

Veza kojom se definiše odnos ova dva koeficijenta data je slijedećom jednačinom:

$$R = 1 + \frac{\rho_b + K_d}{n} \quad (9.8)$$

gdje je:

R – koeficijent retardacije

K_d – koeficijent distribucije (mL/g)

ρ_b – ukupna gustina zapremine izdani (čvrste čestice, pore i fluid - kg/m³)

n – ukupna poroznost

Sorpcija je povratni proces koji uključuje adsorpciju i desorpciju.

Biodegradacija je proces oksido-redukcionih reakcija koje se dešavaju uz aktivno prisustvo mikroorganizama (prije svega bakterija), prilikom čega dolazi do degradacije zagađujuće materije. Zavisi od geohemijskih i hidrohemijskih karakteristika sredine, karakteristika zagađujuće materije, prisustva mikroorganizama. Može biti aerobna (uz prisustvo kiseonika) i anaerobna (bez prisustva kiseonika). Biodegradacija ima za cilj da potpuno ukloni zagađujuću materiju, mada se često može desiti nastajanje novih, pre svega, organskih materija kao rezultat degradacije početnih organskih materija, gdje nove materije mogu biti toksičnije od starih. Ovaj primjer je rijedak u praksi, ali nije nemoguć.

Što se tiče *ostalih procesa* među najvažnijama se mogu izdvojiti:

- jonska izmjena;
- složene hemijske i biohemijske reakcije (oksidoredukционе reakcije, taloženje, rastvaranje);
- rastvaranje stijena;

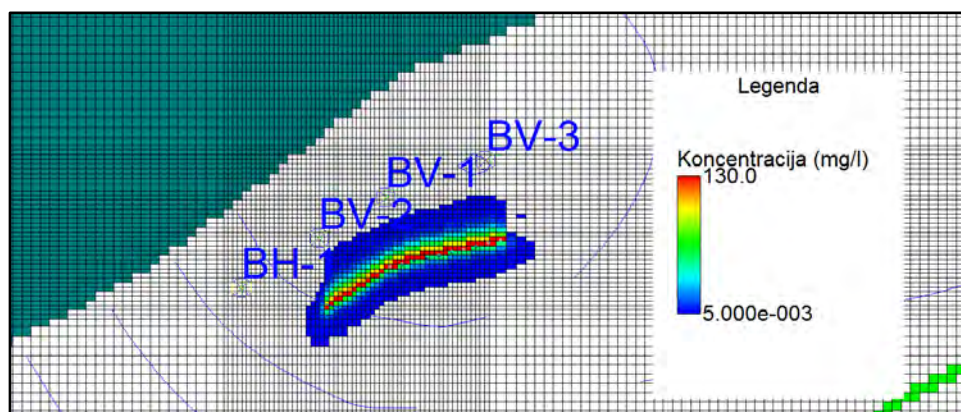
- zadržavanje čestica u “slijepim“ porama;
- razblaživanje primarnog sastava.

Praćenje zagađujuće materije u praksi se radi preko mreže monitoringa. Dobro postavljena mreža monitoringa (pijezometara) omogućava nam da se prati proces transporta zagađujuće materije u vremenu i prostoru. Mjerenjem parametara, koji su preko maksimalne dozvoljene koncentracije u zagađujućoj supstanci nam omogućava da odredimo dokle je ista stigla i da pretpostavimo kuda će se kretati dalje. Na taj način se može na vrijeme reagovati i spriječiti njeno dalje širenje.

Sa razvojem tehnologije i nauke omogućeno je određivanje transporta zagađujuće materije uz pomoć kompjuterskih programa. Već smo ranije govorili o programima za matematičko modeliranje i njihovoj mogućoj primjeni za određivanje smjera i brzine kretanja podzemne vode (praćenje čestica). Modeli kretanja zagađujuće materije se razlikuju od modela kretanja podzemne vode. Glavna razlika je u tome što zagađujuća materija na svom putu kroz podzemlje prolazi kroz niz procesa koje smo pomenuli (difuzija, sorpcija, degradacija), koji utiču na nju. Ipak, da bi se uradio model kretanja zagađujuće materije, potrebno je uraditi kvalitetan i dobar model kretanja podzemne vode, koji svojom kalibracijom treba da potvrdi da je model kretanja podzemne vode vjerno prikazao hidrogeološku sredinu.

Najčešće korišćen program za simulaciju transporta zagađenja u prethodnom periodu na našim i širim prostorima je MT3DMS. Prva verzija programa pod imenom MT3D je napravljena 1990. godine. Prva verzija, ali i sve nakon nje su bile dostupne javnosti, te je ovaj program jako brzo stekao popularnost i danas je neizostavni dio programa Modflow, kojim se vrše simulacije kretanja podzemne vode.

Program MT3DMS simulira transport zagađujuće materije kada je ona potpno rastvorena u vodi (slika 73). Pored toga, vrši simulaciju procesa advekcije, disperzije i difuzije, hemijskih reakcija adsorpcije i procesa raspadanja zagađujuće materije (29) (30).



Slika 73. Prikaz primjera simulacije transporta zagađujuće materije (99)

Izrada modela transporta zagađujuće materije pokazuje kuda će se zagađujuća materija kretati, koje je vrijeme potrebno da stigne do određene tačke u podzemlju i kolika će joj koncentracija biti u svakoj tački na svom putu kroz podzemlje.

Više o programima za koji se koriste za simulaciju transporta zagađujuće materije će biti dato u poglavlju 33.

32. METODE REMEDIJACIJE PODZEMNE VODE

Remedijacija podzemne vode predstavlja proces koji ima za cilj uklanjanje zagađenja iz izdani i podzemne vode i vraćanja podzemne vode i izdani u prvobitno stanje (prije njenog zagađenja). Postoji veliki broj metoda za remedijaciju. Sve se one mogu podijeliti u dvije velike grupe:

- metode remedijacije koje se izvode na mjestu gdje je došlo do zagađenja izdani (*in situ*);
- metode remedijacije kod kojih se vrši crpljenje podzemne vode, iskop i prenošenje zemljišta gdje se remedijacija se vrši van samog mjesta zagađenja (*ex situ*).

U praksi se češće primjenjuju *in situ* metode, jer su jeftinije i jednostavnije se izvode.

Tehnike izvođenja remedijacije, bilo da se izvode na mjestu zagađenja izdani ili van njega obuhvataju fizičke, hemijske i biološke procese. Većina tehnika remedijacije koje se koriste predstavljaju kombinaciju nekoliko različitih procesa.

Efekti izvođenja remedijacije zavise od slijedećih faktora:

- količina i vrsta zagađujuće materije u podzemlju;
- brzine kretanja podzemne vode;
- strukture i poroznosti stijena u kojima je formirana izdan.

U narednom dijelu teksta će biti prikazane najčešće korišćene metode remedijacije. Prvo će se dati pregled metoda *in situ*, a zatim i metoda *ex situ*.

IN SITU metode

Metoda pumpanja i tretiranja

Metoda pumpanja i tretiranja je najčešće korištena metoda za remedijaciju podzemnih voda. Podzemna voda se ispumpava na površinu terena (preko ekstrakcionih bunara) i zatim tretirana vraća u podzemlje (preko injekcionih bunara). U ovoj metodi se ne vrši prečišćavanje u podzemlju gdje je i zagađenje, ali se ona ipak svrstava u *in situ* metode. Koristi se na globalnom nivou još od 80-tih godina 20. vijeka. Metoda se konstantno razvija i unapređuje.

Prvenstvena namjena metode je bila da se izvrši prečišćavanje zagađenih voda. Danas se metoda, osim za prečišćavanje zagađenih voda, koristi i da se zaustavi i kontroliše kretanje zagađenih podzemnih voda kroz podzemlje i na taj način spriječi širenje zagađenja. To omogućava da se nakon izvršene remedijacije zagađenog bunara ili izvora, kada se postigne

željeni kvalitet, voda može opet upotrebljavati, iako se zagađenje nije u potpunosti uklonilo iz podzemlja.

Sprečavanje širenja zagađenja se vrši na nekoliko načina. Najčešće se vrši izrada bunara i drenova u centru samog žarišta (izvora zagađenja) ili njegovo ograđivanje sistemom barijernih zidova (o kojima će biti kasnije nešto više rečeno), i nakon toga se crpi voda sa zagađujućom materijom i tretira se na površini. Najčešće se koristi hidraulička izolacija. To podrazumjeva postavljanje bunara za crpljenje ispred nadolazećeg fronta zagađene vode. Crpljenjem zagađene podzemne vode sprečava se njen dalji prodor ka ostatku izdani i na taj način se vrši zaštita.

Da bi se odredilo mjesto postavljanja bunara, potrebno je odrediti gdje se nalazi neutralna linija toka podzemne vode (linija koja razdvaja kretanje vode ka bunaru uslijed uticaja bunara i kretanja vode od bunara na dijelu terena na kome nema uticaja crpljenja iz bunara). Pored toga, potrebno je odrediti pravac i koncentracije napredovanja zagađujuće materije. Danas se to radi pomoću matematičkih modela, kojima je moguće simulirati sve navedeno. Nakon izvršenih simulacija, dobijaju se najpovoljnije lokacije na kojima se trebaju postaviti bunari, kojima će se voda pumpati iz podzemlja. Takođe je moguće izvršiti i simulaciju kojom će se odrediti tačan kapacitet i vrijeme rada bunara da bi se postiglo najefikasnije i najbrže uklanjanje zagađenja.

Kada se zagađena voda dopremi do površine, u zavisnosti od zagađujuće materije, primjenjuju se različiti procesi remedijacije. Za te potrebe, izdvojene su dvije glavne grupe metoda remedijacije:

- fizičko-hemijska metoda (koriste se u kombinaciji ili posebno; najčešće se koristi vazdušno odstranjivanje, jonska izmjena, filtracija, UV oksidacija, hemijske oksidacije, aktivni ugalj);
- biološke metode (primjenjuju se pri tretmanu podzemnih voda niže koncentracije zagađenja, dovoljnom da se biološki procesi ne spriječe; najviše se koriste bioreaktori, sitan aktivni ugalj u biofizičkom sistemu, biološko spajanje).

Kao potvrda da je postignut zadovoljavajući nivo remedijacije, sprovodi se monitoring podzemne vode. Broj objekata za monitoring zavisi od same složenosti terena. Pri monitoringu se vrši mjerenje hidrauličkih gradijenata, koji su nastali prilikom izvođenja metode i nakon završetka procesa (promjene nivoa podzemne vode, promjene hidrauličkih gradijenata) i prati se kvalitet podzemne vode u cilju praćenja promjena koncentracija zagađujućih materija.

Primjena metode pumpanja i tretiranja ima i svoje nedostatke, koji se javljaju skoro uvijek, pogotovo kod remedijacije naftnih ugljovodonika. Javljaju se dva problema:

- sporo smanjenje koncentracije zagađujuće materije (*taling*);
- povećanje (povratak) koncentracije zagađujuće materije nakon prestanka crpljenja (*rebound*).

Dugo opadanje koncentracije pri remedijaciji predstavlja problem. On se manifestuje kroz dva vida. Prvo je produženje vremena tretmana (da nema *talinga* zagađujuća materija bi bila iscrpljena u onoj količini u kojoj je dospjela u podzemlje). Drugo je zaostala koncentracija koja je iznad postavljenog cilja tretmana (brzo početno opadanje koncentracije, da bi postalo sve sporije, dok se konačno ne stabilizuje na vrijednost koja je veća od postavljenog cilja).

Povratak koncentracije nakon prekida crpljenja je veliki problem i često produžava vrijeme tretiranja. Povećanje koncentracije se dešava dok se ne stabilizuje do neke vrijednosti, ali je ta vrijednost po pravilu manja od početne koncentracije, tj. koncentracije prije početka tretmana metodom pumpanja i tretiranja.

Remedijacija podzemnih voda metodom pumpanja i tretiranja je završena kada se postigne odgovarajući nivo kvaliteta (unaprijed zacrtan nivo prečišćavanja podzemne vode).

Fizički zidovi (barijere)

Fizičke barijere se postavljaju radi sprečavanja širenja zagađenja kroz podzemlje, za obezbjeđenje prilikom tretiranja zagađene podzemne vode i razdvajanje zagađene od nezagađene podzemne vode.

Za potrebe postavljanja barijera, potrebno je prvo iskopati rovove u koje će se kasnije postaviti barijere. Kopanje se najčešće vrši rovokopačima. Za prevenciju zarušavanja rova koristi se bentonitska isplaka (kao za izradu bušotina). Bentonitska isplaka najčešće prodire u podzemlje i stvara vodonepropusnu zonu i na taj način omogućava da se rov ne zarušava i da smanji prodor vode u njega. Rovovi su najčešće do 1 m širine, a dubina im varira i mogu biti do 40 m. Kada se iskopa rov željenih dimenzija, u njega se postavlja barijera koja je predviđena. Barijere se izrađuju od različitih materijala. Najčešće se koriste različite smješe zemlje i bentonita, cementa, gline, kao i barijere nepropusnih ploča.

Barijere od smješe zemlje i bentonita se zasipaju kada se izradi rov željenih dimenzija. Pri formiranju ovakve barijere može doći do potencijalnih problema jer materije (organske i neorganske), koje se nalaze u zemlji mogu loše uticati na bentonit. Iz tog razloga se dodaju aditivi (specijalni pepeo) koji sprečavaju smanjenje kompaktnosti zida.

Dodavanjem drugih supstanci se mijenjaju karakteristike zida (zrna plastike smanjuju uticaj zagađujuće materije na zid). Ove barijere se brzo postavljaju, koriste se dugo i mogu dostići velike dubine postavljanja. Nedostaci su:

- degradacija koja nastupa zbog promjena vremena, toplo-hladno i vlažno-suvo, a koje mogu izazvati pukotine;
- zemlja koja se iskopa mora biti negdje odložena;
- limitirano vertikalno usmjerenje.

Zidovi od cementno-bentonitskog zasipa se koriste kada nema dovoljno prostora za pravljenje zasipa ili kada su potrebni jaki zidovi barijere. Prave se kada se bentonit pomiješa sa vodom (stvara se mulj) i prije postavljanja u rov mu se dodaje cement. Ovakvi tipovi barijera se brzo postavljaju, jači su od prethodnog tipa, a mulj koji se postavlja se vrlo malo istiskuje sa strane i ne zahtijeva zasipanje (samim tim je niža cijena). Glavni nedostaci su visoka permeabilnost u nekim mješavinama i pucanje uslijed temperaturnih promjena i promjena vlažnosti.

Barijere od zemljano-cementnog-bentonitskog mulja predstavljaju kombinaciju prethodna dva tipa. Manje su hidrauličke provodljivosti i imaju sve pozitivne karakteristike prethodna dva tipa.

Zidovi dobijeni pobijanjem vertikalnih traka (šipova) su najčešće od čelika, alumijuma ili drugog nepropusnog materijala. Postavljaju se vertikalnim pobijanjem u zemlju. Najslabija tačka ovakvih barijera su mjesta spojeva, gdje može doći do procurivanja zagađene vode. Zato se ta mjesta posebno ojačavaju korištenjem cementa ili maltera. Veoma su otporni na hemikalije, ne zahtijevaju izradu rova, izdržljivi su, mogu se postavljati u nepravilnom obliku (ne moraju biti linijski), postoji mogućnost njihovog premiještanja kada se završi tretman zagađene vode. Kao nedostaci, pored procurivanja na mjestima spojeva, su i veća cijena postavljanja, nepraktični su za čvrste stijenske mase, manja dubina postavljanja, mogućnost pojave korodiranja materijala uslijed prisustva kiseonika.

Danas se sve više u praksi koriste inovacione barijere.

Jedan od takvih primjera su barijere koje se formiraju zamrzavanjem vode u porama. Zamrzavanjem se dobija nepropusan zid. Kada je završen proces remedijacije, barijera se odmrzava i uklanja. Formira se uz pomoć instalacije povezanih cjevi u podzemlje i ubacivanjem sredstva za hlađenje koji cirkulacijom omogućava mržnjenje vode. Ekološki su veoma sigurne, nema potrebe za iskopavanjem zemlje, može se formirati željeni oblik, nema mogućnosti degradiranja leda i propuštanja zagađene vode, lako se odstranjuje, male su hidrauličke provodljivosti. Ipak, same barijere nisu

dugog vijeka i potrebna je velika količina energije i vremena da se utroši za zamrzavanje vode u porama.

Barijere od cementne mase (zavjese) se izrađuju injektiranjem cementa, cementa i vazduha ili cementa, vazduha i vode u podzemlje. Nakon bušenja i vađenja bušačkog alata, dolazi do injektiranja cementa u bušotinu i formiranja kolumne. Injektiranje se vrši velikim pritiscima i brzinama u porozne dijelove stijenske mase. Nizom kolumni formira se panel, koji sprečava kretanje zagađene podzemne vode. Ovakvi tipovi barijera se mogu raditi na terenima gdje je ograničeno postavljanje drugih barijera (u urbanim sredinama) i pod bilo kojim uglom. Kao poseban oblik ovakvih barijera javljaju se barijere cementno-polimernog sastava. Jeftinije su za izradu, zato što se koristi jeftiniji cement koji se prekriva polimernim zastorom. Zbog polimera koji se prevlači preko cementne mase su hemijski otporne (u zavisnosti od zagađenja bira se polimerna smjesa) i imaju dužu trajnost. Nedostatak je taj što su polimeri često skupi i mora se paziti koji se stavlja zbog odnosa sa zagađujućom materijom.

Metoda bioremedijacije (biodegradacije)

Bioremedijacija je proces kojim se vrši remedijacija podzemne vode i izdani pomoću mikroorganizama (najčešće bakterije, mada se koriste i gljive i protozoe), koje se već nalaze u podzemlju na mjestima, gdje se javlja zagađenje. Bioremedijacija se odvija u aerobnim, anaerobnim ili u aerobnim i anaerobnim uslovima. Za funkcionisanje u aerobnim uslovima potreban je kiseonik i tom prilikom se zagađujuće materije razlažu na ugljen-dioksid i vodu. Pri anaerobnim uslovima, uslijed odsustva kiseonika, razlaganjem se dobija metan, ugljen-dioksid i vodonik (u tragovima).

Bioremedijacija se dešava kada određeni organizmi metabolizuju zagađujuće materije. Parametri koji utiču na sposobnost metabolizacije zagađenja su pH vrijednost, Eh, temperatura, vlažnost, količina hranljivih materija (azot, fosfor), količina energije (dobija se transformacijom elektrona sa elektron donora na elektron akceptora) i ugljenika sa elektron donora i količina akceptora, odnosno jedinjenja koja mogu primiti elektrone (kiseonik, gvožđe, nitrati) i elektron donora. Elektron donori mogu biti i same zagađene supstance. Elektron akceptor u aerobnom slučaju je uglavnom kiseonik, dok su u anaerobnom slučaju to uglavnom gvožđe, sulfati, nitrati.

Bioremedijacioni procesi mogu biti *in situ* i *ex situ*. Najčešće se koristi *in situ* bioremedijacija.

In situ bioremedijacija se koristi kada je potrebno ubrzati prirodne procese razlaganja zagađujuće materije. Za potrebe bioremedijacije koristi se bunar za crpljenje podzemne vode u koju se dodaje kiseonik i hranljive

materije. Putem injekcionog bunara voda se vraća nazad u podzemlje. Mikroorganizmi uz pomoć dopremljenih hranljivih materija započinju razlaganje zagađujuće materije.

Bioremedijacija se najčešće koristi za degradaciju ugljovodonika nafte, pesticida, rastvarača i sredstava za zaštitu drveća. Veoma je mala efikasnost pri degradaciji teških metala, neorganskih soli i organskim supstancama sa visokim sadržajem hlora.

Nakon završene bioremedijacije, količina mikroorganizama u podzemlju je smanjena zbog manjka hranljivih materija. Preostali mikroorganizmi (živi ili mrtvi) se nalaze u malim količinama i njihovo prisustvo nije rizik za životnu sredinu.

Da bi se ubrzala bioremedijacija, često se poseže za dodavanjem dodatnih vrsta mikroorganizama (biopovećanje), dodavanje hranljivih materija (biostimulacija) i vazduha (bioraspršivanje) o čemu će u nastavku biti riječi.

Metoda postavljanja permeabilnih barijera

Remedijacija metodom postavljanja permeabilnih barijera se izvodi postavljanjem vodopropusnih zidova ispod površine terena. Zidovi se postavljaju upravno na tok podzemne vode, a samim tim i zagađujuće materije. Izvode se kopanjem rovova i punjenjem materijalom barijere (gvožđe, treset, krečnjak, zeoliti, mikroorganizmi i dr.). Cilj postavljanja barijere je potpuno ili delimično prečišćavanje podzemne vode, koja nakon prolaska kroz barijeru nastavlja kretanja bez zagađenja.

Voda prilikom prolaska kroz barijeru trpi hemijske i biološke procese. Osnovni hemijski procesi koji se dešavaju u kontaktu vode i barijere su sorpcija, taloženje i degradacija. U zavisnosti od zagađujuće materije koja se treba degradirati vrši se izbor materijala za barijere. Tako se, na primjer, za hrom i uran koristi gvožđe, za kiseline koristi krečnjak, za benzen i toluen se koriste jedinjenja koja otpuštaju kiseonik i dr.

Biopovećanje i biostimulacija

Biopovećanje predstavlja proces dodavanja mikroorganizama u zagađenu sredinu ako ih ima u malim količinama ili ako je potrebno ubaciti drugu vrstu organizama koji razlažu zagađenje. Prednost ove metode je da nakon ubacivanja organizama u podzemlje, proces razgradnje počinje odmah.

Biostimulacija je proces dodavanja hranljivih materija (substrata) u podzemnu vodu sa ciljem stimulacije mikroorganizama koji se nalaze u njoj, a potrebno ih je dodatno aktivirati ili ubrzati. Razlog za njihovu slabu aktivnost može biti ta da je u podzemlju prisutna neka druga zagađujuća materija koja im je pogodnija za rastvaranje ili je zagađenje toksično za njih,

te ga ne mogu degradirati. Kod biostimulacije je problem što se može javiti duže ili kraće vrijeme u kome nema razgradnje. Pored toga, ubačeni substrati mogu biti nepogodni za određenu populaciju i aktivirati drugu, te se na taj način umanjuje učinak.

Metoda koja će se koristiti zavisi od uslova koji vladaju u podzemlju. Da bi se odredilo koja je metoda povoljnija, sprovode se testovi brzine degradacije i kompatibilnosti mikroorganizama i sredine. Najčešće se u praksi primjenjuje kombinacija ova dva procesa.

Ekstrakcija gasova iz podzemlja

Metoda ekstrakcije gasova iz zemljišta je veoma slična metodi pumpanja i tretiranja, s tim što u ovom slučaju vazduh predstavlja fluid koji se kreće kroz vadoznu zonu. Ovom metodom se uklanjaju lako isparljiva i poluisparljiva organska jedinjenja. Metoda daje najbolje rezultate u sredinama koje su homogene, propustljive za vazduh i slabo zasićene vodom.

Vazduh svojom cirkulacijom kroz podzemlje transportuje sa sobom i gasnu fazu zagađujuće materije. Za potrebe ove metode, izvode se ekstrakcioni (vakuum) bunari za izvlačenje vazduha za zagađujućom materijom. Postoji mogućnost i izvođenja injekcionih bunara za dodavanje dodatnih količina vazduha, sa ciljem povećanja toka vazdušne mase.

Vazdušno raspršivanje

Vazdušno raspršivanje se koristi za potrebe remedijacije izdanske zone u kojoj se nalaze rastvorene organske materije, ali i za isparljive čestice zaostale u porama stijena. Za potrebe ove metode vazduh se injektira ispod nivoa podzemne vode (nivoa izdani), većim brzinama. Kreće se u vidu mjehurića, horizontalno i vertikalno. Mjehurići vazduha prenose zagađenje do sistema za ekstrakciju koji dalje uklanja gasove iz podzemlja.

Vazduh se, pored kretanja mjehurićima, kreće i prioritenim i većim kanalima. Uslijed toga može doći do širenja vazdušnog fronta i smanjenja efikasnosti ili potpunog zaobilazanja zagađenja. Iz tog razloga, metoda ima najefikasniju primjenu u homogenim sredinama.

Bioraspršivanje

Bioraspršivanje se vrši na isti način kao i vazdušno raspršivanje. Glavna razlika je u tome što se u ovom procesu vazduh sporije ubacuje u podzemlje i mikroorganizmi ga mogu koristiti za razgradnju zagađujuće materije. Pored vazduha, mogu se ubacivati i drugi gasovi koji su potrebni mikroorganizmima.

U slučaju da je ostalo zagađenje iznad nivoa izdani (vadozna zona), postoji mogućnost ubacivanja hranljive materije u nadizdansku zonu i

pospješivanje mikroorganizama. To se postiže periodičnim nalivanjem vode u bunar koja sadrži hranljive materije i veću količinu kiseonika.

Bioventilacija

Bioventilacija je proces aerisanja vadozne zone radi stimulacije bioloških aktivnosti i ubrzanja bioremedijacije. Ovom metodom se ne vrši remedijacija podzemne vode, odnosno njen uticaj na degradaciju zagađenja podzemne vode je mali.

Vazduh se ubacuje direktno u vadoznu zonu. Koristi se mali nivo protoka vazduha da bi se obezbijedila potrebna količina kiseonika (3-60 L/min), minimalnog odnosa sa zagađenjem u odnosu 13:1 (73). Ovom metodom se uspješno otklanjaju ugljovodonici nafte, pojedini pesticidi, nehlorovani rastvarači i druga organska jedinjenja.

Da bi se primijenila metoda bioventilacije, potrebno je obezbijediti dovoljnu količinu vazduha da struji kroz podzemlje i potrebno je da postoji dovoljna količina mikroorganizama koja vrši degradaciju.

Metoda daje lošije rezultate u sredinama niske vlažnosti i slabe propustljivosti za vazduh.

Pri izvođenju bioventilacije, potrebno je obezbijediti sigurnost i vrijeme. Na nekim mjestima nema smisla vršiti bioventilaciju, pogotovu kod lakoisparljivih materija, koje se mogu lako premiještati kroz podzemlje. Što se tiče vremena, za uspjeh pri korišćenju ove metode potrebno je proći od nekoliko mjeseci do nekoliko godina.

Ispiranje zemljišta

Ovom metodom se vrši otklanjanje zagađujućih materija iz sredine. Ispiranje se vrši čistom vodom ili vodenim rastvorom (različite supstance sa različitom koncentracijom, najčešće rastvori polimera, alkalnih soli, površinski aktivnih supstanci). Injektiranje se vrši kroz zagađenu zonu. Odstranjivanje se vrši uslijed kretanja vode, odnosno fizičkog kretanja, rastvaranja i degradacije. Koristi se za uklanjanje neorganskih materija, radioaktivnih materija i metala.

Nakon prolaska kroz zagađenu zonu, voda se crpi ekstrakcionim bunarima. Često se ova metoda koristi za povećanje efikasnosti metode pumpanja i tretiranja.

Metoda se sastoji od slijedećih koraka: utiskivanje fluida za ispiranje, interakcija fluida i zagađenja, ekstrakcija (crpljenje) fluida iz zemljišta i tretman rastvora zagađujuće materije i vodenog rastvora.

Zbog korištenja tretmana nakog crpljenja vode, fluid se može ponovo koristiti za ispiranje zemljišta. Nakon tretmana ostaje mulj i čvrste supstance iz rastvora, koje se moraju tretirati i pažljivo odlagati.

Primjena ove metode je ograničena u dijelovima terena gdje je slaba propustljivost zemljišta. Mora se voditi računa da ne dođe do pomijeranja zagađujuće materije u neželjeni dio podzemlja. Prilikom odabira supstanci za rastvor, mora se voditi računa da ne smanje pokretljivost zagađujuće materije i da ne dođe do adsorbovanja istih na čestice tla i time se smanji poroznost zemljišta.

Hemijska oksidacija

Hemijska oksidacija je proces kojim se ubacivanjem oksidanata u podzemlje vrši transformacija zagađujuće materije. Oksidacijom se zagađujuće materije prevode u manje opasne materije, koje su manje pokretljive ili čak inertne. Najčešći oksidanti su ozon, vodonik-peroksid, permagant, perosulfati.

Oksidanti se ubacuju u sredinu putem osmatračkih bunara. Ovom metodom remedijacije se postižu željeni efekti za vrlo kratko vrijeme u odnosu na druge metode. Moguće je vršiti degradaciju više zagađujućih materija, lako se ubacuje u podzemlje, uslijed smanjenja koncentracije moguće je povećanje difuzije i lakše rastvaranje zaostale faze.

Prilikom primjene ove metode, potrebno je pažljivo rukovati i skladištiti oksidante, koji u pretjeranim količinama mogu biti nov izvor zagađenja. Uslijed primjene ove metode može doći i do smanjenja poroznosti stijena zbog taloženja oksida (gvožđe, mangan i drugi metali). Isto tako, može doći do uništenja mikroorganizama koji vrše biodegradaciju sredine.

Prilikom odabira oksidanta, mora se voditi računa da će on doprinijeti oksidaciji zagađujuće materije, da se može dugo održati u podzemlju, da prilikom oksidacije zagađenja ne dođe do dodatnog pogoršanja kvaliteta vode i da je lak za rukovanje.

Prirodno smanjenje zagađenja u hidrogeološkoj sredini

Procesi koji dovode do prirodnog smanjenja zagađenja, bez antropogenog uticaja, su procesi biodegradacije, razblaživanja, adsorpcije, isparavanja, hemijske i biološke stabilizacije i transformacije. U nekim slučajevima će se smanjivanje koncentracije i dostizanje postavljenog cilja desiti, dok je u drugim slučajevima potrebno tome doprinijeti. Iz tog razloga je potrebno proučiti područje i parametre. Ovaj proces se sprovodi na mjestima gdje nije moguće vršiti uklanjanje zagađujuće materije, na mjestima gdje je već nekim procesima remedijacije smanjena početna koncentracija ili u slučaju da nema kretanja zagađujuće materije.

Sami procesi koji doprinose tome su opisani u daljem tekstu.

Biodegradacija je jedna od najznačajnijih komponenti prirodnog prečišćavanja i degradacije zagađujuće materije. O ovome je bilo više u prethodnom dijelu teksta.

Adsorpcija predstavlja pojavu zadržavanja zagađujuće materije na česticama zemlje i stijena kroz koje se podzemna voda sa zagađenjem kreće. Tom prilikom dolazi do adsorpcije i zadržavanja zagađujuće materije i time se usporava i potpuno zaustavlja njeno kretanje.

Disperzija i razblaživanje se dešava prilikom kretanja zagađujuće materije kroz podzemlje i uslijed toga dolazi do smanjenja koncentracije.

Hemijske reakcije pomažu pri razgrađivanju zagađujuće materije bez prisustva mikroorganizama. Treba reći da se ugljovodonici na ovaj način ne mogu odstraniti iz vode.

Isparavanje se dešava kada se lako isparljiva jedinjenja izdvajaju iz vodenih rastvora i na taj način dolazi do smanjenja koncentracije istih u podzemnoj vodi.

Da bi se odredio stepen remedijacije, potrebno je izvršiti detaljna istraživanja zagađenog terena. Potrebno je poznavati tačnu lokaciju i koncentraciju zagađujuće materije i način kretanja kroz sredinu. Takođe je potrebno znati geohemijske karakteristike procesa, posebno gdje dolazi do procesa biodegradacije. Zato je potrebno donijeti plan monitoringa zagađenog područja za duži vremenski period. Potrebno je dobiti informacije o tome da li prirodna redukcija može ostvariti zacrtane ciljeve remedijacije, kao i postaviti sisteme detekcije za blagovremeno upozorenje na objektima koji se koriste za vodosnadbijevanje. Kao poslednja mjera planiranja monitoringa, potrebno je napraviti plan remedijacije nekom drugom metodom u slučaju da prirodna redukcija ne da očekivane rezultate.

EX SITU metode

Metode EX SITU remedijacije se izvode kada dolazi do ispumpavanja vode iz podzemlja i iskopavanja i premiještanja geološke sredine za potrebe remedijacije. Tom prilikom se koriste metode kao što je bioremedijacija, filtracija podzemne vode, jonska izmjena, taloženje, oksidacija ultraljubičastim zracima, oksido-redukcija, spaljivanje, piroliza, iskopavanje i odlaganje van lokacije i dr.

33. SOFTVERI ZA MODELIRANJE TOKA PODZEMNE VODE I SOFTVERI ZA MODELIRANJE TRANSPORTA ZAGAĐUJUĆE MATERIJE U PODZEMNIM VODAMA

Hidrogeološka istraživanja vezana za praćenje zagađujućih materija se u današnje vrijeme ne mogu zamisliti bez izrade matematičkih modela kretanja podzemnih voda i zagađujuće materije. Cilj izvođenja matematičkog modeliranja, a danas i izrade 3D matematičkog modela kao savremenije varijante, je da se dođe do rješenja kompleksnih problema koji se javljaju pri izučavanju kretanja podzemne vode. Matematičkim modelima se, pored kretanja podzemne vode, mogu simulirati i režim ponašanja i izdašnost izdani, kretanje zagađujuće materije, transport toplote i dr.

Danas se u hidrogeološkoj praksi vrši simulacija dinamičkih procesa (kretanje vode) i njihovo prevođenje u numeričke modele. Numerički model kretanja podzemne vode je, u stvari, rješenje sistema n jednačina sa istim brojem nepoznatih, dok n odgovara broju ćelija. Da bi se došlo do rješenja, koristi se kompjuterski program.

Najrasprostanjeniji i najpoznatiji program je Modflow (razvijen od strane McDonalda i Harbaugh-a, stručnjaka američke geološke službe-USGS, 1988). Pored njega postoje brojni programi koji rade na istoj programskoj podlozi (Visual Modflow, Groundwater Vistas, GMS).

Program Modflow za rješavanje diferencijalnih jednačina koristi metod konačnih razlika, u kome se beskrajno male razlike jedne veličine zamjenjuju konačnim (mjerljivim) razlikama. Jednačina kojom je opisano kretanje podzemne vode se može napisati u slijedećem obliku (51) (52):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (33.1)$$

gdje je:

K_x , K_y i K_z – koeficijenti filtracije u pravcu x, y i z ose za koje se pretpostavlja da su paralelni glavnim osama filtracije ($L T^{-1}$)

S_s – koeficijent specifične izdašnosti (L^{-1})

h – pijezometarski nivo podzemne vode (L)

W – zapreminski proticaj po jedinici zapremine izdani za jednolično vrijeme, predstavlja izvor ili ponor vode (T^{-1})

Rješavanje jednačine 33.1 u programu Modflow metodom konačnih razlika domen simulacije zamjenjuje se diskretnim (sastoji se iz mreže polja

ili blokova), dok se kontinualna forma parcijalne diferencijalne jednačine mjenja sa konačnim brojem algebarskih jednačina.

Ako se uzme u pretpostavku da je gustina vode konstantna, dobija se jednačina bilansa jedne ćelije modela:

$$\sum Q_i = SS^{\Delta h} \Delta H \quad (33.2)$$

gdje je:

Q_i – doticaj vode u ćeliju (masa u jedinici vremena)

SS – specifična izdašnost (zapremina vode koju izdan prima po jedinici zapremine uslijed jedinične promjene hidrauličkog pritiska)

Δh – promjena pritiska u vremenu Δt

ΔH – zapremina ćelije (L^3)

Jednačina pokazuje koja je količina vode akumulirana u akvifer tokom vremenskog intervala, uslijed jedinične promjene hidrauličkog pritiska.

Jednačina koja opisuje doticaj iz ćelije u ćeliju modela data je slijedećom jednačinom:

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \times \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (33.3)$$

gdje je:

$h_{i,j,k}$ – hidraulički pritisak u ćeliji i,j,k

$h_{i,j-1,k}$ – hidraulički pritisak u ćeliji $i,j-1,k$

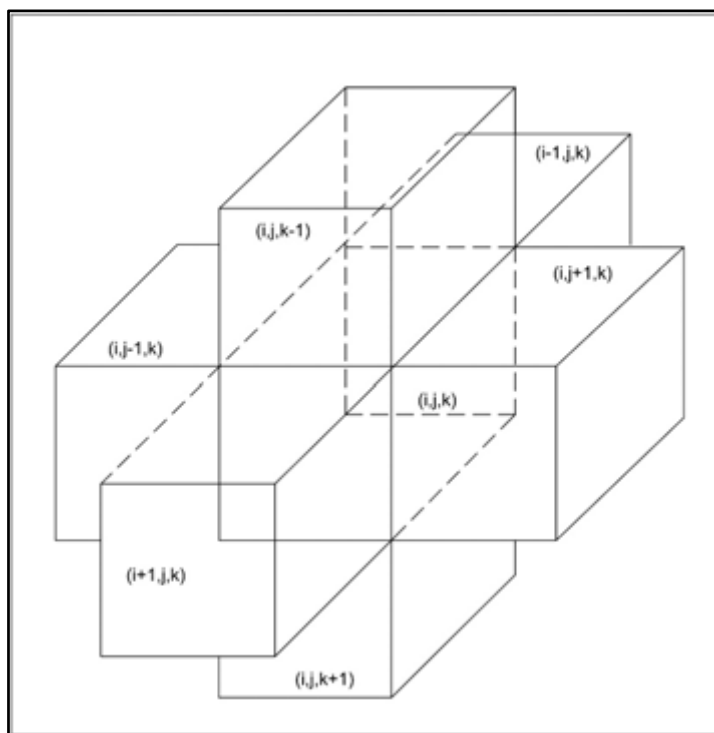
$q_{i,j-1/2,k}$ – zapreminski proticaj kroz stranu između ćelije i,j,k i $i,j-1,k$

$KR_{i,j-1/2,k}$ – koeficijent filtracije duž reda, između ćelija i,j,k i $i,j-1,k$

$\Delta c_i \Delta v_k$ – površina stijene između ćelija

$\Delta r_{j-1/2}$ – razdaljina između ćelija i,j,k i $i,j-1,k$

Na narednoj slici je dat grafički prikaz elemenata jednačine 33.3.



Slika 74. Šema ćelija za postavku diferencijalne jednačine u programu Modflow, gdje su i-redovi, j-kolone, k-slojevi (51)

Krajnje rješenje modela je predstavljeno hidrauličkim pritiskom, sračunatim za svaku ćeliju modela posebno. Na terenu je to, u stvari, nivo vode koji se mjeri u pijeziometrima i osmatračkim bunarima.

Izrada hidrodinamičkog modela

Za potrebe izrade dobrog hidrodinamičkog modela tečenja podzemne vode i transporta zagađujuće materije, potrebno je napraviti dobar konceptualni model. Loše postavljen i urađen konceptualni model kao rezultat će imati netačan i loš matematički model bez obzira koji softver se koristi za dobijanje krajnjih rezultata.

Konceptualni model predstavlja, u stvari šematizovanu hidrogeološku sredinu. Cilj izrade konceptualnog modela je uprošćavanje sredine i objedinjavanje svih dostupnih podataka posmatranog terena. Prilikom izrade konceptualnog modela, potrebno je uprostiti sredinu što je više moguće, a da ona ne izgubi kompleksnost, koja je neophodna za dalje simuliranje promenljivih u sistemu.

Za izradu konceptualnog modela potrebno je definisati slijedeće: definisati oblast istraživanja, tip i prostorni raspored sedimenata u podzemlju, hidrogeološki parametri prisutnih stijena, količinu infiltracija od padavina, doticaj/oticaaj iz površinskih tokova i susjednih akvifera, oticaaj preko izvora i objekata za zahvatanje vode, evapotranspiraciju, raspored nivoa podzemne vode (slobodne izdani i pod pritiskom), pravac kretanja podzemne vode.

Nakon dobijanja konceptualnog modela, slijedeći korak predstavlja njegovo prevođenje u numerički model. Prevođenje konceptualnog u numerički model se vrši putem slijedećih grupa elemenata:

- zadavanjem graničnih uslova i promjena granica tokom vremena;
- diskretizacija vremena i prostora;
- vrijednosti hidrogeoloških parametra se daju preko parametara modela.

Granični uslovi modela su bitni, jer se na njima vrši doticaj i oticaaj vode iz modela. U zavisnosti od položaja granica modela, granice mogu biti spoljašne (okružuju model) i unutrašnje (nalaze se u samom modelu, primjer rijeka, bunar).

Ako se uzme u obzir prezentacija sredine koja se modelira, granični uslovi modela mogu biti stvarni (fizičke granice, npr. rijeka, vodonepropusna granica) i vještački (hidrauličke granice, npr. strujne linije). Za model je bolje kada postoje stvarne granice, ali ako se desi da su stvarne granice daleko od sredine koja se simulira i ne postoji šansa za njihovo praktično uključenje u model, uključice se vještačke granice. Jako je bitno da kada dođe do njihovog uključenja u model, da ne utiču na strujnu sliku koja je formirana na tom dijelu terena.

Što se tiče samih graničnih uslova koji se nalaze u Modflowu, dijele se na slijedeće grupe (53):

1. Granični uslov sa definisanom vrijednošću potencijala-pijezometarskog nivoa (*Constant head boundary*);
2. Granični uslov sa zadatim proticajem koji zavisi od nivoa/pritiska (*Head-dependent flow boundaru*) - rijeka, drenaža, generalni pritisak na granici;
3. Granični uslovi sa zadatom vrijednošću proticaja (*Flow boundary*) - bunari, prihranjivanje, evapotranspiracija.

Diskretizacija prostora je vezana za geometriju izdani, dok je diskretizacija vremena vezana za određeni vremenski korak unutar intervala za koji se vrši simulacija.

Što se tiče diskretizacije prostora, ona se ostvaruje na dva načina i to: preko horizontalne (dobijaju se polja raspoređena u redovima i kolonama) i vertikalne diskretizacije (slojevi izdani).

Cilj izvođenja diskretizacije je dobijanje ćelija (dobijene u planu, horizontalnom diskretizacijom) koje se smatraju homogenim. To znači da za svako polje važi jedna jednačina strujanja podzemne vode. Polja su najčešće pravougaonog oblika (u planu) i preporučuje se da sve ćelije dobijene horizontalnom diskretizacijom budu iste veličine, zbog lakših proračuna. U praksi je to malo nemoguće, te se ćelije smanjuju i time se povećava preciznost dobijenih podataka u zoni od interesa (zona izvorišta). Iako se ćelije razlikuju po veličini, mora se ispoštovati pravilo da dimenzije susjednih ćelija, u sva tri pravca, ne smiju da se razlikuju za više od 50 %. Što se tiče vertikalne diskretizacije i izdvajanja slojeva, oni ne smiju da se prekidaju, odnosno moraju biti kontinualni duž cijelog modela.

Gustina mreže i veličina polja zavisi od problema koji se analizira, lokacije i veličine terena, kvaliteta podloga i stepena detaljnosti zadatka.

Što se tiče vrijednosti parametara modela, parametri modela kao što su koeficijenti filtracije, raspored hidrauličkog pritiska, vertikalno procurivanje, efektivna poroznost sistema se zadaju za svaku ćeliju zasebno.

Ranije su se koristile vrijednosti transmisivnosti sredine i sa njima se ulazilo u proračune. Sa razvojem programa, danas nije potrebno unositi te podatke, već je dovoljno unijeti vrijednosti koeficijenta filtracije i izvršiti vertikalnu diskretizaciju modela (kote podine i povlate slojeva). Na osnovu unijetih podataka, model sam računa vrijednost transmisivnosti sredine.

Što se tiče vrijednosti koeficijenta filtracije, uslijed postojanja anizotropije sistema, moguća je pojava razlike u vrijednosti horizontalnog i vertikalnog koeficijenta filtracije.

Vertikalno procurivanje u izdani se danas, takođe direktno računa pomoću softvera. Na osnovu debljine izdani i vrijednosti vertikalnog koeficijenta filtracije, dobija se vrijednost procurivanja.

Nakon dobijanja hidrodinamičkog modela, sledeći korak je kalibracija modela. Kalibrisanjem modela se podešavaju parametri i granični uslovi modela. Cilj kalibracije je dobijanje što približnijih rezultata, koji su dobijeni na osnovu mjerenja na terenu (nivo podzemne vode u bunarima), raspored nivoa na terenu na osnovu interpolacije terenskih mjerenja, vodni bilans modela (sračunat ili mjeren). Kalibracija modela se vrši na dva načina: ručno (*trial and error*, oslanja se na iskustvo autora, vrše se promjene parametara dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati) i automatski (vrši se pomoću potprograma u softveru u kome se pravi model, najpoznatiji je *PEST* sistem automatske kalibracije (54)). Preporučuje se da

se koriste oba metoda zajedno, jer se na taj način otklanjaju svi nedostaci koji se javljaju prilikom korišćenja samo jednog metoda.

Paralelno sa kalibracijom vrši se analiza osjetljivosti modela. To se radi kada se vrijednost jednog parametra mijenja, dok su ostali konstantni. Ponavljanje postupka se vrši za svaki parametar. Po dobijanju rezultata (dokumentuju se graphicima i kvantitativnim pokazateljima), parametri se rangiraju po osjetljivosti, odnosno prema tome koliki uticaj ima promjena pojedinačnog parametra na sistem.

Tek nakon završetka izrade hidrodinamičkog modela toka podzemne vode, može se pristupiti izradi modela transporta zagađujuće materije.

Izrada modela transporta zagađujuće materije

Izrada modela transporta zagađujuće materije se naziva još i model *sudbine i kretanja*. Ovaj naziv je dat da bi se napravila razlika između kretanja podzemne vode i kretanja zagađujuće materije. Razlog zbog kog postoji razlika je taj što zagađujuća materija na svom putu trpi različite fizičke, hemijske i biološke procese (sorpcija, disperzija, difuzija, degradacija). Modeli transporta zagađujuće materije trebaju dati odgovor na to gdje će se kretati zagađenje, kolika će njegova koncentracija biti u svakoj tački terena, koliki je vremenski period potreban da stigne od žarišta do izvorišta.

Da bi se napravio dobar model kretanja zagađujuće materije, potrebno je poznavati slijedeće parametre: koeficijente distribucije zagađujuće materije, rastvorljivost zagađujuće materije, populaciju bakterija u podzemlju i njenu mogućnost da razgradi zagađenje, ukupnu i efektivnu poroznost sredine, hidrohemijske i geohemijske karakteristike sredine.

Kada se govori o transportu zagađujuće materije kroz podzemlje, potrebno je razlikovati transport zagađujuće materije kroz nezasićenu i zasićenu zonu. Samim tim, koriste se i drugi softveri, u zavisnosti od sredine koja se simulira.

Potreba za modeliranjem transporta zagađujuće materije kroz nadizdansku zonu se sve više javlja. Izrada modela u ovoj zoni zavisi najviše od efektivne infiltracije (što je veća količina infiltrirane vode brže će se kretati zagađenje; ako je sredina propustljivija, lakše će doći do premiještanja zagađenja), rastvorljivosti zagađujuće materije (što je materije rastvorljivija, veća je šansa da prođe kroz nadizdansku zonu i dospije u podzemnu vodu) i debljine nadizdanske zone (veća debljina nadizdanske zone može da uspori i zaustavi zagađujuću materiju, jer ima više vremena da se izdešavaju procesi sorpcije, degradacije i dr.).

Izrada modela u nadizdanskoj zoni se vrši najčešće preko dva softvera. To su VS2DI (razvijen od stručnjaka USGS-a; (55)) i HVDRUS, koji može biti 1D i 2D (56) (93). Programi omogućuju izradu modela koji daju veliki broj opcija opisivanja početnih i graničnih uslova. Dobijeni rezultati prikazuju vrijeme i koncentraciju prilikom kretanja zagađujuće materije kroz vadoznu zonu, kao zasićenu zonu (nivoa podzemne vode). Tada dolazi do određivanja fluksa zagađujuće materije. Dobijeni rezultati se unose kao početni ili granični uslovi pri izradi modela transporta zagađujuće materije kroz zasićenu sredinu.

Modeliranje transporta zagađujuće materije kroz zasićenu izdan se vrši na dva načina:

- izradom analitičkih modela;
- izradom numeričkih modela.

Analitički modeli su prilično jednostavni i brzo se izrađuju. Za njihovu izradu koriste se najčešće programi BIOSCREEN (58) i BIOSCHLOR. BIOSCREEN se uglavnom koristi pri simulaciji transporta rastvorljivih benzenskih jedinjenja, dok se BIOCHLOR koristi za simulaciju transporta hlorovanih rastvarača. Njihova upotreba se ogleda u tome da kao rezultat daju procjenu koncentracije rastvorene supstance na nekom rastojanju od žarišta.

Oba programa omogućuju izradu jednodimenzionalnih modela. Njima nije moguće simulirati različite granične uslove (prihranjivanje, dreniranje). Pretpostavka pri korištenju ovih modela je ta da je sredina homogena i izotropna i da se vertikalna komponenta tečenja zanemaruje. Ipak, oba modela mogu dati podatke kretanja bilo koje zagađujuće materije, ako se postavi da je u sistemu prisutna jednodimenzionalna advekcija, linearna sorpcija i degradacija i trodimenzionalna disperzija.

Rezultati dobijeni izradom ovakve vrste modela daju se na graficima. Vrijednosti prikazane na graficima često se porede sa vrijednostima osmatranim na terenu.

Numerički modeli transporta zagađujuće materije su najčešće u upotrebi u hidrogeološkoj praksi. Njima je moguće vršiti simulaciju kretanja zagađenja u sve tri dimenzije, mijenjati granične i početne uslove modela, utvrditi mjesto i vrijeme kada je zagađenje dospelo u podzemlje, mjesto i koncentraciju zagađenja u svakoj tački u određenom vremenu, kao i mjesto gdje će zagađenje napustiti izdan.

Najpoznatiji i najprimjenjiviji program za modeliranje transporta zagađujuće materije u zasićenoj zoni je MT3DMS. U upotrebi je i program RT3D kojim se simuliraju procesi degradacije benzenskih i hlorovanih jedinjenja, a mogu se i simulirati hemijske reakcije u podzemlju. RT3D se

bazira na rješenjima dobijenim u Modflowu i MT3DMS-u, te su ova tri programa često data zajedno u jednom paketu.

Prva varijantna programa MT3DMS razvijena je 1990. godine od strane kompanije S.S. Papadopoulos & Associates Inc. Osnovna jednačina kretanja zagađujuće materije u tri dimenzije (27) glasi:

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n \quad (33.4)$$

gdje je:

C^k – koncentracija zagađujuće materije

θ – poroznost

t – vrijeme

x_i – razdaljina duž odgovarajuće koordinatne ose

D_{ij} – tenzor hidrodinamičkog koeficijenta filtracije

v_i – linearna brzina podzemne vode, data preko Darsijeve brzine

$v_j = q_j / \theta$

q_i – zapreminski proticaj po jedinici zapremine izdani, pozitivan za izvore, negativan za ponore

C_s^k – koncentracija na izvoru ili ponoru zagađujuće materije

$\sum R_n$ – dat u nastavku

Zamjenom slijedećih članova:

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \theta \frac{\partial C^k}{\partial t} + C^k \frac{\partial \theta}{\partial t} = \theta \frac{\partial C^k}{\partial t} + q_s C^k \quad (33.5)$$

i

$$\sum R_n = -\rho_b \frac{\partial \bar{C}^k}{\partial t} - \lambda_1 \theta C^k - \lambda_2 \rho_b \bar{C}^k \quad (33.6)$$

dobija se konačni izraz kojim se opisuje bilans mase zagađujuće materije u jedinici zapremine izdani, kao i promjena mase u sorbiranoj i rastvorenoj fazi.

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_b \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C) + q_s C_s - q'_s C_s - \lambda_1 \theta C - \lambda_2 \rho_b \bar{C} \quad (33.7)$$

Samo modeliranje transporta zagađujuće materije počinje zadavanjem izvora zagađenja. Na izvoru zagađenja je potrebno zadati početnu koncentraciju zagađujuće materije. Postoje različite opcije dodavanja zagađujuće materije u model, kao što je slučaj kod modeliranja podzemnih voda, odnosno mogu se simulirati preko ćelija sa zadatom koncentracijom, preko nalivajućih bunara (ako je konstantan priliv mase) i dr. Ako je tokom vremena zagađenje prestalo da postoji na terenu (nije stalno), u model se može zadati samo početna koncentracija bez naknadnih dodavanja mase zagađenja.

Čim zagađujuća materija dopiše u model, počinje njen transport (distribucija) koji zavisi od vodnog bilansa i akumulativnosti ćelije. Taj proces dovodi do promjene koncentracije u ćeliji.

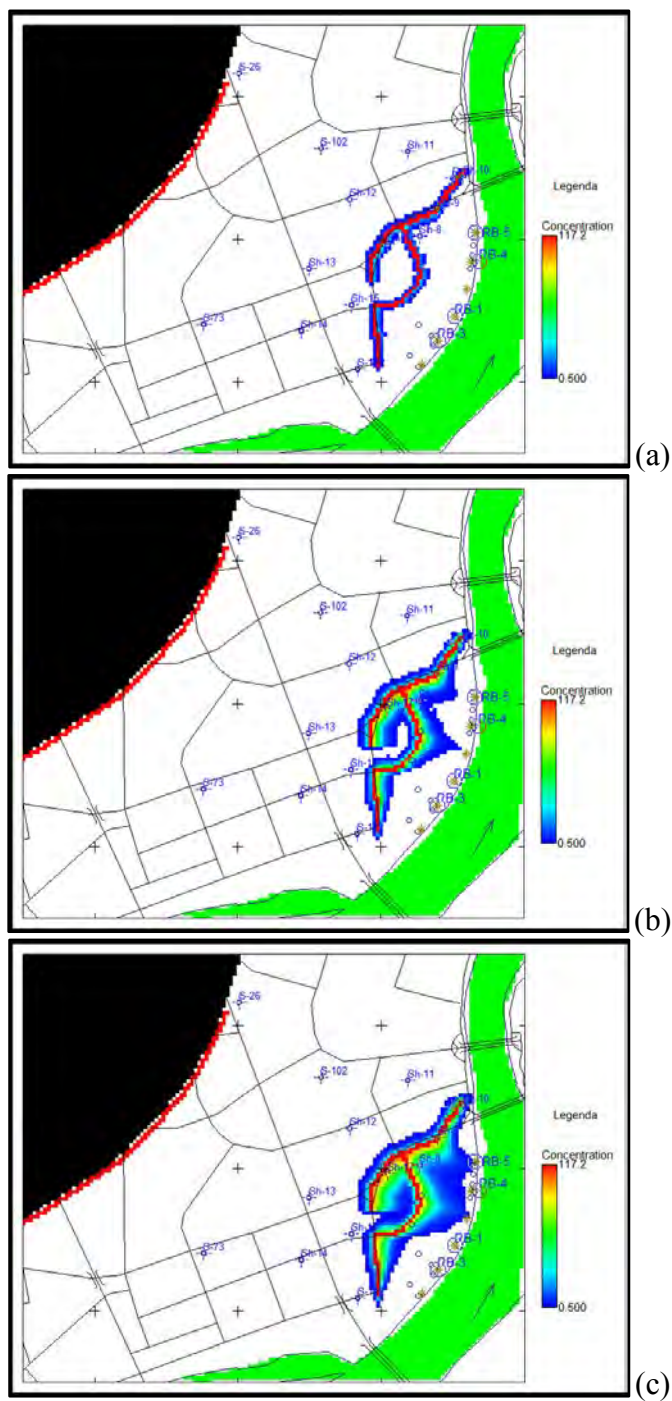
Kao i kod hidrodinamičkog modela toka podzemne vode, i modele transporta zagađujuće materije je potrebno kalibrisati. Ova kalibracija je znatno teža, jer je potrebno uključiti dosta parametara. Parametar koji je najteže simulirati i koji ujedno ima najveći uticaj na rezultate modela je nepoznata masa i istorijat izvoda zagađenja koje je dospelo u podzemlje.

Jedan od problema koji se javlja je taj, da se zagađujuća materija kreće privilegovanim zonama kretanja, odnosno da heterogenost sredine ima veliki uticaj na distribuciju zagađenja. To znači da, ako je bunar na terenu registrovao pojavu zagađenja određene koncentracije, ne znači da je ta vrijednost reprezentativna za cijelu izdan. Iz tog razloga kalibraciju modela treba usmjeriti na oblik tijela zagađenja u podzemlju i zona sličnih koncentracija zagađujuće materije.

Nakon dobre kalibracije modela, radi se prognozni model, koji je i krajnji cilj izrade modela transporta zagađujuće materije. Njim se prognoziraju buduće lokacije zagađujuće materije i koncentracije na tim mjestima. Često se u praksi dešava da su koncentracije veoma niske (reda veličine nekoliko $\mu\text{g/L}$). U tim slučajevima i male promjene parametara daju različite rezultate. Zato se prilikom izrade ovog modela radi analiza osjetljivosti parametara modela (kao i kod hidrodinamičkog modela toka podzemne vode), a rezultati se prikazuju grafički i računski.

Na narednim slikama je dat primjer rezultata modela transporta zagađujuće materije (99).

Proračun vremena rasprostranjenja zagađujuće materije su obrađivali B. Filipović i S. Vujasinović 1982. g. (108), a danas je taj proces značajno olakšan zahvaljujući savremenim procesima

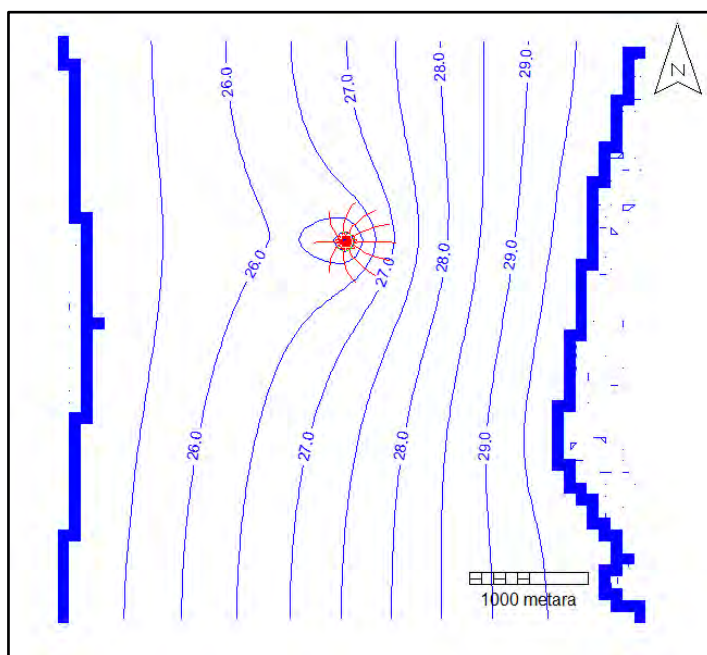


Slika 75. Transport zagađujuće materije (vinil-hlorid) ka izvorištu Štrand u Novom Sadu (99)

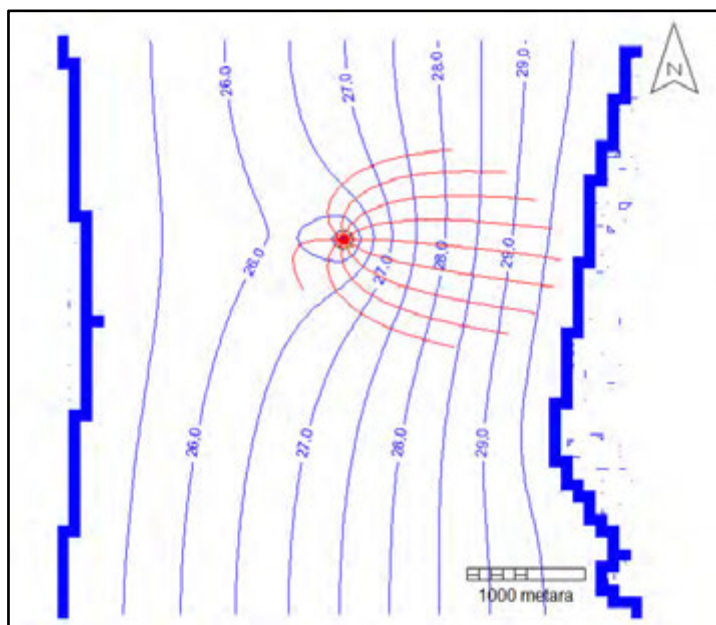
Na slikama 75 je prikazan transport zagađujuće materije od mjesta žarišta (crvena linija) ka izvorištu. Na slikama je prikazan period od 3 mjeseca (a), 2 godine (b) i 5 godina (c). Jasno se vidi kako zagađenje vremenom napreduje, kao i koja je koncentracija dokle stigla u planu.

Za simuliranje advektivnog kretanja zagađujuće materije (zagađujuća materija se kreće kao podzemna voda, nema uticaja drugih procesa na zagađujuću materiju), koriste se modeli praćenja čestice (*particle tracking*).

Modeli praćenja čestice se koriste za određivanje zona sanitarne zaštite na osnovu vremena, procjenu vremena za koje će podzemna voda stići do njih (slika 76, slika 77) i za određivanje zone zahvatanja podzemne vode nekog izvorišta (slika 78). Program koji se najviše koristi za izradu ovih modela je MODPATH (20).



Slika 76. Putanja koje čestice vode pređu do bunara za 10 dana



Slika 77. Putanja koje čestice vode pređu do bunara za 100 dana



Slika 78. Određivanje zone zahvata vode

Modpath je prost-procesing program koji je pridodat i radi na grafičkoj podlozi Modflowa. Kao ulazni podaci za potrebe praćenja čestice, u program Modpath se unose vrijednosti pijezometarskog nivoa za svako polje modela i zapreminski proticaj u jedinici vremena. Jednačina koja opisuje kretanje podzemne vode (ukoliko je gustina podzemne vode uniformna) glasi:

$$\frac{dx}{dt} = V_x; \quad \frac{dy}{dt} = V_y; \quad \frac{dz}{dt} = V_z \quad (33.8)$$

gdje je:

x, y i z – koordinate čestice vode

t – vrijeme

V_x , V_y , V_z – prosječne brzine kretanja podzemne vode

Kada se podijele zapreminski proticaji sa površinom između polja i efektivnom poroznošću, dobijaju se prosječne brzine kretanja podzemne vode između dva polja:

$$V_{x1} = \frac{Q_{x1}}{(n_e \Delta y \Delta z)} V_{x2} = \frac{Q_{x2}}{(n_e \Delta y \Delta z)} V_{y1} = \frac{Q_{y1}}{(n_e \Delta x \Delta z)} \quad (33.9)$$

$$V_{y2} = \frac{Q_{y2}}{(n_e \Delta x \Delta z)} V_{z1} = \frac{Q_{z1}}{(n_e \Delta x \Delta y)} V_{z2} = \frac{z}{(n_e \Delta x \Delta y)} \quad (33.10)$$

gdje je:

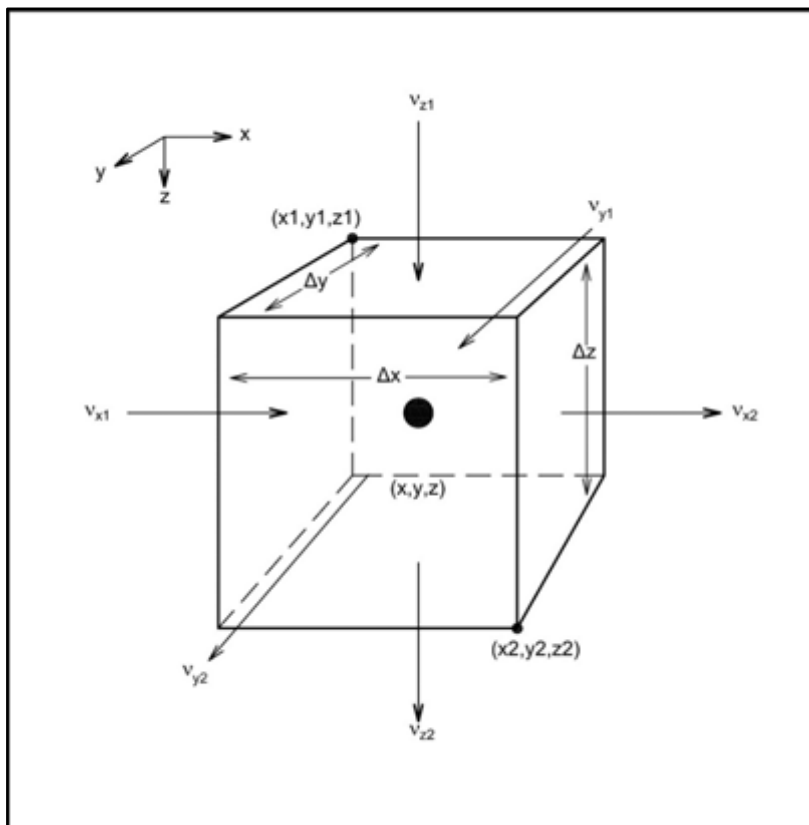
Q – zapreminski proticaj

Δx , Δy , Δz – dimenzije polja

n_e – efektivna poroznost

V – prosječna brzina na granici dva polja

Na narednoj slici dat je grafički prikaz i raspored oznaka opisanih u formuli 33.9. i 33.10.



Slika 79. Grafički prikaz i raspored elemenata iz formule 33.9 i 33.10 (29)

Osnov za korišćenje praćenja čestice je postojanje kontinualnog polja brzine kretanja podzemne vode i zato je potrebno znati brzinu podzemne vode u svakoj tački polja. Za tu potrebu se koristi linearna interpolacija, koja je primjenjena u programu Modpath. Ona omogućava realnu simulaciju brzine kretanja podzemne vode. Korišćenjem linearne interpolacije za dobijanje polja brzine kretanja čestice podzemne vode primjenom semi-analičke metode. Tom prilikom je simulacija kretanja čestice bazirana na numerički dobijenim vrijednostima pijezometarskog nivoa i putanje čestice koja je analitički izvedena.

Tačnost dobijenog rješenja pri proračunu putanje čestice podzemne vode najviše zavisi od dva faktora: tačnosti hidrodinamičkog modela (odnosno, koliko realno opisuje sredinu koja se simulira) i prostorne diskretizacije modela. Oba faktora su dobijena u programu Modflow (izrada hidrodinamičkog modela) i program Modpath ih preuzima iz njega.

Literatura:

1. Novaković, Vaso. *Mineralogija i petrografija za tehnologe*. Beograd : Mrlješ, 2003. ISBN 86-82271-91-5.
2. NASA/JPL/University of Texas Center for Space research. *A gravity model created with data from NASA's GRACE mission*. Houston : <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.cfm?release=2007-147>, 2007.
3. Dragišić, V i Živanović, V. *Opšta hidrogeologija*. Beograd : Rudarsko-geološki fakultet, 2014.
4. Milovanović, Dragan i Boev, Blažo. *Zemlja tektonika ploča i magmatizam*. Beograd : Nauka, 2001.
5. Jolović, B, Glavaš, S i Toholj, N. *Geotermalni atlas Republike Srpske*. Zvornik : Ministrastvo industrije, energetike i rudarstva, Republički zavod za geološka istraživanja, 2012.
6. Marković, D A, i dr. *Fizičko-hemijski osnovi zaštite životne sredine – knjiga II – Izvori zagađenja, posledice i zaštita*. Beograd : Univerzitet u Beogradu, 1996.
7. Sofilić, T. *Onečišćenje i zaštita tla*. Zagreb : Sveučilište u Zagrebu, 2014.
8. Resulović, H, Bukalo, E i Kraišnik, V. *Načini korištenja zemljišta – Suprotnosti i mogućnosti harmonizacije u funkciji održivog razvoja*.
9. Trumbulović-Bujić, LJ i Aćimović-Pavlović, Z. *Uticaj aerosagađivača na kvalitet vazduha u industrijskoj sredini*. s.l. : Yournal of Metallurgy 14, 2008.
10. Špoljar, Andrija. *Procesi degradacije tla*. Križevci : Visoko gospodarsko učilište Križevci, 2016.
11. Musemić, R. *Erozija tla*. Sarajevo : Mašinski fakultet Sarajevo, 2013.
12. Gabrić, O. *Eksperimentalno istraživanje procesa na slivu: padavine, oticaj i erozija tla – doktorska disertacija*. Subotica : an., 2014.
13. Vodička, P. *Zaštita tla od erozije*. Zagreb : an., 2016.
14. *Direktiva o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima – Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks*. s.l. : Evropski parlament i savet evropske, 2007. str. 27-34.
15. Stefanović, M, Gavrilović, Z i Bajčetić, R. *Lokalna zajednica i problematika bujičnih poplava*. Beograd : an., 2014.
16. *Procjena ugroženosti Bosne i Hercegovine od prirodnih ili drugih nesreća*. Sarajevo : Bosna i Hercegovina – Vijeće Ministara, 2011.
17. Dervišević, R i Ferhatbegović, Z. *Živjeti na klizištu*. Tuzla : TPO fondacija, 2014.
18. Dragović, S, Božić, M i Stević, D. *Vodno soni režim zemljišta u navodnjavanju sa aspekta problema zaslanjivanja u surčinskom donjem polju*. Beograd : Vodoprivreda, 2011. str. 376-390 .
19. Škorić, A, Filipovski, G i Čirić, M. *Klasifikacija zemljišta Jugoslavije*. Sarajevo : Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, 1985.

20. *Soni režim u nekim hidromorfnim zemljištima u uslovima navodnjavanja*. Hadžić, V, i dr. Subotica : Vodoprivreda, 1989, Jugoslovenski simpozijum „Navodnjavanje kao činilac proizvodnje hrane, str. 119–120.
21. Ayers, R S i Westcot, D W. *Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and drainage paper 29, Rev. I*. Rome : an., 1985.
22. Nešić, Lj, i dr. *Kvalitet vode za navodnjavanje i salinitet zemljišta u intenzivnoj povrtarskoj proizvodnji*. Beograd : Poljoprivredni fakultet, 2003.
23. Belić, S, Savić, R i Belić, A. *Upotrebljivost vode za navodnjavanje*. Beograd : Vodoprivreda, 2003. str. 27-49.
24. Savić, I i Terezija, V. *Ekologija i zaštita životne sredine*. Beograd : Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 2002.
25. Ratajac, R, i dr. *Ekologija i zaštita životne sredine*. Beograd : Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 2004.
26. Stadnickii, G V i Rodionov, A I. *Ekologija*. Moskva : V. Sh., 1988.
27. Withgott, J i Brennan, Scott. *Environment, the science behind stories*. San Francisko : Pearson, 2006.
28. Komatina, S i Ristić, T. *Uvod u ekologiju*. Banja Luka : Evropski univerzitet Brčko distrikt, 2014.
29. Lakić, Ž, Predić, T i Pavlović, S. 2016. 2016.
30. *Nacrt strategije upravljanja otpadom 2016.-2025*. Banja Luka : Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske , 2016.
31. Brzaković, R i Marjanović, Z. *Reciklaža kao element zaštite životne sredine*. Kragujevac : Asocijacija za kvalitet i standardizaciju Srbije, 2006.
32. Resulović, H, Čustović, H i Čengić, I. *Sistematika tla/zemljišta: nastanak, svojstva i plodnost*. Sarajevo : Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2008.
33. Singh, Ajay i Ward, Owen P. *Biodegradation and Bioremediation*. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg , 2004.
34. Levine, S J, i dr. *Wildland Fires and the Environment: a Global Synthesis, 1st ed.* s.l. : EROS Data Center, SAD, 1999.
35. Couto-Vázquez, A i González-Prieto, S-J. *Short and medium-term effects of three fire fighting chemicals on the properties of a burnt soil*. 2006. str. 353–361.
36. *Short and medium-term effects of fire and fire-fighting chemicals on soil micronutrient availability*. Garcia-Marco, S i González-Prieto, S. Sci. Total Environ. 407, str. 297–303.
37. Kokaly, R, i dr. *Characterization of post-fire surface cover, soils, and burn severity at the Cerro Grande Fire, New Mexico, using hyperspectral and multispectral remote sensing*. 2007. str. 305-325.
38. Thiffault, E, i dr. *Chemical composition of forest floor and consequences for nutrient availability after wildfire and harvesting in the boreal forest*. str. 37–53.
39. Mitić, V D, i dr. *Uticaj požara na sadržaj teških metala u biljkama i zemljištu*. Beograd : Inženjersko društvo za koroziju, 2013.
40. Pereira, P i Úbeda, X. *Spatial distribution of heavy metals released from ashes after wildfire*. 2010. str. 13-22.

41. Vidal, M, i dr. *Prediction of the impact of the Aznalcollar toxic spill on the trace element contamination of agricultural soils*. 1999. str. 131-148.
42. Milutinović, S. *Urbanizacija i održivi razvoj*. Niš : Univerzitet u Nišu, 2004.
43. *Prostorni plan Republike Srpske do 2015. god.* banja Luka : Urbanistički zavod Republike Srpske AD, 2005.
44. Novaković, V i drugi. *Studija o stanju izdani Republike Srpske i procjeni rizika po kvalitet i rezerve podzemne vode*. Bijeljina : DOO "IPIN", 2015.
45. Federalno Ministarstvo prostornog uređenja i okoliša i Ministarstvo za urbanizam, stambeno-komunalne djelatnosti, građevinarstvo i ekologiju RS. *NEAP BiH*. 2003.
46. *Strateški plan za harmonizaciju poljoprivrede, prehrane i ruralnog razvoja BiH*. 2008.
47. Šoštarić, J i Marković, M. *Zaštita tla i voda*. Osijek : Poljoprivredni fakultet, 2011.
48. Kljajić, N, Arsić, S i Mijajlović, N. *Zemljište kao ekološki faktor poljoprivredne proizvodnje*. 2015.
49. Dr Čičković, R i drugi. *Statistički godišnjak Republike Srpske*. Banja Luka : Republički zavod za statistiku Republike Srpske, 2010.
50. Prskalo, G. *Osnove uređenja zemljišta – Program navodnjavanja i program okrupnjavanja posjeda u Federaciji BiH*. Mostar : Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet sveučilišta u Mostaru, 2011.
51. Aleksić, V. *Melioracija zemljišta i voda*. Zaječar : an.
52. Beus, Vladimir. *Šume regulator vodnog režima i zaštite zemljišta od erozije*. Sarajevo : Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovin, 2015.
53. *Izvještaj o stanju okoliša u Bosni i Hercegovini 2012*. s.l. : Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa, 2012.
54. *Strategija razvoja šumarstva Republike Srpske za period 2011-2021*. g. Banja Luka : Vlada Republike Srpske, 2012.
55. Cvetković-Mrkić, Dr Sonja. *Metode geotehničkih melioracija*. Beograd : Rudarsko geološki fakultet, univerzitet u Beogradu, 1995.
56. *Biološka rekultivacija deponije-primer dobre prakse*. Golubović, Tatjana, Golubović, Slobodan i Glišović, Srđan. 2015, Zbornik radova „Zemljište 2015“, II savjetovanje sa međunarodnim učešćem i V konferencija sa međunarodnim učešćem „Remedijacija 2015“, Sremski Karlovci, str. 63-67.
57. Malešević, Slavica. *Značaj pošumljavanja u funkciji održivog upravljanja šumama*. Bihać : Udruženje čovjek i prirodni resursi, 2014.
58. Kisić, I. *Sanacija onečišćenog tla*. Zagreb : Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2011.
59. Ugrinov, Dragan i Stojanov, Aleksander. *Bioremedijacija u tretmanu zagađenog zemljišta*. 2010.
60. Winter, T C, i dr. *Groundwater and surface water a single source*. Denver, Colorado : U.S. Geological Survey, 1999.
61. Fitts, C. *Groundwater science*. London : Academic Press, 2002.
62. Dimitrijević, N. *Hidrohemija*. Beograd : Rudarsko-geološki fakultet, 1988.

63. Langmuir, D. *Aqueous environmental geochemistry*. New Jersey : Prentice Hall, Upper Saddle River, 1997.
64. Todd, D K i Mays, L W. *Groundwater Hydrology, third edition*. New York : John Wily and Son Inc, 2005.
65. Novaković, V i dr. *Studija o stanju izdani Republike Srpske i procjeni rizika po kvalitet i rezerve podzemne vode*. Bijeljina : DOO "IPIN", 2015.
66. Miošić, Neven. *Hidrogeološka rejonizacija Bosne i Hercegovine*. Sarajevo : Geološki glasnik. Svez. 27.
67. V. Novaković, V. Tomić, M. Gligorić, M. Andrić, M. Knežević, D. Rabrenović, R. Grujić. *Hidrogeološke karakteristike višeslojne arteske izdani brčanske Posavine*. Bor : 33. konferencija jugoslovenskog društva za zaštitu voda, Voda 2004., 2004.
68. Kazemi, G A. *Hydrogeology – a global perspective, chapter 7*. 2012. str. 203-222.
69. Milanović, P. *Hidrogeologija karsta i metode istraživanja*. Trebinje : Hidroelektrane na Trebišnjici, 1979.
70. Driscoll, F. *Groundwater and wells, second edition*. Minnesota : Johnson Screens, 2003.
71. Chave, P, i dr. *Groundwater protection zones*. London : IWA Publishing, 2006. str. 465-492.
72. Doerfiger, N, Jeannin, P Y i Zwahlen, F. *Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method)*. 1999. str. 165-176.
73. Dixon, B. *Groundwater vulnerability mapping: a GIS and fuzzy rule based integrated tool*. 2005. str. 327-347.
74. Vrba, J i Zaporozec, A. *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. Hannover : IAH International Contribution for Hydrogeology vol. 16, 1994.
75. Krešić, N, Vujasinović, S i Matić, I. *Remedijacija podzemnih voda i geosredine*. Beograd : Rudarsko-geološki fakultet, 2006.
76. Goldscheider, N, i dr. *The PI method: a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers*. s.l. : Zeitschrift fur Angewandte Geologie 46(3) str 157-166, 2000.
77. Aller, L, i dr. *Drastic: standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. Chicago : Environmental protection agency, 1987.
78. Živanović, V, Dragišić, V i Atanacković, N. *Primena DRASTIC metode pri oceni ranjivosti podzemnih voda na primerima nacionalnih parkova i parkova prirode Srbije*. 2012. str. 277-284.
79. Gogu, R C, Hallet, V i A, Dassargues. *Comparsion of aquifer vulnerability assessment tehniques. Application to the Neblon river basin (Belgium)*. 2003. str. 881-892.
80. Hoelting, i dr. *Concept for the determination of the protective effectiveness of the cover above the groundwater against pollution*. Hannover : Ad-hoc working group on hydrogeology, 1995.

81. Margane, A. *Management, protection and sustainable use of groundwater and soil resources in the arab region: Volume 4 Guideline for groundwater vulnerability mapping and risk assessment for the susceptibility of groundwater resources to contamination*. Damascus : Arab centre for the study of arid zones and dry lands ACSAD, 2003.
82. Zwahlen, F. *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, Final report, COST action 620*. Neuchatel : European commission, Directorate-general for research, 2003.
83. Leyland, R C. *Vulnerability mapping in Karst terrains, exemplified in the wider Cradle of Humankind World Heritage Site*. Južna Afrika : Departman za geologiju, 2008.
84. Kralik, M i Keimel, T. *Time-input, an innovative groundwater-vulnerability assessment scheme: application to an Alpine test site*. 2003. str. 679-686.
85. Aljtovski, M E. *Hidrogeološki priručnik*. Beograd : Građevinska knjiga, 1973.
86. Pušić, M. *Dinamika podzemnih voda*. Beograd : Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2000.
87. Holting, B. *Hydrogeologie*. Stuttgart : Ferdinand Enke Verlag, 1984.
88. Pollock, D W. *Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the US Geological survey modular three-dimensional finite-difference groundwater model*. 1994. str. 89-381.
89. Eberts, S M, i dr. *Comparison of particle-tracking and lumped-parameter age-distribution models for evaluating vulnerability of production wells to contamination*. 2012. str. 263-282.
90. Pollock, D W. *User guide for MODPATH Version 6-a particle-tracking model for MODFLOW*. Virginia : U.S. Geological Survey, 2012.
91. Novaković, V, Gligorić, M i Grujić, R. *Uticaj režima izdani na sadržaj gvožđa, mangana, nitrita i amonijaka u podzemnim vodama*. Zlatibor : Vodovod i kanalizacija 08, 2008. str. 151-158.
92. H. Behrendt, M. Venohr, D. Opitz, U. Hirt. *The use of MONERIS 2.14 for the decision support in the Danube River Basin District (DRBD)*. Berlin, Germany : Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries.
93. Novaković, V. *Projekat monitoringa podzemnih voda sliva rijeke Drine na prostoru Republike Srpske*. Bijeljina : DOO "IPIN", 2016.
94. Novaković, V, i dr. *Uslovi prihranjivanja i dreniranja akvifera mineralne vode izvora Guber u Srebrenici*. Beograd : Savez inženjera i tehnicara Srbije, 2014. str. 69-80.
95. Zheng, C i Wang, P. *A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater system, Documentation and user's guide*. Vicksburg, Mississippi : U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 1999.
96. Canzano, S. *Remediation of groundwater polluted by aromatic compounds by means of adsorption*. 2014. str. 4807-4822.

97. Kaluđerović, D. *Matematički modeli kretanja podzemnih voda i transporta zagađenja, drugo izdanje*. Beograd : ATS Grafika, 2016.
98. Zheng, C i Bennett, G. *Applied contaminant transport modelling, second edition*. New York : John Wiley and Sons Inc, 2002.
99. Grujić, R. *Analiza transporta zagađujućih materija u podzemnim vodama akumuliranim u aluvijalnim sedimentima Dunava, doktorska disertacija*. Zvornik : Tehnološki fakultet Zvornik, 2016.
100. McDonald, M G i W, Harbaugh A. *A modular three-dimensional finite-difference ground-waterflow model, Book 6*. Virginia : U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, 1988.
101. Bear, J i Cheng, A.H.D. *Modeling groundwater flow and contamination transport*. New York : Springer, 2010.
102. Harbaugh, A W. *The U.S. Geological survey modular ground-water model-the ground-water flow process, Book 6 Modeling techniques*. Virginia : U.S. Geological Survey, , 2005.
103. Doherty, J. *PEST Model-independent parameter estimation, 7th edition*. s.l. : Watermark Numerical Computing, 2018.
104. Hsieh, P A, Wingle, W i Healy, R W. *WS2DI – A graphical software package for simulating fluid flow and solute or energy transport in variably saturated porous media*. Lakewood : U.S. Geological Survey Water-resources Investigations report 99-4130, 2000.
105. Simunek, J, i dr. *The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, Version 3.0*. Riverside : Department of environmental sciences, University of California, 2005.
106. —. *The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, Version 2.0 U.S*. Riverside : Salinity laboratory, Agricultural research service, U.S. Department of agriculture, 1999.
107. Newell, C J, McLeod, R K i Gonzalez, J R. *BIOSCREEN Natural Attenuation Decision Support System, Version 1.30*. San Antonio : U.S. Air Force Center for Environmental Excellenc, 1996.
108. B. Filipović; S. Vujasinović. *Zaštita podzemnih voda*. Beograd : Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 1982.
109. Pavlović, Vladimir. *Rekultivacija površinskih kopova i odlagališta*. Beograd : RGF Beograd, 2000.
110. Krešić, N, Vujasinović, S i Matić, I. *Remedijacija podzemnih voda i geosredine*. Beograd : Rudarsko-geološki fakultet, 2006.
111. Simunek, J, i dr. *The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, Version 2.0 U.S*. Riverside : Salinity laboratory, Agricultural research service, U.S. Department of agriculture, 1999.
112. Hsieh, Paul A, Wingle, William i Healy, Richard W. *VS2DI—A Graphical Software Package for Simulating Fluid Flow and Solute or Energy Transport in*

- Variably Saturated Porous Media*. Lakewood : U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2000.
113. Chave, P, i dr. *Groundwater protection zones*. London : IWA Publishing, 2006. str. 465-492.
114. Lakić, Željko, Predić, Tihomir i Pavlović, Slobodanka. *Biološka rekultivacija rudarskom aktivnošću degradiranih zemljišta na lokaciji Srđevići-Gacko*. 2016.
115. Novaković, V, i dr. *Uslovi prihranjivanja i dreniranja akvifera mineralne vode izvora Guber u Srebrenici*. Beograd : Savez inženjera i tehnicara Srbije, 2014. str. 69-80.
116. Pollock, D W. *Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the US Geological survey modular three-dimensional finite-difference groundwater model*. 1994. str. 89-381.
117. Vrba, J i Zaporozec, A. *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. Hannover : IAH International Contribution for Hydrogeology vol. 16, 1994.
118. Eberts, S M, i dr. *Comparison of particle-tracking and lumped-parameter age-distribution models for evaluating vulnerability of production wells to contamination*. 2012. str. 263-282.
119. Canzano, S. *Remediation of groundwater polluted by aromatic compounds by means of adsorption*. 2014. str. 4807-4822.
120. Foster, S i Hirata, R. *Groundwater pollution risk assessment – a methodology using available data*. Lima : Pan-American center for Sanitar engineering and environmental sciences (CEPIS), 1988.

Spisak slika

<i>Slika 1. Mapa gravimetrijskih anomalija, idealizovani model Zemlje (gravimetrijski model kreiran na osnovu podataka sa NASA – GRACE misije).....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 2. Unutrašnje sfere Zemlje.....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 3. Položaj većih tektonskih ploča na Zemlji sa pravcima kretanja....</i>	<i>24</i>
<i>Slika 4. Šema izvora zagađenja.....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 5. Neuređena deponija komunalnog otpada u Karakaju kod Zvornika.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 6. Uzorkivač za mjerenje vučenog nanosa u rijekama.....</i>	<i>45</i>
<i>Slika 7. Uzorkivač za mjerenje lebdećeg nanosa u rijekama.....</i>	<i>45</i>
<i>Slika 8. Kaverne u krečnjacima nastale rastvaranjem pukotina i prslina... </i>	<i>46</i>
<i>Slika 9. Vrtača u okolini Drinića kod Bosanskog Petrovca.....</i>	<i>47</i>
<i>Slika 10. Procesi degradacije zemljišta usled radova na površinskom kopu.....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 11. Podjela Republike Srpske vezano uz koncept upravljanja svim vrstama otpada.....</i>	<i>66</i>
<i>Slika 12. Šumski požari utiču na degradaciju zemljišta.....</i>	<i>83</i>
<i>Slika 13. Prosječna gustina naseljenosti u Republici Srpskoj.....</i>	<i>86</i>
<i>Slika 14. Izvori zagađenja nastali procesom urbanizacije</i>	<i>89</i>
<i>Slika 15. Potencijalni izvori aerozagađenja u Republici Srpskoj.....</i>	<i>99</i>
<i>Slika 16. Emisija zagađenja vazduha na prostoru Republike Srpske</i>	<i>101</i>
<i>Slika 17. Šema osnovnih elemenata injektiranja</i>	<i>109</i>
<i>Slika 18. Injektiranje prema vrsti stijenske mase.....</i>	<i>111</i>
<i>Slika 19. Uprošćena šema bioventilacije</i>	<i>115</i>
<i>Slika 20. Fitoekstrakcija</i>	<i>117</i>
<i>Slika 21. Akumulacija pri fitoekstrakciji.....</i>	<i>117</i>
<i>Slika 22. Apsorpcija i akumulacija u procesu fitostabilizacije.....</i>	<i>119</i>
<i>Slika 23. Fitovolatizacija</i>	<i>120</i>
<i>Slika 24. Uprošćena šema elektrohemijske remedijacije tla.....</i>	<i>121</i>
<i>Slika 25. Metoda remedijacije poplavlivanjem tla rastvorima.....</i>	<i>122</i>
<i>Slika 26. Metoda remedijacije ispiranjem tla rastvorima.....</i>	<i>123</i>
<i>Slika 27. Solidifikacija tla</i>	<i>124</i>
<i>Slika 28. Stabilizacija tla</i>	<i>125</i>
<i>Slika 29. Prekrivanje zagađenog tla</i>	<i>126</i>
<i>Slika 30. Spaljivanje tla</i>	<i>128</i>
<i>Slika 31. Vitrifikacija tla</i>	<i>129</i>
<i>Slika 32. Kruženje vode u prirodi</i>	<i>132</i>
<i>Slika 33. Prikaz putanja kišne kapi sa površine.....</i>	<i>133</i>

<i>Slika 34. Odnos površinskih i podzemnih voda (ostvarena hidraulička veza)</i>	134
<i>Slika 35. Položaj nivoa podzemne vode i pravac kretanja podzemne vode u zavisnosti od položaja nivoa vode u rijeci</i>	135
<i>Slika 36. Odnos površinskih i podzemnih voda kada nije ostvarena hidraulička veza</i>	136
<i>Slika 37. Prikaz povezivanja molekula vode</i>	137
<i>Slika 38. Karta tipova izdani na prostoru Republike Srpske</i>	147
<i>Slika 39. Procentualna zastupljenost otkrivenih dijelova izdani u Republici Srpskoj prema tipu poroznosti akvifera</i>	149
<i>Slika 40. Prikaz hemijskog sastava vode na prostoru Republike Srpske</i>	153
<i>Slika 41. Freatski tip izdani u akviferima intergranularnog tipa poroznosti</i>	155
<i>Slika 42. Arteski tip izdani u akviferu sa intergranularnim tipom poroznosti</i>	156
<i>Slika 43: Samoizliv bušotine IB-3, izvorišta Prijedorčanka u Prijedoru</i>	158
<i>Slika 44: Hidrogeološki profil izvorišta "Novo naselje" u Brodu</i>	159
<i>Slika 45: Hidrogeološki presjek na području Brčkog</i>	160
<i>Slika 46. Izdan u akviferu sa izraženim pukotinskim tipom poroznosti</i>	161
<i>Slika 47. Izdan u akviferu sa izraženim pukotinsko-karstnim tipom poroznosti</i>	163
<i>Slika 48. Dijagram klasifikacija voda za navodnjavanje (prema podacima USGS-a)</i>	170
<i>Slika 49: Izvođenje bunara u Domaljevcu kod Orašja</i>	172
<i>Slika 50: Zaštita arteskog nivoa podzemne vode i sprečavanje miješanja voda različitog kvaliteta iz freatske i arteskkih izdani kroz pravilan način izvođenja bušotina, pijezometara i bunara</i>	173
<i>Slika 51. Šema proračuna ranjivosti podzemne vode primjenom GOD metode</i>	184
<i>Slika 52. Šema određivanja P faktora</i>	186
<i>Slika 53. Šema određivanja I faktora</i>	188
<i>Slika 54. Zaštitni faktor prema EPIK metodi</i>	191
<i>Slika 55. Šema proračuna faktora C</i>	194
<i>Slika 56. Šema proračuna faktora O</i>	195
<i>Slika 57. Šema proračuna faktora P</i>	196
<i>Slika 58. Šema određivanja ranjivosti COP metodom kombinacijom faktora C, O, P i K</i>	199
<i>Slika 59. Šema proračuna za metodu Vrijeme-ulaz</i>	201
<i>Slika 60. Šema određivanja smijera podzemne vode</i>	203
<i>Slika 61. Šematski prikaz Darsijevog zakona</i>	205

<i>Slika 62. Grafik promjene inteziteta indikatora sa vremenom.....</i>	<i>208</i>
<i>Slika 63. Prikaz putanje i brzine kretanja čestice za period od 3 godine na primjeru izvorišta Domažić, kod Gradačca.....</i>	<i>209</i>
<i>Slika 64: Karta smijerova kretanja podzemnih voda u karstnim terenima, utvrđenih upotrebom trasera u Republici Srpskoj.....</i>	<i>210</i>
<i>Slika 65. Šema elemenata monitoringa podzemne vode (Prema uputstvima Direktive o vodama 2000/60/EC)</i>	<i>211</i>
<i>Slika 66: Karta prekograničnih izdani Republike Srpske, koje prelaze državnu granicu Bosne i Hercegovine.....</i>	<i>213</i>
<i>Slika 67: Uprošćen šematski prikaz zone povišenog sadržaja gvožđa u vodi arteske izdani na obodu panonskog neogenog basena u funkciji nepostojanja vadozne zone u samom akviferu, a na račun "trošenja" kiseonika tokom transporta podzemnih voda.....</i>	<i>218</i>
<i>Slika 68. Deponija komunalnog otpada u karstnom polju kod Drinića.....</i>	<i>227</i>
<i>Slika 69. Karta kvantitativnog statusa podzemnih voda na prostoru Republike Srpske.....</i>	<i>234</i>
<i>Slika 70. Hidrogeološki profil dijela terena između izvora Guber.....</i>	<i>235</i>
<i>Slika 71: Kaptažni objekat izvora mineralne vode Guber kod Srebrenice</i>	<i>235</i>
<i>Slika 72: Karta kvalitativnog statusa podzemnih voda na prostoru Republike Srpske.....</i>	<i>238</i>
<i>Slika 73. Prikaz primjera simulacije transporta zagađujuće materije</i>	<i>244</i>
<i>Slika 74. Šema ćelija za postavku diferencijalne jednačine u programu Modflow, gdje su i-redovi, j-kolone, k-slojevi.....</i>	<i>257</i>
<i>Slika 75. Transport zagađujuće materije (vinil-hlorid) ka izvorištu Štrand u Novom Sadu</i>	<i>264</i>
<i>Slika 76. Putanja koje čestice vode pređu do bunara za 10 dana</i>	<i>265</i>
<i>Slika 77. Putanja koje čestice vode pređu do bunara za 100 dana</i>	<i>266</i>
<i>Slika 78. Određivanje zone zahvata vode</i>	<i>266</i>
<i>Slika 79. Grafički prikaz i raspored elemenata iz formule 33.9 i 33.10</i>	<i>268</i>

Spisak tabela

<i>Tabela 1. Strukturalni tipovi poroznosti stijena.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 2. Procentualni udio najvažnijih tipova zemljišta u BiH.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 3. Porijeklo izmjena prirodnih svojstava zemljišta.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 4. Apsolutne vrijednosti porasta broja stanovnika u centrima u RS87</i>	
<i>Tabela 5. Vrste negativnih uticaja prema zemljištu.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 6. Tehnologije remedijacije zemljišta</i>	<i>113</i>
<i>Tabela 7. Prikaz biljnih vrsta pogodnih za remedijaciju.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 8. Osnovni faktori koji utiču na formiranje hemijskog sastava</i> <i>podzemne vode (11)</i>	<i>140</i>
<i>Tabela 9. Klasifikacija vode prema tvrdoći po Klut-u.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabela 10. Klasifikacija vode prema mineralizaciji prema Hemm-u</i>	<i>145</i>
<i>Tabela 11. Ukupna površina i procentualna zastupljenost izdani u</i> <i>akviferima različitog tipa poroznosti</i>	<i>148</i>
<i>Tabela 12. Površina i procentualna zastupljenost otkrivenih dijelova izdani</i> <i>.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabela 13. Kvalitet vode za industrijske procese.....</i>	<i>168</i>
<i>Tabela 14. Vrijednosti procenjenjenih parametara za primjenu DRASTIC</i> <i>metode</i>	<i>181</i>
<i>Tabela 15. Vrijednosti vrijednosnih parametara za primjenu DRASTIC</i> <i>metode</i>	<i>183</i>
<i>Tabela 16. Klasifikacija ranjivosti na osnovu vrijednosti DRASTIC Indeksa</i> <i>.....</i>	<i>183</i>
<i>Tabela 17. Legenda za karte ranjivosti za P, I i π faktor.....</i>	<i>189</i>
<i>Tabela 18. Standardna klasifikacija za parametre EPIK metode.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabela 19. Standardne vrijednosti EPIK parametara</i>	<i>191</i>
<i>Tabela 20. Legenda karte ranjivosti za COP metodu.....</i>	<i>197</i>
<i>Tabela 21. Klasifikacija karbonatnih akvifera</i>	<i>198</i>
<i>Tabela 22. Korekcioni faktor za ULAZ-prihranjivanje podzemne vode na</i> <i>osnovu vrijednosti infiltracije</i>	<i>202</i>
<i>Tabela 23. Pripisivanje ukupne zapremine prihranjivanja (vrijeme-</i> <i>putovanja) vremenskim klasama.....</i>	<i>202</i>
<i>Tabela 24. Rastojanja centralnog i osmatračkih bunara pri opitu</i> <i>indikatorom</i>	<i>204</i>
<i>Tabela 25. Opšta klasifikacija zagađujućih materija i zagađenja.....</i>	<i>223</i>
<i>Tabela 26. Definicija značajnih koncentrisanih izvora zagađenja.....</i>	<i>229</i>
<i>Tabela 27. Kvalitativno potencijalno ugrožene izdani</i>	<i>236</i>