

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Praznik, Š., 2016. Naravni in antropogeni vplivi na hidrosfero v območju Šmarjeških toplic. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Drev, D., somentor Krzyk, M.): 112 str.

Datum arhiviranja: 14-03-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Praznik, Š., 2016. Naravni in antropogeni vplivi na hidrosfero v območju Šmarjeških toplic. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Drev, D., co-supervisor Krzyk, M.): 112 pp.

Archiving Date: 14-03-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

ŠTEFAN PRAZNIK

**NARAVNI IN ANTROPOGENI VPLIVI NA
HIDROSFERO V OBMOČJU ŠMARJEŠKIH TOPLIC**

Diplomska naloga št.: 271/VKI

**NATURAL AND ANTHROPOGENIC IMPACTS ON
HYDROSPHERE IN THE RANGE OF ŠMARJEŠKE
TOPLICE**

Graduation thesis No.: 271/VKI

Mentor:

doc. dr. Darko Drev

Somentor:

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 23. 02. 2016

STRAN ZA POPRAVKE (Errata)

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVE

Podpisani Štefan Praznik izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Naravni in antropogeni vplivi na hidrosfero na območju Šmarjeških Toplic«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 28. januar 2016

Štefan Praznik

»Ta stran je namenoma prazna «

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK	502.51:628.1(497.4)(043.2)
Avtor	Štefan Praznik
Mentor	doc. dr. Darko Drev
Somentor	dr. Mario Krzyk
Naslov	Naravni in antropogeni vplivi na hidrosfero v območju Šmarjeških Toplic
Tip dokumenta	Dipl. nal. - UNI
Obseg in oprema	112 str., 10 pregl., 6 graf., 8 shem, 18 sl., 3 pril.
Ključne besede	fosfor, dušik, hranila, evtrofikacija, vodovarstveno območje, vodno zajetje

IZVLEČEK

Diplomska naloga je sestavljena iz dveh delov. Prvi del opisuje lastnosti fosforja in dušika. To sta hranili, ki imata najpomembnejšo vlogo pri evtrofikaciji. V drugem delu so predstavljene specifične vodnega zajetja Jezero v občini Šmarješke Toplice.

Prvi del diplomske naloge je posvečen problematiki obremenjevanja vodnega okolja s hranili. Evtrofikacija, ki je posledica prekomernih koncentracij hranil v vodnem okolju, je navadno omejena s pomanjkanjem enega izmed hranil. Predstavljen je vpliv prisotnosti hranil, in sicer fosforja in dušika.

Tako za fosfor kot za dušik so predstavljene osnovne lastnosti elementa, kroženje naštetih hranil v okolju. Naštete in opisane so glavne antropogene dejavnosti, ki prispevajo največji delež omenjenih hranil v okolje. Predstavljeni so tudi kemični in biološki procesi odstranjevanja fosforja in dušika ter nekaj najpogostejših tehnologij, razvitih za namen odstranjevanja hranil.

Predstavljena so tudi predvidevanja in ukrepi za prihodnost glede zmanjšanja vpliva hranil na okolje. V zaključku prvega dela diplomske naloge pa sem se posvetil porabi hranil v slovenskem kmetijstvu za izboljšanje proizvodnosti kmetijskih površin.

V drugem delu diplomske naloge pa je predstavljeno najpomembnejše dolensko vodno zajetje Jezero, ki se nahaja v Občini Šmarješke Toplice. Opisana je zakonodaja na evropski, državni in občinski ravni. Predstavil sem način določanja vodovarstvenih območij njihove vrste, prepovedi in omejitve. Izdelal sem tudi izračun obremenitev podzemnih voda iz prispevnih območij in predstavil načrte Komune Novo mesto za izboljšave kvalitativnih in količinskih lastnosti vode načrpane na vodnem zajetju Jezero.

»Ta stran je namenoma prazna «

BIBLIOGRAFIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC	502.51:628.1(497.4)(043.2)
Author	Štefan Praznik
Supervisor	assoc. Prof. Darko Drev, Ph.D.
Cosupervisor	assist. Mario Krzyk, Ph.D.
Title	Natural and anthropogenic impacts on hydrosphere in the range of Šmarješke Toplice.
Document type	Graduation Thesis – University studies
Notes	112 p., 10 tab., 6 graph., 8 scheme, 18 fig., 3 ann.
Keywords	phosphorus, nitrogen, nutrients, eutrophication, water protection area, basin

ABSTRACT

My thesis is divided into two main parts. The first part is focused on the properties of phosphorous and nitrogen that are most important in the eutrophication process, while the second part of the thesis presents the specifics of the water basin Jezero in Smarjeske Toplice.

The first part of the thesis describes the problem of pollution with nutrients in the aquatic environment - eutrophication. Eutrophication is caused by excessive nutrient concentrations in the aquatic environment, which is limited by the lack of one of the two presented nutrients in this thesis. The thesis is focused on two nutrients, namely phosphorus and nitrogen.

The thesis presents the basic properties for phosphorus and nitrogen and the circulation of these two nutrients in the environment. It also lists and describes the main anthropogenic activities, which contribute the largest share of these nutrients into the environment.

In its next chapters the thesis presents the chemical and biological processes, removal of phosphorus and nitrogen, and some common technologies developed for the purpose of disposing these two nutrients from water. Then it presents some assumptions and actions for reducing the impact of these two nutrients on the environment in the future. The first part of the thesis is concluded with the use of nutrients in Slovenian agriculture in order to improve the productivity of its agricultural land.

The second part of the thesis delivers a presentation of the largest water basin in the Dolenjska region – water basin Jezero in Šmarješke Toplice. It describes the legislation, regarding water resources on the European, state and municipal level. It also presents the ways of determining water protection areas, their different variations and its limits and restrictions. There is also a calculation of nutrient concentration in the underground waters in this specific area. The final part of the thesis is a product of collaboration with Komunala Novo mesto. It presents their plans for improving quantitative and qualitative properties of the water that is pumped from the water basin Jezero.

»Ta stran je namenoma prazna «

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem izr. prof. dr. Jožetu Panjanu, mentorju doc. dr. Darku Drevu ter asis. dr. Mario Krzyku. Zahvaljujem se tudi gospodu Jerneju Muhiču in podjetju Komunala Novo mesto d.o.o. za sodelovanje pri nastajanju diplomske naloge.

Največja zahvala pa gre družini in Mateji Volk za podporo skozi vsa leta študija.

»Ta stran je namenoma prazna «

KAZALO

1	UVOD	1
2	FOSFOR.....	3
2.1	FOSFOR KOT KEMIJSKI ELEMENT	4
2.2	BIOLOGIJA FOSFORJA	5
2.3	NARAVNO KROŽENJE FOSFORJA.....	6
2.3.1	SPROŠČANJE FOSFORJA V OKOLJE.....	7
2.3.2	FOSFOR V ZEMLJINAH	8
2.3.3	FOSFOR V SEDIMENTIH	9
2.3.4	FOSFOR V VODAH	9
2.4	POVEČANO IZLOČANJE FOSFORJA V OKOLJE ZARADI ANTROPOGENIH DEJAVNOSTI.....	11
2.5	ODSTRANJEVANJE FOSFORJA	12
2.6	KEMIČNO ODSTRANJEVANJE FOSFORJA.....	13
2.6.1	ODSTRANJEVANJE FOSFORJA S POMOČJO KOVINSKIH SOLI	14
2.6.1.1	ŽELEZOVE SOLI.....	16
2.6.1.2	ALUMINIJEVE SOLI	16
2.6.1.3	ODSTRANJEVANJE FOSFORJA Z APNOM	17
2.7	BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE FOSFORJA	18
2.8	PRIHODNOST FOSFORJA.....	19
3	DUŠIK.....	21
3.1	KROŽENJE DUŠIKA	22
3.1.1	DUŠIK V TLEH.....	23
3.1.2	DUŠIK V RASTLINAH	24
3.1.3	DUŠIK V VODNIH TELESIH.....	25
3.2	POVEČANO IZLOČANJE DUŠIKA V OKOLJE ZARADI ANTROPOGENE DEJAVNOSTI.....	26
3.3	ODSTRANJEVANJE DUŠIKA IZ ODPADNIH VODA.....	27
3.3.1	BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE DUŠIKA IZ ODPADNE VODE	28
3.3.2	TEHNOLOGIJE ODSTRANJEVANJA DUŠIKA NA ČISTILNIH NAPRAVAH	29
3.3.2.1	DENITRIFIKACIJSKI FILTRI	30
3.3.2.2	ŠTIRISTOPENJSKI BADENPHO PROCES	30
3.3.2.3	OKSIDACIJSKI JAREK	31
3.3.2.4	ŠARŽNI REAKTOR (SBR sequencing batch reactor).....	32
3.4	PRIHODNOST DUŠIKA	32
4	ODSTRANJEVANJE FOSFORJA IN DUŠIKA	33

4.1	TEHNOLOŠKI PROCESI ISTOČASNEGA ODSTRANJEVANJA FOSFORJA IN DUŠIKA.....	36
4.1.1	TEHNOLOGIJE ISTOČASNEGA ODSTRANJEVANJA FOSFORJA IN DUŠIKA.....	37
4.1.2	ANAEROBNA/ ANOKSIČNA/ AEROBNA (AAO).....	38
4.1.3	PETSTOPENJSKI BARDENPHO PROCES.....	38
4.1.4	PROCES UNIVERZE CAPE TOWN (UCT)	39
4.1.5	VIRGINIA INITIATIVE PROCES (VIP).....	40
5	VPLIV HRANIL NA VODNO OKOLJE	41
5.1	EVTROFIKACIJA.....	41
5.1.1	EVTROFIKACIJA STOJEČIH CELINSKIH POVRŠINSKIH VODA.....	42
5.1.2	EVTROFIKACIJA TEKOČIH CELINSKIH VODA	44
5.1.3	EVTROFIKACIJA MORJA.....	45
5.1.4	OBREMENJENOST PODZEMNE VODE Z NITRATI	46
5.2	KMETIJSTVO KOT ONESNAŽEVALEC OKOLJA	46
6	MODELIRANJE PROCESA EVTROFIKACIJE	48
6.1	MODEL AQUATOX.....	49
6.2	MODEL QUAL (River and Stream Water Quality Model).....	50
6.3	MODEL WASP (Water Quality Analysis Simulation Program).....	51
7	PORABA FOSFORJA IN DUŠIKA V SLOVENIJI NA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČIH.....	52
8	HIDROSFERA ŠMARJEŠKIH TOPLIC	56
8.1	ANTROPOGENI VPLIVI NA HIDROSFERO ŠMARJEŠKIH TOPLIC	57
8.2	OKOLJSKE MERITVE NA OMOČJU OBČINE	59
9	VODOOSKRBNI SITEM ŠMARJEŠKIH TOPLIC	60
9.1	VODNI VIRI V OBČINI ŠMARJEŠKE TOPLICE.....	62
9.1.1	VODNI VIR JEZERO	63
10	PROJEKT HIDRAVLICNIH IZBOLJŠAV NA OBMOČJU OSREDNJE DOLENJSKE.....	67
10.1	OBSEG PROJEKTA.....	67
10.2	PROJEKTI NA OBMOČJU OBČINE ŠMARJEŠKIH TOPLIC	69
10.2.1	FILTRACIJA Z AKTIVNIM OGLJEM	69
10.2.2	ULTRAFILTRACIJA	70
10.2.3	ULTRAFILTRACIJA V VODARNI JEZERO IN FILTRACIJA Z AKTIVNIM OGLJEM.....	71
10.2.4	VODOHRAN GORENJA VAS	74
10.2.5	IZGRADNJA CEVOVODOV NA OBMOČJU ŠMARJEŠKIH TOPLIC	74
11	ZAKONODAJA NA PODROČJU VARSTVA VODNIH VIROV	75
11.1	PREDPISI O VARSTVU VODA IN VODNIH VIROV NA NIVOJU EU	75

11.2	PREDPISI O VARSTVU VODA IN VODNIH VIROV NA DRŽAVNEM NIVOJU.....	75
11.3	ZAKONODAJA NA OBČINSKEM NIVOJU.....	77
12	VODOVARSTVENA OBMOČJA	78
12.1	VRSTE VODOVARSTVENIH OBMOČIJ ZA ZAJETJA PODZEMNIH VODA.....	82
12.2	POVRŠINA VODOVARSTVENEGA ZAJETJA	84
12.2.1	POVRŠINA VODOVARSTVENEGA ZAJETJA ZA KRAŠKI VODONOSNIK	85
12.3	OMEJITVE IN PREPOVEDI VODOVARSTVENIH UKREPOV	85
12.3.1	OMEJITVE KMETIJSTVA NA VODOVARSTVENIH OBMOČJIH.....	87
12.3.2	NADOMESTILA ZARADI IZGUB IZVAJANJA VODOVARSTVENEGA REŽIMA V KMETIJSKI DEJAVNOSTI	89
13	IZRAČUN OBREMENITEV S HRANILI IZ PRISPEVNIH POVRŠIN	90
14	ZAKLJUČEK	97
	VIRI.....	99

»Ta stran je namenoma prazna «

KAZALO SLIK

Slika 1: Fosforjev cikel brez človeškega vplivanja	7
Slika 2: Geokemija in mineralogija fosforja	8
Slika 3: Fosforjev vodni cikel (EPA US Environmental Protection Agency),	10
Slika 4: Antropogeni vpliv na fosforjev cikel	12
Slika 5: Stopnje čiščenja odpadne vode na čistilni napravi	12
Slika 6: Kroženje dušika	22
Slika 7: Raba zemljišč v občini Šmarješke Toplice	58
Slika 8: Ena izmed 3 dodatnih vrtin	63
Slika 9: Zbirni vodnjak	64
Slika 10: Črpališče in črpalke	65
Slika 11: Doziranje plinskega klora v tlačni cevovod	66
Slika 12: Šobe za vbrizgavanje vode v ogleni filter	69
Slika 13: Čistilna naprava v neposredni bližini črpališča Jezero	71
Slika 14: Linija ultrafiltracije	72
Slika 15: Karta vodovarstvenih območij na državnem in občinskem nivoju v Sloveniji	
Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso	78
Slika 16: Najozje, z ograjo varovano območje	81
Slika 17: Shematski prikaz mej vodovarstvenih območij na kraških vodonosnikih	81
Slika 18: Vodovarstveno območje vodnega zajetja Jezero	
Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso	83

»Ta stran je namenoma prazna «

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Poraba fosforjevih gnojil	53
Grafikon 2: Poraba dušikovih gnojil	53
Grafikon 3: Poraba rastlinskih makrohranil (N,P, K v kg/ha).....	54
Grafikon 4: Kmetijska zemljišča v uporabi (ha)	55
Grafikon 5: Primerjava med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi nitratov	95
Grafikon 6: Primerjava med izmerjenimi ortofostati in izračunanimi fosfati	96
Grafikon 7: Količina padavin po letih.....	96

KAZALO SHEM

Shema 1: Proces koagulacije in flokulacije.....	15
Shema 2: Postavitev denitrifikacijskega filtra.....	30
Shema 3: Štiristopenjski Bardenpo proces.....	31
Shema 4: Oksidacijski jarek.....	31
Shema 5: Postavitev AAO.....	38
Shema 6:Postavitev petstopenjskega Bardenpho procesa	39
Shema 7: Postavitev procesa UCT	39
Shema 8: Postavitev Virginia Initiative procesa	40

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vzroki in posledice pomanjkanja nutrientov v biološki stopnji čiščenja odpadne vode	37
Preglednica 2: Poraba mineralnih gnojil v Sloveniji med obdobjem 1995-2013.....	52
Preglednica 3: Prepovedi, omejitve in zaščitni ukrepi za kmetijstvo	86
Preglednica 4: Notranje površine vodovarstvenega območja	90
Preglednica 5: Vrste pokritosti tal znotraj vodovarstvenega območja	90
Preglednica 6: Količina padavin na vremenski postaji Vinji vrh pri Beli cerkvi	91
Preglednica 7: Odtok iz prispevnih površin	91
Preglednica 8: Prispevnost hranil v površinski odtok pri različnih tipih tal.....	92
Preglednica 9: Količina hranil v površinskem odtoku pri različnih tipih tal.....	93
Preglednica 10: Vsebnost hranil v površinskem odtoku	94

»Ta stran je namenoma prazna.«

OKRAJŠAVE

P = Kemijska oznaka za fosfor

N = Kemijska oznaka za dušik

K = Kemijska oznaka za kalij

H = Kemijska oznaka za vodik

S = Kemijska oznaka za žveplo

O = Kemijska oznaka za kisik

C = Kemijska oznaka za ogljik

Fe = Kemijska oznaka za železo

Al = Kemijska oznaka za aluminij

Ca = Kemijska oznaka za kalcij

DNK = Deoksiribonukleinska kislina

RNA = Ribonukleinska kislina

BPK = Biokemijska potreba po kisiku

KPK = Kemijska potreba po kisiku

ATP = Adenozin trifosfat

EBPR = Enhanced biological phosphorus removal

SBR = Sequencing batch reactor

UCT = University of Capetown process

PAO = Phosphorus accumulating organisms

EU = Evropska Unija

ARSO = Agencija Republike Slovenije za okolje

JGS = Javno gospodarska služba

NTU = Nefelometrične enote

VVO = Vodovarstvena območja

PISO = Prostorski informacijski sistem občin

GIS = Geografski informacijski sistem (geographic information system)

PZI = Projekt za izvedbo

1 UVOD

Voda je dobrina, ki je nujna za vse oblike življenje. Molekula vode vsebuje le dva elementa, in sicer dva atoma vodika in en atom kisika, a take vode v tekoči obliki v naravi ne najdemo, pač pa vsebuje različne primesi, kot so raztopljeni plini, organske in anorganske snovi ter mikroorganizmi, ki so prisotni naravno ali pa zaradi antropogenih posegov.

Naraščanje prebivalstva in grožnje globalnih sprememb ob nadaljevanju zdajšnje nesmotrne porabe vode lahko v prihodnosti pelje do globalne krize pomanjkanja pitne vode. Poraba pitne vode se v t.i. razvitem svetu zmanjšuje, zmanjšujejo se tudi emisije v vodno okolje. V nerazvitih delih sveta pa poraba še vedno raste, hkrati pa se povečujejo emisije v vodno okolje kot posledica industrializacije.

V Sloveniji in slovenskih mestih za zdaj še ne občutimo pomanjkanja kakovostne pitne vode. Nasprotno Slovenija in večina njenih mest se lahko pohvali da, iz pip priteče kvalitetna in neoporečna pitna voda zato velja Slovenija za eno izmed najbogatejših držav z vodo v svetovnem merilu glede na prebivalca. Čeprav Slovenija velja za deželo bogato z vodo pa vodni viri niso enakomerno časovno in prostorsko razporejeni.

Voda se v naravi redko pojavlja brez primesi. Ljudje pridobivamo vodo za svojo uporabo iz sladkovodnih virov, ki jo po uporabi vračamo nazaj v krogotok, a pri tem procesu vodi dodajamo različne snovi, ki v njej ne bi bile prisotne ali pa bi bile prisotne v njej v manjši koncentraciji, če bi ne bilo antropogenega vpliva. Naravni krogotok sladke vode ima samočistilno sposobnost. Vendar pa se z izvajanjem antropogenih dejavnosti v okolje izpuščajo snovi, ki zmanjšujejo samočistilni učinek.

Za uspešnost biološkega odstranjevanja hranil iz odpadnih voda je pomembno stehiometrično razmerje med ogljikom, dušikom in fosforjem. Vsebnost hranilnih snovi v odpadni vodi in bi morala ustrezati potrebam bakterij v aktivnem blatu, hkrati pa mora razmerje med ogljikom, dušikom in fosforjem biti uravnoteženo.

Glavni vir onesnaženja okolja s hranili je kmetijstvo. To je primorano k povečanju intenzivnosti kmetovanja zaradi globalnega trenda rasti prebivalstva.

V diplomski nalogi sta predstavljeni dve glavni makro-hranili, ki vplivata na proces eutrofikacije. Fosfor in dušik imata izjemno pomembno vlogo v okolju, saj sta hranili, katerih odsotnost omejuje primarno produkcijo, ki jo v vodnem okolju razumemo kot eutrofikacijo.

V nadaljevanju diplomske naloge sem posamično predstavil obe hranili. Predstavil sem lastnosti posameznega elementa ter njuno vlogo v okolju. Predstavljen je tudi naravni cikel obeh hranil in antropogeni vpliv nanj, vloga fosforja in dušika v glavnih medijih, ki nastopajo v ciklusu kot so vode,

sedimenti in zemljine. Obsežen del diplomske naloge predstavljajo kemični in biološki procesi odstranjevanja fosforja in dušika.

V drugem delu diplomske naloge pa sem obravnaval primer iz domačega okolja in sicer vodno zajetje Jezero, ki se nahaja v občini Šmarješke Toplice. Vodno zajetje Jezero je ima izjemno pomembno vlogo pri zagotavljanju varne vodooskrbe z vodo velikega dela dolenske regije. Predstavil sem zgodovino vodooskrbe občine Šmarješke Toplice, težave s katerimi se soočajo na Komunalni Novo mesto d.o.o. pri sedanjosti oskrbi območja, ki si napaja iz vodnega zajetja Jezero in kakšne načrte imajo za izboljšave v prihodnje.

Predstavil sem obstoječe stanje na vodnem zajetju Jezero in procese, ki bodo vpeljani na novi vodarni. Opisana sta procesa ultrafiltracije in filtracije z aktivnim ogljem, ki bosta bistveno pripomogla k izboljšavi kakovostnih lastnosti načrpane na vodnem zajetju Jezero.

V nalogi je predstavljena zakonodaja in predpisi na evropskem, državnem in občinskem nivoju, ki se nanašajo na zaščito vodovarstvenih območij in zaščite voda.

V nadaljevanju se drugi del diplomske naloge se navezuje na prvi del z opisom ukrepov kmetijstva, ki je navadno za vodna telesa največji vir hranil, za zmanjševanje oziroma preprečevanje obremenjevanja voda na vodovarstvenih območjih

Izdelal sem tudi izračun obremenitve vodnega zajetja z izpiranjem hranil iz različnih tipov tal napajalnega območja.

Za zaključek naloge sem z informacijami, ki so mi jih pripravili na Komunalni Novo mesto, predstavil načrte, ki jih imajo na Komunalni Novo mesto za izboljšanje kakovostnih in količinskih lastnosti vode.

2 FOSFOR

Odkritje fosforja se pripisuje predvsem Hennigu Brandtu, ki je fosfor prvi pridobil leta 1669 z destilacijo urina. Fosfor se nahaja v zemeljskem površju v različnih oblikah in je zelo zastopan element v okolju, vendar pa ga v naravi ne najdemo v elementarnem stanju, temveč kot spojine oziroma fosfate[1].

Fosfor ima izjemno pomembno vlogo, ki vpliva na vse življenje na zemlji. Je gradnik molekul DNA in nukleotidov, ki omogočajo shranjevanje energije v celicah. Prisoten je v kamninah, zemljinah, vodah, atmosferi v obliki aerosolov in tudi v vseh organizmih. V naravi ga najpogosteje najdemo kot del fosfatnih ionov, ki ga sestavljajo atom fosforja in kisikovi atomi, ki jih imenujemo ortofosfati [1].

Uporabna vrednost fosforja je bila ugotovljena kmalu po odkritju samega elementa, vendar je šele v drugi polovici 20. stoletja prišlo do množičnega povpraševanja po mineralnih gnojilih, kar je vodilo v veliko povečanje produkcije fosfatov[1].

Ker je fosfor esencialen element za vse oblike življenja, se pojavlja vse večja skrb zaradi izrabe fosforjevih rud, ki so poleg reciklaže edini vir fosforja.

Fosfor se uporablja v različnih oblikah in za različne namene, primeri najpogostejše uporabe so [12]:

- koncentrirane fosforne kisline, ki se uporabljajo v kmetijstvu kot gnojilo in dodatek h krmi živalim;
- trinatrijev fosfat se uporablja v čistilnih sredstvih za odstranjevanje vodnega kamna in preprečevanje korozije;
- beli fosfor se uporablja v vojaške namene za zažigalne bombe;
- fosfati se uporabljajo za izdelavo stekel za karbidne svetilke in
- kalcijev fosfat za izdelavo porcelana in pridobivanje mono-kalcijevega fosfata, ki se uporablja v pecilnem prašku, je pa tudi pomembna sestavina pri izdelavi jekla in brona.

2.1 FOSFOR KOT KEMIJSKI ELEMENT

Fosfor je enajsti najbolj zastopan element v zemeljski skorji in ima kemijsko oznako P, njegovo atomsko število je 15, atomska teža fosforja pa je 30,97376g/mol. Odkritih je že več kot 100.000 fosforjevih spojin in te spojine imajo esencialno vlogo v vseh organizmih, hkrati pa so fosforjeve spojine tudi ene izmed najbolj strupenih spojin, ki jih poznamo. Elementarni fosfor najdemo v več alotropnih oblikah [1].

Prva oblika, ki se pridobiva iz fosforjeve rude je beli (ali rumeni) fosfor. Beli fosfor je voskasta bela strupena trdnina, ki po čiščenju postane prozorna in ima značilen neprijeten vonj. Beli fosfor je izjemno reaktivna snov. Posledica visoke reaktivnosti je, da je beli fosfor samovnetljiv na zraku, zato ga je potrebno shranjevati pod vodo, da se prepreči samovžig. Beli fosfor je nekovina, ki ni topna v vodi, je pa topna v ogljikovem disulfidu. Obstaja v dveh različicah, in sicer alfa in beta, ki se ločita ob prehodni temperaturi $-3,8^{\circ}\text{C}$. Beli fosfor se očisti z več dnevnim namakanjem in raztapljanjem v razredčeni spojini H_2SO_4 v temi in pri sobni temperaturi. Nato se ga iz raztopine pridobiva v vakuumu z destilacijo. Beli fosfor se ob izpostavljenosti sončni svetlobi in segrevanju do 250°C spremeni v rdeči fosfor [1].

Beli fosfor se uporablja se predvsem v vojaške namene zaradi hitre vnetljivosti in dolgega gorenja, v industriji pa se ga v največjih količinah uporablja pri izdelavi fosforne kisline, detergentov in umetnih gnojil [1].

Rdeči fosfor je produkt belega fosforja in za razliko od belega fosforja izgubi lastnost žarjenja oziroma oddajanja svetlobe na zraku. Postopek čiščenja, odstranjevanja primesi iz rdečega fosforja poteka tako, da se rdeči fosfor prekuhava 15 minut v destilirani vodi, nato pa se z vrelo vodo izpira primesi. Očiščeni fosfor se nato posuši s segrevanjem do 100°C . Ta oblika fosforja je mnogo stabilnejša od belega fosforja, saj pri tlaku ene atmosfere sublimira pri temperaturi 170°C in pri temperaturi 200°C pride do samovžiga. Kljub stabilnejši obliki fosforja je še vedno potrebna velika previdnost, saj pri gorenju prihaja do razpada rdečega fosforja, pri čemer nastajajo različni oksidi, ki sicer človeku niso zelo nevarni, a je pri izjemno visokih temperaturah eden izmed produktov gorenja beli fosfor, ki pa je zelo strupen. Rdeči fosfor je pri izpustu v vodno okolje zelo škodljiv za vodne organizme in pušča v vodnem telesu dolgotrajne negativne posledice. Najpogostejša uporaba rdečega fosforja je za proizvodnjo vžigalic, pirotehnike, dimnih bomb, itd. [1]

Črni (ali vijolični) fosfor se pridobiva s segrevanjem belega fosforja pod visokim tlakom ali pa z dodajanjem živega srebra za 8 dni. Posledica teh procesov je formacija kristalov črnega fosforja, ki imajo podobno strukturo kot grafit in ima sposobnost prevajanja elektrike. Ker je črni fosfor zelo težko vnetljiv, je primeren za uporabo kot polprevodnik [1].

Najbolj reaktiven je beli fosfor, nato mu sledita še rdeči in črni fosfor, ki velja za najmanj reaktivnega [1].

2.2 BIOLOGIJA FOSFORJA

Fosfor je esencialen element za vsa živa bitja in od njega je odvisna primarna produkcija v vodnih telesih.

Rastline črpajo fosfor, ki ga potrebujejo, preko koreninskega sistema in so navadno v pomanjkanju fosforja oziroma je to hranilo omejujoč dejavnik za rast rastlin in sproža delovanje Liebigovega zakona minimuma. V naravi se pogosto dogaja, da prihaja do pomanjkanja fosforja, zato je njegovo kroženje in ponovna uporaba izjemnega pomena [1].

Organizmi na različne načine pridobivajo fosfor iz okolja. Rastline pridobivajo fosfor iz tal prek koreninskega sistema. Če količina črpanega fosforja ne zadostuje za normalno rast in razvoj rastlin, se kažejo simptomi, kot so: kratka rastna doba, slabo razvit koreninski istem, vijolično obarvani listi rastline. Vsebnost fosforja v rastlinah se giblje med 0,05 in 0,5 % glede na suho snov rastlin. Fosfati so izjemnega pomena za rastline, saj se vgrajujejo v DNK, proteine in ATP[1].

Živali in ljudje zaužijemo fosfor s hrano, ki vsebuje fosfor, in sicer v obliki HPO_4^{2-} ali H_2PO_4^- . Ta se v tankem črevesju vsrkava v kri in se transportira v kosti in tkiva. Fosfor je takoj za kalcijem drugi najpomembnejši mineral v našem telesu. Človeško telo za normalno funkcioniranje potrebuje 1,3g fosforja na dan. Ljudje fosfor iz hrane pridobivamo v obliki fosfatov. Velike količina fosforja so prisotne v hrani, ki vsebuje mleko ali mlečne proizvode, meso, oreščke, čokolado in jajca. Večino fosforja je shranjenega v kosteh, kjer skupaj s kalcijem tvori hidroksiapatit, kateri je ključen za izgradnjo kosti [1].

Fosfor sodeluje pri pomembnih procesih v telesu kot so [1]:

- sproščanje energije pri presnovi;
- delovanje celičnih membran;
- vpliva na zdravje kosti in
- prispeva k ohranjanju zdravih zob.

Pomanjkanje fosforja je pri ljudeh zelo redek pojav zaradi raznovrstne prehrane in dodajanja fosforja v produkte za vsakdanjo uporabo, kot je zobna pasta. Veliko pogosteje prihaja do prevelikih količin fosforja v telesu, kar pa lahko vodi do zmanjšanja koncentracij kalcija, ki vodijo do slabšanja trdnosti skeleta [1].

Za razliko od rastlin in živali lahko mikroorganizmi pridobivajo fosfor iz anorganskih oblik, kot tudi iz organskih virov fosforja. Zaradi sposobnosti te vezave anorganskih oblik fosforja v telesa nekaterih mikroorganizmov se pojavljajo različne ideje o implikaciji teh mikroorganizmov v kmetijstvu. Fosfor je tudi izjemno pomemben v telesih mikroorganizmov, saj ima pomembno vlogo v fiziologiji in biokemiji celic mikroorganizma. Kar tretjino do polovico vsega fosforja v telesu mikroorganizmov najdemo v RNK (ribonukleinski kislini). Posledično imajo mikroorganizmi pomembno vlogo pri globalnem kroženju fosforja [1].

2.3 NARAVNO KROŽENJE FOSFORJA

Fosfor se lahko v naravo sprošča le preko dveh načinov, in sicer z naravnimi geološkimi procesi ali pa z antropogenimi procesi sproščanja oziroma dodajanja fosforja.

Fosfor je zelo pogost element v okolju in je zastopan v sedimentih, prsti, vodi in organizmih, ampak ga ne najdemo v atmosferi v obliki plina. Glavni vir fosforja na zemeljskem površju je mineral apatit. Apatit je mineral, v katerem se nahaja anorganski fosfor, ki pa v taki obliki ni dostopen biološkim sistemom. Da biološki sistemi lahko izkoriščajo apatit kot vir fosforja, se mora najprej anorganski fosfor raztopiti kemično ali pa kot posledica mikrobioloških procesov [1].

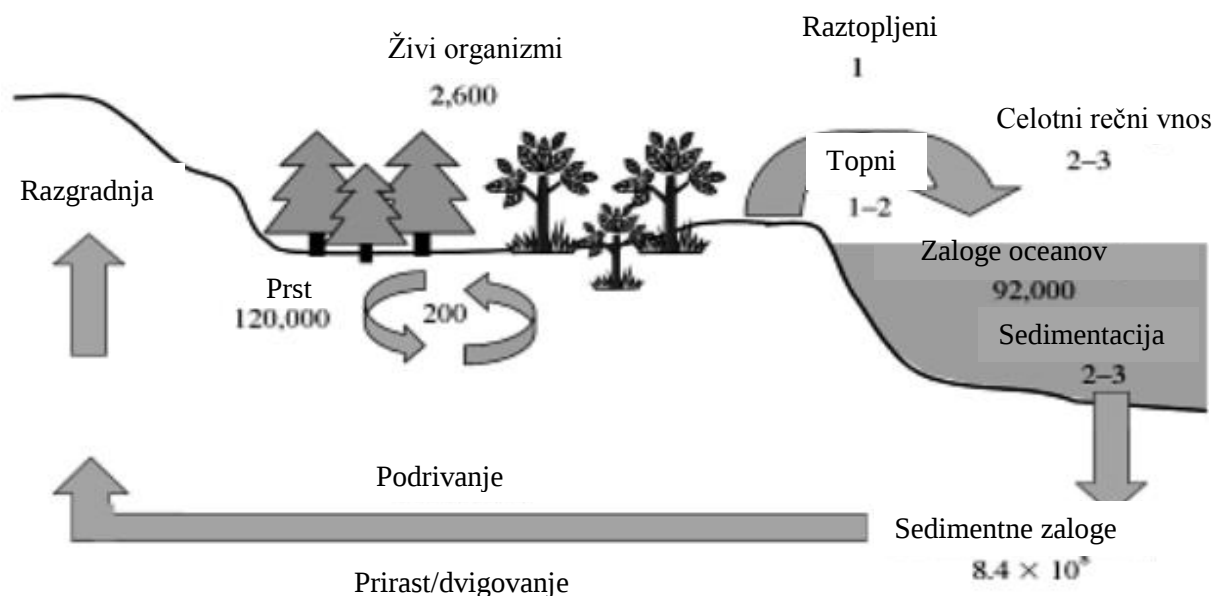
Topni fosfor v vodi in prsti je glavni vir dostopnega fosforja avtotrofnim organizmom, ki le tega vgradijo v svoje telo. Heterotrofni organizmi pa fosfor zaužijejo s prehranjevanjem z avtotrofnimi in heterotrofnimi organizmi [1].

Kljub pogosti prisotnosti fosforja v sedimentih je navadno koncentracija fosforja v kamninah premajhna za ekonomično pridobivanje fosforja. Poznamo dva fosforjeva cikla, in sicer eksogeni ali zunanji cikel in endogeni ali notranji cikel. Zunanji ali eksogeni cikel opisuje transport fosforja na površju zemlje, notranji ali endogeni cikel pa opisuje transport fosforja pod površjem zemlje [1].

V preteklosti, pred antropogenim izrabljanjem mineralnih gnojil, je bilo fosforjevo kroženje ali cikel dokaj enostaven. Eksogeni proces se začne, ko se fosfor sprošča v okolje s preperevanjem sedimentov in izpiranjem fosforja iz njih. Sproščeni fosfor najprej kroži po prsti, nato ga porabijo rastline in mikroorganizmi za rast in razvoj. Ko ljudje ali živali zaužijejo rastline, se fosfor iz njih delno vgradi v njihov skelet, del le tega pa se ga izloči z urinom in blatom, katerega ponovno uporabijo rastline za svojo rast in razvoj [1].

Pred uporabo mineralnih gnojil je obstajalo le gnojenje kmetijskih površin z vračanjem organskih ostankov kmetijskih pridelkov in gnojem hlevskega izvora. Tako se fosfor sprosti nazaj v zemljo, kjer je zopet na voljo rastlinam in mikroorganizmom za uporabo. Fosfor izločen z urinom in blatom živali lahko rastline ponovno uporabijo za svojo rast in razvoj ali pa se le ta izpere s podpovršinskimi

ali površinskimi vodami v vodotoke, kjer je na voljo vodnim rastlinam. Te ga hitro porabijo tako, da praktično le zanemarljiv del fosforja z usedanjem vstopa v endogeni cikel kroženja fosforja, kjer se s tektonskimi premiki preko odzemanja, prirastka in dvigovanja fosfor reciklira v sedimente [1].



Slika 1: Fosforjev cikel brez človeškega vplivanja
Vir: Valsami-Jones, 2004, stran 22

2.3.1 SPROŠČANJE FOSFORJA V OKOLJE

Fosfor je prisoten povsod v naravi, vendar ne kot elementarni fosfor, temveč kot fosfati različnih oblik. Vsebovan je v prsti, kamninah vodah in organizmih. Čeprav je fosfor prisoten v praktično vseh mineralih in organizmih, se fosfor lahko akumulira z določenimi biološkimi in geokemičnimi procesi. V teh procesih se tvorijo zaloge fosforja, ki omogočajo ekonomično izkoriščanje fosforja za zadovoljevanje potreb človeštva. Trenutno je okoli 30 držav na svetu, ki proizvajajo fosfor z izkopavanjem fosforjeve rude [1].

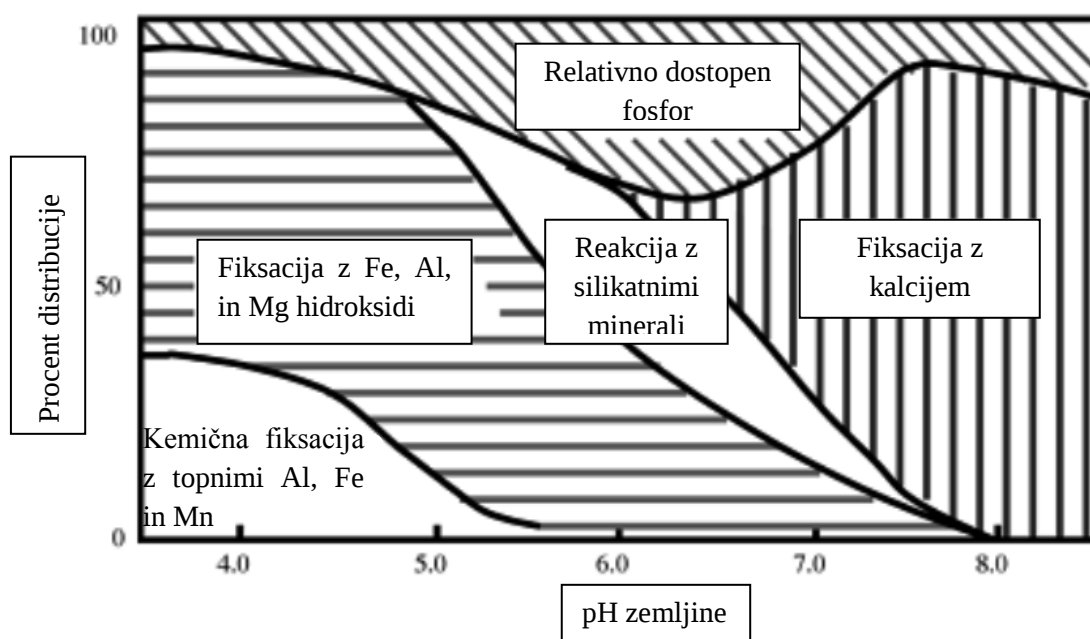
Fosfor se lahko sprošča iz tal naravno s preperevanjem in izpiranjem ali pa kot posledica antropogenih vplivov. Ta dva mehanizma sta edini vir novega fosforja na zemeljskem površju in zaradi tega je fosfor pogosto dejavnik, kateri omejuje rast organizmov, ki povzročajo eutrofikacijo voda [1].

Eutrofikacija voda sicer ni nov pojav, vendar se je pogostost tega pojava in hitrost samega procesa močno povečala z razvojem industrije in kmetijstva, ki sta glavna porabnika in hkrati onesnaževalca okolja s hranili. Posledično se koncentracije hranil, ki povzročajo eutrofikacijo v okolju povečujejo in tako povečujejo onesnaženost voda s hranili.

2.3.2 FOSFOR V ZEMLJINAH

Fosfor se akumulira v zemljinah zaradi naravnega sproščanja mineralov iz sedimentov ter zaradi antropogenega dodajanja mineralnih gnojil v želji po povečevanju kmetijske proizvodnje na enaki kmetijski površini.

Ker je fosfor esencialen element za vse organizme, je ključnega pomena, da nenehno kroži v zemljini, se tako reciklira in zato lahko zemljine razumemo kot rezervoar za fosfor. Pogosto pa manjša prisotnost fosforja oziroma njegovo pomanjkanje omejuje biološko aktivnost. Zato se za potrebe sodobnega kmetijstva fosfor, kot tudi druga hranila, dodaja zemljinam. Fosfor je v zemljinah prisoten v dveh fizičnih oblikah, in sicer v raztopljeni in trdni oziroma kristalni obliki, prav tako pa je lahko fosfor v zemljini v organski ali neorganski obliki. Zelo pomembno vlogo pri dostopnosti fosforja organizmom ima tudi pH tal, ta je namreč najbolj dostopen, ko je pH med 6 in 7. Pri višjem pH je fosfor organizmom težko dostopen zato, ker je vezan na kalcijeve fosfate, pri nižjem pH pa je fosfor vezan na železove, aluminijeve in magnezijeve hidrokside kot prikazuje spodnja slika [1].



Slika 2: Geokemija in mineralogija fosforja
Vir: Valsami-Jones, 2004, stran 25

Fosfor se akumulira v zgornjih 20 centimetrih zemljine zaradi kemijskih in bioloških procesov, kot tudi zaradi dodajanja fosforja zemljinam, ki so posledica izpustov ali gnojenja v kmetijstvu [1].

V večini prsti je koncentracija fosforja v talni raztopini med 0,01 do 0,2 mg/l, kar zadovoljuje večino potreb rastlin pomembnih za kmetijsko panogo [2].

2.3.3 FOSFOR V SEDIMENTIH

Sproščanje fosforja iz sedimentov je edini naravni vir fosforja v okolju.

Obnašanje fosforja v sedimentih oziroma kamninah je podobno obnašanju fosforja v zemljinah, gledano iz vidika vpliva geologije na njegovo distribucijo v tleh. Fosforjev cikel, ki vodi do nastanka sedimentov z vsebnostjo fosforja se začne z izpiranjem fosforja v raztopljeni ali neraztopljeni obliki. V morskem okolju, v katerega se fosfor izpira iz kopnega preko potokov in rek v morje, se fosfor, ki ni porabljen v fottični coni, postopoma useda v globine [1].

Vendar pa usedajoči fosfor ponovno dvigajo morski tokovi in tako ponovno omogočajo njegovo uporabo v fottični coni. Posledično se na morsko dno usede le del (okoli 5 %) izpranega fosforja, ki ni spremenil oblike in ni bil dostopen organizmom za ponovno uporabo. Podoben proces se odvija v jezerih, ki se kaže v 'staranju' jezer. Sedimenti v rekah lahko tudi vsebujejo veliko fosforja, še posebej, če prihaja do izpustov zaradi antropogenih dejavnosti. Usedli fosfor se odstrani iz vodnega okolja tako, da se izloči v obliki sedimentov [1].

V vodnem okolju je koncentracija fosforja v sedimentih odvisna od globine in starosti vodnega okolja. Koncentracije fosforja v sedimentih, ki ležijo globlje, so mnogo nižje od tistih višje. Ti sedimenti lahko preko tektonskih dejavnosti in endogenega cikla preidejo v območja, kjer jih lahko organizmi zopet porabijo [1].

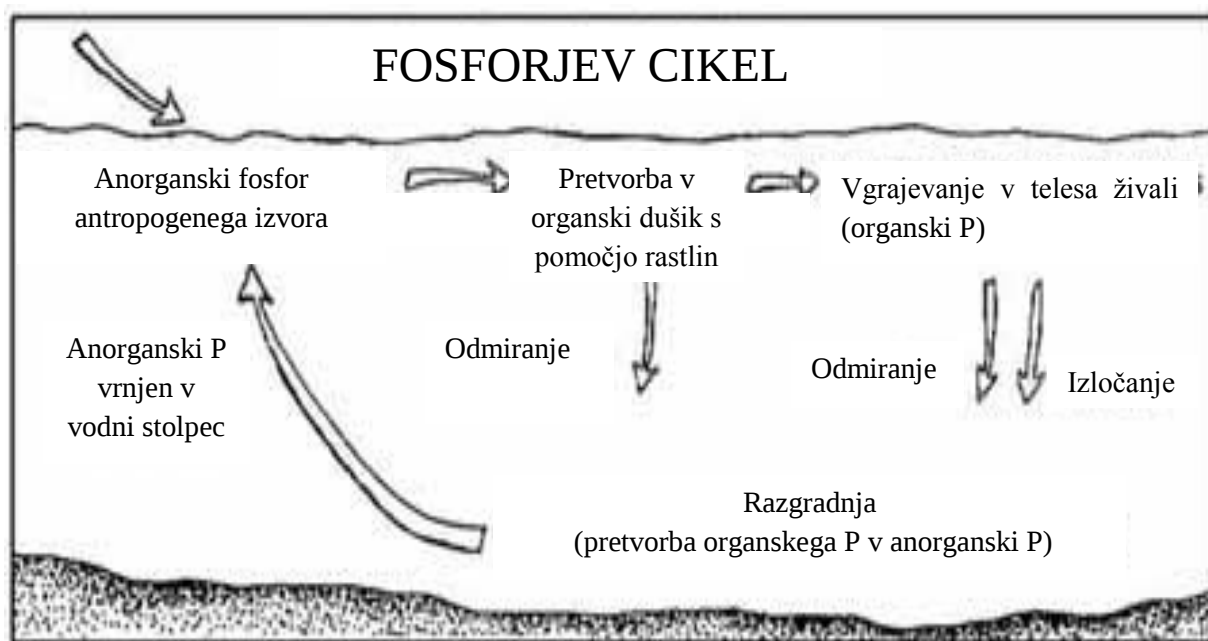
2.3.4 FOSFOR V VODAH

Voda in vodna okolja so edino naravno okolje, kjer se zaradi prisotnosti reaktivnega fosforja kažejo negativne posledice v obliki evtrofikacije voda.

Sproščanje fosforja iz zemljin in sedimentov lahko vpliva na kvaliteto voda, saj sproščanje fosforja v vodo pripomore k evtrofikaciji. Voda je tisti element, ki ima funkcijo transporta fosforja iz sedimentov matičnih kamnin do mesta usedanja fosforja na dno vodnih teles in tako predstavlja pomemben in nenadomestljiv del transportnih sredstev za kroženje fosforja v naravi. Transport fosforja z vodo poteka tako v raztopljeni kot v neraztopljeni obliki v površinskih vodah in tudi podpovršinskih vodah. Raztopljeni fosfor v vodah predstavlja sicer le majhen delež celotnega fosforja v vodi, vendar pa je raztopljeni fosfor najbolj reaktiven in najlažje dostopen mikroorganizmom in zato posledično najbolj odgovoren za pojav evtrofikacije [1].

Fosfor se v hidrosferi nahaja kot ortofosfat, polifosfat ali organsko vezan fosfor. Neraztopljeni fosfor v vodi, predstavlja kar 95% celotnega fosforja v vodi. Del tega fosforja je nereaktiven, in če je delno topen, se lahko veže na druge mineralne delce. Del partikularnega fosforja se iz kontinentalnega okolja izpere v oceane, ampak se pri potovanju v vodotokih lahko partikularni fosfor ponovno aktivira zaradi redoks reakcij in zaradi sprememb v slanosti voda. Tako pride do oceanov okoli 25% izpranega, biološko dostopnega fosforja, ki pa ga v večini primerov hitro porabijo mikroorganizmi v fotični coni voda. Zato prihaja v zgornjih plasteh voda zaradi velike porabe fosforja s strani organizmov do pomanjkanja fosforja, v spodnjih plasteh hidrosfere, kjer mikroorganizmi ne porabijo fosforja, pa do prenasajenja z njim. Posledično koncentracije fosforja v globini voda naraščajo s starostjo voda. Tako je starejši Tihi ocean v globinah bolj bogat s fosforjem kot mlajši Atlantski ocean [1].

Deževnica vsebuje razmeroma malo raztopljenega fosforja. Deževnica prispeva k onesnaženju vodotokov s fosforjem z izpiranjem kopnega in z erozijo zemljin v vodotoke. Posledično so vodotoki in reke glavni vir onesnaženja oceanov, ki prispevajo med 21 do 39 milijonov ton fosforja letno na svetovni ravni. Sproščeni fosfor se v večini porabi za rast fitoplanktona, preostanek pa se usede na oceansko dno in tako postane del endogenega fosforjevega ciklusa [1].



Slika 3: Fosforjev vodni cikel (EPA US Environmental Protection Agency),
Vir: <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms56.cfm>

2.4 POVEČANO IZLOČANJE FOSFORJA V OKOLJE ZARADI ANTROPOGENIH DEJAVNOSTI

Izločanje fosforja iz kopenskega v vodno okolje je bilo pred antropogenim izkoriščanjem fosforjeve rude za potrebe industrije in kmetijstva minimalno. Saj je bil edini vir fosforja, ki je vstopal iz endogenega v eksogeni cikel, fosfor, ki se je izločil naravno iz sedimentov in zemljin v vodno okolje. [1].

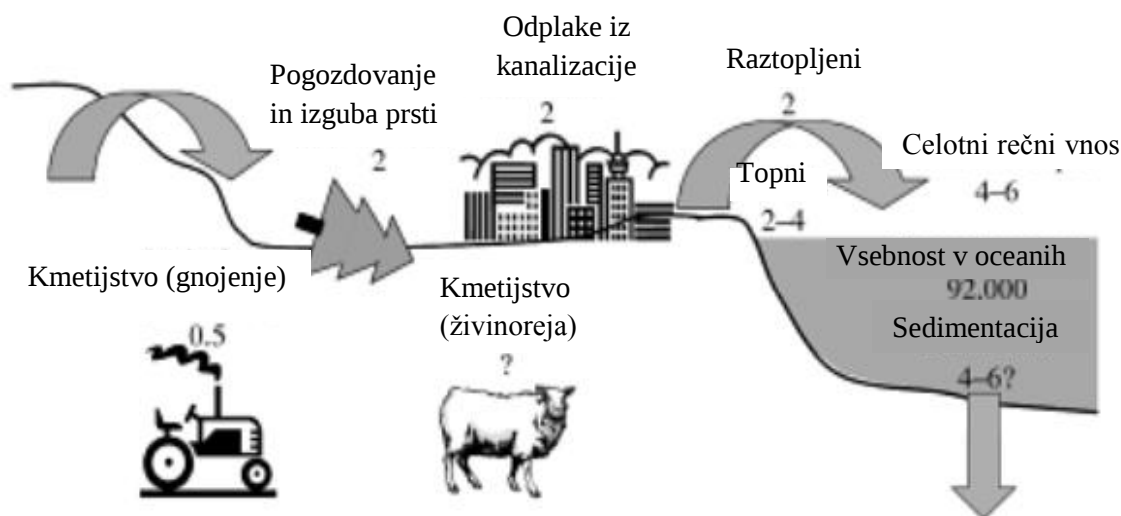
Pred človekovim izkoriščanjem fosforjeve rude so rastline in mikroorganizmi trpeli veliko pomanjkanje fosforja in zato je bil fosfor pogosto dejavnik, ki je omejeval primarno produkcijo rastlin in mikroorganizmov. Z ugotovitvijo različnih možnosti uporabe fosforja v industriji in kmetijstvu se je poraba fosforja močno povečala. Povečana uporaba fosforja je imela tako pozitivne učinke v kmetijstvu v smislu pridelave hrane, da se je posledično pričela rast svetovnega prebivalstva [1].

In tako se je začel začaran krog, saj se je z rastjo populacije potreba po hrani še naprej povečevala in tako tudi potreba po mineralnih gnojilih. Ta so vsebovala hranila, ki so bila v pomanjkanju v tleh. V večini primerov je bil med temi hranili tudi fosfor [1].

V želji po večjih pridelkih prihaja v mnogih primerih do prekomernega gnojenja in nasičenja s hranili, ki jih rastline ne morejo pravočasno porabiti in zato prihaja do izpiranja le-teh. Drugi porabnik in onesnaževalec s fosfati so živali, katerim se v krmo dodaja fosfate za boljšo rast živali in njihovo večjo produktivnost [1].

Izločke živali se uporablja kot organsko gnojilo, ki imajo podobno vlogo v kmetijstvu kot mineralna gnojila, le da organska gnojila živalskega izvora vsebujejo večje število različnih hranil, ampak z manjšo koncentracijo kot umetna gnojila. Kljub manjši koncentraciji hranil v organskih gnojilih kot v mineralnih gnojilih še vedno prihaja do onesnaženja hidrosfere s hranili [1].

Kot tretji večji onesnaževalec pa lahko štejemo izpuste iz kanalizacije in čistilnih naprav brez terciarne stopnje čiščenja. V odpadnih vodah so glavni vir fosfatov človeški izločki in ostanki detergentov [1].

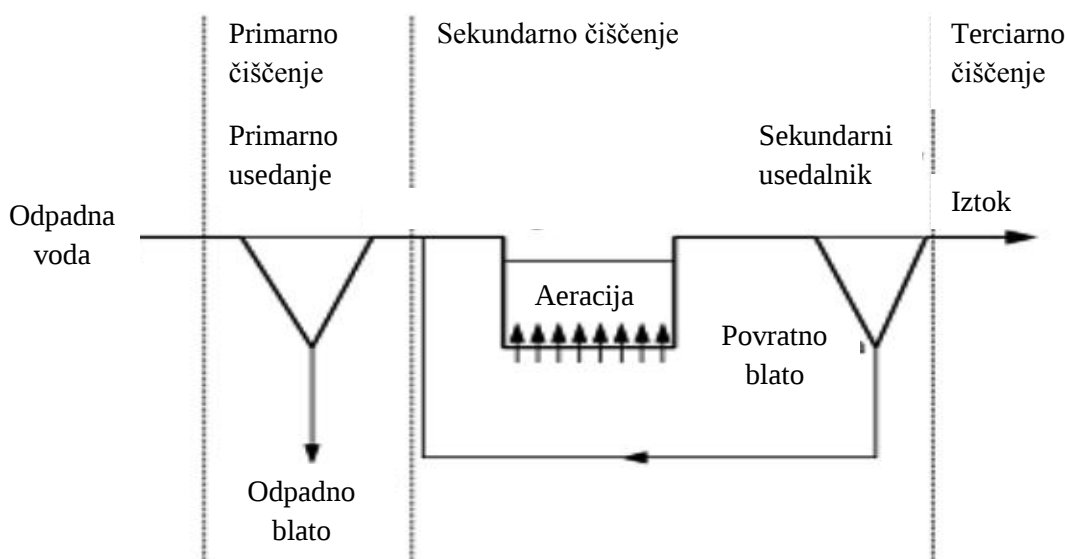


Slika 4: Antropogeni vpliv na fosforjev ciklus
Vir: Valsami-Jones, 2004, stran 23

2.5 ODSTRANJEVANJE FOSFORJA

Lastnosti odpadne vode iz gospodinjstev se razlikujejo glede na države, saj so tudi navade glede uporabe vode različne. Čiščenje odpadne vode na čistilnih napravah poteka v štirih fazah, in sicer [1]:

1. predhodno čiščenje, kjer se odstranjujejo večji delci kot so kosi lesa, plavje;
2. primarno čiščenje s sedimentacijo ali plavljenjem;
3. sekundarno čiščenje ali izločanje biorazgradljivih snovi in
4. terciarno čiščenje ali izločanje hranil kot sta fosfor in dušik.



Slika 5: Stopnje čiščenja odpadne vode na čistilni napravi
Vir: Valsami-Jones, 2004, stran 250

V tem poglavju se bom posvetil terciarnemu čiščenju, in sicer odstranjevanju fosforja iz odpadnih voda. Razvitih je bilo več tehnologij odstranjevanja fosforja iz komunalnih, industrijskih in kmetijskih odpadnih voda. Pri odstranjevanju fosforja iz odpadnih voda se uporabljata predvsem dva načina odstranjevanja, to sta kemično obarjanje fosfatov s kovinskimi ioni in biološko odstranjevanje z mikroorganizmi. Izbira tehnologije odstranjevanja je odvisna predvsem od želene končne stopnje koncentracije fosforja v očiščeni vodi.

Za odstranjevanje fosforja iz odpadnih voda je najprej potrebno fosfor, raztopljen v vodi, spremeniti v obliko, ki omogoča odstranjevanje fosforja iz vode. Fosfati se lahko vgradijo v mikroorganizme ali pa se vežejo na kemijske snovi [1].

V primeru, ko je zahtevana visoko stopnja čiščenja, se lahko uporabita obe tehnologiji. Biološki proces odstrani glavnino fosforja, medtem ko se proces kemičnega obarjanja, imenovan poliranje vode, uporabi za odstranjevanje preostale koncentracije fosforja [1].

2.6 KEMIČNO ODSTRANJEVANJE FOSFORJA

V odpadni vodi najdemo fosfor v treh oblikah, in sicer v organsko vezanem fosforju, polifosfatih in ortofosfatih. Organsko vezan fosfor se iz odpadne vode izloči z usedanjem v usedalniku. Polifosfate, ki so v raztopljeni obliki, morajo v biološkem procesu mikroorganizmi spremeniti v ortofosfate, katere je mogoče z dodajanjem koagulantov spremeniti v trdno obliko [3].

Za kemično odstranjevanje fosforja iz odpadnih voda je ključnega pomena proces, ki se imenuje obarjanje. Kemijsko obarjanje fosfatov v odpadni vodi je zanesljiva metoda za obdelavo z fosforjem onesnažene odpadne vode [1].

Obarjanje je kemijski proces pri katerem se iz dveh raztopin izloči ali obori trdna snov, ki jo je možno s procesi filtracije izločiti iz spojine. Obarjanje fosfatov pa ne omogoča samo odstranjevanje fosfatov, ampak tudi njihovo ponovno uporabo (predvsem v kmetijstvu) [1].

Obarjanje soli poteka v dveh fazah, v tvorbi jeder in rasti kristalov. Da steče proces obarjanja, je potrebno postopno povečevati koncentracijo snovi v raztopini, da pride do prenasičenja. To stanje lahko dosežemo na različne načine: povečevanje temperature, povečevanje pH, mešanje raztopin, izhlapevanje in dodajanje soli. V primeru dodajanja kovinskih soli nastanejo oborine, kar pomeni, da bosta tudi skupna masa in volumen blata po končanem čiščenju na čistilni napravi večja [1].

2.6.1 ODSTRANJEVANJE FOSFORJA S POMOČJO KOVINSKIH SOLI

Kemično obarjanje ali koagulacija se najpogosteje izvaja z dodajanjem dvo ali tri-valentnih kovinskih ionov ali apna, kar tvori oborino malo topnega fosforja. Načeloma se soli lahko dodajajo v različnih stopnjah čiščenja [1]:

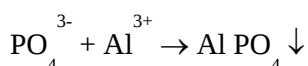
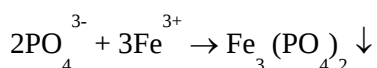
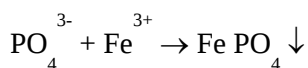
- pred primarno stopnjo čiščenja,
- pred sekundarno stopnjo čiščenja ali
- pred terciarno stopnjo čiščenja.

Fosfatno usedanje je doseženo z dodajanjem ene od najpogostejših treh uporabljenih kovin. Te so železo (Fe^{2+} ali Fe^{3+}) in aluminij (Al^{3+}), uporabljajo pa se tudi druga oborila kot sta kalcij (Ca^{2+}) in apno, ki sta prav tako uspešna pri odstranjevanju fosforja, vendar je potrebna mnogo večja količina teh sredstev za obarjanje za dosego enakega učinka [1].

Kovinske soli se lahko uporablja pri čiščenju različnih odpadnih voda, kot so komunalne, industrijske in poljedelske.

Pri kemičnem odstranjevanju fosforja s kovinskimi solmi iz odpadnih voda se kovinske soli za obarjanje fosfatov lahko dodaja na različnih stopnjah čiščenja. Soli se lahko dodajajo pred primarnim ali sekundarnim usedalnikom in v procesu terciarnega čiščenja. Pomembno je, da se soli dodajajo dovolj časa pred procesom usedanja, da lahko reakcije potečejo do konca, da se fosfati oborijo in da se nato te oborine izločijo iz vode skupaj z blatom. Kasneje se lahko produkti (železovi, aluminijevi ali kalcijevi fosfati) izločijo iz blata in so primerni za ponovno uporabo. Odstranjevanje fosforja iz odpadnih voda z dodajanjem kovinskih soli daje dobre rezultate, a je potrebno vzeti v obzir, da se na ta način v odpadno vodo dozirajo velike količine kovinskih ionov, ki imajo lahko negativne vplive na mikrobiološke procese dolvodno od čistilne naprave [1].

Kemično obarjanje fosfatov:



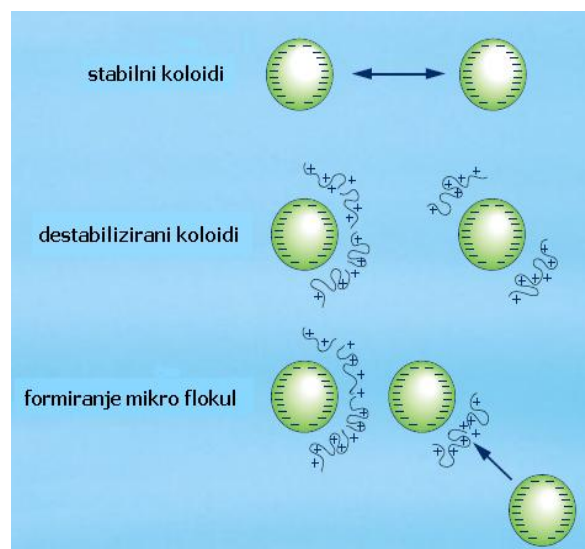
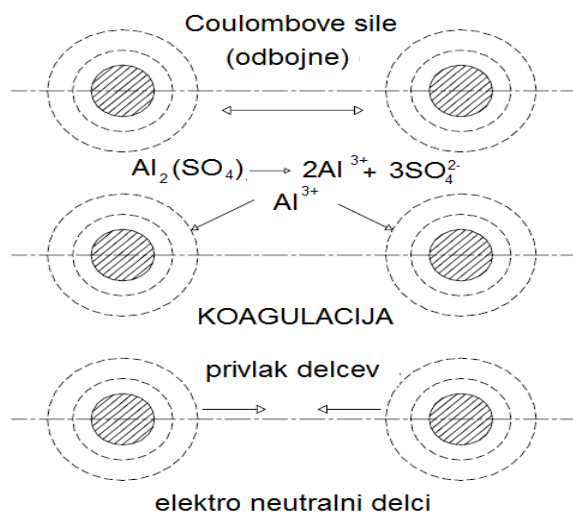
Kemična sredstva za odstranjevanje fosforja na čistilnih napravah:

- železov klorid (FeCl_2 ali FeCl_3)
- železov klorid sulfat (FeClSO_4)
- železov sulfat / osnovna (FeSO_4)
- aluminijev sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)
- natrijev aluminat ($\text{NaAl}(\text{OH})_4$)
- apneno mleko ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Flokulacija:

Ob prisotnosti železovih in aluminijevih soli se pojavi v motni vodi flokulacija. Ta postopek se pogosto uporablja pri čiščenju motne vode za pripravo pitne vode. Flokulacija je učinkovita, če so delci površinsko nabiti. Flokulant je običajno vodo topna močno polarna snov, ki ima nasprotni naboj od delcev. Površinski naboji delcev so lahko zaradi različnih osnovnih mehanizmov. V motni vodi so navadno prisotni koloidni delci gline, huminske kisline, biomasa, itd.

Sposobnost vezanja različnih nečistoč iz motne vode v flokule se navadno ocenjuje z merjenjem zeta potenciala.



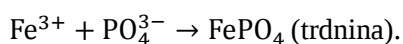
Shema 1: Proces koagulacije in flokulacije

2.6.1.1 ŽELEZOVE SOLI

Železove soli so pogosto uporabljene za obarjanje fosforja v odpadnih vodah. Soli imajo lastnost, da povzročajo korozijo na izpostavljenih površinah, kalnost in obarvanost vode. Trivalentne soli vsebujejo manj kovinskih snovi, zato je tudi stranskih učinkov na vodo manj kot pri dvovalentnih soleh. Cena trivalentnih soli pa je občutno višja od dvovalentnih, pri katerih je glavni vpliv na ceno razdalja za dostavo soli. Optimalni pH za najbolj učinkovito delovanje železovih³⁺ soli je med 4,5 in 5, za optimalno delovanje železovih²⁺ soli pa je pH med 7 in 8. Oba železova iona se lahko uporabljata v obliki klorida ali sulfata [1].

Oborine, ki nastanejo pri dodajanju železovih soli, se izločijo iz vode s procesom ločevanja snovi, kot so sedimentacija, flotacija in filtracija.

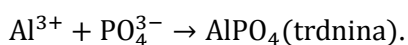
Kemični zapis odstranjevanja fosforja z železovim kloridom [3]:



2.6.1.2 ALUMINIJEVE SOLI

Aluminijeve soli (Al^{3+}) se obnašajo podobno kot železove (Fe^{3+}), le da je optimalno delovanje aluminijeve soli v nekoliko višjemu pH kot pri železovi (Fe^{3+}) soli. Uporaba aluminijevih soli je mnogo slabše raziskana kot pa uporaba železovih soli, zato se še vedno pojavljajo dvomi o izbiri med železovimi in aluminijevimi solmi. Raziskave so pokazale, da mora biti količina dodane aluminijeve soli večja od količine železove soli za enako količino obarjenega fosforja, vendar pa pri dodajanju aluminijeve soli ne prihaja do motnosti kot pri železovih soleh. Aluminijeve soli, ki se dodajajo odpadni vodi za odstranjevanje fosforja, vsebujejo aluminijev sulfat in natrijev aluminat. Pogosteje se pri odstranjevanju fosforja iz odpadnih voda uporablja aluminijev sulfat, predvsem zaradi nižje cene, a njegovo dodajanje znižuje alkalnost, kar lahko predstavlja problem za biološke sisteme v vodah, ki so bile že pred čiščenjem alkalne [1].

Kemični zapis odstranjevanja fosforja z aluminijevim sulfatom [3]:



2.6.1.3 ODSTRANJEVANJE FOSFORJA Z APNOM

Apno se dozira v procesu odstranjevanja fosforja iz vode v primarni usedalnik ali pa v procesu terciarnega čiščenja. Apno se uporablja v procesih, kjer želimo doseči zelo nizko koncentracijo fosforja v vodi. Za doseg tega cilja so potrebne velike količine apna, česar posledica je velika količina usedlega blata. Ker so potrebne velike količine apna, v primerjavi s kovinskimi solmi, za doseganje zelenih rezultatov in ker posledično povzroča večje količine blata po končanem čiščenju, ki ga je potrebno redno odstranjevati, je ta proces navadno neekonomičen. Potrebna količina apna za obarjanje kalcijevega fosfata je določena s kislostjo odpadne vode [1].

2.7 BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE FOSFORJA

Spoznanje, da je fosfor mogoče odstranjevati z mikroorganizmi, sega v leto 1955, ko je Greenberg ugotovil, da ima pod določenimi pogoji aktivno blato sposobnost absorbirati presežke fosfatov, česar posledica je rast mikrobioloških organizmov [1].

V kasnejših letih so različni raziskovalci razvili biološki proces odstranjevanja hranil iz odpadnih voda do te mere, da je biološki postopek postal alternativa kemijskemu obarjanju fosforja z imenom EBPR (Enhanced Biological Phosphate Removal oziroma napredni biološki postopek odstranjevanja fosforja) [1].

Biološko odstranjevanje fosforja iz odpadnih voda po EBPR na čistilnih napravah temelji na izpostavljanju aktivnega blata izmenični izpostavljenosti kisiku in odsotnosti kisika. Odstranjevanje fosforja je narejeno stopenjsko na podlagi modifikacij klasičnih čistilnih sistemov. Rezultat teh različnih stopenj prisotnosti kisika pa je rast mikroorganizmov (PAO - Phosphate Accumulating Organisms), ki akumulirajo večje količine fosforja kot ga potrebujejo za lastno rast in razvoj [1].

Pri biološkem odstranjevanju fosforja se uporabljajo posebni mikroorganizmi, ki so sposobni v svoje telo vezati velike količine fosforja. Ti organizmi se s kratico imenujejo PAO, kar pomeni Phosphate Accumulating Organisms [14]. Raziskave kažejo, da ti mikroorganizmi izvirajo predvsem iz skupin *acinetobacter* in *moraxella* [1].

Te različne stopnje prisotnosti kisika razdelimo lahko na naslednje cone [13]:

- aerobna (oksična) cona omogoča normalno delovanje mikroorganizmov;
- anoksična cona, ki vsebuje manj kot 0,5mg/l raztopljenega kisika in
- anaerobna cona, ki ima edini vir kisika iz organske snovi, ne sme pa biti raztopljenega kisika v vodi.

Obstaja več tehnologij biološkega odstranjevanja na čistilnih napravah, najpogosteje uporabljeni procesi so: Phostrip, UCT, Bardenpho, EASC in še mnogi drugi [13].

Biološko odstranjevanje fosforja deluje na način, da v različnih oksičnih razmerah mikroorganizmi v blatu izpustijo ali odvzamejo velike količine fosforja. V prvi fazi so vključeni mikroorganizmi, ki v anoksičnih razmerah izločajo fosfor in s tem ustvarijo koncentrirano fosforjevo raztopino. V naslednji aerobni fazi pa mikroorganizmi akumulirajo v svoje telo večino fosfatov, prisotnih v vodi. Ko se s procesom odstranjevanja blata odstranijo mikroorganizmi v blatu, se z mikroorganizmi iz vode odstranijo tudi fosfati [1].

2.8 PRIHODNOST FOSFORJA

V družbi, ki je trajnostno naravnana, se končni oziroma neobnovljivi viri nadomeščajo z obnovljivimi viri. Kjer pa to ni mogoče, je potrebno vire uporabljati na način, da prihaja do največjega možnega izkoristka vira. To se dosega z reciklažo, ponovno uporabo in ponovnim pridobivanjem snovi neobnovljivega vira iz odpadnih novih, ki nastanejo v postopku predelave. Evropski parlament je izdal uredbo, ki prepoveduje uporabo fosforja in fosforjevih spojin v detergentih za pranje perila v gospodinjstvih [4].

Slovenija do sedaj ni imela predpisov, ki bi omejevali vsebnost fosfatov v detergentih. Po razpoložljivih podatkih monitoringa površinskih vod pri nas je vsebnost fosfatov v rekah višja od evropskega povprečja, izstopa pa tudi v umetnih zadrževalnikih. Podatki kažejo, da je eutrofikacija problem predvsem v počasnih in stoječih vodah. Ob tem je sicer treba upoštevati, da so detergenti le eden od antropogenih izvorov fosforja v naravi, precej večji vnos povzročajo fekalni odpadki in kmetijstvo [4].

Fosfor je enajsti najpogostejši element v zemeljski skorji, vendar so rezerve fosforjeve rude neenakomerno razporejene po zemeljski litosferi. Letno se iz 140 milijonov ton fosforjeve rude pridobi okoli 20 milijonov ton fosforja. Čeprav se fosfor uporablja v zelo veliko različnih namenov, pa se 80 % fosforja porabi za proizvodnjo mineralnih gnojil [1].

Fosfor je neobnovljiv vir, kar pomeni, da je njegova količina omejena in tudi esencialen, nenadomestljiv makroelement. Ocene zalog glede na porabo močno nihajo med 100 in tudi do tisoč let ob minimalni izrabi fosforjeve rude in maksimalni reciklaži fosforja. Zato prihaja do zaskrbljenosti, kako ravnati, da bi vire fosforja ohranili za čim dlje. Odpadki, blato iz čistilnih naprav in stranski produkti iz industrije z vsebnostjo fosforja so pogosto odloženi v okolje ali pa izpuščeni v vode, kar v trajnostno naravnani družbi ni sprejemljivo. Zato je potrebno ta fosfor pridobiti nazaj in ga reciklirati pred izpustom v okolje [1].

Obstaja veliko različnih načinov pridobitve fosforja za ponovno uporabo, ampak je izvajanje teh načinov reciklaže bolj izjema kot pravilo. V zvezi z reciklažo v industriji fosforja obstajajo zadržki kot možnosti, povezane s ponovno uporabo fosforja. Zadržki se pojavljajo predvsem v zvezi z ekonomsko upravičenostjo in s tehničnimi nezmožnostmi [1].

Navadno se v javnosti odraža podpora do reciklaže materialov, vendar se pojavijo zadržki, ko naj bi bil fosfor recikliran iz odpadne vode in uporabljen za proizvodnjo hrane ali za ostale proizvode, ki so neposredno v stiku z ljudmi [1].

Poleg kmetijstva, ki ima ogromen potencial za reciklažo in ponovno uporabo fosforja ima prav tako velik potencial sama industrija fosforja. Zaradi slabega prizvoka in zadržanosti javnosti do uporabe

mineralnih dodatkov neznanega izvora fosforna industrija ne misli opustiti fosforjeve rude kot svojega vira za proizvodnjo. Varčevanje s fosforjem se izvaja tudi pri detergentih, saj se fosfor v detergentih nadomešča z drugimi snovmi [1].

3 DUŠIK

Dušik je element, ki ima kemično oznako N in atomsko število 7. V atmosferi je med plini daleč najbolj zastopan, saj ga je v zemeljskem ozračju okoli 78 %. V okolju se dušik nahaja v različnih oblikah. Najbolj je zastopan v atmosferi, v kateri se nahaja v dvoatomski obliki (N_2). Dušik je pri sobni temperaturi nereaktiven in brezbarven plin, ki nima okusa in vonja [18].

Njegova najpogostejša raba je pri pridobivanju amonijaka (NH_3) s Harber-Boschevim procesom. Ta proces vezave dušika iz atmosfere je izjemnega pomena pri proizvodnji hrane, saj naj bi okoli polovica svetovne populacije bilo odvisno od hrane, ki je proizvedena zaradi tega odkritja. Za ta znanstveni dosežek je Fritz Harber tudi prejel Nobelovo nagrado iz kemije. Amonijak, pridobljen s Harber-Boschevim procesom, se najpogosteje uporablja za izdelavo mineralnih gnojil in dušikove kisline [5].

V industriji se dušik uporablja za vzpostavitev inertne atmosfere v rezervoarjih eksplozivnih in visoko vnetljivih snovi, med izdelavo tranzistorjev, diod in integriranih vezij, uporablja pa se tudi pri proizvodnji nerjavečega jekla. Dušik kondenzira pri $-196^{\circ}C$ in preide v tekoče stanje ter se v taki obliki uporablja kot hladilno sredstvo [18].

Dušik je osnovni gradnik vseh aminokislin, nukleinskih kislin in proteinov, je tudi eden od glavnih gradnikov DNK in RNK ter zato bistven element za rast in razmnoževanje organizmov. Večina organizmov ga kljub veliki količini v ozračju ni sposobna vezati iz atmosfere [6].

Antropogene dejavnosti, kot so kmetijstvo, izraba fosilnih goriv in industrija, so močno vplivale na globalni cikel kroženja dušika. Zaradi razvoja industrije, ki je omogočil vezavo dušika iz atmosfere, se je njegova dostopnost in posledično poraba močno povečala. Kljub pozitivnim učinkom v kmetijski proizvodnji zaradi vnosa dušika v zemljo kot enega izmed najpomembnejših hranil, so vse bolj vidne negativne posledice, predvsem v obliki eutrofikacije, ki jo to početje povzroča [5].

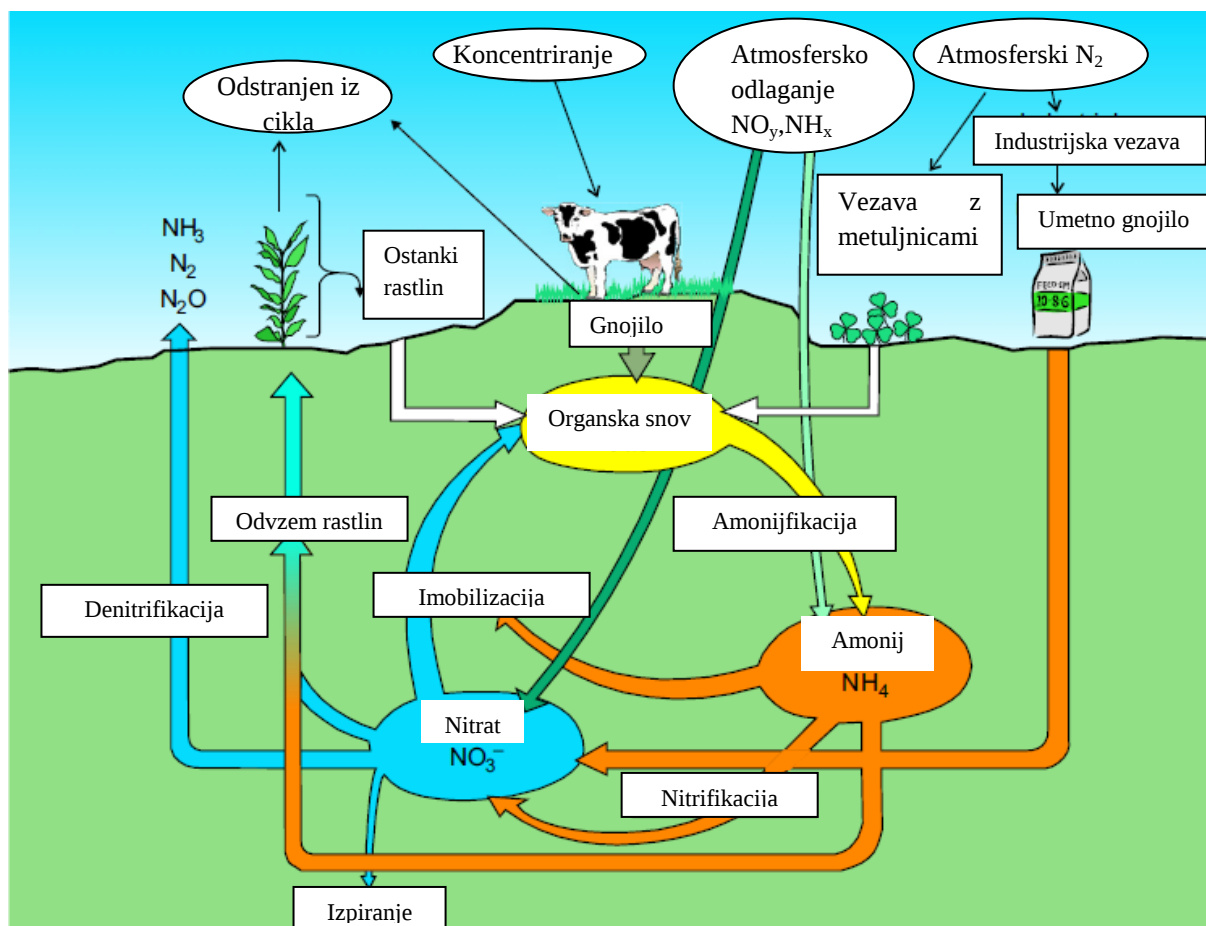
Te negativne posledice se v priobalnih delih morja, rekah in jezerih kažejo kot povečana rast mikroorganizmov in višjih rastlin, kar ima vpliv na celotno prehranjevalno verigo. Temu pa lahko sledi pomanjkanje kisika v vodi, kar vodi do pogina rib in zmanjšanja raznovrstnosti flore in favne [6].

3.1 KROŽENJE DUŠIKA

Dušikov cikel je eden najpomembnejših biokemičnih ciklusov v naravi. Kroženje dušika je proces, pri katerem dušik v različnih oblikah nenehno kroži med živalmi, rastlinami, prstjo, vodo in med kroženjem spreminja obliko.

Čeprav je dušik N_2 glavni gradnik atmosfere, je v taki obliki za večino organizmov neuporaben. Da bi dušik postal za organizme uporaben, mora najprej spremeniti obliko v amonijeve ali nitratne ione [7].

Rastline preko korenin iz prsti črpajo dušik v obliki amonija ali nitritov in ga vgrajujejo v svoje beljakovine. Rastline odmrejo ali pa jih zaužijejo živali, ki dušik izločijo z blatom, predvsem pa sečnino. Blato, sečnina, odmrle živali in rastline so vir organskega dušika, ki ga mikroorganizmi nato preko procesov amonifikacije in nitrifikacije pretvorijo v amonij, nitrit in nitrat [7].



Slika 6: Kroženje dušika

Vir: Reduced nitrogen in ecology and the environment, 2007, str.142

V procesu kroženja dušika sta dva procesa spremembe oblike dušika, ki sta izjemnega pomena za rastline, saj omogočata rastlinam dostop do dušika. Omenjena procesa sta amonifikacija in nitrifikacija. Proces nitrifikacije je razdeljen na dva dela, in sicer nitrifikacija amonija v nitrit in nitrifikacija nitrita v nitrat [7].

Kljub veliki aktivnosti dušikovega cikla in količini dušika, ki spreminja obliko, pogosto prihaja do pomanjkanja dušika v obliki, ki ga rastline lahko uporabijo. Ta problem se pojavlja predvsem v kmetijstvu, kjer zaradi pomanjkanja rastlinam dostopnega dušika prihaja do manjše proizvodnje, kot bi le-ta bila ob optimalni količini dostopnega dušika v tleh.

3.1.1 DUŠIK V TLEH

Pretvorbe in z njimi povezane kemijske spremembe oblik dušika potekajo povsod v okolju. Dušik je izjemno zastopan v atmosferi, hidrosferi in litosferi. Primarni vir dušika v tleh je atmosfera, ki omogoča kemijske procese v tleh. Ti procesi imajo zelo pomemben vpliv na količino dostopnega dušika rastlinam in vključujejo prehode med organskimi in anorganskimi oblikami dušika. Pomemben vir dušika pa je tudi kmetijstvo, saj je dodajanje dušika nujno za omogočanje maksimalne kmetijske proizvodnje.

Celoten proces kroženja dušika lahko opišemo s štirimi glavnimi procesi: asimilacija ali vezava, mineralizacija ali amonifikacija, nitrifikacija, in denitrifikacija [9].

Vezave ali fiksacije dušika iz atmosfere v svoje celice so sposobni le redki organizmi, kot so bakterije *Rizotium*, ki živijo v sožitju z metuljnicami na njihovem koreninskem sistemu, določene prostoživeče bakterije, cianobakterije in epifitski lišaji. Rastline potrebujejo fiksiran dušik za sintezo organskih spojin živih tkiv. Ko rastline odmrejo, dušik iz odmrlih tkiv ni neposredno na voljo drugim rastlinam, zato se mora spremeniti v anorgansko obliko v procesu, ki ga imenujemo mineralizacija ali amonifikacija [9].

Mineralizacija ali amonifikacija je proces, pri kateri iz organske oblike dušika nastane anorganska oblika dušika. Vir organskega dušika so proteini odmrlih rastlin, živali in bakterij. Ker v večini primerov pretvorbe nastane amonij, ki se izloča v vodo, se ta proces imenuje tudi amonifikacija. Gonilna sila za mineralizacijo dušika je mineralizacija ogljika. Mikroorganizmi razgradijo organsko snov na elemente, med katerimi je tudi dušik. V komunalni odpadni vodi so glavni vir dušika beljakovine iz človeškega metabolizma. V sveži komunalni vodi je okoli 40 % v anorganski obliki in okoli 60 % v organski obliki. Organski dušik izvira iz aminokislin, beljakovin in uree ali sečnine. S hidrolizo uree nastajata amonijev ion in ogljik. Usoda nastalega amonija je odvisna tudi od razmerja C:N v organski snovi, ki se razkraja. Organska snov z manj ogljika, v primerjavi z dušikom, omogoča nastanek večje količine amonija iz iste mase organske snovi [9].

Naslednji pomemben proces v kroženju dušika je nitrifikacija. Na proces nitrifikacije vplivajo pH, kisik, in temperatura. Nitrifikacija je sprememba oblike dušika iz amonija do nitrata s procesom oksidacije. Nitrifikacija poteka v dveh stopnjah. V prvi stopnji iz amonija z oksidacijo nastane nitrit, v naslednji stopnji pa z nadaljnjo oksidacijo iz nitrita nastane nitrat. Nitrifikacija je proces, ki poteka s pomočjo avtotrofnih organizmov, čeprav obstaja več vrst organizmov, ki so sposobni opravljanja tega procesa, prevladujeta dve vrsti bakterij (*Nitrosomonas* in *Nitrobacter*), kateri sta mnogo bolj uspešni pri pretvorbi amonija in nitrita v nitrat. Reakcije pretvorbe so navadno združene, tako da v enem koraku nastane končna oblika dušika. Zelo pomembno je, da se nitriti pretvorijo v nitratne ione, saj so nitriti škodljivi za rastline [9].

Denitrifikacija je najbolj raziskan del dušikovega cikla, saj je to edini ekološki način, s katerim je mogoče s tehničnimi postopki odstraniti nitrate iz odpadne vode. S procesom denitrifikacije se v naravi zaključi krogotok elementarnega dušika z vračanjem v atmosfero. To je proces, pri katerem mikroorganizmi v anaerobnih pogojih reducirajo nitrat v atmosferski dušik (N_2). Redukcija nitrata v atmosferski dušik navadno poteka v več korakih. V samem postopku denitrifikacije nastajajo vmesni strupeni produkti, kot so nitrit (NO_2), dušikov oksid (NO) in didušikov oksid (N_2O). Pri procesu sodelujejo heterotrofne bakterije, ki organski ogljik uporabljajo kot vir energije. Ta proces se uporablja pri čiščenju odpadnih voda, in sicer za odstranjevanje nitratov, kateri so eni od pomembnih dejavnikov, ki omogočajo eutrofikacijo. Denitrifikacija je edini proces, ki omogoča vračanje dušika v ozračje in s tem neskončno kroženje v krogotoku [9].

Iz kemijske enačbe lahko vidimo, da je denitrifikacija proces, pri katerem dušik spreminja obliko iz nitrata (NO_3) in nitrita (NO_2), ki sta izjemno pomembna dejavnika eutrofikacije, v končni produkt atmosferski dušik (N_2) [9].

3.1.2 DUŠIK V RASTLINAH

Rastline, ki se uporabljajo za kmetijsko proizvodnjo so eden izmed glavnih krivcev za onesnaženost okolja s hranili. Sodobno kmetijstvo je namreč primorano v uporabo mineralnih gnojil za zagotavljanje dovolj velike količine hrane za naraščajočo svetovno populacijo. Dobra preskrbljenost rastlin s hranili pa je pomembna tudi iz vidika odpornosti rastlin na bolezni in škodljivce.

Dušik je eno izmed glavnih makrohranil. Dušik je sestavni del mnogih spojin v telesu, kot so: proteini, aminokisline, vitamini, klorofil, encimi, hormoni, itd. Atmosferski dušik večini rastlin v obliki N_2 ni dostopen. Izjeme so rastline, ki jih imenujemo metuljnice. Metuljnice živijo v sožitju z bakterijami *Rhizobium*. V simbiotičnem odnosu metuljnic in bakterij *Rhizobium*, metuljnice bakterijam nudijo ogljikove hidrate, bakterije pa rastlinam dušik, vezan iz ozračja, v obliki beljakovin [9].

Različne vrste rastlin razlikujejo oblike dušika med seboj in izbirajo tiste oblike, ki so jim ustreznejše. Vseeno pa lahko večina rastlin absorbira vse oblike dušika v svoje telo. Navadno je oblika dušika, ki najbolj ustreza rastlinam, amonij NH_4 . Ta se nahaja v okoljih, kjer je omejena nitrifikacija. Koncentracija hranil v rastlinah je največja v času rastne dobe, z zorenjem pa koncentracija upada. Največje potrebe po dušiku imajo mlade rastline, ki vgrajujejo dušik v svoje telo. Pomanjkanje dušika v tleh se pri rastlinah pokaže najprej v starejših delih rastlin, ki začnejo rumeneti in odpadati. Pomanjkanje dušika se kaže tudi v počasnejši rasti rastlin in s hitrejšim prehodom v zorenje [9].

3.1.3 DUŠIK V VODNIH TELESIH

Voda, ne glede na to v kateri obliki (padavine, površinski odtok, pronicanje v podzemne vode, itd.), ima izjemno pomembno vlogo v krogotoku dušika skozi okolje, saj je gibanje dušika skozi okolje vezano na gibanje vode. Zato je podrobno potrebno preučiti vse dejavnike, ki vplivajo na dušik v vodnem okolju. Poznavanje dejstev, kot so viri onesnaževanja, transformacije dušika in mehanizmi transporta, so izjemnega pomena pri načrtovanju rešitev za zmanjševanje obremenjevanja okolja z dušikom.

V vodnih sistemih se onesnaženje z dušikom povezuje s povečano primarno produkcijo oziroma povečano rastjo alg. Vedenje o transportu dušika, ki je navadno v obliki nitrata skozi rečni sistem, je zelo pomembno za natančno ocenjevanje obremenitev morij in oceanov z dušikom. V določenih primerih, predvsem v tropskih lagunah, je omejujoči dejavnik za evtrofikacijo fosfor, kjer poteka proces absorpcije fosforja v karbonatne kamnine. Vendar pa je v večini primerov za evtrofikacijo kriv človeški vnos dušika [8].

V Evropski Uniji so določena območja, ki so bolj ranljiva za onesnaženja z nitrati, zato so v večini držav članic predvideni ukrepi za varovanje teh območij [6].

Viri onesnaževanja okolja so točkovni kot tudi razpršeni. Velik del antropogenega onesnaženja vodnih sistemov z dušikom se pripisuje kmetijski dejavnosti, ki spada med razpršene onesnaževalce. Zato bi spremembe v načinu in količini gnojenja lahko močno prispevale k izboljšavi te okoljske problematike [6].

V obalnih in priobalnih območjih stoječih vod so najbolj vidne posledice onesnaženja z dušikom zaradi onesnaženih rečnih dotokov, vezave dušika iz ozračja in zaradi povečevanja števila prebivalcev, ki živijo na priobalnih območjih ter direktno izpuščajo odplake v morja in oceane. Posledica bogatitve stoječih voda z nitrati se kažejo kot povečana primarna produkcija, česar posledica je zmanjšanje prisotnosti kisika ali pa celo popolna odsotnost, kar lahko povzroči zmanjšanje biološke raznovrstnosti in pogin nekaterih vrst organizmov. Glavni znak povečanega izločanja dušika v okolje je predvsem

primarna produkcija organizmov v vodi, ki se kažejo v počasi tekočih in stoječih vodah in izjemno hitrem razmnoževanju alg, katere lahko prekrijejo celotno površino vodnega telesa [6].

Dušik, v obliki nitratov v vodnih telesih, ki se uporabljajo za črpanje pitne vode, lahko predstavlja velik problem, saj voda, ki vsebuje več kot 50 mg/l nitratov ali 0,5 mg/l nitrita predstavlja zdravstveno tveganje za dojenčke, nosečnice in doječe matere. Predvsem nitriti povzročajo bolezensko stanje methemoglobinemija. Do tega stanja pride, ker hemoglobin v krvi oksidira in s tem izgubi sposobnost prenašanja kisika po telesu. Črpanje take vode je, z namenom uporabe v vodovodnih sistemih za pitno, zakonsko prepovedano s pravilnikom o pitni vodi v uradnem listu št.19/2004 [19].

Dušik, poleg tega, da je eden izmed hranil, ki omogočajo evtrofikacijo voda, ima tudi pomembno vlogo pri povečevanju kislosti vodnih teles. Potem, ko se je znižal izpust SO_2 (žveplov dioksid) iz industrije v okolje, ki povzroča kisli dež, je postalo jasno, da imajo vpliv na kislost voda tudi dušikovi oksidi, ki v naravi tvorijo dušikovo kislino[8].

3.2 POVEČANO IZLOČANJE DUŠIKA V OKOLJE ZARADI ANTROPOGENE DEJAVNOSTI

Najbolj pomemben dogodek, ki je vplival na naravni cikel kroženja dušika, je odkritje kemika Fritza Harber-ja, kar je omogočilo spremembo atmosferskega dušika (N_2) v amonijak (NH_3). Carl Bosch je toliko izpopolnil Harberjev proces izdelave amonijaka, da je leta 1909 prišlo do industrijske pridelave amonijaka. Harber-Boschev proces je sprožil začetek intenzivnega kmetijstva, ki je omogočilo rast svetovnega prebivalstva [5].

Dušikov cikel se je transformiral v izjemno hitrem času iz naravnega kroženja dušika v kroženje z izjemno velikim antropogenim vplivom. Velik antropogen vpliv v zadnjih stotih letih na kroženje dušika se kaže predvsem v velikem povečanju porabe za kmetijske in industrijske namene ter porabe fosilnih goriv. Velik del dušika sproščenega v okolja s strani ljudi je izgubljenega v atmosfero, vodo in tla, kar povzroča okoljske težave in težave z zdravjem ljudi [10].

V razvitih predelih sveta prevladuje pojav prevelikega obremenjevanja okolja z dušikom, ki izvira predvsem iz kmetijstva, na drugi strani pa v predelih sveta, ki so še v razvoju, vlada veliko pomanjkanje rastlinam dostopnega dušika, kar vodi v pomanjkanje hrane in lakoto. Zato se v razvitem svetu pojavlja problem, kako ohraniti proizvodnjo hrane na enakem nivoju, hkrati pa znižati antropogene izpuste v okolje. Medtem je v predelih sveta, ki so v razvoju, pomembnejše zagotavljanje dovolj velike količine hrane za zadovoljitev osnovnih potreb naraščajočega števila prebivalstva [7].

Negativni antropogeni vpliv glede samočistilne sposobnosti vodnih teles se kaže tudi v izsuševanju močvirnatih območij in kanaliziranju vodotokov. Ti vodni sistemi so pred antropogenimi posegi

delovali kot velik porabnik fosforja in dušika. Z uničenjem teh ekosistemov so posledično s hranili močnejše obremenjeni vodni sistemi, kamor se iztekajo kanalizirane vode [8].

Največje posledice v naslednjih desetletjih bogatitve vodnih teles z dušikom bodo imela tropska območja v obliki eutrofikacije in povečanja kislosti vodnih teles. Tropsko vodno okolje je najbolj bogato z biološko raznovrstnostjo. Ker večina biološke fiksacije dušika poteka ravno v tropskih regijah, kjer je fosfor organizmom dostopen v velikih količinah, bo vse več vodnega okolja izjemno bogatega s hranili [10].

Pomembno vlogo pri spremembi dušikovega cikla imajo tudi fosilna goriva, pri katerih so eden izmed stranskih produktov dušikovi oksidi. Dušikovi oksidi (NO_x) imajo v ozračju negativen vpliv, saj je dušikov dioksid (NO_2) tretji najpomembnejši plin domnevnega globalnega segrevanja ozračja, povzročenega s tako imenovanimi toplogrednimi plini. Dušikov oksid je pomemben onesnaževalec okolja tudi iz vidika, ko v stratosferi deluje kot katalizator in uničuje ozon [8].

Od začetka industrializacije pa do današnjega dne se je količina amonijaka (NH_3) v ozračju nekajkrat povečala. V atmosferi amonijak deluje kot aerosol in se združuje z vodnimi kapljicami, posledica tega procesa pa je kisli dež [8].

3.3 ODSTRANJEVANJE DUŠIKA IZ ODPADNIH VODA

Dušik se iz odpadne vode lahko odstranjuje na več različnih načinov, in sicer biološko, kemično in fizično odstranjevanje organskih delcev, ki vsebujejo dušik, s procesom kot je filtracija. Kemično odstranjevanje na čistilnih napravah navadno ne pride v poštev zaradi zahtevnosti tehničnega postopka in zaradi stroškov. Zato odstranjevanje dušika na čistilnih napravah večinoma poteka na biološki stopnji, kateri sledi fizično odstranjevanje mikroorganizmov ali blata [3].

3.3.1 BIOLOŠKO ODSTRANJEVANJE DUŠIKA IZ ODPADNE VODE

Biološko odstranjevanje dušika iz odpadne vode poteka v treh korakih. Prvi korak je proces amonifikacije, drugi korak je proces nitrifikacije, ki je razdeljen na dva dela in tretji korak je proces denitrifikacije.

V prvem koraku, imenovanem amonifikacija, se v procesu hidrolize in mikrobioloških aktivnosti organski dušik pretvori v amonij [3].

Kemijski zapis: Organski dušik $\rightarrow$ NH_4^+

V drugem koraku čiščenja odpadne vode in prvem delu nitrifikacije, se pri aerobnih pogojih amonij oksidira s pomočjo bakterij vrste *Nitrosomonas* in drugih vrst avtotrofnih bakterij najprej v nitrit [3].

Kemijski zapis: $\text{NH}_4^+ + \frac{3}{2} \text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

V drugem delu nitrifikacije se pri aerobnih pogojih nitrit nadalje oksidira v nitrat s pomočjo bakterij vrste *Nitrobacter* in drugih vrst avtotrofnih bakterij v nitrat [3].

Kemijski zapis: $\text{NO}_2^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

Pri procesu nitrifikacije prihaja do znižanja sposobnosti vode za nevtralizacijo kislosti (alkaliteta) odpadne vode, saj je bikarbonat (HCO_3^-) nevtraliziran z ogljikovo kislino (H_2CO_3) [3].

V tretjem koraku, ki se imenuje denitrifikacija, v anoksičnih pogojih nitrat reagira z organskim ogljikom, česar produkt je atmosferski dušik (N_2). Do denitrifikacije pride takrat, ko mikroorganizmi nimajo več v vodi raztopljenega kisika in zato za vir kisika uporabijo nitrato [3].

Kemijski zapis: $\text{NO}_3^- + \text{Organski ogljik} \rightarrow \text{N}_2(\text{plin}) + \text{CO}_2(\text{plin}) + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$

Alkaliteta je po procesu denitrifikacije povrnjena na stanje pred nitrifikacijo s tvorbo hidroksida (OH^-) [3].

3.3.2 TEHNOLOGIJE ODSTRANJEVANJA DUŠIKA NA ČISTILNIH NAPRAVAH

Razvitih je bilo več tehnologij biološkega odstranjevanja dušika iz odpadne vode, ki pa se razlikujejo po tem, ali je biomasa lebdeča ali pritrjena in po različnem številu stopenj oziroma korakov nitrifikacije.

Najpogostejši biološki postopki, kjer je biomasa pritrjena na podlago in se voda, ki je le medij za dostop mikroorganizmov do hrane, filtrira, so precejalniki, biodiski, biofiltri ter talni filtri [3].

V bioloških postopkih, kjer je biološka ruša razpršena v odpadni vodi, je potrebno zagotoviti intenzivno mešanje za zagotavljanje normalnega poteka bioloških procesov. Organizmi v reaktorjih prevzemajo hranila iz odpadne vode in jih vgrajujejo v svoja telesa, kar omogoča njihovo rast in razmnoževanje [3].

Dizajn čistilnih naprav za odstranjevanje dušika iz odpadne vode je v preteklosti vključeval dva reaktorja z aktivnim blatom. V prvem reaktorju se je odstranila biokemijska potreba po kisiku (BPK), kateremu sledi usedalnik, nato pa v drugem reaktorju poteka proces nitrifikacije [3].

Novejše naprave prej ločena procesa odstranjevanja BPK in nitrifikacije združujejo v enem reaktorju. Prednost tega načina čiščenja odpadne vode je v zmanjšani potrebi po prostoru in po poenostavitvi samega procesa. Upravičena so tudi pričakovanja po prihrankih pri energiji pri enotnem sistemu aktivnega blata in zaradi zmanjšanega volumna odpadne vode, ki potrebuje prezračevanje. Zmanjšana je tudi končna količina odpadnega blata in zaradi večje starosti blata je izboljšana sposobnost usedljivosti blata [3].

Sistemi s pritrjeno biomaso so lahko enakovredno nadomestilo sistemom z razpršeno biomaso. Na trgu obstajajo različni nosilci biomase, ki so lahko kompaktni v obliki precejalnikov ali suspendirani nosilci, v obliki sistemov integriranega suspendiranega aktivnega blata ali pa na prosto plavajoče nosilce pritrjen biofilm [3].

Nosilci biofilmov dajejo počasneje rastočim bakterijam podlago, na katero se le-te lahko pritrdijo in s tem se prepreči, da vodni tok odnese bakterije, ki sodelujejo pri procesih nitrifikacije in denitrifikacije. Pritrjeni biofilmi so manj nagnjeni k izpiranju in bolj odporni na morebitne toksične odplake, ki končajo na čistilni napravi [3].

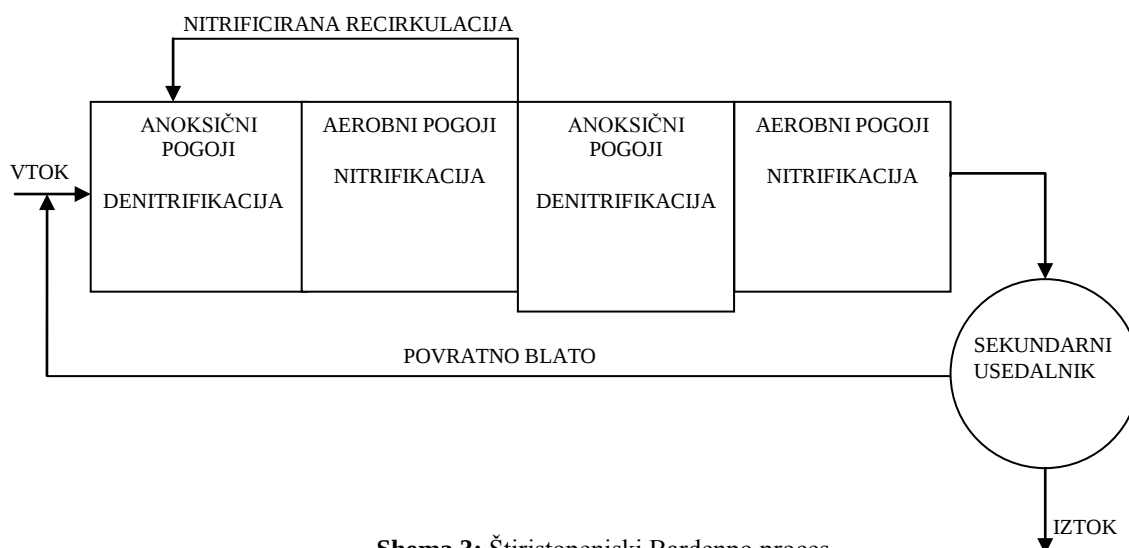
Sistemi s pritrjeno biomaso dovoljujejo dodatno rast mikroorganizmov so, v primerjavi s sistemi, kjer je uporabljen način odstranjevanja z razpršeno biomaso, podobne velikosti, kar lahko povzroči povečano nitrifikacijo in denitrifikacijo. Za proces nitrifikacije in denitrifikacije je potrebno zagotoviti oksične in anoksične pogoje [3].

Denitrifikacijski filtri so navadno v procesu čiščenja odpadne vode postavljeni za sekundarno stopnjo biološkega čiščenja. Prednost filtrov pred ostalimi načini je ta, da poleg odstranjevanja dušika filtrira vodo, ki teče skozi njega in s tem odstranjuje preostale delce v vodi. Čiščenje odpadne vode s filtri zahteva manjšo površino kot konvencionalni načini čiščenja. Filtri lahko delujejo z vtokom iz zgornje ali iz spodnje strani. Ker proces denitrifikacije poteka po tem, ko je bilo večino biološke potrebe po kisiku odstranjene iz vode, je potrebno za potek procesa nitrifikacije dodajati vir ogljika. Pri procesu nitrifikacije se sproščajo plini, ki se lahko ujamejo v filtru, zato je periodični povratni tok nujen, da se z njim izločijo ujeti plini v filtru [3].

```
graph LR; VTOK[VTOK] --> SPO[SEKUNDARNI PROCES ODSTRANJEVANJA]; SPO --> SUS[SEKUNDARNI USEDALNIK]; SUS --> OBP[ODPADNO BLATO]; SUS --> DNF((DENITRIFIKACIJSKI FILTER)); VIR[VIR OGLJIKA] --> DNF; DNF --> IZTOK[IZTOK]; DNF -->|POVRATNO BLATO| VTOK; DNF -->|TEKOČINA POVRATNEGA SPIRANJA| SPO;
```

Shema 2: Postavitev denitrifikacijskega filtra

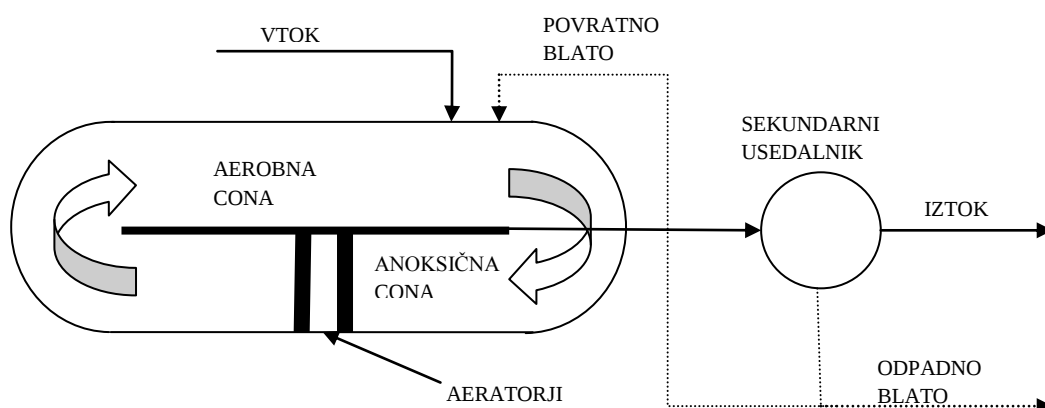
V procesu Badenpho se dušik iz vode odstranjuje na principu izmenjavanja anaerobnih in aerobnih con. Voda, ki pride na čistilno napravo, vstopi najprej v anoksično cono denitrifikacije, ki ji sledi aerobna nitrifikacija, iz katere se del tekočine vrača nazaj v anoksično cono denitrifikacije. Druga stopnja je anaerobna cona, ta je relativno majhna in se uporablja za odstranjevanje nitratov iz prve aerobne cone, ki niso recirkulirani nazaj v prvo anoksično cono. Druga aerobna cona ali četrta cona čiščenja je namenjena izločanju dušika iz vode v obliki plina (N_2) [3].



Shema 3: Štiristopenjski Bardenpo proces

3.3.2.3 OKSIDACIJSKI JAREK

Oksidacijski jarek je speljan krožno in s tem je omogočeno nenehno kroženje odpadne vode in blata. Pravilno lokacijsko postavljeni površinski ali potopljeni prezračevalniki v oksidacijskem jarku omogočajo aerobne in anaerobne cone, kjer potekajo procesi nitrifikacije in denitrifikacije. Glavna prednost tega načina čiščenja je ravno krogotok vodnega toka, s čimer je omogočeno, da si procesi nitrifikacije in denitrifikacije neposredno sledijo [3].



Shema 4: Oksidacijski jarek

3.3.2.4 ŠARŽNI REAKTOR (SBR sequencing batch reactor)

Pri odstranjevanju dušika SBR vključuje aerobni kot tudi anaerobni čas. Več enot SBR omogoča konstantno polnjenje in serije obdelav odpadne vode. Šaržni reaktorji imajo navadno 4 stopnje čiščenja. V prvi stopnji se posamezna enota polni z odpadno vodo, katero mešala v enoti vseskozi mešajo. V drugi fazi zaradi izmenjujočega stanja aerobnosti in anaerobnosti potekajo reakcije nitrifikacije in denitrifikacije. V tretji fazi so mešala izklopljena, da se mikroorganizmi usedejo na dno SBR enote. V zadnji fazi se enota SBR izprazni. V odvisnosti od časa poteka vseh 4 stopenj čiščenja se lahko z uporabo več enot SBR zagotovi konstanten sprejem odpadne vode. Z uporabo SBR se z večkratno izmenjavo aerobnega in anaerobnega stanja doseže izjemno nizke koncentracije dušika v očiščeni vodi [3].

3.4 PRIHODNOST DUŠIKA

Večina onesnaženja vodnega okolja z dušikom je vezano na proizvodnjo hrane in energije, zato enostavna omejitev uporabe mineralnih gnojil in porabe fosilnih goriv ne pride v poštev, saj bi s tem povzročili preveliko družbeno in ekonomsko škodo.

Problem preskrbe prebivalstva z zadostno količino hrane se pojavlja predvsem v državah, kjer populacija narašča, zato se v teh državah povečuje povpraševanje po mineralnih gnojilih, ki omogočajo večjo kmetijsko produkcijo. Proizvodnja dušikovih gnojil je relativno poceni, hkrati pa ima velike pozitivne učinke na kmetijsko proizvodnjo [6].

Čeprav je med ljudmi prisotno zavedanje o okoljskih problemih zaradi uporabe mineralnih gnojil, je to zavedanje nekoliko manjše, ko gre za onesnaženje podtalnice z nitrati, evtrofikacijo priobalnih območij in z njo povezano hipoksijo izpustov N_2O in z njim povezanega globalnega segrevanja ozračja in vplivov NH_3 na okolje. Ti problemi se pripisujejo le lokalnim območjem, obremenjenim z intenzivnim kmetovanjem in živinorejo, kot so predeli Nizozemske, Italije, Nemčije in Danske. Vendar pa se je v zadnjih tridesetih letih močno povečala poraba mineralnih gnojil na Kitajskem, v Južni Koreji, Indiji in predelih ZDA, česar posledica je povečanje dušikovih emisij [2].

Trenutno je okoli polovica industrijsko pridelanega amonijaka izgubljenega v atmosferi. Njegovi vplivi na okolje so jasno vidni in močno razširjeni. Amonijak je tako postal globalni problem, za rešitev katerega so potrebni mednarodni dogovori in zaveze. Za zmanjšanje emisij dušika iz kmetijstva je potreben integriran pristop do problematike, fokusiran na zmanjšanje nitratov in nitritov v kmetijski intenzivnih območjih [7].

Nadzorovanje izpustov dušika v okolje je praktično nemogoče izvajati, saj transport le-tega poteka prek vodnega in zračnega medija na zelo dolge razdalje. Ravno zaradi nezmožnosti geografske

omejitve onesnaženja na nivoju posameznih držav onesnaževalk je ta problem rešljiv le na globalnem nivoju [8].

Čeprav svetovna letna proizvodnja dušikovih gnojil še vedno raste, se obeta upočasnitev rasti proizvodnje in zmanjšanje mobilnosti dodanega dušika kmetijskim zemljiščem. Četudi je dušik nenadomestljiv, obstajajo možnosti, da se njegova učinkovitost močno poveča. Relativno velik delež dušika (včasih tudi več kot polovica) se iz kmetijskih zemljišč izgubijo kot plin N_2 in z izpiranjem nitratov, kar je iz lokalnega vidika precej velik strošek, iz globalnega vidika pa pomembno gonilo okoljskih sprememb. Razvitih je veliko različnih praks gospodarjenja z dušikom, ki lahko eliminirajo velik delež dušika, fiksiranega zaradi človekove aktivnosti, a te prakse še niso dovolj razširjene, da bi imele globalni učinek. V prihodnosti bo še v večjem interesu ekologov in kmetov zmanjšati poljske izgube dušika z uporabo praks gospodarjenja z dušikom, saj se bodo s tem zmanjšali stroški in vplivi na okolje. Ključno vlogo pri globalnem uspehu zmanjšanja dušikovih emisij ima uspešna uvedba teh praks v regijah v razvoju, kjer je najhitrejša rast prebivalstva in posledična rast emisij dušika [8].

4 ODSTRANJEVANJE FOSFORJA IN DUŠIKA

Narava ima sposobnost samočiščenja in je večinoma sama zmožna očistiti onesnaženo okolje z različnimi kemijskimi, biokemijskimi in fizikalnimi procesi. Z drugimi besedami je samočiščenje mehanizem, ki v naravnem okolju povezuje dejavnike in pri uravnoteženem optimumu omogoča energetske in snovne spremembe. Odkritje, da ima voda v naravnem okolju samočistilno sposobnost, je bilo možno šele, ko je prišlo do prvih onesnaženj vodnih teles. Danes vemo, da so pri samočiščenju ključne energetske in snovne spremembe oziroma kroženje energije in snovi v biotopu [13].

Samočiščenje se lahko prične, ko pride do onesnaženja. Poznamo naravno in antropogeno onesnaženje. Naravno onesnaženje je povezano predvsem s procesi odmiranja, razpadanja, preperevanja, gnitja ter erozije in splakovanja suspendiranih snovi ob visokih vodostajih v odvodnikih [13].

Umetno ali antropogeno onesnaževanje, katero je mnogo bolj problematično, v zadnjem stoletju povzroča človek z intenzivno industrializacijo in visokim življenjskim standardom [13].

Mehanizem samočiščenja je pri obeh vrstah onesnaženja enak. V procesu biološkega samočiščenja sodelujejo vse populacije ekosistema. Populacije ekosistema delimo glede na njihovo vlogo, in sicer na proizvajalce, potrošnike in razgrajevalce. Vsak izmed naštetih predstavnikov populacije ekosistema ima svojo pomembno vlogo v procesu kroženja snovi [13].

V vodnem okolju je prisotnih več vrst energij, kot so sončna, kemično vezana in toplotna energija. Del sončne energije, ki prodre v vodo, se spremeni v toplotno energijo, del pa jo porabijo proizvajalci za proizvodnjo sestavin svojih teles oziroma razgradljivih snovi, v katerih je energija vezana kot kemična

energija. Vezana kemična energija prihaja v vodno okolje z razgradljivimi ostanki, ki so nastali kot posledica antropogenih dejavnosti in prihajajo v vodna telesa na različnih stopnjah razgradnje. Razgradnja lahko poteka v aerobnih ali anaerobnih pogojih. V aerobnih pogojih je proces razgradnje hitrejši in pri enakih pogojih sprošča več energije kot anaerobni proces. Snovi, ki so težje razgradljive, prehajajo v usedline, kjer se v anaerobnih pogojih odvija razgradnja. Tako je ta energija lahko za daljši čas izločena iz krogotoka [13].

Organizmi, ki sodelujejo v procesu samočiščenja, so sestavni del življenjskih združb in delujejo na povsem enak način kot tiste na bioloških čistilnih napravah. Razlika med procesom samočiščenja v naravi in procesi na čistilnih napravah je predvsem v količini hranil oziroma koncentraciji hranil v vodi, ki omogočajo rast mikrobiološke populacije. To pa pomeni, da imajo naravno čiste vode, kjer primanjkuje hranil za biološke združbe manjšo sposobnost samočiščenja, kot vode, ki so bogatejše s hranili [13].

Samočiščenje v odvodnikih je celosten proces, ki pa ga obravnavamo ločeno na biološko in nebiološko čiščenje. K nebiološkemu čiščenju se prištevajo fizikalni procesi kot so razredčenje, mešanje, usedanje in izmenjava plinov ter kemijski procesi kot so oksidacija in obarjanje. Osnovni nosilci biološkega čiščenja pa so bakterije, protozoi, nižje rastline ter večcelične živalske in rastlinske oblike [13].

Toplotna energija, ki prehaja med ozračjem in vodnim telesom, je ključnega pomena za celotni naravni hidrološki cikel in je z izhlapevanjem najkvalitetnejši samočistilni proces v naravi ob predpostavki, da zrak ni onesnažen [13].

Pri okoljevarstvenih tehnologijah se največkrat uporabljajo naravni procesi. Vodi se jih bistveno bolj intenzivno in učinkovito kot potekajo v naravi. Takšni postopki potekajo:

- pri čiščenju odpadnih voda,
- pri proizvodnji bioplina,
- pri kompostiranju,
- itd.

V naravnih bioloških procesih čiščenja se vrši kroženje najpomembnejših elementov in spojin (ogljika, kisika, dušika, fosforja, vode).

Biološki procesi čiščenja se največkrat kombinirajo s fizikalnimi in kemijskimi postopki. Pri kroženju ogljika se avtomatsko vrši tudi kroženje kisika s tem, da se lahko organske spojine biološko razgradijo ob prisotnosti kisika ali brez kisika. Ponovno vezanje anorganskega ogljika iz CO_2 s fotosintezo vedno

povzroča nastanek biomase ter kisika. Kisik, ki je bil vgrajen v biomaso iz zraka, se tako ponovno vrača v zrak. Kroženje ogljika in kisika v naravi pa ne funkcioniira, če ni na razpolago vode, ki takšno kroženje omogoča [55].

4.1 TEHNOLOŠKI PROCESI ISTOČASNEGA ODSTRANJEVANJA FOSFORJA IN DUŠIKA

Istočasno odstranjevanje fosforja in dušika zahteva uskladitev kombinacije faktorjev, ki drugače omogočajo odstranjevanje le fosforja ali dušika.

Naprave, ki omogočajo odstranjevanje fosforja kot tudi dušika, morajo biti načrtovane tako, da je preprečeno sproščanje fosforja brez prisotnosti hlapnih maščobnih kislin ali nitratov. Anaerobne ali anoksične cone, ki so prevelike, sicer odstranijo dušik in ogljik, vendar pride do sprostitve fosforja, ki je bil privzet v aerobni coni. Če pride do povečanega odstranjevanja nitratov, se lahko zgodi, da je nemogoče preprečiti sprostitve fosforja iz blata v sekundarnem usedalniku. Če pride do sproščanja fosforja iz blata v sekundarnem usedalniku, se to morda ne bo takoj pokazalo na iztoku iz čistilne naprave. Prihaja pa do kopičenja fosforja v sistemu sekundarne obdelave, kar lahko pripelje do povečanih koncentracij fosforja pri izpustu. Zato je pomembno pravilno uravnavanje, načrtovanje in analiza procesov odstranjevanja dušika in fosforja. Alternativa istočasnemu odstranjevanju je lahko odstranjevanje nitratov v sekundarnem procesu, ki daje ekstremno dobre rezultate, istočasno pa poteka še kemično obarjanje (poliranje) fosfatov in filtracija [3].

Obstaja še veliko faktorjev, ki jih je potrebno upoštevati pri kombiniranem sistemu čiščenja. Na splošno razmerje KPK: celotni dušik določa, katere cone morajo biti velike in katere manjše. Količina kisika pred vstopom v anaerobno cono mora biti minimizirana, saj kisik zavira reakcije, ki lahko potekajo le v anaerobnih pogojih. Vpliv na potek procesa ima tudi temperatura. Pri nižjih temperaturah fermentacija ne zagotavlja dovolj hlapnih maščobnih kislin za manj temperaturno občutljive reakcije privzemanja fosforja in denitrifikacija je upočasnjena. Tako je rezultat nižjih temperatur upočasnjeno odstranjevanje fosforja in dušika. Odstranjevanje fosforja in nitrifikacija zmanjšujeta alkaliteto vode, medtem ko denitrifikacija alkaliteto zvišuje. Da omogočimo normalni potek nadaljnjih procesov, je potrebno z dodajanjem kemikalij zviševati alkaliteto [3].

Fosfor je esencialen nutrient za rast mikroorganizmov. Če je koncentracija celotnega fosforja prenizka pred procesom denitrifikacije, lahko pride do zaustavitve rasti mikroorganizmov in zato je potrebno za dokončanje procesa denitrifikacije dodati fosfor [3].

Pri hkratnem odstranjevanju fosforja in dušika na napravah z dvema anaerobnima conama prihaja do 'tekmovalnosti' za prisotni ogljik. Prisotni ogljik v vtoku ali stranskem povratnem toku blata se porablja za biološko odstranjevanje fosforja in nitrifikacijo. Vseeno pa nekatere naprave za doseganje želene stopnje čiščenja zahtevajo dodajanje metanola ali drugega vira ogljika v anaerobno cono [3].

V nadaljevanju je opisanih nekaj najpogostejših procesov hkratnega odstranjevanja fosforja in dušika.

4.1.1 TEHNOLOGIJE ISTOČASNEGA OSDTRANJEVANJA FOSFORJA IN DUŠIKA

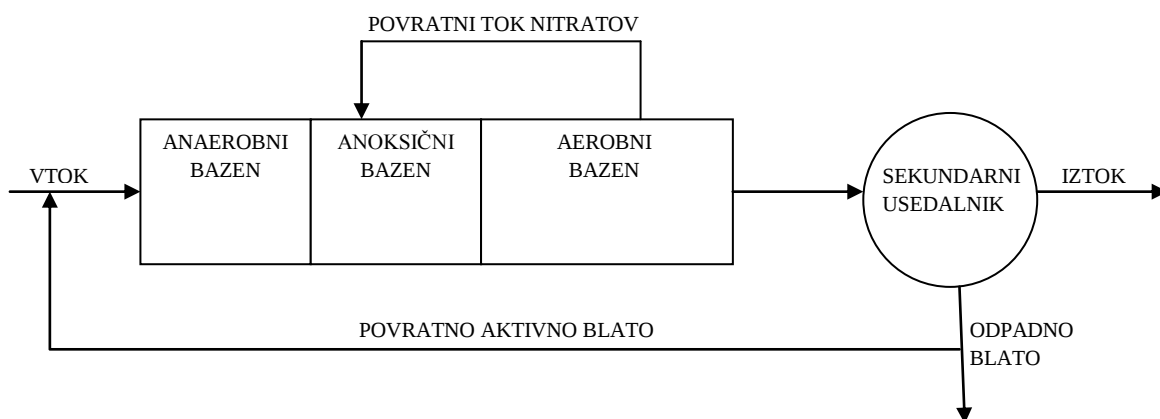
Za uspešne biološke postopke istočasnega odstranjevanja fosforja in dušika je zelo pomembno stehiometrično razmerje C:N:P. Pri aerobnem čiščenju odpadne vode mora biti razmerje C:N:P med 100:10:01 in 100:05:01. V komunalni odpadni vodi je razmerje C:N:P po izkušnjah približno 100:20:05. Presežne dušikove in fosforjeve spojine je z današnjimi postopki mogoče brez večjih težav odstraniti iz odpadne vode. Če je v odpadni vodi v dotoku v biološko stopnjo zaznano pomanjkanje ene glavnih hranilnih snovi, lahko pride do različnih težav, kar prikazuje preglednica 1 [50].

Preglednica 1: Vzroki in posledice pomanjkanja nutrientov v biološki stopnji čiščenja odpadne vode

Pomanjkanje	Vzroki/izvor odpadne vode	Možne posledice	Protiukrepi
OGLJIK	- Dolgo zadrževanje v kanalizaciji - Prekomerno predhodno čiščenje odpadne vode - Industrijska odpadna voda z velikim deležem dušika, npr. pri predelavi mleka in mesa	- Močno povečano razmnoževanje nitastih bakterij (plavajoče blato in pena) - Nezadostna denitrifikacija	- Preprečevanje predhodnega čiščenja - Povečanje prostornine za denitrifikacijo in ohranjanje zadostne prostornine za nitrifikacijo (najmanjša starost blata 9 dni)
DUŠIK	Odpadne vode z nizko vsebnostjo dušika: - Papirna industrija - Predelava sadja in zelenjave	- Visoke vrednosti KPK/TOC v iztoku čistilne naprave - Nitaste bakterije	Izravnava razmerja nutrientov: - Dodatno dodajanje dušikovih spojin (cenovno ugodni tehnični izdelki kot sečnina) - Dodajanje odpadne vode iz gospodinjstev, kalne vode iz zbiralnika gnile vode
FOSFOR	Deponijska voda, odpadna voda pri predelavi sadja in zelenjave	- Povišane vrednosti KPK/TOC v iztoku - Nitaste bakterije	Izravnava razmerja hranilnih snovi s pomočjo: - Dodatnega dodajanja fosforjevih spojin (cenovno ugodni tehnični izdelki, kot sta fosforjeva kislina ali fosfatno gnojilo v kmetijstvu) - Dodajanja odpadne vode iz gospodinjstev

4.1.2 ANAEROBNA/ ANOKSIČNA/ AEROBNA (AAO)

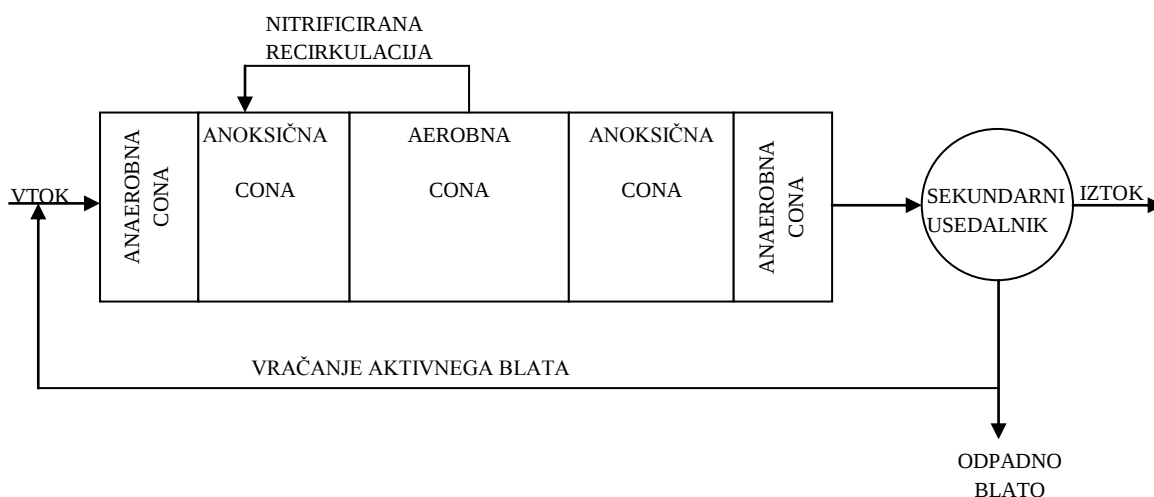
Anaerobni/ anoksični/ aerobni (Anaerobic/Anoxic/Oxic) proces istočasnega odstranjevanja fosforja in dušika je sestavljen iz naštetih con, ki se razlikujejo po količini kisika, dostopnega procesom, ki potekajo v reaktorjih. Med procesom čiščenja se iz aerobne cone preko povratnega toka nitrati vračajo v anoksično cono, aktivno blato pa se iz usedalnika vrača nazaj na začetek anaerobne cone. Na ta način je omogočeno hkratno odstranjevanje fosforja in dušika. Z vključitvijo anoksične cone se zmanjša količina nitrata v povratnem aktivnem blatu, kar omogoča večjo učinkovitost anaerobnega procesa. Obstoječi bazen z aktivnim blatom je lahko modificiran z vključitvijo anaerobne in anoksične cone, kar omogoča dovolj volumna za izvajanje nitrifikacije v aerobni coni. Tako kot tudi pri drugih kombiniranih tehnologijah odstranjevanja fosforja in dušika si tudi pri tej tehnologiji nekaj fosforja PAO organizmi privzamejo v anoksični coni. Zadrževalni čas blata v conah mora biti dovolj velik za omogočanje popolnega akumuliranja in sproščanja fosfatov [3].



Shema 5: Postavitev AAO

4.1.3 PETSTOPENJSKI BARDENPHO PROCES

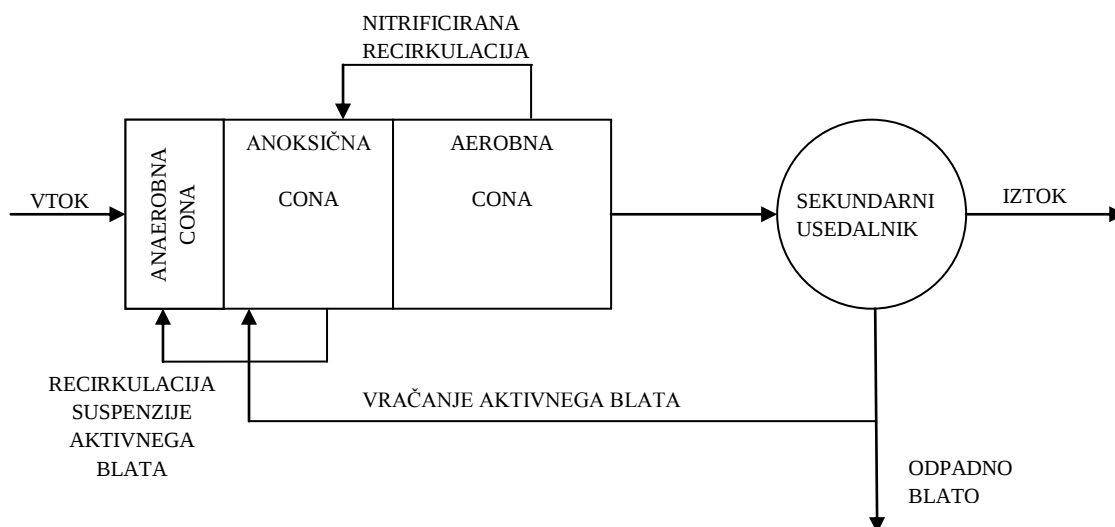
Petstopenjski Bardenpho proces je podoben štiristopenjskemu procesu s to izjemo, da je pred štiristopenjskim sistemom postavljen anaerobni bazen. Notranje kroženje iz prve aerobne cone v prvo anoksično cono ostaja enako kot v štiristopenjskem procesu. Povratno blato se vrača v dodano anaerobno cono. V določenih primerih je potrebno dodajanje metanola v drugo anoksično cono, da se zagotovi vir ogljika potrebnega za potek procesa denitrifikacije. Tako kot pri štiristopenjskem procesu je tudi pri petstopenjskem procesu potreba po prostoru sorazmerno velika [3].



Shema 6: Postavitev petstopenjskega Bardenpho procesa

4.1.4 PROCES UNIVERZE CAPE TOWN (UCT)

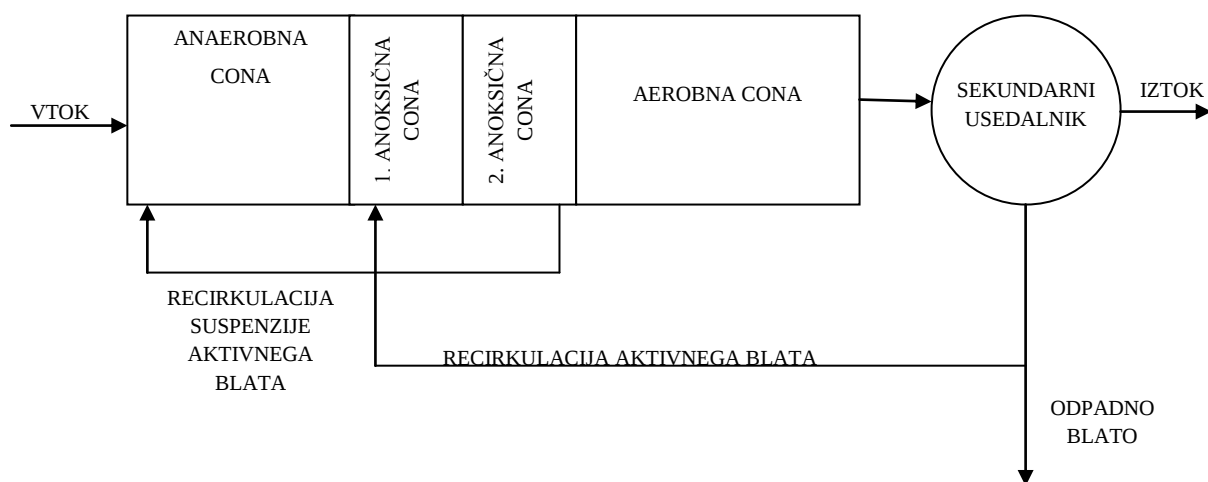
Ta proces je sestavljen iz anaerobne, anoksične in aerobne cone. Notranji ciklus vrača nitrate iz aerobne cone na začetek anoksične cone. Drugi notranji ciklus iz anoksične cone vrača odpadno vodo na začetek anaerobne cone. Aktivno blato se vrača v začetek anoksične cone zato, da se minimizira količino nitratov, ki vstopajo v anaerobno cono. Namen tega procesa je vzdrževanje visokih koncentracij hlapnih maščobnih kislin, ki omogočajo reakcije akumuliranja fosforja in proces denitrifikacije na visoki ravni, brez medsebojnega tekmovanja pri porabi maščobnih kislin. Kot pri ostalih procesih, z namenom hkratnega odstranjevanja, ni potrebna dodatna hidravlična višina, vendar pa so potrebni obsežni cevovodi in črpalke za povratni tok. Če je prisotnih dovolj hlapnih maščobnih kislin za potek procesov, dodajanje ogljika ni potrebno. Z doseganjem izjemno nizkih koncentracij je potrebno dolvodno dodajati oborila za kemijsko obarjanje fosfatov [3].



Shema 7: Postavitev procesa UCT

4.1.5 VIRGINIA INITIATIVE PROCES (VIP)

V procesu Virginia initiative se nitrati iz aerobne cone vračajo na začetek prve anoksične cone. Druga recirkulacija v VIP procesu je iz konca druge anoksične cone v začetek prve aerobne cone. Aktivno blato pa se vrača v prvo anoksično cono. VIP proces omogoča dodatno denitrifikacijo in s tem se onemogoča vstop nitratov v anaerobno cono. Nitrati v anaerobni coni onemogočajo sproščanje fosfatov in s tem posledično onemogočajo nadaljnje privzemanje fosfatov v aerobni coni. VIP deluje na visoki stopnji, kar omogoča manjše reaktorje, potrebne za izvedbo procesov odstranjevanja hranil. Umestitev procesa na že obstoječo čistilno napravo ne zahteva dodatnega prostora. Kot pri ostalih procesih namenjenih hkratnemu odstranjevanju fosforja in dušika, je pomembna količina prisotnih hlapnih maščobnih kislin. Če je hlapnih maščobnih kislin dovolj, ni potrebe po dodajanju dodatnega ogljika za potek bioloških procesov. Za doseganje zelo nizkih koncentracij fosforja v iztoku je potrebna izvedba kemičnega obarjanja fosfatov [3].



Shema 8: Postavitev Virginia Initiative procesa

5 VPLIV HRANIL NA VODNO OKOLJE

Ekološko stanje površinskih voda nam pove kakovost strukture in delovanja ekoloških sistemov, povezanih s površinskimi vodami. Ekološko stanje voda je razdeljeno na pet razredov kakovosti: zelo dobro, dobro, zmerno, slabo in zelo slabo. Razvrščanje v razrede poteka na podlagi bioloških elementov kakovosti, ki so specifični za posamezno vodno kategorijo splošnih fizikalno-kemičnih parametrov, ki podpirajo biološke elemente kakovosti [20].

Kemijsko in ekološko stanje površinskih voda je tesno medsebojno povezano. Za ugotavljanje bioloških in kemijskih elementov kakovosti Agencija republike Slovenije za okolje izvaja monitoring na vseh vodnih telesih v Sloveniji [20].

Dobro kemijsko stanje površinskih voda je določeno za skoraj 95 % vodnih teles, slabo kemijsko stanje pa za sedem vodnih teles. Dobrega ekološkega stanja pa ne dosega 59 vodnih teles, kar predstavlja 38,1 % vseh vodnih teles površinskih voda. Kemijsko stanje predstavlja obremenjenost površinskih voda z različno nevarnimi kemijskimi snovmi. Izraz ekološko stanje površinskih voda pa opisuje kakovost strukture in delovanje vodnih ekosistemov, povezanih s površinskimi vodami [21].

Občutljiva območja zaradi eutrofikacije določa Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav (Ur. l. RS 45/07). Kot občutljivo območje zaradi eutrofikacije se šteje vodno telo površinske vode, za katerega je mogoče ugotoviti ali pričakovati povečano obremenitev s hranili. Na območjih, občutljivih zaradi eutrofikacije, v glavnem izvajamo monitoring kemijskega in ekološkega stanja površinskih voda, nekaj pa je tudi dodatnih merilnih mest, ki je izbranih pod izpusti večjih čistilnih naprav [20].

5.1 EVTROFIKACIJA

Eutrofikacija je lahko posledica naravnega procesa ali antropogenih dejavnosti. Razlika med naravno in umetno povzročeno eutrofikacijo vodnih teles je poleg povzročitelja eutrofikacije predvsem hitrost samega procesa [1].

Eutrofikacija in z njo povezana rast alg in mikroorganizmov v kontinentalnih in priobalnih vodah je velik okoljski problem v razvitih državah. Posledice povečane koncentracije hranil so povečana rast alg, zmanjšanje raznovrstnosti mikroorganizmov, pogin rib in rast nekaterih strupenih mikrobioloških vrst, ki lahko ogrožajo zdravje ljudi in živali [16].

Eutrofikacija ima tudi ekonomske posledice, saj zaradi onesnaženja s hranili nastajajo stroški zaradi dražjega čiščenja voda in izgube zaradi zmanjšanja primernosti voda za turistične dejavnosti [1].

5.1.1 EVTROFIKACIJA STOJEČIH CELINSKIH POVRŠINSKIH VODA

Stoječe in počasi tekoče celinske vode so zaradi manjše samočistilne sposobnosti od tekočih voda bolj podvržene onesnaženju, ki ga prinaša hiter razvoj in vse intenzivnejša izraba prostora. Stanje posameznega stoječega vodnega telesa je odvisno od hidroloških in morfoloških pogojev, predvsem pa od vnosa različnih kemijskih in organskih snovi in energije. Največji in najbolj razširjen problem stojećih celinskih voda je prekomeren vnos hranilnih snovi, predvsem fosforja in dušika, v vodna telesa, ki večinoma ležijo na karbonatni kamninski podlagi. Evtrofikacija jezer, ki so najbolj zastopana vodna telesa med stoječimi celinskimi vodami, povzroča tako imenovano staranje jezer. Staranje jezer je naraven proces skozi katerega gre vsako jezero [22].

Na samočistilno sposobnost in hitrost staranja stojećih celinskih voda vplivajo tudi razporejanje in mešanje vodnih mas ter sama pretočnost vodnega telesa [22].

Naravna evtrofikacija je proces, ki lahko traja tudi več tisoč let, medtem ko je umetna evtrofikacija nov pojav in poteka zelo hitro. Proces spreminjanja trofičnosti iz oligotrofnih voda do hipertrofičnih voda je naraven proces, vendar pa se z izpusti hranil ti procesi močno pospešujejo [1].

Največkrat so vir prekomerne obremenitve vodnih teles s hranili nepravilno urejeno odvajanje komunalnih vod in prekomerno pognojene kmetijske površine [22].

Sprememba v trofičnosti voda je počasen proces povečevanja biološke produkcije zaradi izpustov hranil v vodna telesa. Fosfor je pogosto ključni element, od katerega je odvisna stopnja trofičnosti stojećih voda. Poznamo različne stopnje trofičnosti, in sicer [15]:

- oligotrofne vode;
- mezotrofne vode;
- distrofne vode in
- evtrofne vode.

Najmanj hranil je prisotnih v oligotrofnih vodah, nato pa se trofičnost ali onesnaženost s hranili v naslednjih razredih povečuje [1].

Fosfor je običajno tisti element, ki sproži evtrofikacijo oziroma element, ki evtrofikacijo zavira, dokler koncentracija fosforja v vodi ne doseže stopnje, katera omogoča evtrofikacijo [1].

Evtrofikacija, zlasti kopičenje fosforja v vodi, je težava večine jezer v zmernem podnebnem pasu, pri nas samo Blejskega. Povečana vsebnost hranil pospešuje rast fitoplanktona, kar vpliva na zmanjšano prosojnost. Na Blejskem jezeru opažamo izboljševanje stanja, kar je predvsem posledica izvedenih ukrepov. Povprečna vsebnost fosforja pa je precej večja v umetnih zadrževalnikih v osrednji in severovzhodni Sloveniji, ki ležijo na območjih intenzivnega kmetijstva [22].

Evtrofikacija je proces, ko se zaradi različnih razlogov v vodi pojavijo velike količine hranil, kar vodi do pospešene rasti alg in drugih višjih vodnih rastlin. Kasnejše odmiranje alg in mikroorganizmov povzroča pomanjkanje kisika v vodi zaradi razgradnje, pri kateri se le-ta porablja. To povzroči sekundarno onesnaženje [1].

Zaradi povečane koncentracije hranil v vodi, ki presega samočistilno sposobnost voda, se poveča bioprodukcija alg. Rast rastlin v vodnih sistemih je odvisna od številnih faktorjev kot so hranilne snovi, svetloba, temperatura, vodni režim, motnost, poraba zooplanktona in prisotnost strupenih substanc [2].

V Evropi narašča število jezer z nizko vsebnostjo fosforja in s tem povečano prosojnostjo, kar je posledica ukrepov, ki vplivajo na zmanjšanje obremenjevanja pojezerij. V primerjavi s 70. leti se je izboljšalo tudi stanje Blejskega jezera, katerega se ponovno uvršča med mezotrofna jezera. Bohinjsko jezero sodi med oligotrofna pretočna alpska jezera, kjer so vplivi človeka zaradi neposeljenosti okoliša jezera relativno majhne. Nekoliko drugačna situacija je v umetnih zadrževalnikih, še posebej v severozahodni Sloveniji, kjer je močno prisotna kmetijska dejavnost, ki močno vpliva na količino fosfatov, izpuščenih v vodna telesa [22].

V Slovenji se izvajajo meritve ekološkega stanja jezer izvajajo na naravnih in umetnih jezerih ter na močno preoblikovanih vodnih telesih, katerih površina presega 0,5 km². Med elemente kakovosti ekološkega stanja jezer uvrščamo biološke elemente, splošno kemijsko-fizikalne elemente, posebna onesnaževala in hidrološke elemente kakovosti. Vzorčenje poteka po standardiziranih postopkih, integrirano s plastovitostjo vodnega telesa izoblikovanih vodnih plasti epilimnija, metalimnija in hioplumnija [20].

5.1.2 EVTROFIKACIJA TEKOČIH CELINSKIH VODA

Onesnaženost rek se prikazuje kot povprečna letna vrednost hranil, predvsem nitratov in ortofosfatov, v odvzetem vzorcu, ki so odvzeti v okviru rednega spremljanja kakovosti površinskih voda. Rezultati iz vzorčenja so primerjani s primerjalnimi oziroma domnevnimi naravnimi vrednostmi. Naravna vsebnost fosforja in dušika v rekah je odvisna predvsem od geološke sestave in vrste zemljin v porečju [20].

Povečan vnos hranil v vodotok lahko vodi do evτροφikacije oziroma cvetenja. Evτροφikacija je pojav, ki spreminja ekološko stanje vodotoka. Spremembe se kažejo kot zmanjšanje števila živalskih in rastlinskih vrst, prisotnih v in ob vodotoku. Evτροφikacija tekočih voda ima tudi negativne gospodarske posledice [20].

Amonij vstopa v vodotoke kot posledica organskega onesnaženja, čigar vir je kmetijstvo, komunalne in industrijske odpadne vode. Amonij igra pomembno vlogo pri onesnaženju vodotokov, saj v oksidacijskem procesu pretvorbe v oksidirane oblike dušika porabi velike količine v vodi prisotnega kisika in s tem še poslabšuje oksične razmere v vodi. V določenih pogojih lahko amonij preide v plinasto obliko amonijaka, ki je že v majhnih količinah strupen za vodne organizme [23].

Samočistilna sposobnost vodotokov se izraža kot količina organske mase, ki se s pomočjo mikroorganizmov razgradi na organske snovi. Grobo merilo za samočistilno sposobnost vodotoka je biokemijska potreba po kisiku (BPK5). Ta je ob organskem onesnaženju navadno povečana. Posledica visoke biokemijske potrebe po kisiku je poslabšanje kemijske in biološke kakovosti vode. Po letu 2005 so vrednosti BPK5 močno upadle zaradi izboljšanja obdelave odpadnih voda in opuščanja industrije, ki močno obremenjuje vodotoke za odpadnimi vodami. Vsebnosti nitratov in ortofosfatov v vodotokih so nekoliko nad navedenimi vrednostmi za naravno ozadje večine evropskih rek [20].

Kakovost vodotokov se prikazuje na dva načina, in sicer kot kemijsko stanje in kot saprobiološka kakovost. Na okoli 140 vodotokih se izvaja monitoring ekološke stanja rek, v katerem se preverjajo biološki, fizikalno-kemijski elementi, posebna onesnaževala in hidrološki elementi kakovosti [20].

5.1.3 EVTROFIKACIJA MORJA

V skladu z vodno direktivo in nacionalnimi predpisi se kakovost morja ugotavlja s kemijskimi in ekološkimi preiskavami. Kemijsko stanje se razvršča v dva razreda, ekološko pa v pet. Kemijsko stanje predstavlja obremenjenost morja s prednostnimi in neprednostnimi nevarnimi snovmi. Ekološko stanje morja je izraz kakovosti strukture in delovanja ekosistemov morja. Ocena ekološkega stanja morja predstavlja spremembo fizikalno-kemijskih, bioloških in hidromorfoloških parametrov glede na referenčno stanje [24].

Glede na povprečne letne vrednosti prozornosti morja in koncentracije klorofila A pod $2,5\mu\text{g/l}$, lahko slovensko obalno morje po klasifikaciji OECD uvrščamo med morja z nizko vsebnostjo hranilnih snovi (oligotrofna), vendar z manjšimi znaki preobremenjenosti morja s hranili [25].

Negativni učinki prekomernega obremenjevanja morja se kažejo kot škodljivo cvetenje alg, kar opazimo kot spremembo barve vode, nastanek pene, pogin bentoške favne prostoživečih in gojenih rib ter zastrupitve ljudi, ki uživajo školjke iz prizadetih območij. Velika količina biomase fitoplanktona zmanjšuje prozornost vode in spodnjo mejo uspevanja morskih cvetic in makroalg. Posledice presežkov hranil se kažejo tudi kot lokalno pomanjkanje kisika v pridnem sloju, zmanjšanje biotske raznovrstnosti, cvetenje fitoplanktona, pogin organizmov na morskem dnu in povečana pokritost morskih tal s hitrorastočimi zelenimi algami [25].

Severni Jadran, katerega del je tudi slovensko morje, spada med dele sredozemskega morja kjer je primarna produkcija največja [25].

Večina Tržaškega zaliva, predvsem pa njegov vzhodni del, kamor spada tudi slovensko morje, je s hranilnimi snovmi reven ekosistem z lokalno omejenimi znaki preobremenjenosti s hranili. Preobremenjenost s hranili pa se kaže v manjših polzaprtih zalivih, v katere se stekajo komunalne odplake [25].

5.1.4 OBREMENJENOST PODZEMNE VODE Z NITRATI

Slovensko ozemlje je razdeljeno na 21 teles podzemne vode. Leta 2013 je potekalo obratovalno spremljanje stanja kakovosti podzemnih voda. V program spremljanja je bilo vključenih 158 merilnih mest, razporejenih na 14. podzemnih vodnih telesih. Vključena so bila z nitrati najbolj obremenjena podzemna telesa v medzrnskih vodonosnikih in kraško-raspoklinska podzemna vodna telesa, kjer se izvajajo večji odvzemi pitne vode in kazalci nakazujejo na možnost onesnaženja pitne vode z nitrati. Analize so pokazale, da so vsebnosti nitratov v vodi v povprečju nižje kot pa v evropskih državah [26].

Podzemna voda je v kraških in raspoklinskih vodonosnikih zaradi geografske danosti, manjše gostote poselitve in manjše pogostosti kmetijskih površin manj obremenjena z nitrati. V večini vodnih teles podzemne vode s pretežno kraškimi in raspoklinskimi vodonosniki so povprečne letne vsebnosti nitratov v povprečju okoli 10 mg NO³/l, nikjer pa ne presegajo vrednosti 25 mg NO³/l [26].

Kmetijstvo, ki je glavni vir onesnaženja podzemnih voda z nitrati, je najbolj razvito v severozahodnem in osrednjem delu Slovenije, kjer prevladujejo aluvialni vodonosniki. To se odraža tudi v koncentracijah nitratov, prisotnih v podzemnih vodah, ki so v večini primerov nad naravnim ozadjem na mnogih merilnih mestih tudi višje od standardno predpisanih 50 mg NO³/l. Najbolj obremenjene podtalne vode so vodna telesa v Savinjski, Dravski in Murski kotlini, vendar pa tudi tam po letu 2007 vsebnost nitratov v vodi ne presega koncentracij, predpisanih s standardom [26].

5.2 KMETIJSTVO KOT ONESNAŽEVALEC OKOLJA

Čeprav kmetijstvo prispeva le majhen delež k nacionalnemu bruto domačemu proizvodu, je ena izmed najpomembnejših gospodarskih panog, ki zagotavlja kakovostno hrano za prebivalstvo in ohranitev kulture krajine.

Fosfor je esencialen element za rast rastlin, a hkrati tudi eno izmed hranil, ki sproži sam proces evtrofikacije voda. Čeprav se število čistilnih naprav povečuje in vse več izmed njih uporablja tudi tehnologijo odstranjevanja fosforja in tako prispevajo k zmanjševanju točkovnega onesnaženja s hranili, je pričakovati, da se brez uvedbe boljših kmetijskih praks v prihodnje še poveča razpršeno onesnaževanje s hranili zaradi večanja svetovne populacije in posledično večjih potreb po hrani in zato večji intenzivnosti kmetovanja [17].

Kmetijstvo je že sedaj eden izmed glavnih onesnaževalcev okolja, zato je izjemnega pomena obravnavanje problematike, povezane z onesnaženjem hidrosfere s hranili, ki se iz zemljin izpirajo kot posledica kmetijske dejavnosti. Poleg tega, da kmetijstvo prevzema velik del odgovornosti za onesnaženje s fosfati, pa je tudi eden od možnih subjektov, ki bi lahko v prihodnosti za proizvodnjo

uporabljal reciklirani fosfor. Treba je priznati, da se v Evropskih državah (predvsem v državah članicah Evropske unije) boj proti onesnaženosti kmetijskih tal že kaže kot uspešen, saj se znižuje delež prsti, kjer je fosfor presežno zastopan [1].

Rastline za svojo rast in razvoj potrebujejo dovolj veliko količino svetlobe, ogljikovega dioksida, vode in mineralov, ki jih rastlina pridobi s koreninami iz zemljine. Glavni minerali, ki jih rastlina pridobi iz zemljine, so dušik, fosfor, kalij, kalcij, magnezij in žveplo. Pomanjkanje enega izmed njih lahko sproži delovanje 'zakona minimuma', kar pomeni da je hranilo, prisotno v najmanjši količini, omejujoč dejavnik za rastlino. V preteklosti je bil omejujoči element fosfor, saj gnojenje z organskimi gnojili ni zadostilo potreb po tem mineralu. Ta problem je bil odpravljen pred okoli 200 leti z uvedbo mineralnih gnojil, vendar problem ostaja v državah v razvoju, kjer ni finančnih sredstev za mineralna gnojila. Sedaj se v razvitem svetu za kmetijstvo porabi okoli 90 % fosforja, od tega 80 % za mineralna gnojila in 10% za krmne dodatke živalim. Koncentrirane fosforne kisline, ki vsebujejo med 70 in 75 % P_2O_5 , so v obliki gnojil izjemno pomembne za kmetijsko proizvodnjo [1].

Problem, ki je nastal potem, ko se je fosfor začel aplicirati na polja, je doseganje optimalne količine fosforja v zemljini, ki se jo razume kot maksimalni pridelek glede na enoto dodanega fosforja. A v želji po čim večjemu pridelku na enoto površine pogosto prihaja do prevelike obremenjenosti tal s hranili, katera rastline ne morejo pravočasno, preden pride do izpiranja, porabiti. Zato, ker ima vnos hranil v tla tako ekološki kot ekonomski vpliv, je v interesu vseh, da je meja potrebnega fosforja za optimalno rast in razvoj pridelkov v tleh čim nižja, to pa se lahko doseže na več načinov. Med temi načini zmanjševanja potrebe po dodajanju fosforja so kolobarjenje, vračanje ostankov pridelkov nazaj na polje, gojenje rastlin, ki ne potrebujejo veliko fosforja za rast, zeleno gnojenje, dodajanje hranil ob rastlino, kjer je največ korenin; tako lahko korenine porabijo največ hranil. Ko so fosfatna gnojila dodana tlom, je le del fosforja takoj porabljen s strani rastlin, preostanek pa se z različnimi reakcijami veže na delce v zemljini. Hitrost vezave fosforja na zemeljske delce je odvisna od tipa in velikosti delcev ter prisotnosti elementov, kot so aluminij, železo, kalcij, kislost tal in prisotnost organskih delcev. Glavni cilj, ki se ga zasleduje pri dodajanju hranil zemljini, je vračanje hranil na polje v enaki količini kot so bila odstranjena s pridelkom [1].

6 MODELIRANJE PROCESA EVTROFIKACIJE

Začetki matematičnega modeliranja evτροφikacijskega procesa segajo v 20ta leta 20. stoletja. Eden izmed prvih matematičnih modelov (1925) je model Streeter-Phelps, ki izraža kvaliteto vodotoka kot razgradnjo organskega onesnaženja z biokemijsko potrebo po kisiku. Ker so procesi onesnaženja in samočiščenja zelo komplicirani in zahtevni, kemijski, fizikalni, biološki, hidrološki in hidravlični problemi, ki se dogajajo v prostorskih in časovnih dimenzijah [27]

V zadnjih desetletjih je matematično modeliranje močno razvilo tudi na področju zaščite voda. Današnji deterministični modeli zajemajo tudi več kot deset enačb za različne elemente v vseh treh prostorskih dimenzijah in tudi v dimenziji časa [27].

Z modeliranjem kakovostnih spremenljivk voda simuliramo usodo onesnaževal in spremembe izbranih parametrov vodnem telesu. Modeli vsebujejo različne fizične, biološke in kemične, ki kontrolirajo transport in transformacijo kakovostnih spremenljivk. Modeli za simuliranje kakovosti voda so odvisni od hidrodinamike, točkovnih in razpršenih virov onesnaženja in okoljskih pogojev kot so temperatura, sončno sevanje, hitrost vetra, pH [28].

Določeni modeli so specializirani za posamezne kakovostne probleme voda kot so pomanjkanje kisika ali kemijsko onesnaženje. Medtem, ko so preostali modeli bolj splošni in se jih uporablja za simulacijo različnih kakovostnih lastnosti voda. Podobno so tudi določeni modeli namenjeni zgolj za posamezno vrsto vodnih teles kot so jezera ali reke medtem, ko so drugi modeli bolj splošni in primerni za vse vrste vodnih teles [29].

Hidrodinamični modeli in modeli za simuliranje kakovostnih procesov voda seštevajo vplive točkovnih in razpršenih virov onesnaženja na vodna telesa, ki sprejemajo onesnaženja. Ti modeli med drugim omogočajo znanstvenikom in inženirjem izračun samočistilne sposobnosti voda in aproksimativnih količin onesnaževala, ki ga vodno telo lahko sprejme brez trajnih posledic [28].

Ekološke procese lahko opišemo z matematičnimi enačbami, ki jih zapišemo z programskim jezikom tako, da z računalniško simulacijo pridobimo rezultate. Ta način razmišljanja o modeliranju ekoloških procesov v vodnih telesih se v času ni veliko spremenil. Zaradi razvoja računalniške tehnologije se je le povečala količina zajetih podatkov, kar po pravilno opravljeni simulaciji omogoča natančnejše rezultate [29].

6.1 MODEL AQUATOX

Aquatox je simulacijski model za vodne sisteme s katerim lahko predvidimo vplive onesnažil in hranil na ekosistem v vodnem telesu vključno z ribami, nevretenčarji in vodnimi rastlinami [30].

Aquatox simulira prenos biomase, energije in kemikalij iz določenega predela ekosistema v drug predel. Model to izvaja z hkratnim izračunavanjem najpomembnejših kemijskih in bioloških procesov za vsak dan posebej simulacijskega obdobja. Z uporabo modela Aquatox-a je možno predvideti tudi usodo kemikalij in hranil kot tudi vpliv le teh na organizme prisotne v vodnem telesu. Zato je možno z uporabo tega modela vzpostaviti neposredno povezavo med kemično kvaliteto vode in biološkim odgovorom na kemijsko stanje vodnega telesa [30].

Aquatox se v več pogledih razlikuje od preostalih modelov za modeliranje kakovostnih lastnosti voda. Večina preostalih modelov vključuje zelo malo ali nič bioloških parametrov medtem ko je aquatox model, ki zajema lastnosti celotnega ekosistema. Aquatox temelji na samih ekoloških procesih za razliko od empiričnih modelov, ki običajno temeljijo na statističnih razmerjih. Empirični modeli prikazujejo korelacije med spremenljivkami vendar ne prikažejo samega mehanizma razmerja [30].

Z modelom lahko modeliramo naslednje ekosisteme [30]:

- Jezera in ribnike,
- Zadrževalnike,
- Reke in potoke

Ker so naštetni vodni ekosistemi lahko medsebojno povezani, model predpostavlja, da so posamezni segmenti enakomerno premešani, izjema so vodna telesa, pri katerih prihaja do toplotne stratifikacije vodnih teles [30].

6.2 MODEL QUAL (River and Stream Water Quality Model)

Značilni predstavnik razvijajočih matematičnih modelov je model QUAL, katerega prva verzija je bila izdelana že v 70-tih letih. Od takrat pa so nastale še mnoge novejšje verzije [27].

Zadnja verzija modela QUAL je QUAL2K ali Q2K katerega namen je nadomestitev oziroma nadgradnja modela QUAL2E. Model QUAL2K je enodimenzionalen model za stacionarno in dinamično modeliranje kakovostnega stanja v rekah in potokih [31].

Kot stacionarni model se lahko uporablja za preučevanje vpliva izpustov odpadnih voda na samo kakovost vodotoka. Uporablja se tudi za ugotavljanje lastnosti razpršenega onesnaževanja, kot sestavni del terenskih meritev. Kot dinamični model pa se uporablja za modeliranje dnevnih sprememb kakovostnih lastnosti voda zaradi meteoroloških sprememb. Z modelom lahko simuliramo naslednje kakovostne lastnosti tekočih voda [27]:

- Temperaturo,
- Raztopljeni kisik,
- BPK,
- Vse oblike dušika,
- Organski in raztopljeni fosfor,
- Biomasa alg kot klorofil a.

QUAL je model, ki spremlja kakovost vodotoka v vzdolžni smeri pri predpostavki, da je voda dobro premešana. Model se uporablja tako, da se vodotok razdeli na odseke z konstantnimi hidravličnimi lastnostmi, le-tega pa razdelimo na računske elemente enake dolžine [31].

6.3 MODEL WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)

WASP je dinamični model, ki se ga lahko uporablja za analizo različnih kakovostnih problemov vodnih teles kot so ribniki, potoki, jezera, zadrževalnike, reke in obalne vode. Sistem WASP je sestavljen iz dveh računalniških programov in sicer iz DYNHYD in WASP, ki ju lahko uporabljamo skupaj ali ločeno. DYNHYD je hidrodinamični program, ki simulira gibanje vode medtem ko je WASP program ki simulira kakovostne lastnosti voda. Program WASP pa vsebuje dva pod sistema in sicer EUTRO in TOXI. S podsistemom EUTRO se simulira raztopljeni kisik, BPK, fitoplankton, ogljik, klorofil a, amonij, nitrat, organski dušik in ortofosfat. Podsistem TOXI pa omogoča simuliranje raztopljenih kemičnih koncentracij v vod [32].

Model za analiziranje in simuliranje kakovostnih lastnosti WASP7 je nadgrajena različica prvotnega sistema WASP. Ta model pomaga uporabnikom razumeti in predvideti spremembe kakovostnih lastnosti voda na naravna in antropogena onesnaženja vodnih teles. WASP omogoča uporabniku modeliranje v eni, dveh ali treh dimenzijah z uporabo različnih tipov onesnaževal. Model WASP se povezuje tudi z modeli za hidrodinamiko in transport sedimentov [32].

WASP je eden izmed najbolj pogosto uporabljenih modelov za simulacijo kakovostnih procesov voda v ZDA in po svetu. Zaradi sposobnosti modela da zajema lahko več tipov onesnaževal se je veliko uporabljal za izračun maksimalne celotne dnevne obremenitve vodnega telesa [32].

Z WASP je možno modelirati biokemijsko potrebo po kisiku, dinamiko raztopljenega kisika, hranila, evτροφikacijo, razvoj bakterij in gibanje kemijskega onesnaženja [32].

7 PORABA FOSFORJA IN DUŠIKA V SLOVENIJI NA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČIH

Ker je sodobno intenzivno kmetijstvo glavni vir fosforja in dušika v vodnem okolju antropogenega izvora, sem na spletni strani Statističnega urada Republike Slovenije poiskal podatke o porabi antropogeno dodanih hranil za obdobje med leti 1995 in 2013 [11].

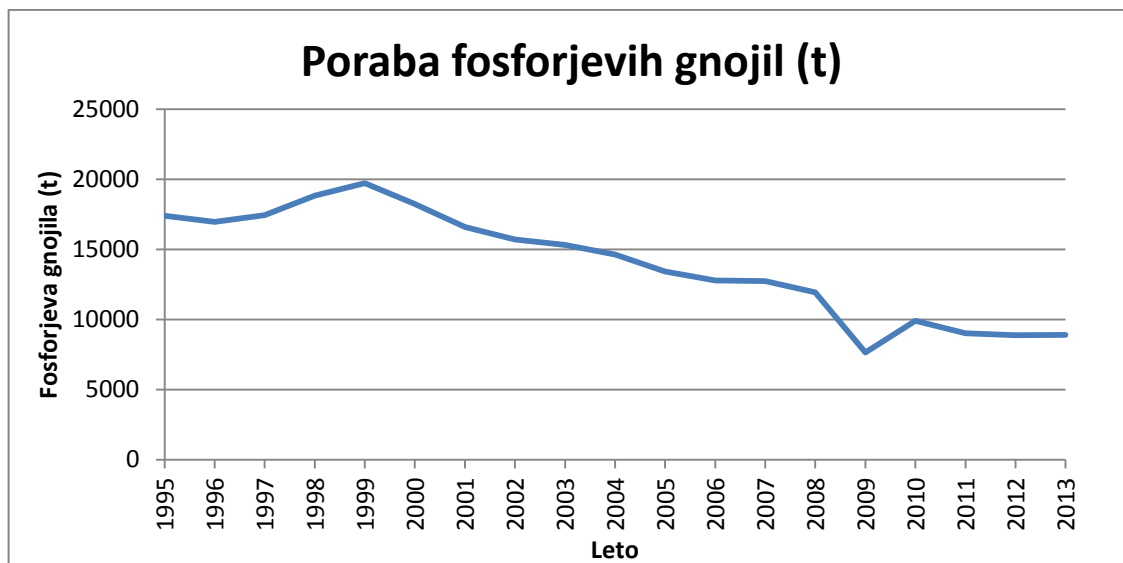
V nadaljevanju sem analiziral spremembe porabe obravnavanih hranil v kmetijstvu glede na spremembe površin kmetijskih zemljišč v uporabi v obravnavanem obdobju.

Preglednica 2: Poraba mineralnih gnojil v Sloveniji med obdobjem 1995-2013

Leto	Gnojila (t)	N(t)	P ₂ O ₅ (t)	Kmetijska zemljišča v uporabi (ha)	Rastlinska hranila (kg/ha)
1995	168780	32235	17391	524965	134,6
1996	168029	31296	16972	513473	134,7
1997	180599	33999	17431	494271	149,6
1998	184729	34801	18826	490918	156
1999	186370	34380	19717	498591	157,4
2000	174180	34159	18250	508960	146,6
2001	178166	34765	16607	509624	141,8
2002	175724	33412	15698	505462	138
2003	177589	34501	15311	509709	137
2004	162680	30264	14640	490520	129,4
2005	149504	29169	13431	508759	115,3
2006	146593	30383	12787	490318	119,6
2007	149587	29613	12745	498466	115,6
2008	135011	25039	11935	492424	104,9
2009	119135	28202	7655	468496	94,8
2010	131855	27486	9901	482677	102,9
2011	131304	27134	9012	458214	104,1
2012	128364	26300	8891	479653	95,9
2013	130347	27263	8900	478888	98,2

Vir: Statistični urad Republike Slovenije,

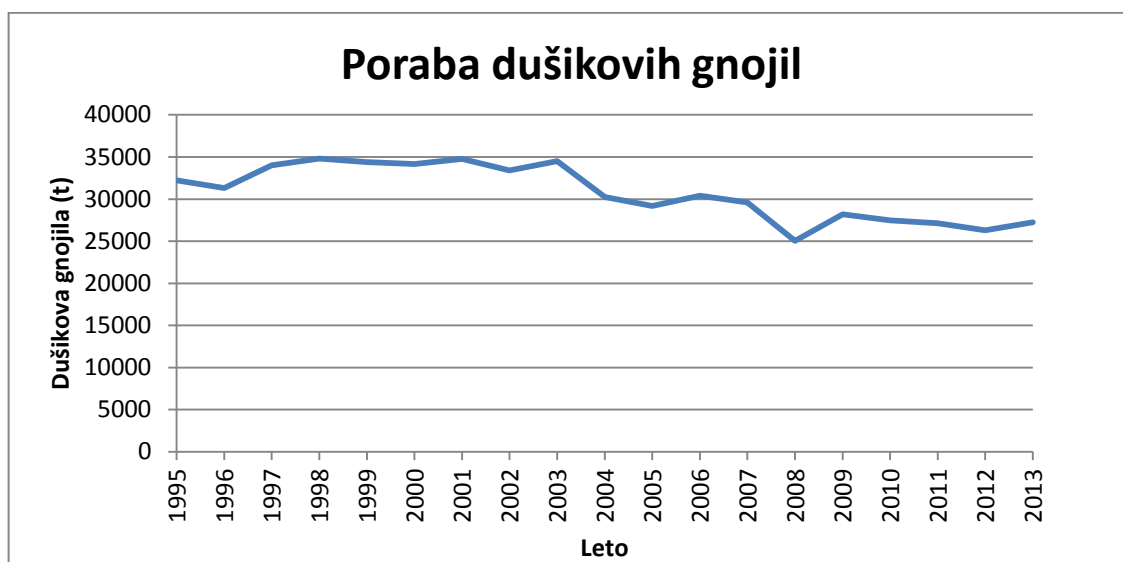
http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=1517001S&ti=&path=../Database/Okolje/15_kmetijstvo_ribistvo/07_reprodukcija/material/01_15170_gnojila/&lang=2 (pridobljeno 11.2.2015)



Grafikon 1: Poraba fosforjevih gnojil

Vir: Poraba mineralnih gnojil v Sloveniji med obdobjem 1995-2013

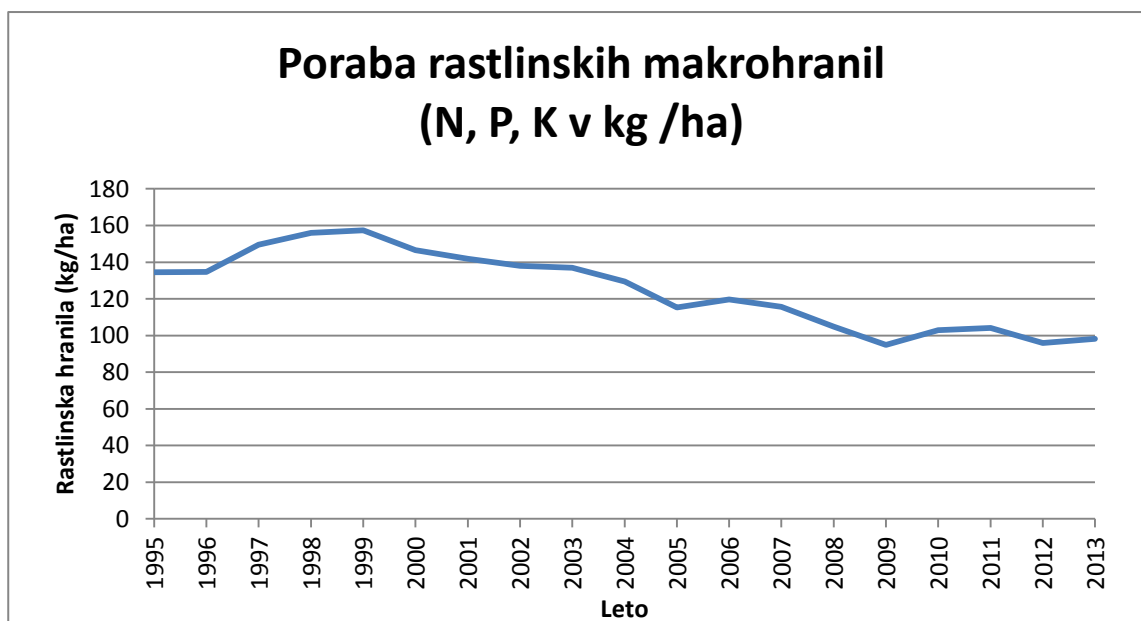
Poraba fosfornih gnojil je na kmetijskih zemljiščih od leta 1995 pa do 2013 upadla za izjemnih 48,8 %, in sicer iz 17391 ton/leto na 8900 ton/leto. Poraba dušikovih gnojil je na hektar kmetijskega zemljišča padla iz dobrih 33 kilogramov na 18,5 kilograma dušikovih gnojil. Ker je v tem času prišlo tudi do krčenja kmetijskih površin, je upad dodanih hranil na hektar za 44 %.



Grafikon 2: Poraba dušikovih gnojil

Vir: Poraba mineralnih gnojil v Sloveniji med obdobjem 1995-2013

Tudi poraba dušikovih gnojil je leta 2013 padla v primerjavi z letom 1995 za 15,4 %. Poraba dušikovih gnojil v opazovanem obdobju je iz 32235 ton leta 1995 padla na 72763 ton leta 2013. Če upoštevamo krčenje kmetijskih površin v obdobju 1995-2013, to pomeni padec iz 61,4 kg/ha leta 1995 na 56,9 kg/ha leta 2013, kar predstavlja 7,2 %.



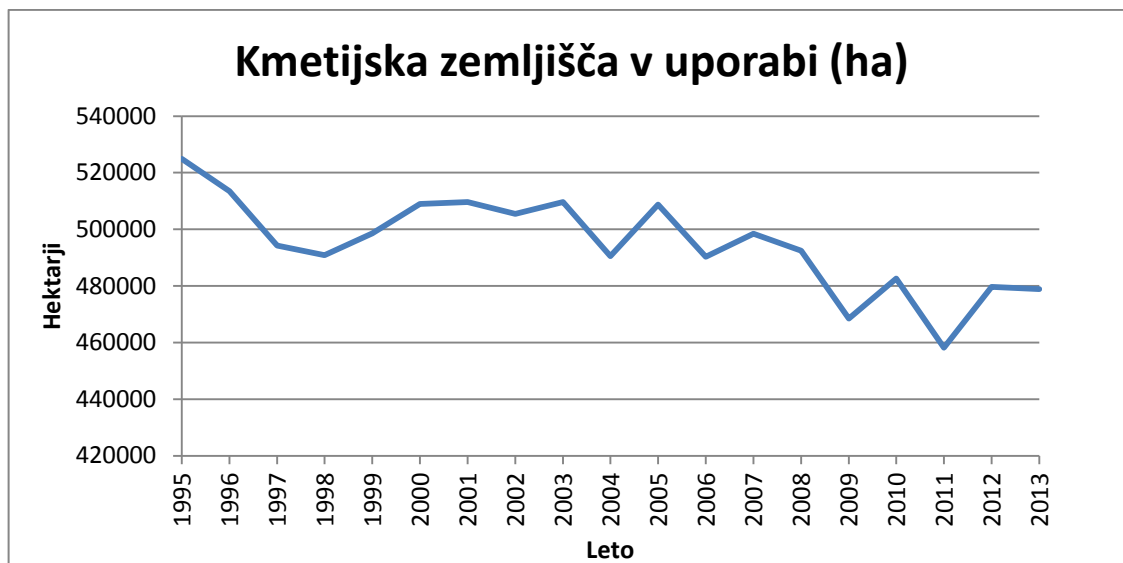
Grafikon 3: Poraba rastlinskih makrohranil (N,P, K v kg/ha)

Vir: Poraba mineralnih gnojil v Sloveniji med obdobjem 1995-2013

Poraba rastlinskih hranil (N, P, K) je od leta 1995 pa do 2013 padla za slabih 27 %. Zmanjšanje porabe je vidno predvsem po letu 1999, ko je poraba znašala 157 kg/ha rastlinskih makrohranil, medtem ko je leta 2009 padla na 94,8 kg/ha.

Zmanjšanje porabe makrohranil na hektar kmetijskega zemljišča gre pripisati nitratni direktivi in načelom dobre kmetijske prakse pri gnojenju, h katerim so zavezana kmetijska gospodarstva od leta 2004, ko smo vstopili v Evropsko unijo. Oba dokumenta posvečata pozornost gnojilom iz živalskega in rastlinskega izvora pri načrtovanju gnojenja z mineralnimi gnojili. Kmetijska gospodarstva morajo imeti izdelane gnojilne načrte, v katerih so ovrednotena tudi hranila iz gnojil živalskega izvora. Posledično se poraba mineralnih gnojil ustrezno zmanjšuje [33].

Poraba rastlinskih makrohranil na hektar je bila v Sloveniji v obdobju 2002-2009 večja kot je bilo povprečje v Evropski uniji. V državah članicah Evropske unije se tako kot v Sloveniji zmanjšuje poraba rastlinskih makrohranil na hektar kmetijskega zemljišča, vendar je v Sloveniji padec porabe večji. Če je bila ta razlika v porabi leta 2002 še 43 kg/ha, je bila razlika leta 2009 le še 18 kg/ha [27].



Grafikon 4: Kmetijska zemljišča v uporabi (ha)

Vir: Poraba mineralnih gnojil v Sloveniji med obdobjem 1995-2013

Kmetijske površine v Sloveniji se krčijo. V opazovanem obdobju od leta 1995 pa do 2013 se je vsota površin zmanjšala za 46077 hektarjev, kar predstavlja 8,77 %.

Slovenija je, v primerjavi s članicami Evropske unije, na repu lestvice po kmetijskih obdelovalnih površinah. Povprečje držav članic Evropske unije je 27,4 % obdelovalnih površin in 45 % skupnih kmetijskih površin, medtem ko je v Sloveniji 8,8 % obdelovalnih površin in 24,3 % skupnih kmetijskih površin. Ključno dejstvo je, da Slovenija ne dosega 3000 m²/prebivalca kmetijskih površin, kar pomeni, da v Sloveniji nimamo dovolj kmetijskih površin, da bi zadovoljili nacionalne potrebe prebivalstva po hrani. Delna rešitev problema se skriva v intenzivnejši kmetijski proizvodnji, ki pa v mnogih primerih ni mogoča zaradi terenskih in okoljskih omejitev [34].

8 HIDROSFERA ŠMARJEŠKIH TOPLIC

Na območju občine Šmarjeških Toplic obstaja več manjših vodnih teles, ki dopolnjujejo hidrosferni mozaik območja, katerega predstavljam. Najpomembnejša med njimi so naslednja.

Radulja,

ki je nekaj deset kilometrov dolga reka, levi pritok reke Krke. Hkrati je Radulja edino površinsko vodno telo, na katerem se izvaja monitoring za spremljanje stanja rek. Glede na razvrstitev vzorčnih mest v razrede ekološkega stanja po modulih za leto 2010, ki ga je objavila Agencija Republike Slovenije za okolje, je reka Radulja glede na module saprobnosti (bentoški nevretenčarji, fitobentos in makrofiti, BPK₅), trofičnost (fitobentos in makrofiti, NO₃), hidromorfološka spremenjenost (bentoški nevretenčarji) ter posebnih onesnaževal v vseh kategorijah ocenjena z najvišjo oznako, in sicer zelo dobro [56].

Kleevška Toplica

je pritok potoka Radulje, katerega izvir privre na dan pod večjo skalo in je zajet v manjšem bazenu. To je hipotermalni izvir, s temperaturo od 21 do 25°C in je nastal ob istem prelomu kot izvir v Šmarjeških Toplicah. Kleevška Toplica je primerna za kopanje [57].

Potok Prinovec

izvira v gozdu za hotelom Terme Šmarješke Toplice in teče ob čistilni napravi Šmarješke Toplice, zato služi tudi kot odvodnik očiščene vode iz čistilne naprave. Potok se po nekaj več kot enem kilometru izlije v reko Krko [57].

Terme Šmarješke Toplice,

prvi pisni viri o zdravilišču segajo že v leto 1792. Danes so omenjene terme ene izmed najbolj priznanih termalnih zdravilišč v Sloveniji. Termalna voda v termah je hipoakratoterma in ima temperaturo 32° C ter je obogatena z ogljikovim dioksidom, kalcijem in magnezijem [57].

Vodni vir jezero

je največji vodni vir za osrednjo Dolenjsko, ki se nahaja v Družinski vasi in zagotavlja vodo za oskrbo občin Šmarješke Toplice, Straža, Mirna Peč in celotni levi breg občine Novo mesto. Ker je to vodni vir, ki je izjemnega pomena za občino Šmarješke Toplice in občine osrednje Dolenjske bom v nadaljevanju podrobneje predstavil zajetje, obstoječe in načrtovane procese obdelave vode, itd.

8.1 ANTROPOGENI VPLIVI NA HIDROSFERO ŠMARJEŠKIH TOPLIC

Celotno območje občine spada med povodje Donave in to območje spada med prispevne površine občutljivih območij za evtrofikacijo.

Območje občine Šmarješke Toplice ni industrijsko razvito. V občini je prisotno zgolj eno industrijsko podjetje srednje velikosti, in sicer Plastoform Šmarjeta. To podjetje se ukvarja z izdelavo izdelkov iz pleksistekla in pri proizvodnji ne porablja večjih količin vode, razen za osebne potrebe zaposlenih.

Tako so največji industrijski onesnaževalec hidrosfere na območju občine Šmarješke Toplice Terme Šmarješke Toplice. Terme pri svojem obratovanju porabljajo velike količine termalne vode za zadovoljevanje svojih primarnih potreb za zdraviliški turizem, ki se izpuščajo v potok Toplica. Hkrati pa turisti v hotelih proizvedejo veliko količino komunalnih odpadkov, katere preko čistine naprave obremenjujejo potok Toplica in nato posledično reko Krko.

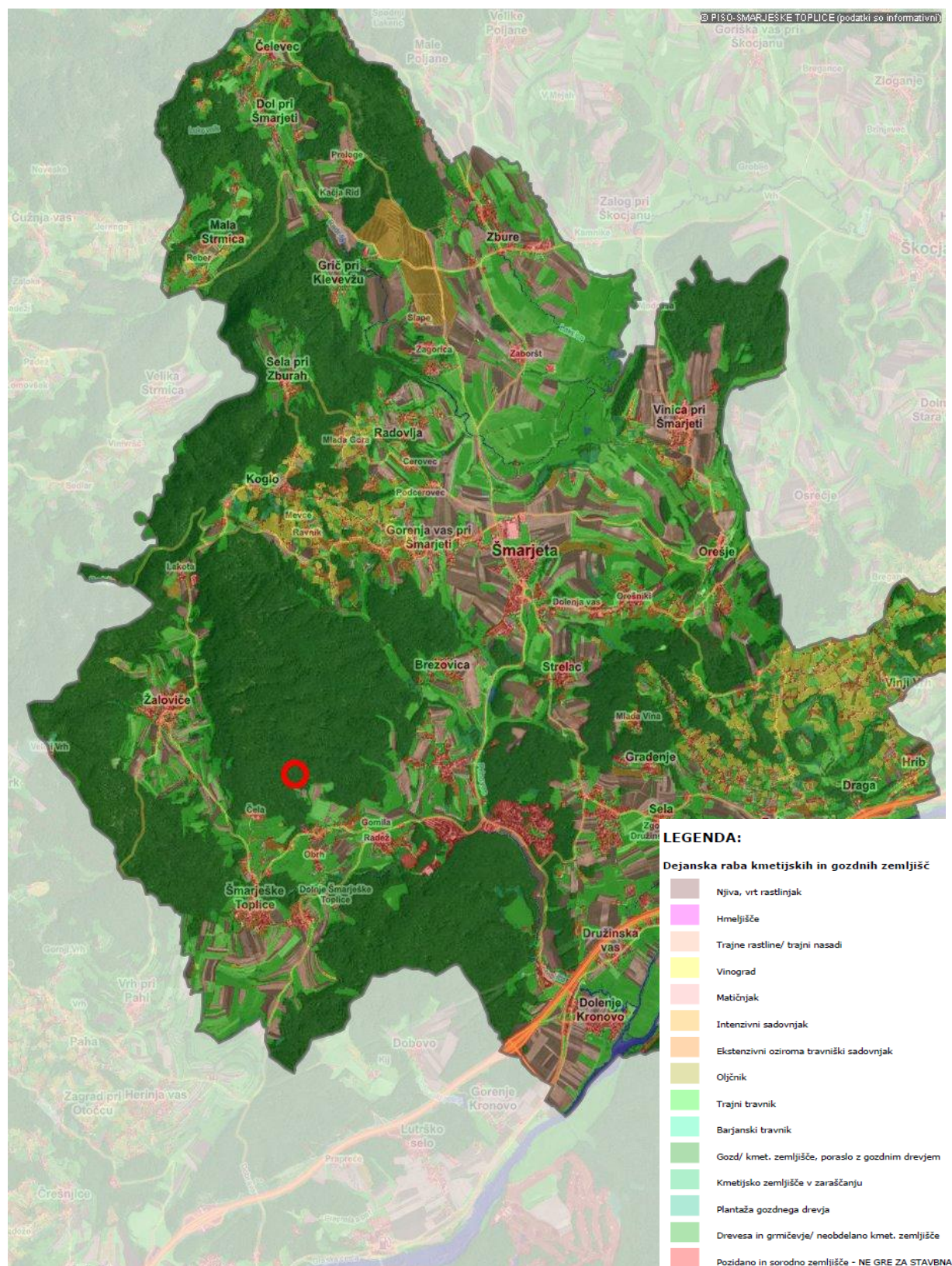
Občina Šmarješke Toplice spada med manjše občine. Turizem je panoga, ki jo promovira občina. Za uspešnost te panoge je potrebna urejena okolica, brez industrije in farmskih rej živali. Hkrati pa je zelo pomembno, da so kmetijska zemljišča obdelana, saj močno pripomorejo k izgledu kulturne krajine. Zato na omenjenem območju obstajajo v večini majhne ekstenzivne kmetije, ki načeloma porabljajo manj gnojil in škropiv. Kljub temu še vedno obstajajo tveganja zaradi težjega nadzorovanja uporabe kemičnih sredstev. Tveganje je še toliko večje zaradi kraškega terena, ki omogoča hitro potovanje onesnaževala in majhno sposobnost samočiščenja.

Manjše tveganje za hidrosfero predstavljajo tudi razpršena naselja, ta namreč nimajo urejene kanalizacijske infrastrukture, ki bi odplake odvedle na čistilno napravo. Trenutno stanje v večini majhnih naselij je takšno, da so objekti opremljeni s pretočnimi greznicami, goščo iz greznic pa se prazni po potrebi ali vsaj na vsake tri leta s strani komunalnega podjetja.

Onesnaževanje iz kmetijstva, industrije in prebivalstva se hitro odraža na podtalnici. Zato je ključnega pomena, da so vodna zajetja ustrezno varovana z vodovarstvenimi območji [58].

Ker na območju ni prisotne industrije in intenzivnega kmetijstva, ki bi močno onesnaževala vodo, so nadzemne in podzemne vode malo obremenjene s hranili, kar kažejo vse analize večjih vodnih teles v občini.

Raba zemljišč v občini Šmarješke Toplice je prikazana na sliki 7.



Slika 7: Raba zemljišč v občini Šmarješke Toplice
Vir: PISO

8.2 OKOLJSKE MERITVE NA OMOČJU OBČINE

Na območju Šmarjeških Toplic se izvajajo tri vrste meritev, in sicer:

- meteorološke meritve na meteorološki postaji Vinji Vrh pri Beli Cerкви,
- meritve kakovosti površinskih voda na vodotoku Radulja in
- meritve kakovosti podzemnih voda na zajetju Jezero.

Meteorološka postaja na Vinjem Vrh pri Beli cerкви je padavinska, prve meritve so bile narejene januarja 1925 v sosednji Beli Cerкви. Pred tem, v času 1903–1916, je bila na območju omenjene občine meteorološka postaja v Šmarjeti. Meteorološka postaja Vinji Vrh je postavljena na nadmorski višini 211 m. Letno referenčno povprečje padavin na Vinjem Vrh je 1150 mm, letno povprečje obdobja 1971–2000 je 1114 mm in obdobja 1981–2010 1105 mm. Leta 2012 so namerili 1132 mm, kar je 98 % referenčnega povprečja. Leta 2011 je padlo 724 mm padavin, kar je najnižja izmerjena letna višina padavin v obdobju 1961–2012, pred tem je bilo najbolj sušno leto 2003, z 828 mm [59].

Od količine padavin sta odvisni tudi preostali merilni mesti na območju občine, saj ima količina padavin odločilno vlogo za hidrološke, biološke in kakovostne lastnosti voda.

Na samodejni hidrološki postaji na reki Radulji se stalno merijo pretok, vodostaj in temperatura.

Na zajetju Jezero pa se stalno meri motnost vode, ki večino časa presega zakonsko predpisane vrednosti. Dvakrat letno se merijo še preostale kakovostne lastnosti voda (priloga B).

9 VODOOSKRBNI SISTEM ŠMARJEŠKIH TOPLIC

V Sloveniji se vodovodni sistemi napajajo večinoma iz podtalnice. Več kot 50% zemljišč v Sloveniji je kraških, med njih spadajo tudi zemljišča na območju občine Šmarjeških Toplic. Na takšnih območjih lahko onesnažene površinske vode močno vplivajo na kakovosti podtalnice. Še hitrejšje onesnaženje podtalnice predstavlja onesnažena površinska voda. Ker na krasu ni ostre meje med površinskimi in podzemnimi vodami, je lahko onesnaženje podtalnice direktno. Meritve na vodotoku Radulja kažejo da, je kvaliteta površinskih voda na območju dobra kar nakazuje tudi na kvalitetne podzemne vode, ki se koristijo kot vodni vir pitne vode. Za izpuste iz industrije in komunalnih čistilnih naprav v vodotoke na krasu ne obstajajo ostrejši kriteriji. Zato se lahko odraza odpadna voda iz čistilne naprave, ki nima ustrezne stopnje za mikrobiološko čiščenje, kot mikrobiološka onesnaženost vode v vodnem zajetju [58].

Glavni problematiki za javno gospodarsko službo (JGS) Komunalo Novo mesto d.o.o. glede oskrbe s pitno vodo na območju Šmarjeških Toplic sta povečevanje števila dni s preseženo motnostjo na glavnem vodnem viru Jezero v Družinski vasi in dotrajanost vodovodnega sistema [36].

Iz vodnega vira Jezero se občini Šmarješke Toplice zagotavlja nekaj manj kot 100 % vse pitne vode, kar predstavlja okoli 10 % celotne vodne kapacitete vodnega vira Jezero. Izvedba posegov, ki so predvideni v okviru projekta hidravlična izboljšava vodovodnega sistema v območju osrednje Dolenjske, so nujni za zagotavljanje nemotene, varne in stabilne vodooskrbe. Predvideni posegi za hidravlično izboljšavo so [36]:

- Izgradnja vodarne Jezero, čistilne naprave za pripravo pitne vode s tehnologijo ultrafiltracije s kapaciteto 160 l/s, s katero se bo rešila problematika motnosti vode;
- Obnova in dogradnja cevovoda Gorenja vas ter transportnega cevovoda od vodnega zajetja Jezera pa do vodohrana Sračnik;
- Izgradnja novega prečrpališča Gorenja vas, s katerim se bo vodo prečrpavalo v novi vodohran Gorenja vas;
- Izgradnja vodohrana Gorenja vas.

Poleg posegov, ki so predvideni v projektu hidravlične izboljšave vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske, je potrebno zagotoviti vsaj še enostavno reprodukcijo preostale vodovodne infrastrukture, pri čemer imajo prednost preostala dotrajana vodovodna omrežja ter obnove na ostalih vodnih virih [36]. Investicije v infrastrukturo (vodarno, vodohran, cevovode) so prikazane v prilogi A na načrtu Hidravličnih izboljšav na območju osrednje Dolenjske.

V severnem delu občine Šmarješke Toplice v območju naselja Radovlja in Grič pri Klevevžu je bilo v obdobju do leta 2013 letno več kot 20 okvar, ki so bile posledice popolnoma dotrajanega vodovodnega

sistema, zato je bila obnova obstoječega vodovodnega sistema nujna [36]. S tem namenom je Občina Šmarješke Toplice v letu 2014 izvedla obnovo tega dela vodovodnega sistema, ki je bil zaradi dotrajanosti najbolj izpostavljen okvaram [37]. Ker omenjeni vodovod predstavlja del vodovodnega sistema Novo mesto – Jezero, ki poleg občini Šmarješke Toplice zagotavlja vodo tudi občinam Šentjernej, Škocjan, Straža, Dolenjske Toplice, Mirna Peč in Mestni Občini Novo mesto, je bila investicija v obnovo vodovodnega omrežja nujna, saj je veliko število okvar imelo velik negativen vpliv na vodooskrbo vseh oskrbovanih občin [36].

9.1 VODNI VIRI V OBČINI ŠMARJEŠKE TOPLICE

Na območju občine Šmarješke Toplice znašajo letne potrebe po pitni vodi okoli 220 000 m³/leto. Večino vode za oskrbo občanov s pitno vodo občina pridobi iz vodnega vira Jezero, izjema je le naselje Vinca pri Šmarjeti, ki se oskrbuje iz vodnega vira Škocjan ter naselji Čelevec in Mala Strmica, ki ju oskrbuje vodovodni sistem Mokronog-Trebelno [36].

Uredba o oskrbi s pitno vodo določa, da mora imeti vsako javno vodovodno omrežje zagotovljene rezervne vire, ki lahko v nujnih primerih zagotavljajo oskrbo s pitno vodo na območju javnega vodovoda vsaj v nujnem obsegu porabe pitne vode v primeru izpada primarnega vodovodnega vira [38].

Vodovodni sistem Jezero – Novo mesto nima rezervnega vodovodnega vira, ki bi lahko zagotavljal pitno vodo za celotno območje občine Šmarješke Toplice, zato bi bilo potrebno v primeru izpada vodnega vira Jezero vodovodni sistem preko vodohranov napajati s cisternami iz sosednjih vodnih virov. Reševanje problematike izpada vodnega vira s cisternami je sicer rešitev, ki omogoča praktično nemoteno oskrbo občanov s pitno vodo, vendar pa je ta rešitev za izpade vodnega vira, ki trajajo daljše obdobje, z ekonomskega vidika neprimerna [36].

V občini Šmarješke Toplice se nahajata še dva manjša rezervna vodna vira, in sicer nad naseljem Žaloviče. Vodna vira Orehovlje in Okno nad naseljem Žaloviče bi lahko zagotavljala pitno vodo le za ožje območje občine – od vasi Žaloviče do vasi Šmarješke Toplice [36].

9.1.1 VODNI VIR JEZERO

S koncem 60-tih let 20. stoletja se je v Novem mestu zaradi zelo močno povečane industrializacije in urbanizacije pojavilo pomanjkanje pitne vode. Zato je bilo potrebno najti in zajeti nov dovolj močan vodni vir, ki bi pokril tudi dolgoročne potrebe po pitni vodi za Novo mesto in tudi za širšo okolico. Tako so bili v letu 1970 izdelani načrti za izgradnjo črpališča na izviru Jezero v Družinski vasi, magistralnega cevovoda Družinska vas-RZ Marof in novega rezervoarja prostornine 700 m³ na Kiju. Gradnja se je pričela v letu 1973 in končala v letu 1975 [39].

Slovesna otvoritev novozgrajenega vodovoda je bila 29. oktobra 1975. S tem dnem je bilo dano v obratovanje sodobno črpališče v Družinski vasi, cevovod od črpališča do rezervoarja Kij in naprej do Marofa ter nov rezervoar na Kiju. S to investicijo je Novo mesto in okolica pridobilo 180 l/s vode [39].

Leta 1987 so bile naknadno izvrtane še tri dodatne vrtine, cca. 5 m severno od zbirnega vodnjaka, ki so zajele še dodatnih 40 l/s podzemne vode, te so pred tem odtekale v bližnji potok [36].



Slika 8: Ena izmed 3 dodatnih vrtin
Vir: Lastni

Vse vrtine zajemajo zgornji vodonosni sloj v triasnem dolomitnem vodonosniku in še danes zadovoljujejo potrebe po pitni vodi v Novem mestu in širši okolici. Z realizacijo investicije leta 1987 so bile dane možnosti za širitev vodooskrbe v Šentjernejski dolini, Beli Cerkvi in Otočcu, preko Bučne vasi, Kamenc in Daljnega vrha je bil napeljan vodovod v Mirnopoško dolino ter preko Prečne in Češče vasi v Stražo [39].

Vodno zajetje Jezero sestavlja trinajst vrtin, izvrtanih v dno zbirnega vodnjaka, v obliki krožne pahljače z odmikom od vertikale 0° do 20° in globine med 60 in 70 m. Voda iz vrtin priteka arteško v zbirni vodnjak, svetlega premera $\varnothing$ 2.000 mm in globine cca 4,5 m, ki sega delno pod objekt črpališča [36].



Slika 9: Zbirni vodnjak

Vir: Lastni

Vodni vir Jezero v celoti zagotavlja pitno vodo občinam Šmarješke Toplice, Straža ter delno občinam Novo mesto, Škocjan, Šentjernej, Mirna Peč in Dolenjske Toplice [36].

Vodonosnik, ki napaja zajetje Jezero, je zaradi geoloških in hidro-geoloških danosti izjemno ranljiv in močno podvržen onesnaževanju s površine. Podzemna voda je pod pritiskom (arteška) in se iz posameznih vrtin steka v zbirni vodnjak pri črpališču. Rezultati hidrogeoloških raziskav (1989-1995) so opredelili prispevno območje in smer toka podzemne vode, glavne smeri in vplive onesnaženja, izdatnost dolomitnega vodonosnika, kvaliteto in temperaturo podzemne vode ter njegovo geološko strukturo [36].

V obstoječem črpališču je urejena priprava vode s kloriranjem. V sklopu objekta so prostori za elektronapeljavo, z dvema transformatorskima enotama, tlačni kotel in električni agregat. Za črpanje vode iz vodnjakov v tlačne cevovode skrbijo štiri črpalke, ki obratujejo glede na nivo vode v vodohranu Kij.



Slika 10: Črpališče in črpalke
Vir: Lastni

Največje težave pri kakovosti se pojavljajo v zvezi z motnostjo vode, saj vrednosti večino časa presegajo vrednosti 0,5 NTU (nefelometrične enote, angl. Nephelometric Turbidity Units) in povprečno dosegajo vrednosti 2 NTU. V času intenzivnejših padavin pa motnost vode dosega vrednosti tudi do 10 NTU in več. Temperatura vode niha v mejah od 17 do 19°C, odvisno od infiltracije meteorne vode. Bakteriološka slika surove vode ne ustreza kriterijem za pitno vodo, saj je pogosto onesnažena s klicami fekalnega izvora v času večjih padavin pa se zaznava tudi prisotnost pesticidov v vodi. Ostali parametri so znotraj zakonsko določenih vrednosti določeni v pravilniku o pitni vodi, kot prikazujeta prilogi B in C [36].

Voda v vodarni Jezero se ne čisti, ampak se le razkužuje s plinskim klorom, kar preprečuje razvoj mikroorganizmov, ki povzročajo bolezenska stanja.



Slika 11: Doziranje plinskega klora v tlačni cevovod

Vir: Lastni

V zadnjem obdobju se poleg problemov s kvaliteto vode pojavlja še upadanje izdatnosti vodnega zajetja. V letu 2012 se je povprečna izdatnost vodnega zajetja zmanjšala na manj kot 110 l/s. Upadanje izdatnosti vodnega vira se pripisuje slabemu stanju vodonosnih vrtin kot tudi stanju zbirnega vodnjaka [36]. Trenutni pretok na črpališču znaša 100 l/s v konicah pa 130 l/s [54].

Zaradi zgoraj navedenih problemov so župani in predstavniki občin Novo mesto, Šmarješke Toplice, Škocjan ter Straža podpisali partnersko pogodbo projekta hidravličnih izboljšav na območju osrednje Dolenjske.

10 PROJEKT HIDRAVLIČNIH IZBOLJŠAV NA OBMOČJU OSREDNJE DOLENJSKE

Izvedba projekta Hidravlične izboljšave vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske pomeni vzpostavitev celostne ureditve oskrbe s pitno vodo na območju sledečih občin: MO Novo mesto, Straža, Šentjernej, Škocjan in Šmarješke Toplice.

10.1 OBSEG PROJEKTA

Projekt Hidravlična izboljšava vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske predvideva ukrepe za zagotavljanje dolgoročne in varne oskrbe s pitno vodo na območju občin: Novo mesto, Straža, Šentjernej, Škocjan ter Šmarješke Toplice [51].

Omenjene občine se srečujejo s problematiko slabega vodovodnega sistema. Cevovodi so hidravlično močno preobremenjeni in za današnje potrebe dimenzijsko podhranjeni ter kot taki glede na sedanje potrebe ne zagotavljajo ustreznih pretokov. Na teh cevovodih prihaja zato do pogostih okvar, ki onemogočajo varno in zanesljivo oskrbo s pitno vodo. Posebno problematični so cevovodi, ki transportirajo vodo med občinami [51].

Zanesljivost obratovanja vodovodnih sistemov je odvisna tudi od kapacitet vodohranov. Obstoječe kapacitete vodohranov so bistveno premajhne. Za večino vodnih virov, zajetih na predmetnem območju, je značilna slaba kakovost vode, saj je večina izmed njih kraških izvirov, za katere je značilna stalna oporečnost pitne vode v bakteriološkem pogledu. Ti izviri pa se ob močnejšem deževju tudi kalijo in so zato v takih primerih oporečni tudi v fizikalno-kemijskem pogledu [51].

V projektu je predvidena hidravlična izboljšava primarnih in transportnih cevovodov v skupni dolžini 29.761 m, gradnja 9.593 m cevovodov za povezave novih transportnih in primarnih cevovodov na obstoječe omrežje, izgradnja treh novih vodohranov (Škocjan, Gorenja vas, Dolenja Straža) ter izgradnja dveh vodarn (Jezero, Stopiče) – čistilnih naprav za pripravo pitne vode [51].

V sklopu izvedbe hidravlične izboljšave primarnih in transportnih cevovodov je predvidena tudi gradnja treh samostojnih prečrpališč (Zloganje, Gorenja vas, Dolenja Straža), nadgradnja enega črpališča na vrtini Škocjan, nadgradnja vodohrana (Kij) ter rekonstrukcija vodohrana (Dolenja Težka voda), pri čemer vodohran Dolenja Težka voda vsebuje tudi izgradnjo novega prečrpališča. V sklopu dveh novih vodohranov (Škocjan, Gorenja vas) je predvideno tudi prečrpališče [51].

Z izvedbo projekta se bodo vodovodni sistemi v predmetnih občinah medsebojno povezali in tako bo imelo ob koncu projekta 46.378 obstoječe priključenih prebivalcev na območju teh občin kakovostno in varno oskrbo s pitno vodo. Hidravlična izboljšava na načrtovanem primarnem in transportnem omrežju bo pripomogla k stabilnosti in trajnosti oskrbe s pitno vodo na predmetnem območju.

Povečanje kapacitet vodohranov bo zagotovilo nemoteno oskrbo s pitno vodo tudi v času konic potrošnje [51].

Z izgradnjo vodarn oz. čistilnih naprav na vodnih zajetjih bo zagotovljena neoporečnost pitne vode na območju predmetnih občin, s katerima se bo v prvi vrsti odstranilo fizikalno in mikrobiološko onesnaženje, ob enem pa se bo zmanjšalo tudi tveganje kemijskega onesnaženja distribuirane pitne vode, kar pozitivno vpliva na zdravstveno stanje prebivalcev [51].

Cilji projekta Hidravličnih izboljšav vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske so dosegati [51]:

- večjo učinkovitost in uspešnost upravljanja z vodovodnimi sistemi,
- ustrezno sanacijo vodovodnih sistemov iz vidika vodnih izgub,
- ustrežnejše spremljanje delovanje sistemov (tlaki, pretoki, itd.),
- ureditev vodovodnega sistema do mere, da je zagotovljena požarna varnost,
- izboljšanje kakovosti vode,
- zagotavljanje potrebnih količin vode za zadovoljevanje potreb potrošnikov po pitni vode,
- ureditev vodovodnega sistema iz vidika sanacije zastarelih delov omrežja in naprav ter
- povečanje varnosti oskrbe z vodo.

Najpomembnejši investiciji v projektu sta investiciji v čiščenje z ultrafiltracijo na vodarnah Stopiče in Jezero, saj je zdravstveni inšpektorat RS z odločbo naložil izvedbo potrebnih ukrepov na vodnih zajetjih Jezero in Stopiče, ki bodo omogočali distribucijo zdravstveno ustrezne vode [51].

V nadaljevanju bom predstavitev projekta Hidravlične izboljšave vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske zožil na projekte, ki se nanašajo na vodno zajetje Jezero in občino Šmarješke Toplice.

10.2 PROJEKTI NA OBMOČJU OBČINE ŠMARJEŠKIH TOPLIC

Za območje občine Šmarješke Toplice so v projektu Hidravličnih izboljšav na območju osrednje Dolenjske predvidene naslednje investicije [28]:

- novogradnja vodohrana Gorenja vas s prečrpališčem kapacitete 200 m³,
- izgradnja prečrpališča (Gorenja vas),
- nadgradnja vodarne Jezero s postopkom ultrafiltracije in filtracija z aktivnim ogljem,
- hidravlična izboljšava cevovodov skupne dolžine 3.779 m,
- novogradnja cevovodov (povezave na obstoječe omrežje) skupne dolžine 1.328 m.

Tehnološki postopek priprave pitne vode bo zajemal črpanje surove vode, filtracijo z aktivnim ogljem, ultrafiltracijo z opremo za spiranje in kemično čiščenje, končno dezinfekcijo vode s plinskim klorom in črpanje v tlačni vodovod.

10.2.1 FILTRACIJA Z AKTIVNIM OGLJEM

Specifične lastnosti čiščenja z oglenim filtrom:

- Enakomerna distribucija surove vode z merilnikom pretoka in regulacijskem ventilom na vsakem filtru,
- Filtracija z aktivnim ogljem ima tip in velikost prilagojeno rednemu povratnemu izpiranju,
- Ni potrebe po podpornem gramozu,
- Dno s šobami prirejenimi za velikost filtra, uporabljenih cca. 55 šob na m² omogoča dobro porazdelitev vode,
- Optimizirano povratno izpiranje z uporabo zraka ali vode,
- Zbiranje vode od izpiranja, kar prepreči izgube vode.



Slika 12: Šobe za vbrizgavanje vode v ogljeni filter
Vir: PZI Jezero: tehnično poročilo

10.2.2 ULTRAFILTRACIJA

Ultrafiltracija je fizikalni postopek, pri katerem se za pripravo pitne vode ne uporablja nikakršnih kemičnih sredstev. Kemikalije se uporablja samo za izpiranje membran in konzervacijo, v primeru daljše izključitve iz obratovanja ter pri obdelavi odpadne tehnološke vode in blata [52].

Z ultrafiltracijo iz vode odstranimo suspendirane snovi in vse delce, večje od 0.01 mikrona. Na ta način se izognem kalnosti in izločimo organske makromolekule, ki so lahko osnova za nastanek stranskih produktov dezinfekcije. Odstranijo se tudi vsi mikroorganizmi, vključno z bakterijami, virusi ter vsemi vrstami cist in parazitov. V vodi ostanejo še raztopljene mineralne in druge snovi ter organske mikromolekule [52].

Ultrafiltracija zagotavlja kakovostno prečiščeno vodo ter primarno dezinfekcijo. Voda po postopku ultrafiltracije ustreza vsem zahtevam, ki jih določajo predpisi za pitno vodo [52].

Prednosti ultrafiltracije [52]:

- Proizvodnja vode je količinsko in kakovostno vedno enaka ter ni odvisna od sprememb kakovosti surove vode, ki so pri kraških izvirih pogoste in hitre.
- Pri dezinfekciji vode so potrebne manjše količine dezinfekcijskega sredstva tudi pri daljšem zadrževanju vode v omrežju, ker je v vodi manj snovi, ki vežejo nase dezinfekcijsko sredstvo. V vodi je zato tudi manj nezaželenih stranskih produktov.
- Gradbene investicije v objekte so majhne in po konstrukcijski zasnovi enostavnejše, zato lahko večji del sredstev vložimo v tehnološko opremo, ki je bistvena za kakovost vode.
- Zaradi manjših objektov so potrebni manjši posegi v okolje, njihova vključitev v okolje pa je olajšana.
- Tehnologija ultrafiltracije je ugodna tudi z vidika varovanja okolja, saj se v tehnološkem postopku uporablja kemikalije samo za obdelavo odpadne tehnološke vode in blata.
- Z ultrafiltracijo se iz vode odstranijo suspendirane snovi in vsi delci velikosti nad 0,01 mikrona, s čimer odstranimo kalnost, koloidne snovi, alge, bakterije, praorganizme, viruse in organske makromolekule.

10.2.3 ULTRAFILTRACIJA V VODARNI JEZERO IN FILTRACIJA Z AKTIVNIM OGLJEM

Za napravo, ki je predvidena, se načrtuje letni pretok $2.350.000 \text{ m}^3$. Maksimalna načrpana in prečiščena količina vode bo 160 l/s , kar pri 24-urnem obratovanju pomeni 13.000 m^3 vode. Ultrafiltracijska naprava za pripravo pitne vode se bo zgradila v novozgrajeni vodarni Jezero, na vzpetini med črpališčem in vodotokom Potok [54].

Za vodarno Jezero je izbrana tehnologija tlačne ultrafiltracije z adsorpcijo na aktivno oglje in dezinfekcijo.

Načrpana voda se črpa naprej na adsorpcijo z aktivnim ogljem. S procesom adsorpcije na aktivno oglje se iz vode odstranijo v vodi prisotni pesticidi in preostale organske snovi. Adsorpcija poteka na petih filtrih s strnjenem slojem aktivnega oglja. Posamezni filtri delujejo kot tlačne posode s strnjenim slojem granuliranega aktivnega oglja, opremljene z merilnikom tlaka, ki meri padec tlaka skozi filter. Voda doteka na filtre od zgoraj, prefiltrirana voda pa se zbira na dnu filtra [54].

Čas nasičenja filtra naj bi bil večji od enega leta, vendar pa je čas nasičenja odvisen od koncentracije prisotnih pesticidov in prisotnosti ostalih snovi, predvsem organskih snovi. Ko pride do nasičenja oglja v posameznem filtru, je potrebno le-tega zamenjati z novim. Novo oglje v filtru pa se pred uporabo spere s povratnim tokom vode iz omrežja. Tok vode med spiranjem oglenega filtra poteka v obratni smeri, in sicer od spodaj gor. Voda od spiranja se zbira v rezervoarju in se nato po nevtralizaciji kontrolirano spušča v kanalizacijo oziroma na čistilno napravo [53].



Slika 13: Čistilna naprava v neposredni bližini črpališča Jezero
Vir: Lastni

Procesu čiščenja z oglenimi filtri sledi proces ultrafiltracije. Pred vstopom vode v ultrafiltracijsko linijo voda potuje skozi pred-filtracijo, ki odstranijo iz vode večje delce in tako ščitijo linijo pred delci, ki jih nebi bilo možno odstraniti zgolj z izpiranjem. Pred-filtri so sestavljeni iz filtrnih mrežic, ki prepušča delce manjše od 200 μm [54].

Proces ultrafiltracije se koncipira kot štiri-linjska naprava z maksimalno pretočno zmogljivostjo 40 l/s. Vsaka linija bo vsebovala 28 modulov tlačnih filtrov, vsak modul bo zgrajen iz filtra velikosti 60m², s površinsko obremenitvijo filtra 50 do 90 l/ m²h [54].

Proces čiščenja deluje tako, da surova voda teče skozi kapilare in se filtrira, nečistoče pa ostanejo na zunanji steni membran. Filtrirana voda teče prečno skozi stene kapilar v zbirni bazen za čisto vodo. Zaradi delcev, ki se naberejo na membranah, narastejo tlaki na membranah ultrafiltracije [53].

Ultrafiltracija kot druga stopnja čiščenja lahko pri taki pripravi izpolnjuje svojo glavno nalogo in sicer odstranjevanje motnosti in biološke kontaminacije. Voda se očisti do te stopnje da, znaša največja velikost delcev prisotnih v vodi do 0,02 μm . Posledično bo voda na iztoku imela motnost močno pod vrednostjo 0,1 NTU, kar je glede na povprečje zdajšnjega stanja, več kot desetkrat manj [54].



Slika 14: Linija ultrafiltracije
Vir: PZI Jezero: tehnično poročilo

Ko tlaki presežejo predpisane vrednosti naprave, je potrebno, da se izvede povratni tok vode skozi membrane, da se le te očistijo. Odpadna voda, ki jo dobimo s čiščenjem membran, se shrani v rezervoar za odpadne vode, ta se v primeru vodarne Jezero postopoma izpušča v bližnji vodotok Potok [53].

Redno se mora izvajati dezinfekcija membran. Navadno se dezinfekcija membran izvaja enkrat tedensko tako, da se pralni vodi dodaja raztopina dezinfekcijskega sredstva. Membrane se namakajo v raztopini cca. 5 minut, nato pa se sperejo [53].

Glede na zamašenost membran in kakovost surove vode se občasno izvaja tudi kemijsko pranje membran z lugi ali kislinami. S kemijskim pranjem se odstranijo morebitne obloge, ki zmanjšujejo prepustnost membran in kapaciteto celotne naprave. Odpadne vode, ki nastanejo pri dezinfekciji in kemijskem pranju, se zbirajo v rezervoarju, kjer se po potrebi z dodajanjem sredstev, kot so lugi ali kisline, korigira pH vrednost vode ter sredstva za nevtralizacijo vode, ki se jo, v odvisnosti od uporabljenih kemikalij, lahko nato postopno kontrolirano izpušča v kanalizacijo ali pa odstrani iz objekta z odvozom s cisterno [53].

Po končani filtraciji z aktivnim ogljem in ultrafiltraciji in sledi še dezinfekcija s plinskim klorom. Voda je po procesu ultrafiltracije in filtracije z aktivnim ogljem pitna, vendar pa se voda dezinficira iz nevarnosti pred kontaminacijo med zadrževanjem v omrežju [54].

10.2.4 VODOHRAN GORENJA VAS

V občini Šmarješke Toplice je za naselje Šmarjeta in njeno širšo okolico najpomembnejši vodohran Gorenja vas. Sedanja prostornina vodohrana znaša 60 m^3 , kar pa ne zadostuje za zanesljivo in požarno varno oskrbo naselja Šmarjeta in njene okolice. Izračuni so pokazali, da je za zanesljivo oskrbo potreben vodohran s kapaciteto 200 m^3 [53].

Vodohran Gorenja vas bo s svojo lokacijo in prostornino zagotavljal zanesljivo oskrbo z vodo ter požarno varnost za gospodinjstvo in prisotno industrijo.

Obstoječi vodohran s kapaciteto 60 m^3 pa bo služil kot akumulacija za črpališče vode za višje ležeče naselje Koglo [53].

10.2.5 IZGRADNJA CEVOVODOV NA OBMOČJU ŠMARJEŠKIH TOPLIC

Cevovodi so dimenzionirani na osnovi predhodnega hidravličnega izračuna, iz katerega je mogoče razbrati, da obstoječe dimenzije cevovodov ne ustrezajo zdajšnjim potrebam. Cevovodi so opredeljeni kot transportni in primarni, razdeljeni pa so na odseke in pododseke.

Na območju Šmarjeških Toplic se bosta nadgradila dva odseka cevovodov, in sicer [53]:

- Izgradnja odseka vodarna Jezero- VH Sračnik. Odsek predstavlja transportni cevovod iz vodarne Jezero do vodohrana Sračnik, iz katerega se napajajo naselja iz občin Šmarješke Toplice, Škocjan in Šentjernej. Na tem odseku bo potrebno dograditi tudi pododseke vodarn [53]:
 - Jezero- Blatnik ob potoku,
 - odcep Šmarješke Toplice- Družinska vas,
 - Sela- VH Sračnik.
- Izgradnja cevovoda Družinska vas- VH Gorenja vas. Odsek predstavlja povezavo regionalnega vodovoda vodarne Jezero in vodohrana Kij z vodovodnim sistemom Šmarjeških Toplic oziroma z vodohranom Gorenja vas. Na tem odseku je potrebno zaradi višinskih razlik še izgraditi prečrpališče za prečrpanje vode vodohran Gorenja vas.

11 ZAKONODAJA NA PODROČJU VARSTVA VODNIH VIROV

11.1 PREDPISI O VARSTVU VODA IN VODNIH VIROV NA NIVOJU EU

Evropsko zakonodajo na področju pitne vode predstavljata Direktiva Evropskega Sveta 98/83/ES, ki ureja problematiko kakovosti vode, namenjene za uporabo v prehrani ljudi, ter Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES [36].

Direktiva 98/83/ES je namenjena urejanju problematike glede kakovosti vode. Cilj direktive je varovanje zdravja ljudi pred škodljivimi vplivi onesnaženja vode in zagotavljanjem, da je voda namenjena za prehrano ljudi zdravstveno ustrezna in čista. Direktiva članicam EU nalaga, da v svoj pravni red sprejmejo vse pravne ukrepe za zagotavljanje stalnega spremljanja stanja vode, ki je namenjena za uporabo pri prehrani ljudi [36].

Direktiva 2000/60/ES predstavlja širši zakonodajni okvir Direktive 98/83/ES. Glavni cilj direktive je vzpostavitev dobrega stanja površinskih, podpovršinskih in obalnih voda, pri čemer poudarja naslednje cilje [36]:

- Preprečevanje slabšanja stanja voda,
- Preprečevanje onesnaženja vodnega vira,
- Vzpostavljanje mehanizmov za nadzor onesnaženja,
- Uvajanje ekonomske cene vode in načela povzročitelj plača.

11.2 PREDPISI O VARSTVU VODA IN VODNIH VIROV NA DRŽAVNEM NIVOJU

Ustava Republike Slovenije v 72. členu določa, da ima vsakdo v skladu z zakonom pravico do zdravega življenjskega okolja. Država skrbi za zdravo življenjsko okolje. V ta namen zakon določa pogoje in načine za opravljanje gospodarskih in drugih dejavnosti [40].

Področje voda v Republiki Sloveniji urejajo naslednji zakoni: Zakon o varstvu okolja, Zakon o vodah in Zakon o ohranjanju narave. Našteti zakoni urejajo najpomembnejše vsebine v zvezi z stanjem voda ter vodnega okolja, in sicer varstvo in rabo voda ter vodnega in obvodnega prostora, urejanje voda in varstvo voda in od voda odvisnih ekosistemov [36].

V Slovenji se oskrba s pitno vodo izvaja kot javna in delno kot tržna dejavnost. Republika Slovenija izvaja zahteve Vodne direktive v načrtu upravljanja voda (NUV) za vodni območji Donave in Jadranskega morja [36].

Zakon o vodah je iz vidika, ki ga ima za oskrbo s pitno vodo opredeljuje predvsem dve področji [36]:

- Področje varstva vodnih virov, ki so namenjeni za oskrbo s pitno vodo in
- Področje pridobivanja vodnih pravic, ki so potrebne za izvajanje oskrbe s pitno vodo.

Zakon o ohranjanju narave določa ukrepe ohranjanja biotske raznovrstnosti in sisteme varstva naravnih vrednot z namenom prispevati k ohranjanju narave. Sistem varstva naravnih vrednot je sistem, ki določa postopke in načine podeljevanja statusa naravnih vrednot ter izvajanje njihovega varstva [41].

Zakon o varstvu okolja opredeljuje oskrbo s pitno vodo kot obvezno občinsko javno gospodarsko službo varstva okolja, ki jo je potrebno izvajati na predpisan način in v skladu z zakonom o gospodarskih službah [36].

Zakon o gospodarskih službah določa način in obliko izvajanja gospodarske javne službe. Z gospodarskimi javnimi službami se zagotavljajo materialne javne dobrine kot tudi proizvodi in storitve, ki se izvajajo nemoteno in so v javnem interesu, zato jih zagotavlja Republika Slovenija. Zakon opredeljuje načine organiziranja in izvajanja javne službe vodooskrbe [36].

Uredba o oskrbi s pitno vodo določa vrste nalog, ki se izvajajo v okviru storitev občinske javne gospodarske javne službe oskrbe s pitno vodo. Določa tudi pogoje za oskrbo s pitno vodo, ki se izvaja v domeni javne službe ter pogoje za lastno oskrbo s pitno vodo. Postavlja standarde komunalne opremljenosti, ki morajo biti izpolnjeni za izvajanje javne službe [38].

Uredba o stanju podzemnih voda je uredba, ki je v skladu z Direktivo 2000/60/ES in določa ukrepe v zvezi z varstvom podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem kvalitativnih lastnosti podzemnih voda. Določa postopke za določanje kakovosti podzemnih voda, parametre kemijskega in količinskega stanja, standarde kakovosti podzemne vode, vrednosti praga za kakovost podzemnih vodnih teles, pogoje za dobro kemijsko in količinsko stanje, merila za ugotavljanje sprememb pomembnih in stalno naraščajočih trendov onesnaženja, merila za določitev obremenjenosti podzemnih voda, ki zahtevajo začetek izvajanja ukrepov zaradi nedoseganja zastavljenih ciljev v zvezi s kakovostjo podzemnih voda [36].

Uredba o nadomestilu za zmanjševanje dohodka iz kmetijske dejavnosti zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima je uredba, ki določa vrste ukrepov, za katere se lahko lastnikom kmetijskih zemljišč izplačajo nadomestila zaradi zmanjšanje dohodka iz kmetijske dejavnosti zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima, način izplačevanja in merila za obračunavanje višine nadomestil [42].

Pravilnik o pitni vodi predpisuje ugotavljanje in ocenjevanje varnosti oskrbe s pitno vodo. Pravilnik določa zahteve, ki jih mora pitna voda izpolnjevati z namenom varovanja zdravja potrošnikov pred škodljivimi vplivi zaradi onesnaženja vode [43].

Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja je namenjen za vodna telesa, ki se uporabljajo za odvzem vode in za njih določa: kriterije za določitev zunanjih meja vodovarstvenega območja, kriterije za določitev notranjih meja v vodovarstvenem območju, kriterije za določitev vodovarstvenega režima v zvezi s posegi v okolje, ki so glede na kriterije za določitev meja: tveganje za onesnaženje vodnega telesa in druga vprašanja, potrebna za določitev vodovarstvenega območja [44].

11.3 ZAKONODAJA NA OBČINSKEM NIVOJU

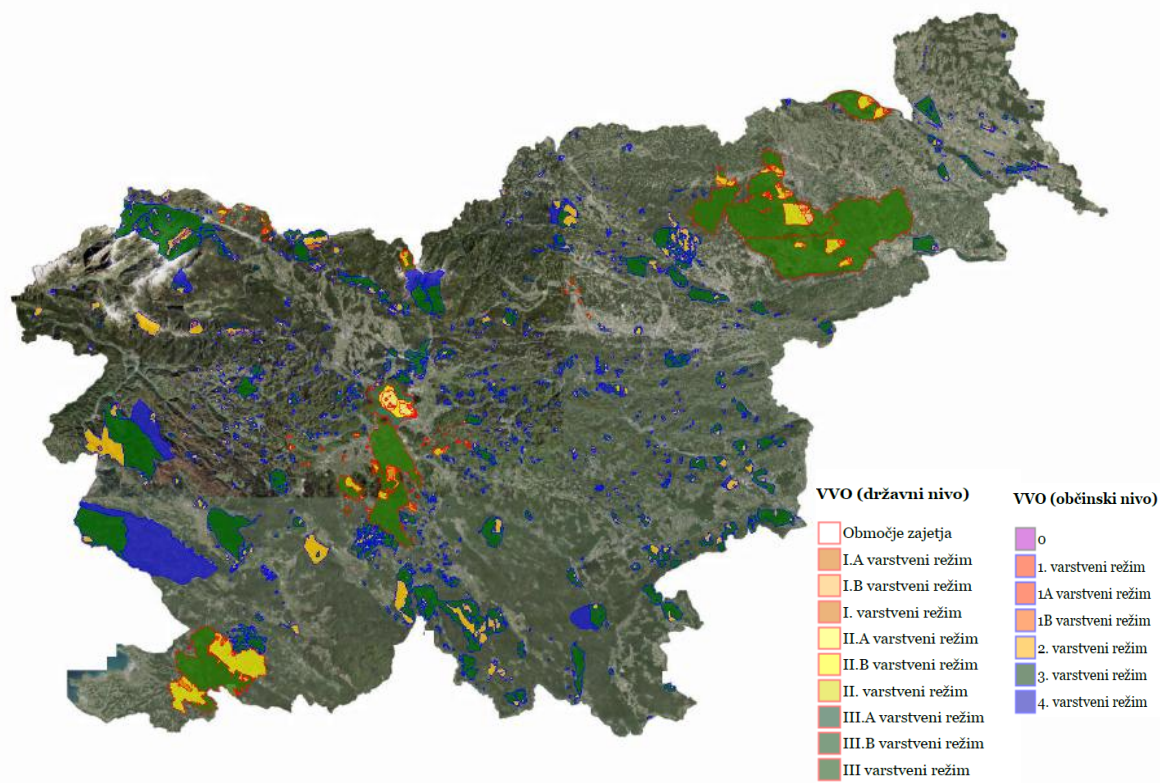
Odlok o oskrbi s pitno vodo na območju Občine Šmarjeških Toplic ureja zahteve za oskrbo s pitno vodo in zahteve za lastno oskrbo s pitno vodo, način opravljanja obvezne občinske gospodarske javne službe oskrbe s pitno vodo ter lastne oskrbe prebivalcev s pitno vodo in pravice ter dolžnosti uporabnikov in upravljavcev na območju občine Šmarješke Toplice [45].

Odlok o zaščiti vodnih virov za območje občine Novo mesto določa varstvene pasove in ukrepe za zavarovanje vodnih virov pred onesnaženjem, ki bi utegnilo škodljivo vplivati na higiensko neoporečnost in kakovost pitne vode na območju občine Novo mesto. V odloku so naštetih vodni viri, kateri se izkoriščajo za črpanje pitne vode v občini Novo mesto, ki jih odlok varuje. Ker je bil odlok izdan leta 1984, so v tem odloku zajeti tudi vodni viri Jezero, Okno, Orehovlje in Zavetrščica, ki sedaj spadajo pod občino Šmarješke Toplice. Odlok tudi določa ožji, širši in vplivni pas varovanja vodnega vira in ukrepe varovanja za posamezne varnostne pasove [46].

Na geološkem zavodu Slovenije pa se pripravlja nova uredba o določitvi VVO za vse vodne vire na območju, ki ga upravlja Komunala Novo mesto [36].

12 VODOVARSTVENA OBMOČJA

Za zaščito vodnih virov v javni uporabi so v Sloveniji sprejeta ali predlagana vodovarstvena območja, ki pokrivajo okoli petino ozemlja Republike Slovenije oziroma okoli 22 %, kar v naravi predstavlja 4491 km². Še večjo površino pa predstavljajo potencialni vodni viri, ki skupaj z zajetimi vodnimi viri pokrivajo več kot polovico slovenskega ozemlja [35].



Slika 15: Karta vodovarstvenih območij na državnem in občinskem nivoju v Sloveniji

Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

Podtalnice, ponikalnice in kraški izviri so najpogostejši viri pitne vode. Površinske vode so glavni vir vode, ki napajajo podtalnico, saj predstavljajo od 50 % do 100 % vode v podtalnici. Podtalnica je potencialno in dejansko ogrožena zaradi omejenih in plitvih vodonosnikov, kmetijstva, prometa ter disperzne poselitve. Prav tako so ogroženi kraški izviri in ponikalnice. V izdatnosti virov na ozemlju Slovenije je še veliko rezerv, vendar so zaradi nezadostne zaščite vodnih virov ti preveč izpostavljeni onesnaženju. Kljub temu, da je Slovenija relativno bogata država s pitno vodo, se vseeno kažejo posledice onesnaževanja, kar slabo vpliva na kakovost površinskih in podzemnih voda [35].

Pri izbiri vodnega vira za namen uporabe oskrbe prebivalstva z vodo je odločilna predvsem ogroženost vodnega vira pred onesnaženjem, saj se varnosti glede neoporečnosti vplivanja na zdravje ljudi ne more nadomestiti s količino niti s kvaliteto. Prednost pri izbiri vodnega vira pa ima tisti vir, ki izpolnjuje vse naštetе pogoje v vrstnem redu: varnost, kvaliteta in količina pri najnižji ceni [35].

Vodovarstvena območja so ena izmed najpomembnejših oblik zavarovanja vodnih teles, ki so namenjena za odvzem pitne vode. Tak način varovanja je vpeljal zakon o vodah iz leta 1981, na podlagi katerega so vodovarstvena območja določila občine. Kasnejši zakon, ki vključuje zahteve evropskih direktiv, prenaša pristojnosti odločanja o vodovarstvenih območjih na nivo države [47].

Uredbe, izdane s strani države, določajo deset vodovarstvenih območij in režime varovanja le-teh. V uredbah so predvidena tri območja varovanja, in sicer najožja, ožja in širša. Poleg vodovarstvenih območij, ki so določena z uredbami s strani vlade, obstaja še veliko vodovarstvenih območij, katera so bila določena do leta 2002 s strani občin z občinskimi odloki [47].

Vodovarstvena območja morajo biti določena na način, da je omogočeno izvajanje vodovarstvenega režima v obsegu in na način, ki zagotavlja ohranjanje naravnega stanja telesa.

Izhodišča za določanje vodovarstvenega območja temeljijo na [35]:

- Naravnih danostih vodnega telesa in območja, ki to vodno telo napaja.
- Pomenu vodnega telesa za lokalni ali regionalni razvoj za dolgoročno obdobje.
- Pogojev zagotavljanja pitne vode.
- Ocenah o dejanskih in možnih poteh fizikalnih in kemijskih onesnaževal ter poteh mikroorganizmov vzdolž toka vode do zajetja.
- Tveganju za onesnaženje zaradi posegov v okolje.
- Stroškov vzpostavitve vodovarstvenega režima ter stroškov vzpostavitve tehnologij čiščenja in priprave zajete vode, ki jo napaja vodovarstveno območje.

Vodovarstveno območje se deli na samo območje zajetja in notranja vodovarstvena območja.

Območje zajetja oziroma črpališča je ograjeni del vodovarstvenega območja neposredno okoli zajetja. Varovanje neposrednega območja zajetja je potrebno izvajati zaradi potrebe po zaščiti pred neposrednim poškodovanjem objektov zajetja in zaščito pred vnosom onesnaževal v zajetje. Zaradi zaščite porabnikov vode iz vodarne je na območju zajetja dovoljeno le vzdrževanje in obnavljanje objektov in naprav, ki služijo zajetju [44].

Notranja vodovarstvena območja se zaradi različnih stopenj varovanja lahko delijo na [44]:

- Širše območje, kjer se izvaja varovanje z blažjim vodovarstvenim režimom.
- Ožje območje, na katerem se izvaja strožji vodovarstveni režim.
- Najožje območje oziroma območje črpališče je območje, kjer se izvaja varovanje z najstrožjim vodovarstvenim režimom.

Velikost notranjih območij se loči predvsem z merili, ki so odvisna od vrste površinskega ali podzemnega vodnega telesa in značilnosti območja napajanja vodnega telesa. Faktor, ki se upošteva za določitev velikosti, je čas zadrževanja onesnaževala od mesta onesnaženja pa do zajetja ali čas za ukrepanje. Čas, ki je potreben za potovanje onesnaževala od mesta onesnaženja pa do zajetja, je odvisen od razdalje med virom onesnaženja in od hitrosti potovanja vode v smeri zajetja [44].

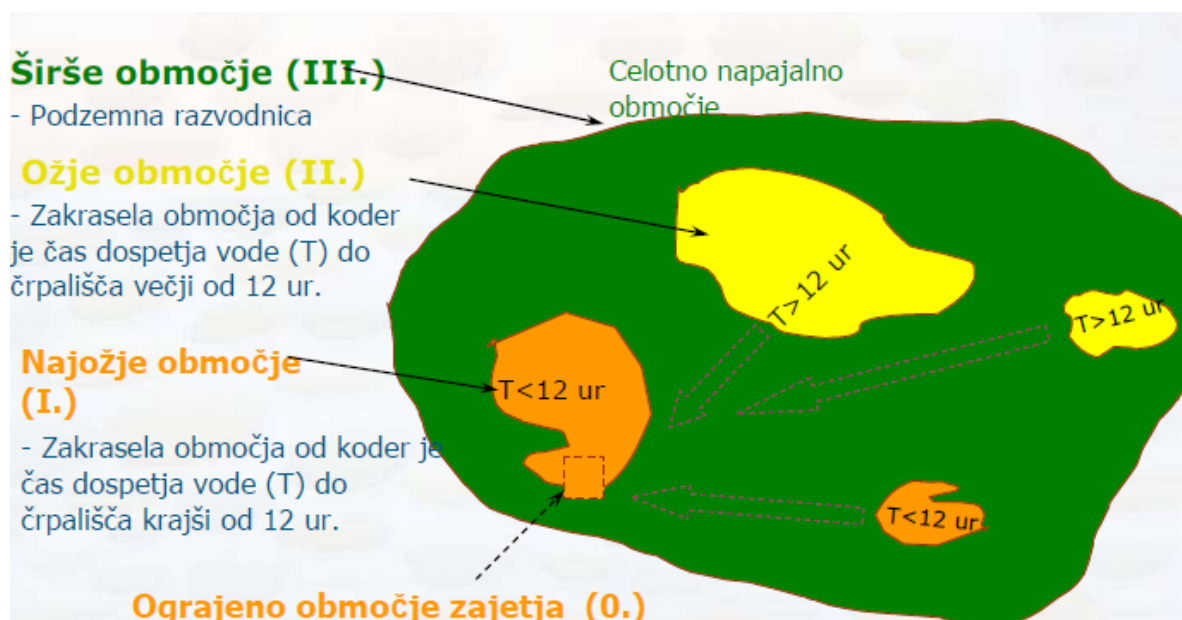
Širše vodovarstveno območje zajema celotno napajalno območje zajetja in varovanje na tem območju se izvaja za dolgoročno zagotavljanje zdravstvene ustreznosti pitne vode. Na tem območju vodovarstveni režim zagotavlja sprejemljivo tveganje onesnaženja s snovmi, ki so obstojne ali pa imajo dolgo dobo razgradnje [44].

Ožje vodovarstveno območje je območje, ki zaradi naravnih danosti omogoča dovolj dolg zadrževalni čas onesnaževal in dovolj veliko razredčenje, da je omogočeno pravočasno ukrepanje. Vodovarstveni režim na tem območju mora zagotavljati sprejemljivo tveganje onesnaženja vodnega telesa z onesnaževali, ki razpadajo počasi [44].

Najožje območje okoli zajetja je območje, na katerem se izvaja najstrožji vodovarstveni režim, kjer je glede na naravne danosti potencialno razredčenje onesnaženja majhno, onesnaževala pa hitro prispejo od mesta onesnaženja pa do zajetja. Na tem območju mora vodovarstveni režim zagotavljati varovanje pred onesnaženjem s patogenimi mikrobiološkimi organizmi kot so bakterije, virusi, paraziti, ličinke ter pred onesnaženji, ki bi lahko ogrožali varnost vode v vodnem zajetju zaradi majhnega razredčenja in hitrega prispetja onesnaženja do zajetja [44].



Slika 16: Najožje, z ograjo varovano območje
Vir: Lastni



Slika 17: Shematski prikaz mej vodovarstvenih območij na kraških vodonosnikih
Vir: Joerg Prestor, 2008, Vodovarstvena območja, str.8.

12.1 VRSTE VODOVARSTVENIH OBMOČIJ ZA ZAJETJA PODZEMNIH VODA

Pri določanju notranjih območij vodovarstvenega območja se zaradi razlik v poroznosti vodonosnega območja in zaradi posebnosti toka podzemnih voda uporabljajo različne metode za kraški, medzrnski in razpoklinski vodonosnik [44].

Vodonosnik vodnega zajetja Jezero poseduje vse lastnosti kraškega vodonosnika, zato sem v nadaljevanju diplomske naloge večjo pozornost namenjal vodonosnikom kraškega tipa.

Vodonosniki kraških podzemnih voda so mnogo bolj izpostavljeni onesnaženju kot medzrnski vodonosniki. Kraški vodonosniki so bolj izpostavljeni onesnaženju zaradi relativno velike hitrosti vodnega toka in zato majhne samočistilne sposobnosti [35].

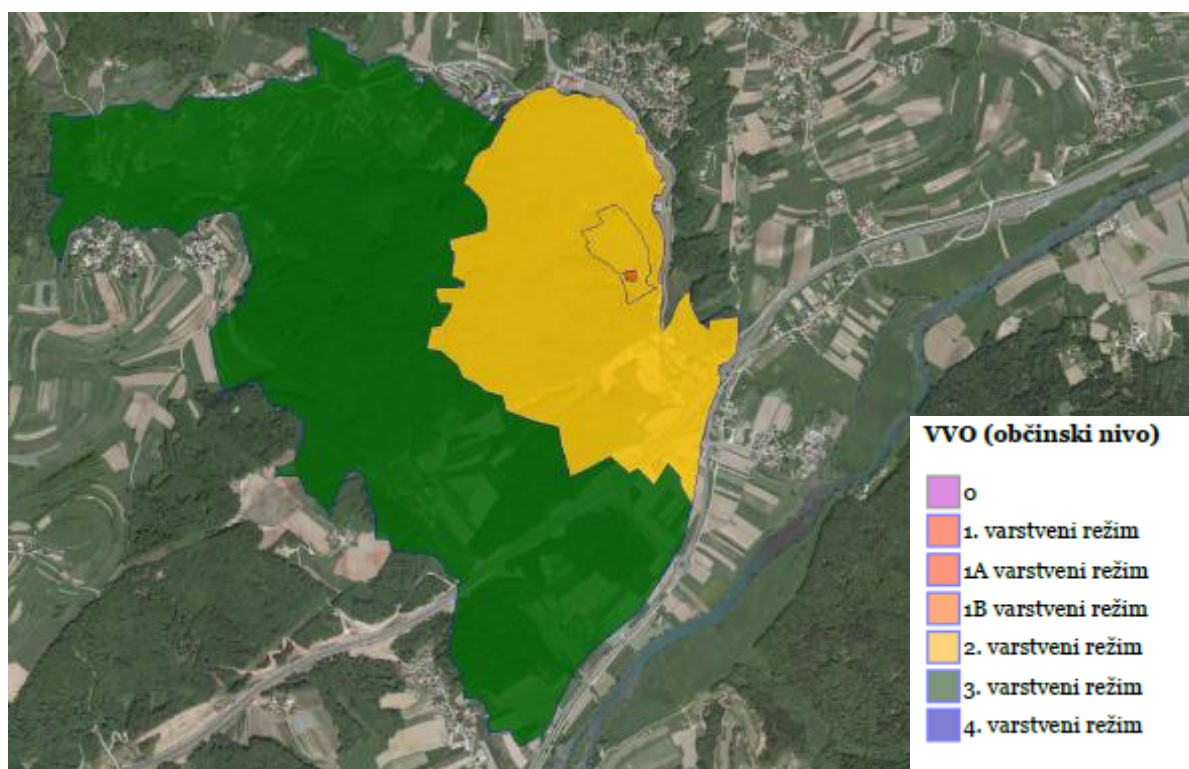
V kraškem vodonosniku, med katere spada tudi vodno zajetje Jezero, se pri določanju notranjih območij upošteva [44]:

- Tok podzemne vode v kraških vodonosnikih ima za razliko od podzemnega toka naplavin značilnosti turbulentnega toka po kanalih in ga ni mogoče opisati z izračuni na podlagi Darcyjeve enačbe in zato ni možno izdelati načrta hidroizohips in določiti izohron.
- Kraški vodni vir ima več lastnosti površinskega kot podzemnega toka, saj z raztapljanjem kamnin ustvarja rove in jame, po katerih voda teče hitro in za kratek čas.
- V kraških vodonosnikih se podzemna voda navadno pretaka s hitrostmi večjimi od 10m/dan in so močno odvisne od hidrometeoroloških razmer.
- Porazdelitev hitrosti pretakanja podzemnih voda je v kraških vodonosnikih močno heterogena, kar pomeni, da je tveganje onesnaženja prisotno, kljub večji razdalji vira onesnaženja od zajetja.
- Zadrževalne, filtracijske in samočistilne sposobnosti kraškega vodonosnika so navadno slabše od sposobnosti vodonosnikov na prodnatih naplavinah; v odprtih zakraselih območjih pa omenjenih lastnosti praktično ni.

Zaradi relativno velike hitrosti potovanja podzemnih voda skozi kraški vodonosnik je potrebno [44]:

- Na širšem območju varovanja je z zakonodajo zagotovljeno varovanje zajetja z dovolj dolgim časom zadrževanja onesnaževala v krovnih plasteh vodonosnika ali pa z dovolj velikim razredčenjem onesnaževala tako, da je možna izvedba intervencijskih ukrepov za zaščito vodnega vira.

- Na ožjem območju varovanja je vzpostavljeno varovanje zajetja z izvedbo interventnih ukrepov v izjemno kratkem času, ker je zaradi specifične velike poroznosti kraških vodonosnikov hitrost potovanja onesnaženja velika in je zato vpliv na zajetje hiter in močan.
- V najožjem pasu varovanja je zagotovljeno varovanje vodnega vira pred kakršnimkoli onesnaženjem, saj ima onesnaženje na tem območju varovanja lahko usodne posledice za samo zajetje zaradi možnosti takojšnjega prodora v zajetje. V tem pasu zaradi neposredne bližine vodnega zajetja interventni ukrepi niso možni.



Slika 18: Vodovarstveno območje vodnega zajetja Jezero

Vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

Notranja območja vodovarstvenega območja medzrnskega vodonosnika se določajo na podlagi podzemnega vodnega toka, ki ga je možno opisati z Darcyjevo enačbo in nato se na podlagi izračunov izdelajo načrti hidroizohips in izohron, pri čemer je potrebno upoštevati da [44]:

- Je hitrost pretakanja podzemnih voda v medzrnskih vodonosnikih navadno nižja od 10m/dan ter relativno homogena in manj odvisna od hidrometeoroloških razmer.
- Zaradi zgoraj naštetih lastnosti se tveganje za onesnaženje vodnega zajetja z oddaljenostjo zmanjšuje in s pretakanjem skozi medzrnski vodonosnik se iz vode odstranijo mikroorganizmi, ki imajo negativen vpliv na kvaliteto vode.

Za notranja varovalna območja razpoklinskega vodonosnika je potrebno upoštevati, da ima razpoklinski vodonosnik lahko lastnosti medzrnskega ali kraškega vodonosnika. Če je tok vode skozi homogeno razpokano sredino laminaren, ima vodonosnik lastnosti medzrnskega vodonosnika. Če pa je tok vode nelaminaren, ker teče skozi sredino, ki je nehomogeno razpokana, ima razpoklinski vodonosnik lastnosti kraškega vodonosnika [44].

12.2 POVRŠINA VODOVARSTVENEGA ZAJETJA

Površina vodovarstvenega območja mora biti po površini vsaj enaka ali večja od naravne površine napajalnega območja, ki se izračuna po enačbi:

$$P[m^2] = Q_0/Q_{nap}$$

Kjer je:

$Q_{nap}[m^3/s]$ količina napajanja vodnega telesa s padavinami, površinskimi vodami in podzemnimi dotoki, pri čemer se vse oblike izražajo z ekvivalentno količino padavin $[m^3]$ na enoto površine $[m^2]$ v enoti časa $[s]$.

$Q_0[m^3/s]$ je povprečni pretok odvzema vode.

Za izračun količine napajanja vodnega zajetja, ki se upoštevajo, so tudi količine vode iz dotokov iz rečnih strug, pritokov in dotokov iz drugih vodonosnikov in tudi nezajeta voda, ki odteka iz vodovarstvenega območja [44].

Za povprečni pretok odvzema se za podzemne vode vzame vrednost povprečnega dnevnega pretoka izvira [44].

Poleg vodovarstvenega območja je potrebno zajeti tudi območja izven napajalnega območja, če obstaja nevarnost za onesnaženje vodnega telesa ali nevarnost spremembe količinskega stanja ali spremembe smeri toka vode izven meja napajalnega območja [44].

Meja območja zajetja-črpališča je praviloma 10 m okrog zajetja za vodnjak ali drenažno zajetje, za kraški izvir pa je zaradi občutljivosti vodnega vira za onesnaženje ta meja 20 m okrog zajetja [44].

12.2.1 POVRŠINA VODOVARSTVENEGA ZAJETJA ZA KRAŠKI VODONOSNIK

Kraški vodonosniki so izjemno občutljivi na onesnaženje iz antropogenih virov zaradi majhne samočistilne sposobnosti vodonosnika in velike hitrosti vodnega toka, ki ne omogoča velikega reakcijskega časa za zaščito zajetja pred onesnaženjem.

Izkoriščanje kraških vodonosnikov za namen pridobivanja pitne vode najbolj ogroža onesnaženje. Pri tem je potrebno upoštevati, da preventivna zaščita z vodovarstvenimi območji daje boljše rezultate in je bolj ekonomična od čiščenja onesnažene vode [35].

Zunanja meja širšega območja kraškega vodonosnika meji na mejo napajalnega območja zajetja. Ožje zaokroženo območje pa je območje, kjer je dotok do zajetja večji od 12 ur. Najožje območje obsega zaokroženo območje okrog zajetja, kjer je čas dotoka do zajetja manjši od 12 ur [44].

Meje posameznih območij znotraj vodovarstvenega območja kraškega vodonosnika se določijo na podlagi sledečih podatkov [44]:

- Hitrosti in smeri toka podzemne vode,
- Piezometrične gladine podzemne vode,
- Razredčenje dejanskih in potencialnih onesnaževal,
- Zakraselosti napajalnega območja,
- Velikosti območja napajanja ter
- Kemijskih lastnosti vode.

Najpomembnejši kriterij pri določanju meja vodovarstvenega območja je hitrost širjenja oziroma hitrost potovanja onesnaženja po vodonosniku k vodnemu zajetju. Zato je potrebno za vsak vodonosnik najprej ugotoviti hitrost toka podzemne vode. Na podlagi hitrosti toka podzemnega toka se izračunajo in določijo izohrone. Izohrone so črte, ki povezujejo mesta z enakim časom potovanja vode do zajetja [35].

12.3 OMEJITVE IN PREPOVEDI VODOVARSTVENIH UKREPOV

Preventivni ukrepi na varstvenih območjih so namenjeni zmanjšanju nevarnosti, ogroženosti in tveganja, ki jih povzročajo obstoječe dejavnosti ter dejavnosti, ki se šele uvajajo v prostoru. Prepovedi v prostoru izhajajo iz namena preprečitve onesnaženja iz dejavnosti, ki lahko trajno in nepopravljivo poslabšajo kemijsko, ekološko in količinsko stanje vodnega vira. Z omejitvami so podani pogoji, pod katerimi lahko nekdo izvaja neko dejavnost na vodovarstvenih območjih [48].

Varovalni ukrepi in omejitve v zvezi z ravnanjem na kmetijskih zemljiščih in gozdnih zemljiščih so omejeni na gnojenje in porabo fitofarmacevtskih sredstev, omejitve pa izhajajo iz Uredbe o kakovosti podzemnih voda, Uredbe o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla.

Preglednica 3: Prepovedi, omejitve in zaščitni ukrepi za kmetijstvo

Vir: priloga 1 pravilnika o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja

I	GNOJENJE KMETIJSKIH ZEMLJIŠČ	VVO I	VVO II	VVO III
1	Gnojenje brez gnojilnega načrta	–	–	–
2	Gnojenje z mineralnimi gnojili, ki vsebujejo dušik	³¹	+ ¹⁸	+ ¹⁸
3	Gnojenje z gnojnico in gnojevko	–	+ ¹⁸	+ ¹⁸
4	Gnojenje z uležanim hlevskim gnojem	+ ¹⁸	+ ¹⁸	+ ¹⁸
5	Preoravanje trajnega travinja	– ²⁹	+	+
6	Namakanje z vodo, ki so ji dodana rastlinska hranila	–	+	+
7	Začasno shranjevanje organskih gnojil, določenih v skladu s predpisom, ki ureja varstvo voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov	–	–	–
8	Uporaba blata iz čistilnih naprav, določenega v skladu s predpisom, ki ureja uporabo blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu	–	–	–
9	Gnojenje z ostanki greznic, malih čistilnih naprav ali skupnih čistilnih naprav	–	–	–
10	Gnojenje z blatom, ki nastaja na kmetijskem gospodarstvu in je mešanica komunalne odpadne vode, gnojnice in gnojevke, ne glede na čas njegovega skladiščenja	–	–	–
11	Začasno shranjevanje komposta ali pregnitega blata 1. ali 2. okoljske kakovosti, določenega v skladu s predpisom, ki ureja obdelavo biološko razgradljivih odpadkov	–	–	–
12	Uporaba komposta in pregnitega blata 1. okoljske kakovosti, določenega v skladu s predpisom, ki ureja obdelavo biološko razgradljivih odpadkov	–	–	+
13	Uporaba komposta in pregnitega blata 2. okoljske kakovosti, določenega v skladu s predpisom, ki ureja obdelavo biološko razgradljivih odpadkov	–	–	–
14	Začasno shranjevanje blata iz čistilnih naprav, določenega v skladu s predpisom, ki ureja uporabo blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu	–	–	–

Pomen oznak v tabeli:

+ poseg v okolje je dovoljen

– poseg v okolje je prepovedan

+¹⁸ poseg v okolje je dovoljen v skladu s predpisom, ki ureja varstvo voda pred onesnaženjem z nitrati, ki izvirajo iz kmetijstva

–²⁹ poseg v okolje je prepovedan, razen če gre za travinje, ki so vključene v kolobar

³¹ pogoji, omejitve in zaščitni ukrepi se določijo ob pripravi akta o zavarovanju, z upoštevanjem naravnih lastnosti podzemnih in površinskih vodnih virov, njihove kakovosti, ugotovljene na podlagi

rezultatov monitoringa stanja vodnih teles, ki jih akt zadeva ter monitoringa pitne vode vodnih virov, naravnih danosti tal, reliefnih značilnosti, količine in razporeditve padavin tekom leta ter proizvodne usmerjenosti kmetijskih gospodarstev

12.3.1 OMEJITVE KMETIJSTVA NA VODOVARSTVENIH OBMOČJIH

Skupna površina vodovarstvenih območij, ki jo vodi ARSO, je v Sloveniji leta 2013 znašala 343,596ha, kar predstavlja slabih 17 % površine države. Površina kmetijskih zemljišč na vodovarstvenih območjih je takrat bilo 91,966 ha, na najožjem območju pa je bilo 2,315 ha kmetijskih zemljišč v uporabi [47].

Zaradi občutljivosti vodnih teles je na vodovarstvenih območjih potrebno posvetiti pozornost varovanju vodnih teles pred onesnaženji, ki izvirajo iz kmetijstva. Za zagotavljanje varnosti vodnih virov, katerih namen je uporaba za pitno vodo, morajo pridelovalci na kmetijskih površinah izvajati načela dobre kmetijske prakse pri gnojenju in uporabi fitofarmacevtskih sredstev. Za pridelovalce z zemljišči v vodovarstvenih režimih se priporoča vključitev v ekološko ali kontrolirano integrirano pridelavo poljščin, sadja, vrtnin, grozdja, v katero so vključene tudi zimske ozelenitve [49].

Osnovne zahteve in priporočila za gnojenje, ki jih morajo pridelovalci upoštevati na kmetijskih zemljiščih, katera se nahajajo v vodovarstvenem režimu [49]:

- Dvigovanje oziroma vsaj ohranjanje rodovitnosti tal;
- Kolobarjenje z vsaj 3-letnimi kolobarji;
- Izvajanje kemičnih analiz tal na vsakih 5 let za poljščine, sadovnjake in vinograde, na vsake 4 leta za vrtnine in na vsaki 2 leti za zemljišča, kjer so postavljeni rastlinjaki. Hkrati so obvezne tudi analize kislosti tal, vsebnost fosforja in humusa;
- Gnojenje mora biti izvedeno na podlagi gnojilnih načrtov, ki so izdelani glede na analizo tal in odvzem hranil s pridelkom. Gnojenje na vodovarstvenih območjih je količinsko in časovno omejeno;
- Pri potrebah gojenih rastlin nad 80 kg N/ha je potrebno gnojilo razdeliti na več gnojenj v časovno razporejenem okvirju v manjših odmerkih;
- Analiziranje rastlinam dostopnega dušika pred osnovnim gnojenjem in pred dognojevanjem;
- Na vodovarstvenih območjih se prednostno uporablja živalska gnojila pred umetnimi gnojili;
- Prepovedana je uporaba gnojnice in gnojevke ter od 1. januarja 2013 je na večini vodovarstvenih območjih prepovedana uporaba rudninskih gnojil, ki vsebujejo dušik;

- Za gnojenje je prepovedana uporaba blata iz čistilnih naprav, komposta ali pregnitega blata 1. in 2. okoljske kakovosti ter ostankov iz greznic, malih čistilnih naprav in skupnih čistilnih naprav;
- Enakomeren in natančen raztros gnojil;
- Upoštevanje vsebnosti hranil v vodi, ki se uporablja za namakanje;
- Prepovedano je dodajanje hranil vodi, namenjeni za namakanje;
- Na območju vodnega zajetja ali na razdalji 200 m od objekta, ki se uporablja za zajem vode, sta vnos dušika in preoravanje travinja prepovedana.

Uporaba fitofarmacevtskih sredstev, ki vsebujejo aktivne snovi, našteje na seznamu, katerega vsako leto objavi pristojno ministrstvo na svoji spletni strani, je prepovedana. Prednost pred kemičnimi ukrepi imajo nekemični ukrepi (mehanski, biološki ter biotehniški) in uporaba kemičnih preparatov, ki so namenjeni za ekološko kmetovanje. Prepovedana je uporaba fitofarmacevtskih sredstev na golih tleh, razen v izjemnih primerih. Vsak uporabnik kemičnih fitofarmacevtskih sredstev mora voditi natančno evidenco o njihovi uporabi [49].

Paša kmetijskih živali je na vodovarstvenih območjih dovoljena, če gre za pašo usklajeno s predpisi, ki urejajo ekološko rejo živali in upoštevajo sledeče določbe [49]:

- Dodajanje krme na paši ni dovoljeno;
- Napajanje živali mora biti urejeno na način, da je možno napajalna korita premeščati po pašniku, da se zagotovi enakomerno razporeditev živalskih izločkov po površini;
- Pašo je potrebno prekiniti, če pride do uničenja travne ruše.

12.3.2 NADOMESTILA ZARADI IZGUB IZVAJANJA VODOVARSTVENEGA REŽIMA V KMETIJSKI DEJAVNOSTI

Kmetovalci, ki imajo kmetijska zemljišča na območju vodovarstvenega režima, so upravičeni do nadomestil, če zmanjšajo kmetijsko dejavnost zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima. V ta namen je vlada izdala uredbo, ki določa varovalne ukrepe, za katere se lahko kmetovalcem izplačajo nadomestila zaradi zmanjšanje dohodka in določa merila za višine nadomestil in način izplačevanja nadomestil [42].

Nadomestila zaradi izgub se izplačujejo za zemljišča na najožji vodovarstvenih območjih, namenjenih za varstvo vodnih virov za javno oskrbo s pitno vodo, in so določena v skladu s predpisi Vlade Republike Slovenije, ki urejajo najožje vodovarstveno območje [42].

Zavezanec za plačilo nadomestila je izvajalec javne službe, ki upravlja vodni vir, za katerega je določen vodovarstveni režim na najožjem vodovarstvenem režimu. Izvajalec javne službe pridobi sredstva za poplačilo nadomestil iz finančnih virov s prodajo vode iz vodnega vira [42].

Ukrepi na vodovarstvenem režimu, za katere se izplačujejo nadomestila, so ukrepi, ki se nanašajo na prepoved rabe gnojevke in gnojnice in ukrepi, ki se nanašajo na prepoved rabe fitofarmaceutskih sredstev. Višina nadomestila je sorazmerna uvedenim ukrepom in rabi kmetijskih zemljišč [42].

13 IZRAČUN OBREMENITEV S HRANILI IZ PRISPEVNIH POVRŠIN

Na podlagi podatkov o površinah vodovarstvenih območij in padavin, ki sem jih pridobil na spletnih straneh atlasa okolja, PISO, orodjih GIS ter spletnih straneh Agencije Republike Slovenije za okolje, sem izvedel izračun obremenitev vodnega zajetja Jezero v Družinski vasi.

S pomočjo spletnih orodij sem izmeril površine širšega, ožjega in najožjega območja, ki skupaj znašajo 408 hektarjev.

Preglednica 4: Notranje površine vodovarstvenega območja

Površine vodovarstvenega območja	ha
Površina ožjega območja	284
Površina najožjega območja	124
Površina ograjenega območja	0,3575

Na enak način sem izmeril tudi površine tal z različnimi vrstami pokritosti tal. Skupno površino tal sem razdelil na tla, ki so pokrita z gozdnim sestojem, avtocesto, pozidanim vaškim naseljem, trajnimi travniki ter z njivami oziroma vrtovi.

Preglednica 5: Vrste pokritosti tal znotraj vodovarstvenega območja

Vrsta pokritosti tal	Površina [ha]	Delež celotne površine [%]
Površina gozdnih sestojev	241,00	59,07
Avtocesta	11,45	2,81
Pozidano vaško naselje	26,47	6,49
Trajni travniki	56,34	13,81
Njive oziroma vrtovi	72,76	17,83
SKUPAJ	408,02	100,00

Na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje sem poiskal podatke za letno količino padavin na najbližji padavinski postaji. Najbližja vremenska postaja, ki meri padavine, je postaja Vinji vrh pri Beli cerkvi. Ker koledarsko leto 2015 še ni zaključeno, so na voljo le podatki za leto 2014. Slednje je bilo rekordno po količini padavin, saj je padlo kar 1434 mm padavin.

Preglednica 6: Količina padavin na vremenski postaji Vinji vrh pri Beli cerkvi

Leto	Količina padavin [mm]
2005	1268.3
2006	985.6
2007	1021.3
2008	1078.5
2009	977.3
2010	1242
2011	723.8
2012	1132
2013	1254.8
2014	1434.3

V preglednici 6 so našteje vrste rabe tal na vodovarstvenih območjih, za katere sem izmeril površine. Na količino površinskega odtoka iz posameznih površin močno vpliva raba oziroma vrsta pokritosti tal. Z upoštevanjem koeficientov odtoka padavin, katerih količina je bila izmerjena na padavinski postaji Vinji vrh pri Beli cerkvi, sem izračunal količino površinskega letnega odtoka iz posameznih površin.

Preglednica 7: Odtok iz prispevnih površin

Vrsta pokritosti tal	Površina [ha]	Količina padavin [%]	Koeficient odtoka	Površinski odtok [l]
Površina gozdnih sestojev	241,00	59,07	0,1	345666300
Utrjene ceste in poti	11,45	2,81	0,9	147804615
Pozidano vaško naselje	26,47	6,49	0,6	227795526
Trajni travniki	56,34	13,81	0,2	161616924
Njive oziroma vrtovi	72,76	17,83	0,2	208710156,5
SKUPAJ	408,02	100,00		1091593521

Skupni površinski odtok in odtok iz posameznih površin sem izračunal na sledeči način:

$$Q_{\text{odtok}} [\text{l/leto}] = S [\text{m}^2] \times Q_{\text{padavine}} [\text{l/m}^2/\text{leto}] \times \varphi_{\text{odtoka}}$$

$$Q_{\text{odtok}} = \text{Površinski odtok}$$

$$S = \text{Površina posameznega območja}$$

$$Q_{\text{padavine}} = \text{Količina izmerjenih padavin}$$

$$\varphi_{\text{odtoka}} = \text{Koeficient odtoka}$$

Količina površinskega odtoka je odvisna od posameznih površin, količine padavin, ki padejo na te površine in samega koeficienta odtoka. Površine so bile izmerjene s spletnimi orodji. Podatek o količini padavin je bil pridobljen na spletni strani ARSO, koeficient odtoka pa je bil pridobljen iz tabel o vsebnosti hranil v površinskem odtoku, katere sem pridobil iz seminarske naloge Dragoš A.

Posledice naravnih in antropogenih dejavnikov se kažejo kot obremenitve vodnega vira s hranili. V preglednici 7 so našteje letne količine izpranih hranil na hektar iz tal z različno pokritostjo tal.

Preglednica 8: Prispevnost hranil v površinski odtok pri različnih tipih tal

PRISPEVNOST HRANILA (kg/ha/leto)				
Vrsta pokritosti tal	Skupni N	Nitrati	Skupni P	Fosfati
Gozdni sestoji	0,17	0,04	0,06	0,003
Utrjene ceste in poti	5,6	2,9	0,08	0,03
Pozidano vaško naselje	1,7	1,5	0,004	0,002
Trajni travniki	4,5	4,3	0,043	0,022
Njive oziroma vrtovi	4,5	4,3	0,043	0,022

V preglednici 8 so prikazane skupne količine izpranih hranil iz površin z enako pokritostjo tal [54].

Preglednica 9: Količina hranil v površinskem odtoku pri različnih tipih tal

PRISPEVNOST POSAMEZNIH POVRŠIN (kg)				
Vrsta pokritosti tal	Skupni N (kg)	Nitrati (kg)	Skupni P (kg)	Fosfati (kg)
Gozdni sestoji	40,97	9,64	14,46	0,723
Utrjene ceste in poti	64,12	33,205	0,916	0,3435
Pozidano vaško naselje	44,999	39,705	0,10588	0,05294
Trajni travniki	253,53	242,262	2,42262	1,23948
Njive oziroma vrtovi	327,4056	312,85424	3,1285424	1,6006496
SKUPAJ	731,0246	637,66624	21,0330424	3,9595696

Prispevnost hranil iz posameznih površin sem izračunal na sledeči način:

$$Q_{\text{hranila}} [\text{kg/ leto}] = q_{\text{prispevnosti}} [\text{kg/ha/leto}] \times S [\text{ha}]$$

Q_{hranila} = Količina posameznega hranila iz različnih vrst prispevnih površin

$q_{\text{prispevnosti}}$ = Količina hranila, ki ga prispeva hektar posamezne vrste prispevne površine

S = Površina posamezne prispevne površine

Količina hranil, ki se izloči iz posameznih površin, je izračunana s pomočjo podatka o velikosti prispevne površine in količine posameznega hranila, izločenega iz hektarja površine.

Preglednica 10: Vsebnost hranil v površinskem odtoku

VSEBNOST HRANIL V POVRŠINSKEM ODTOKU PRI RAZLIČNIH TIPIH TAL [mg/l]				
Vrsta pokritosti tal	Skupni N [mg/l]	Nitrati [mg/l]	Skupni P [mg/l]	Fosfati [mg/l]
Gozdni sestoji	0,1185247	0,027888168	0,041832253	0,002091613
Utrjene ceste in poti	0,4593345	0,237869672	0,006561922	0,002460721
Pozidano vaško naselje	0,1975412	0,174301053	0,000464803	0,000232401
Trajni travniki	1,8455406	1,763516534	0,017635165	0,009022643
Njive oziroma vrtovi	1,5687095	1,498989054	0,014989891	0,007669246
SKUPAJ	4,1896505	3,702564481	0,081484033	0,021476624

$$\alpha \text{ [mg/l]} = (Q_{\text{hranila}} \text{ [kg/leto]} / Q_{\text{odtok}} \text{ [l/leto]}) \times 10^6$$

α = Vsebnost hranil v površinskem odtoku

Q_{hranila} = Količina posameznega hranila iz posameznih vrst prispevnih površin

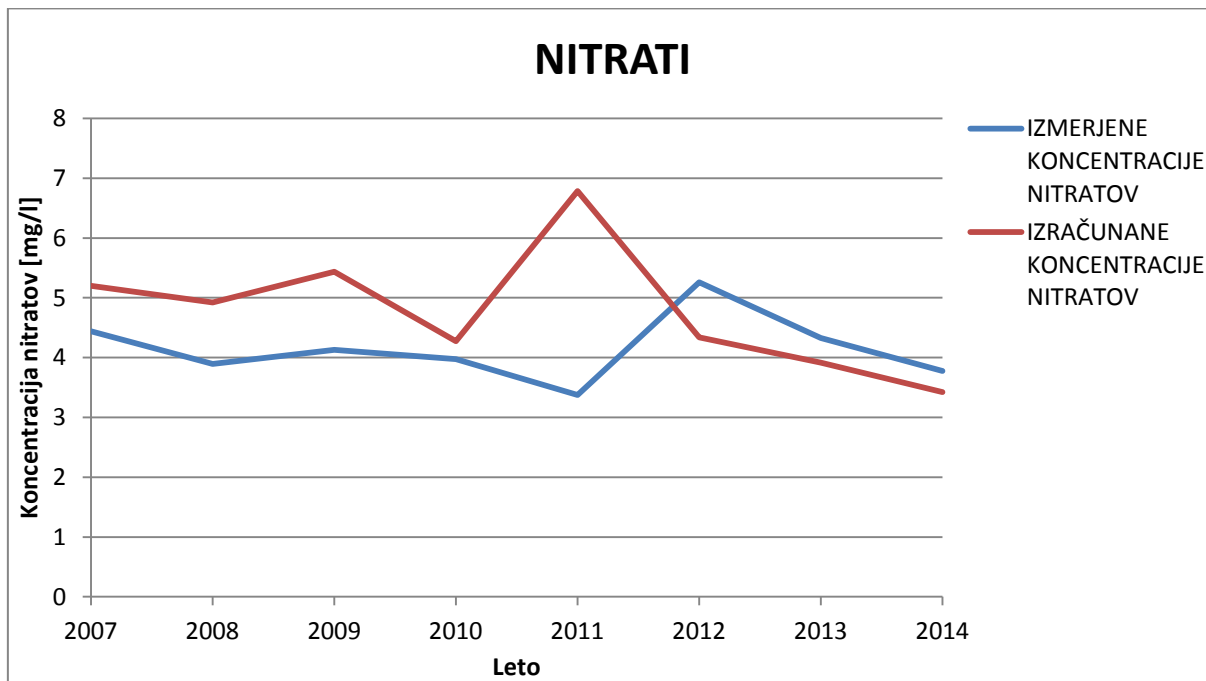
Q_{odtok} = Površinski odtok

V preglednici 9 vidimo rezultate izračuna prispevnosti posameznih površin, ki sestavljajo napajalno območje vodnega zajetja Jezero. Med določenimi tipi prispevnih površin sta tipa površin trajnih travnikov in njiv oziroma vrtov tista, ki največ prispevata k obremenjenosti zajete vode. Kljub temu, da gozdni sestoji pokrivajo skoraj 70 % celotne površine napajalnega območja, le-ta prispeva majhen delež hranil. Največ gozdni sestoji prispevajo k skupnemu fosforju, in sicer do okoli 10 % od celotnega skupnega fosforja, ki ga prispevajo še ostale površine.

Na napajalnem območju vodnega zajetja Jezero se ne nahajajo objekti, kot so komunalne čistilne naprave in industrijski objekti, ki bi dodatno obremenjevali vode v napajalnem območju.

Zgornji izračun je narejen na podlagi podatkov o količini celoletnih padavin in celoletnih količin nitratov in ortofosfatov iz površin, ki spadajo med površine napajalnega območja.

Za primerjavo med izračunanimi in izmerjenimi koncentracijami hranil v vodi sem izdelal izračune za leta od 2007 do 2014, ki omogočajo ugotavljanje vpliva količine padavin na koncentracijo hranil v podzemni vodi.

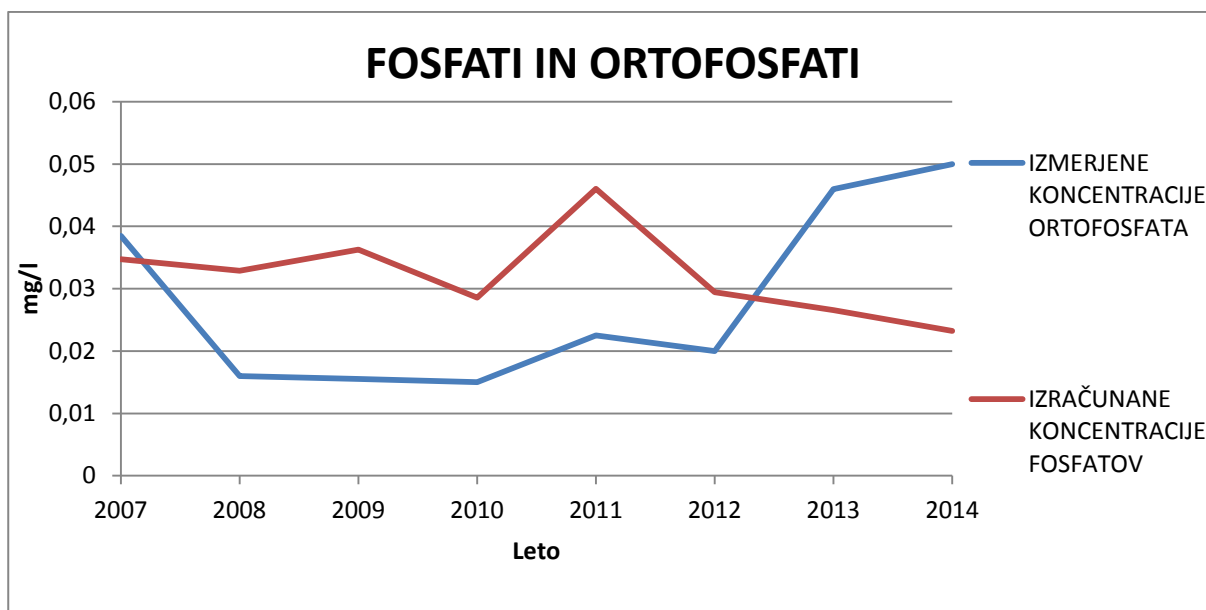


Grafikon 5: Primerjava med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi nitratov

Meritve na vodnem viru Jezero dvakrat letno izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje, in sicer v začetku meseca Junija in konec Septembra (priloga B). Vodno zajetje Jezero je kraški vodonosnik, kar pomeni, da je sam čas potovanja tudi iz najbolj oddaljenih mest vodonosnika od črpališča mnogo krajši od enega leta. Zato imajo na izmerjene podatke velik vpliv padavine, ki so padle v dneh in tednih pred samimi meritvami.

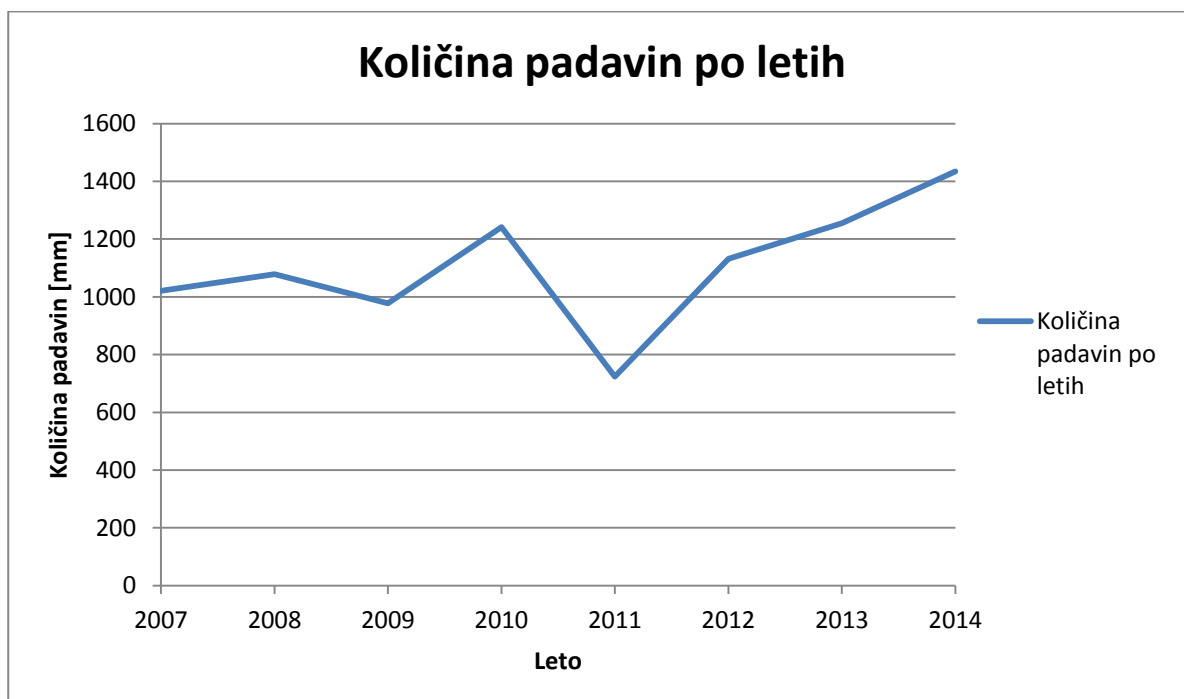
Posledično grafikona 5 in 6 ne prikazujeta objektivne slike o povprečni letni koncentraciji nitratov in fosfatov v vodi, saj je v letu 2011 v obdobju meritev koncentracij hranil v vodi na območju napajalnega območja padlo izjemno malo padavin, ki bi lahko iz prispevnih površin izprala hranila.

Do največjega odstopanja med izračunanimi in izmerjenimi koncentracijami nitratov prihaja v letu 2011. Ker so posamezne površine napajalnega območja in količine izločenih nitratov iz površin v obravnavanem obdobju konstantne, se v izračunu spreminja le letna količina padavin. V letu 2011 je bilo v primerjavi s preostalimi leti izredno malo padavin. Leto 2011 je bilo na padavinski postaji Vinji Vrh pri Beli Cerkvi najbolj sušno od leta 1961. To se na grafikonu 5 kaže kot največja izračunana vrednost koncentracije nitratov v vodi.



Grafikon 6: Primerjava med izmerjenimi ortofostati in izračunanimi fosfati

Tako kot pri nitratih so tudi pri fosfatih največja odstopanja v letu 2011, ko je bila izmerjena majhna količina padavin in tudi v letih 2013 in 2014, ko je padla nadpovprečna količina padavin.



Grafikon 7: Količina padavin po letih

S primerjavo izračunanih koncentracij nitratov in fosfatov s količino letnih padavin lahko ugotovimo, da so izračunane koncentracije obratno sorazmerno enake padavinam.

14 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem predstavil dve najpomembnejši makrohranili za avtotrofne mikroorganizme. Primarna produkcija je navadno omejena ravno zaradi pomanjkanja enega izmed opisanih hranil. Fosfor in dušik sta zaradi lastnosti povečanja produkcije avtotrofnih organizmov izjemnega pomena v kmetijstvu, saj z dovolj veliko prisotnostjo v zemljinah omogočata večkratnik pridelka v primerjavi s kmetijskimi površinami, ki trpijo pomanjkanje le-teh.

Ravno kmetijstvo je glavni povzročitelj onesnaženja vodnih teles z omenjenima hraniloma. Enostavna omejitev ali prepoved dodajanja hranil kmetijskim površinam v večini primerov ne pride v poštev, ker je kvalitetna in cenovno dostopna hrana poleg pitne vode najpomembnejša dobrina, ki posamezni državi omogoča suverenost in neodvisnost od zunanjih trgov.

Kvalitetna in cenovno dostopna hrana se med seboj delno izključujeta. Zadovoljevanje potreb človeštva po dovolj velikih količinah kvalitetne hrane zahteva dodajanje hranil kmetijskim površinam, kar negativno vpliva na kvalitativne parametre voda.

Čeprav se rast svetovne populacije upočasnjuje, predvidevanja kažejo, da se naj bi svetovna populacija ustalila med 10 in 12 milijardami ljudi. To nakazuje, da se bodo v prihodnosti potrebe po hrani še povečevale. Zato bo v prihodnje eden izmed glavnih ciljev, kako uspešneje zajezi razpršeno in točkovno onesnaževanje voda s hranili, hkrati pa ohranjati ali povečevati proizvodnjo hrane.

Za doseg cilja zmanjšanja razpršenega onesnaženja bo potrebno poseči v kmetijsko prakso gnojenja in povečanja nadzora nad porabo gnojil. V Evropski uniji Evropski parlament in Evropski svet izdajata direktive, katerim morajo države članice prilagoditi svojo zakonodajo. V Sloveniji so zato sprejeti določeni ukrepi za varovanje voda pred onesnaženjem s hranili iz kmetijstva, kot je zakon o mineralnih gnojilih, zakon o vodah in zakon o varovanju okolja, prav tako se pospešeno gradijo čistilne naprave za gospodinske odpadne vode, ki imajo zelo pozitiven učinek v urbanih okoljih, nekoliko manjšega pa v ruralnih okoljih.

Antropogeno povzročena evtrofikacija je posledica obremenjevanja vodnih teles s hranili. Evtrofikacija je že sedaj eden izmed večjih okoljskih problemov, ki se bo v prihodnje le še povečeval. Zmanjšanje izpustov hranil in njihova ponovna uporaba bo moral biti cilj kmetijstva, saj ima to pozitivne učinke v kmetijstvu z zmanjšanjem stroškov, kot tudi v ekologiji okolja v smislu manjšega obremenjevanja okolja s hranili.

Prekomerna vsebnost hranil v vodi ne vpliva samo na evtrofikacijo voda, temveč tudi na samo primernost vode za javno uporabo prek javnih vodovodnih sistemov. Evtrofikacija v podzemnih

vodah, ki napaja okoli 97 odstotkov prebivalcev Slovenije z pitno vodo, ni mogoča zaradi pomanjkanja dejavnikov, kot sta svetloba in toplota. Kljub temu, da hranila ne povzročajo eutrofikacije v podzemnih vodah, so lahko prekomerne količine nitratov in fosfatov škodljive zdravju uporabnika.

Na vodnem zajetju Jezero v Šmarjeških Toplicah se upravljavci vodnega zajetja ne soočajo s težavami prekomernih koncentracij hranil v načrpani vodi. Vendar je kljub temu, da na vodnem zajetju Jezero trenutno ni težav z prekomernimi koncentracijami hranil, za zaščito vira vzpostavljen varovalni režim na celotnem napajalnem območju kraškega vodonosnika.

Zaradi same pomembnosti vodnega zajetja Jezero za Dolenjsko regijo je ključno, da se zaščiti kakovostne in količinske lastnosti načrpane vode na vsaj dosednji ravni. V ta namen je bil ustvarjen projekt hidravličnih izboljšav vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske, ki poleg izboljšav vodovodnega sistema predvideva tehnične izboljšave črpališča Jezero, kar omogoča izboljšanje kvalitativnih in količinskih lastnosti vode. V projektu hidravličnih izboljšav vodovodnega sistema osrednje Dolenjske je predvidenih več investicij, ki bodo pripomogle k izboljšanju zdajšnjega stanja.

Hidravlična izboljšava na primarnem in transportnem omrežju bo pripomogla k stabilnosti in trajnosti oskrbe s pitno vodo na danem območju. Povečanje kapacitet vodohranov bo zagotovilo nemoteno oskrbo s pitno vodo tudi v času potrošnih konic vode. Z izgradnjo vodarn oziroma čistilnih naprav na vodnih zajetjih se bo odstranilo morebitno fizikalno in mikrobiološko onesnaženje in se zagotovilo neoporečnost pitne vode, ob enem pa se bo zmanjšalo tudi tveganje kemijskega onesnaženja distribuirane pitne vode.

Kljub velikemu bogastvu Slovenije z vodnimi viri je naloga nas vodarjev, da z dobrim gospodarjenjem z vodnimi viri ohranimo to naravno bogastvo za prihodnje rodove. Lep primer dobrega gospodarjenja z vodnim virom je vodno zajetje Jezero.

VIRI

UPORABLJENI VIRI

- [1] Valsami-Jones, E. 2004. Phosphorus in enviromental technology, principles and applications. Cornwall, UK, IWA publishing: 656 str.
- [2] Ilić, D., Panjan, J. 2008. Ocena vpliva fosforja iz kmetijstva na eutrofikacijo površinskih voda v Krajinskem parku Goričko. Gradbeni vestnik 57, 310-316.
- [3] Kang, S. J., Olmstead, K., Takacs, K., Collins, J. 2008. Municipal Nutrient Removal Technologies. Environmental Protection Agency Office of Water Programs Reference Document: 268 f.
- [4] Predlog Evropskega parlamenta in sveta o spremembi uredbe (EU) št. 648/2004 v zvezi z uporabo fosfatov in drugih fosfornih spojin v detergentih za pranje perila v gospodinjstvu. 2010.
[http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com\(2010\)0597_/com_com\(2010\)0597_sl.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2010)0597_/com_com(2010)0597_sl.pdf) (Pridobljeno 26. 1. 2016.)
- [5] Dawson, C. J., Hilton, J. 2011. Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. Food Policy 2011: 1-9.
doi:10.1016/j.foodpol.2010.11.012
- [6] Follett, R. F., Hatfield, J. L. 2001. Nitrogen in the environment: sources, problems, and management. Fort Collins Pammel Drive TheScientificWorld: str. 920-926.
- [7] Erisman, J. W., Bleeker, A., Galloway, J., Sutton, M. S. 2007. Reduced nitrogen in ecology and the environment. Environmental pollution 150: 140-149.
doi:10.1016/j.envpol.2007.06.033
- [8] Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Scindler, D. W., Schlesinger, W. H., Tilman, D. G. 1996. Human Alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences, Issues in Ecology: str. 737-750.
- [9] Vymazal, J. 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Science of the total environment 380: 48-65.
doi:10.1016/j.scitotenv.2006.09.014

- [10] Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P., Sutton, M. A. 2008. Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science* 320: 889-892
doi:10.1126/science.1136674
- [11] Statistični urad Republike Slovenije. 2015.
http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=1517001S&ti=&path=../Database/Okolje/15_kmetijstvo_ribistvo/07_reprodukcija_material/01_15170_gnojila/&lang=2
(Pridobljeno 11. 2. 2015.)
- [12] Fosfor. 2015. <http://sl.wikipedia.org/wiki/Fosfor> (Pridobljeno 12. 3. 2015.)
- [13] Panjan, J. 2010. Čiščenje odpadnih voda (študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 169 str.
- [14] Lee, D. S., Jeon, C. O., Park, J. M. 2001. Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system. *Elsevier Science* 2001: str. 3968-3976.
- [15] Trofično stanje. 2015. http://sl.wikipedia.org/wiki/Trofi%C4%8Dno_stanje
(Pridobljeno 1. 2. 2015.)
- [16] Carpenter, S.R. 2001. Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. *The National Academy of Sciences of the USA* 2005: str. 1002-1005.
- [17] Randall, G. W., Mulla, D. J. 2000. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *J. Environ.* 30: 337-344.
- [18] Dušik. 2015. <http://sl.wikipedia.org/wiki/Du%C5%A1ik> (Pridobljeno 13. 3. 2015.)
- [19] Kraški vodovod Sežana. 2015. Opis kemijskih elementov, ki jih najdemo v pitni vodi. http://www.kraski-vodovod.si/default.asp?stran=voda-kemijski-parametri#Nitriti_in_nitriti (Pridobljeno 15. 4. 2015.)
- [20] Program monitoringa stanja za obdobje 2010-2015. 2011. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 120 str.
- [21] ARSO, Kemijsko in ekološko stanje površinskih voda. 2015.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=346 (Pridobljeno 30. 5. 2015.)

- [22] ARSO, Fosfor v jezerih. 2015. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=639 (Pridobljeno 30. 5. 2015.)
- [23] ARSO, Hranila in biokemijska potreba po kisiku v rekah. 2015.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=631 (Pridobljeno 30. 5. 2015.)
- [24] ARSO, Kemijsko in ekološko stanje morja. 2015.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=365 (Pridobljeno 30. 5. 2015.)
- [25] ARSO, Klorofil a v obalnem morju. 2015.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=148 (Pridobljeno 30. 5. 2015.)
- [26] ARSO, Nitrati v podzemni vodi. 2015.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=632 (Pridobljeno 30. 5. 2015.)
- [27] Panjan, J. 2010. Osnove zaščite voda (študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 80 str.
- [28] EPA, Watershed & Water Quality Modeling Watershed & Water Quality Modeling Technical Support Center. 2015.
http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/Tech_Center_Fact_Sheet.pdf
(Pridobljeno 9. 6. 2015.)
- [29] EPA, Water Quality Models. 2015.
http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/water_quality_models.html
(Pridobljeno 8. 6. 2015.)
- [30] EPA, Aquatox. 2015. <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/aquatox.html>
(Pridobljeno 8. 6. 2015.)
- [31] EPA, River and Stream Water Quality Model (QUAL2K). 2015.
<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html> (Pridobljeno 8. 6. 2015.)
- [32] EPA, Water Quality Analysis Simulation Program (WASP). 2015.
<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html> (Pridobljeno 9. 6. 2015.)
- [33] ARSO, poraba mineralnih gnojil. 2015.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=435 (Pridobljeno 1. 4. 2015.)

- [34] Pintar, M., Lobnik, F., Simonič, A. Apel proti pozidavi kmetijskih zemljišč. 2015. http://www.bf.unilj.si/fileadmin/users/1/agronomija/Oddelek/izjava_za_javnost_KZem.pdf (Pridobljeno 17. 4. 2015.)
- [35] Mišigoj, S., Kompare, B. 2003. Določanje vodovarstvenih območij za vire pitne vode. Aktualni vodnogospodarski projekti. Ljubljana, Inštitut za hidravlične raziskave, inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 163-171.
- [36] Zorko, I. 2015. Program oskrbe s pitno vodo za obdobje 2014-2017 občina Šmarješke Toplice. Novo mesto, Komunala Novo mesto d.o.o.: str 31.
- [37] Občina Šmarješke Toplice, obnova vodovoda Grič pri Klevevžu. 2015. <http://www.smarjeske-toplice.si/aktualni-projekti-in-investicije/items/obnova-vodovod-gric-pri-klevevzu.html> (Pridobljeno 9. 8. 2015.)
- [38] Uredba o oskrbi s pitno vodo. Uradni list RS št. 88/2012: 50-56.
- [39] Komunala Novo mesto, Zgodovina novomeškega vodovoda. 2015. <http://www.komunala-nm.si/Dejavnosti/Oskrba-s-pitno-vodo/Zgodovina-novome%C5%A1kega-vodovoda> (Pridobljeno 9. 8. 2015.)
- [40] Ustava Republike Slovenije. 2015. <http://www.us-rs.si/o-sodiscu/pravna-podlaga/ustava/> (Pridobljeno 8. 9. 2015.)
- [41] Zakon o ohranjanju narave. Uradni list RS št. 56/1999: 1-33.
- [42] Uredba o nadomestilu za zmanjševanje dohodka iz kmetijske dejavnosti zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima. Uradni list RS št. 102/2010: 187-188.
- [43] Pravilnik o pitni vodi. Uradni list RS št. 19/2004: 35-38.
- [44] Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja. Uradni list RS št. 64/2004: 39-46.
- [45] Odlok o oskrbi s pitno vodo na območju Občine Šmarjeških Toplic. Občinski svet Šmarjeških Toplic. 2013. http://www.smarjeske-toplice.si/tl_files/Obcinski%20svet/Gradivo/Odlok%20o%20oskrbi%20s%20pitno%20vodo%20na%20obmocju%20obcine%20Smarjeske%20Toplice,%2010-12-2013.pdf (Pridobljeno 9. 8. 2015.)

- [46] Odlok o zaščiti vodnih virov na območju občine Novo mesto. Skupščina občine Novo mesto. 1985: <http://www.novomesto.si/si/obcina/akti/?v=580> (Pridobljeno 9. 8. 2015.)
- [47] Poročilo o stanju kmetijstva, živilstva in gozdarstva v letu 2013. 2014. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Kmetijski inštitut Slovenije: str. 79-81.
- [48] Matoz, H., Brenčič, M., Prestor, J., Kompare, B. 2005. Vodovarstvena območja-ukrepi in omejitve v zvezi z ravnanjem z zemljišči. Zbornik predavanj in referatov. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Geološki zavod Slovenije, Univerza v Ljubljani, fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: str. 18-26.
- [49] Strgulec, M. 2009. Omejitve na vodovarstvenih območjih (VVO). 2015. <http://www.kmetijskizavod-nm.si/file/139/download/189> (Pridobljeno 30. 12. 2015.)
- [50] Winkler, M. 2012. Poročilo iz prakse, laboratorijska analiza & procesna analiza čiščenje odpadnih vod, nutrienti. Optimalno razmerje nutrientov za čiščenje odpadnih vod. <http://uk.hach.com/asset-get.download.jsa?id=25593611360> (Pridobljeno 30. 12. 2015.)
- [51] Priloga 1: Podrobnejša predstavitev pomembnejših regijskih projektov. 2015. http://www.rc-nm.si/Portals/0/RRP%202014-2020%20oddan/PRILOGA%201_k_RRP%20JV%20SLO_2014-2020_marec_2015.pdf (Pridobljeno 2. 1. 2015.)
- [52] Vodarna Rižana. 2015. <http://www.rvk.si/oskrba-z-vodo/vodarna-rizana> (Pridobljeno 7. 12. 2015.)
- [53] Predinvesticijska zasnova projekta Hidravlične izboljšave vodovodnega sistema na območju osrednje Dolenjske. 2015. <http://www.obcina-skocjan.si/data/obcinski-svet/seja-gradivo/2012/16-redna-seja-os/0010-obravnavaj-in-sprejem-piz-za-projekt-hidravlicne-izboljsave-vodovodnega-sistema-za-obmocje-osrednje-dolenjske.pdf> (Pridobljeno 7. 12. 2015.)
- [54] PZI Jezero. 2015. Komunala Novo mesto. 7.4 Tehnološki načrt:Tehnično poročilo: 24.
- [55] Drev, D. 2016. Naravni procesi čiščenja: učno gradivo. Osebna komunikacija (12. 1. 2016.)

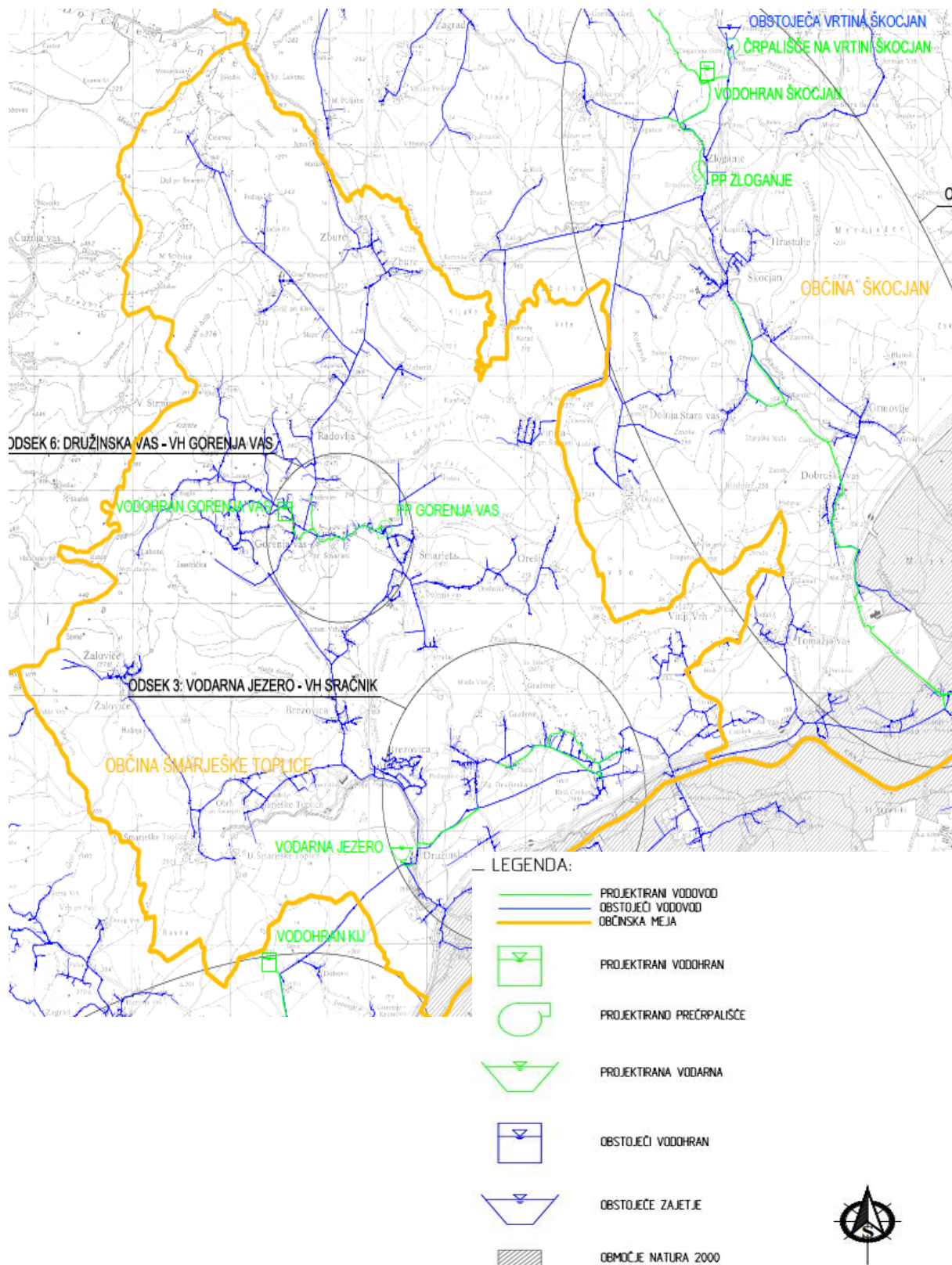
- [56] Preglednica: Razvrščanje vzorčnih mest v razrede ekološkega stanja po modulih za leto 2010.
<http://www.arso.gov.si/vode/reke/ocena%20stanja/Ekolo%C5%A1ko%20stanje%202010.pdf> (Pridobljeno 12. 1. 2016.)
- [57] Vodna pot " vir življenske "energije. 2015. Občina Šmarješke Toplice.
<http://tic.smarjeske-toplice.si/sl/vodna-pot-vir-zivljenjske-energije-kopija.html>
(Pridobljeno 30. 12. 2015.)
- [58] Drev, D., Panjan, J. 2013. Problematika neustrezne kakovosti pitne vode na kraškem območju ter možne rešitve. Gradbeni vestnik 6: 118-124.
- [59] Meteorološka postaja Vinji Vrh. 2015.
<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/stations/vinji-vrh.pdf>
(Pridobljeno 13. 1. 2016.)

OSTALI VIRI

- [60] Zakon o mineralnih gnojilih. Uradni list RS št. 29. 1180/2006: 1-4.
- [61] Valsami, J. E. 2001. Mineralogical controls on phosphorus recovery from wastewaters. Mineralogical magazine. London, Department of Mineralogy, 65,5: 611-620.
- [62] Schindler, D. W. 2006 Recent advances in the understanding and management of eutrophication. Department of Biological Sciences, University of Alberta, Edmonton, Alberta. American society of limnology and oceanography 51, 1-2: 356-363.
- [63] Thamdrup, B., Dalsgaard, T. 2002. Production of N₂ through anaerobic ammonium oxidation coupled to nitrate reduction in marine sediments. American society for microbiology: 1312-1318.
Doi: 10.1128/AEM.68.3.1312-1318.2002
- [64] Priloga 1, pravilnika o pitni vodi. 2015. http://www.uradni-list.si/files/RS_-2004-019-00865-OB~P001-0000.PDF#!/pdf (Pridobljeno 17. 1. 2016.)

PRILOGE

Priloga A



Priloga B (1/3): Arhivski podatki kakovosti voda za leto 2014

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Vodno telo: 1011 Dolenjski kras
Merilno mesto: JEZERO - ŠMARJETA
Šifra merilnega mesta: I10140

04.06.2014 30.09.2014

MERITVE NA TERENU

Temperatura zraka	°C	16	17
Temperatura vode	°C	19,1	16,5
Barva	m-1	<0,2	<0,2
pH	-	7,3	7,4
Električna prevodnost (20 °C)	µS/cm	412	413
Kisik sonda	mg O ₂ /l	4,9	9,4
Nasičenost s kisikom - sonda	%	54	97
Redoks potencial	mV	370	250
Motnost	NTU	0,25	5,6

OSNOVNI PARAMETRI

KPK s KMnO ₄	mg O ₂ /l	<0,5	<0,5
TOC	mg C/l	0,87	0,68
Amonij	mg NH ₄ /l	0,007	0,007
Nitriti	mg NO ₂ /l	<0,008	<0,008
Nitrati	mg NO ₃ /l	3,77	3,78
Sulfati	mg/l	9,7	8,71
Kloridi	mg/l	2,36	2,49
Fluoridi	mg/l	0,1	0,12
Ortofosfati	mg PO ₄ /l	0,029	0,071
Kalcij	mg/l	66	74
Magnezij	mg/l	19	16
Natrij	mg/l	1,9	2
Kalij	mg/l	0,87	0,96
Hidrogenkarbonati	mg HCO ₃ /l	296	299
Skupna trdota	ONT	13,6	14
Karbonatna trdota	ONT	13,6	13,7
m-Alkaliteta	meqv/l	4,9	4,9

MIKROELEMENTI

Mangan-filt.	mg/l	0,0015
Železo- filt.	mg/l	<0,04
Bor-filt.	mg/l	0,0056
Aluminij-filt.	µg/l	4,5
Antimon-filt.	µg/l	0,18
Arzen-filt.	µg/l	0,3
Baker-filt.	µg/l	2,6
Barij-filt.	µg/l	17
Berilij-filt.	µg/l	<0,04
Cink-filt.	µg/l	110
Kadmij-filt.	µg/l	<0,02
Kobalt-filt.	µg/l	0,18
Kositer-filt.	µg/l	0,33
Krom-filt.	µg/l	0,57
Molibden-filt.	µg/l	1,2
Nikelj-filt.	µg/l	1,6
Selen-filt.	µg/l	0,16
Srebro-filt.	µg/l	<0,03
Stroncij-filt.	µg/l	100
Vanadij-filt.	µg/l	0,57
Živo srebro-filt.	µg/l	<0,015

Priloga B (2/3): Arhivski podatki kakovosti voda za leto 2014

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Vodno telo: 1011 Dolenjski kras
Merilno mesto: JEZERO - ŠMARJETA
Šifra merilnega mesta: I10140

		04.06.2014	30.09.2014
Titan-filt.	µg/l	0,68	

PESTICIDI IN METABOLITI

Alaklor	µg/l	<0,007	<0,007
Metolaklor	µg/l	<0,011	<0,011
Atrazin	µg/l	<0,007	<0,007
Desetil-atrazin	µg/l	0,013	<0,009
Desizopropil-atrazin	µg/l	<0,003	<0,003
Simazin	µg/l	<0,009	<0,009
Klorotalonil	µg/l	<0,03	
Propazin	µg/l	<0,009	<0,009
Prometrin	µg/l	<0,01	<0,01
Cianazin	µg/l	<0,009	<0,009
Terbutilazin	µg/l	<0,015	<0,015
Desetil-terbutilazin	µg/l	<0,004	<0,004
Terbutrin	µg/l	<0,013	<0,013
Sekbumeton	µg/l	<0,008	<0,008
Metamitron	µg/l	<0,005	
Metribuzin	µg/l	<0,01	
Propikonazol	µg/l	<0,002	<0,002
Bromacil	µg/l	<0,008	
2,6-diklorobenzamid	µg/l	<0,006	<0,006
Bromoksinil	µg/l	<0,021	
Ioksinil	µg/l	<0,009	
Diuron	µg/l	<0,007	
Klortoluron	µg/l	<0,009	
Izoproturon	µg/l	<0,008	
Linuron	µg/l	<0,009	
Triasulfuron	µg/l	<0,01	
2,4-D	µg/l	<0,015	
2,4-DP	µg/l	<0,02	
MCPA	µg/l	<0,013	
MCPP	µg/l	<0,013	
Dicamba	µg/l	<0,05	
Metalaksil	µg/l	<0,001	<0,001
Pendimetalin	µg/l	<0,001	<0,001
Metazaklor	µg/l	<0,008	<0,008
Acetoklor	µg/l	<0,007	<0,007
Bentazon	µg/l	<0,012	
Dimetenamid	µg/l	<0,001	<0,001
Flufenacet	µg/l	<0,003	
Amidosulfuron	µg/l	<0,013	
Nikosulfuron	µg/l	<0,013	
Foramsulfuron	µg/l	<0,014	
Prosulfuron	µg/l	<0,007	
Diazinon	µg/l	<0,002	<0,002
Azoksistrobin	µg/l	<0,002	<0,002
Kloridazon	µg/l	<0,004	
Klorfenvinfos	µg/l	<0,002	<0,002
Klorpirifos etil	µg/l	<0,002	<0,002
Klorpirifos metil	µg/l	<0,003	<0,003
Dimetoat	µg/l	<0,001	<0,001
Rimsulfuron	µg/l	<0,05	
Primisulfuron-metil	µg/l	<0,014	
Tritosulfuron	µg/l	<0,004	

Priloga B (3/3): Arhivski podatki kakovosti voda za leto 2014

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Vodno telo: 1011 Dolenjski kras
Merilno mesto: JEZERO - ŠMARJETA
Šifra merilnega mesta: I10140

Pr

		04.06.2014	30.09.2014
Dimetaklor	µg/l	<0,006	
Flurokloridon	µg/l	<0,007	
Klopiralid	µg/l	<0,1	
Klorantraniliprol	µg/l	<0,005	
Petoksamid	µg/l	<0,021	

BAKTERIOLOGIJA

Salmonella	-	ni najdeno	najdeno
Clostridium perfringens (vključno s spora)	CFU/100 ml	0	6
Escherichia coli (E. coli)	CFU/100 ml	8	146
Intestinalni enterokoki	CFU/100 ml	0	62

FARMACEVTIKI

Sulfamerazin	ug/L	<0,01	<0,01
Trimetoprim	µg/L	<0,006	<0,006
Metoprolol	µg/L	<0,005	<0,005
Betaksolol	µg/L	<0,004	<0,004
Bezafibrat	µg/L	<0,006	<0,006
Diklofenak	µg/L	<0,012	<0,012
Fenofibrat	µg/L	<0,003	<0,003
Fenoterol	µg/L	<0,003	<0,003
Gemfibrozil	µg/L	<0,005	<0,005
Indometacin	µg/L	<0,005	<0,005
Karbamazepin	µg/L	<0,006	<0,006
Ketoprofen	µg/L	<0,005	<0,005
Kofein	µg/L	<0,017	<0,017
Kodein	µg/L	<0,01	<0,01
Propanolol	µg/L	<0,004	<0,004
Paracetamol	µg/L	<0,005	<0,005
Penicilin G	µg/L	<0,012	<0,012
Sulfametoksazol	µg/L	<0,006	<0,006
Testosteron	µg/L	<0,004	<0,004
Teofilin	µg/L	<0,002	<0,002

Priloga C (1/6): Parametri in mejne vrednosti parametrov

PARAMETRI IN MEJNE VREDNOSTI PARAMETROV

DEL A

Mikrobiološki parametri

Splošne zahteve za pitno vodo

Parameter	Mejna vrednost parametra (število/100 ml)
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0
Enterokoki	0

Zahteve za vodo, namenjeno za pakiranje:

Parameter	Mejna vrednost parametra
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0/250 ml
Enterokoki	0/250 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 ml
Število kolonij 22 °C	100/ml
Število kolonij 37 °C	20/ml

Priloga C (2/6): Parametri in mejne vrednosti parametrov

DEL B
Kemijski parametri

Parameter	Mejna vrednost parametra	Enota	Opombe
Akrlamid	0,10	µg/l	Opomba 1
Antimon	5,0	µg/l	
Arzen	10	µg/l	
Baker	2,0	mg/l	Opomba 2
Benzen	1,0	µg/l	
Benzo(a)piren	0,010	µg/l	
Bor	1,0	mg/l	
Bromat	10	µg/l	Opomba 3
Cianid	50	µg/l	
1,2-dikloroetan	3,0	µg/l	
Epiklorohidrin	0,10	µg/l	Opomba 1
Fluorid	1,5	mg/l	
Kadmij	5,0	µg/l	
Krom	50	µg/l	
Nikelj	20	µg/l	Opomba 2
Nitrat	50	mg/l	Opomba 4
Nitrit	0,50	mg/l	Opomba 4
Pesticidi	0,10	µg/l	Opombi 5 in 6
Pesticidi – vsota	0,50	µg/l	Opombi 5 in 7
Policiklični aromatski ogljikovodiki	0,10	µg/l	Vsota koncentracij izbranih spojin, navedenih v Opombi 8
Selen	10	µg/l	
Svinec	10	µg/l	Opombi 2 in 9
Tetrakloroeten in Trikloroeten	10	µg/l	Vsota koncentracij izbranih parametrov
Trihalometani - vsota	100	µg/l	Vsota koncentracij izbranih spojin, navedenih v Opombi 10
Vinil klorid	0,50	ug/l	Opomba 1

Priloga C (3/6): Parametri in mejne vrednosti parametrov

Parameter	Mejna vrednost parametra	Enota	Opombe
Živo srebro	1,0	µg/l	

Opomba 1: Mejna vrednost parametra se nanaša na koncentracijo preostalega monomera v pitni vodi, izračunano v skladu s specifikacijami glede na najvišje sprostitve iz ustreznega polimera v stiku z vodo.

Opomba 2: Mejna vrednost velja za vzorec pitne vode, ki je bil odvzet po ustrezni metodi vzorčenja iz pipe tako, da predstavlja tedensko povprečno koncentracijo, ki jo zaužijejo uporabniki. Pri vzorčenju mora biti upoštevan pojav najvišjih ravni obremenitve, ki lahko škodljivo vpliva na zdravje ljudi.

Opomba 3: Upravljevec mora zagotavljati čim nižjo vrednost, pod pogojem, da to ne vpliva na uspešnost dezinfekcije.

Za vodo, iz 1., 2. in 4. točke 8. člena tega pravilnika mora vrednost za bromat izpolniti zahteve najkasneje do 1. novembra 2008. Do takrat je mejna vrednost za bromat 25 µg/l.

Opomba 4: Pogoj za mejno vrednost je, da je $[\text{nitrat}]/50 + [\text{nitrit}]/3 \leq 1$, pri čemer je vrednost za nitrat (NO_3) in nitrit (NO_2), v oglatih oklepajih, izražena v mg/l. Za nitrite mora biti dosežena vrednost 0,10 mg/l v vodi pri izstopu iz naprave za pripravo vode.

Opomba 5: 'Pesticidi' pomeni:

- organski insekticidi,
- organski herbicidi,
- organski fungicidi,
- organski nematocidi,
- organski akaricidi,
- organski algicidi,
- organski rodenticidi,
- organski pripravki, ki preprečujejo nastajanje sluzi (slimacidi),
- sorodni proizvodi (med drugim regulatorji rasti)

in njihovi relevantni metabolni, razgradni in reakcijski produkti.

Spremljajo se samo tisti pesticidi, ki so lahko prisotni v posameznem sistemu za oskrbo s pitno vodo.

Opomba 6: Mejna vrednost parametra velja za vsak posamezni pesticid. Za aldrin, dieldrin, heptaklor in heptaklor epoksid je mejna vrednost parametra 0,030 µg/l.

Opomba 7: 'Pesticidi - vsota' pomeni vsoto vseh posameznih najdenih in kvantitativno določenih pesticidov.

Opomba 8: Izbrane spojine so: benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(ghi)perilen, indeno(1,2,3-cd)piren.

Priloga C (4/6): Parametri in mejne vrednosti parametrov

Opomba 9: Za vodo, iz 1., 2. in 4. točke 8. člena tega pravilnika, mora vrednost za svinec izpolniti zahteve najkasneje do 1. novembra 2013. Do takrat je mejna vrednost za svinec 25 µg/l.

Do roka iz prejšnjega odstavka mora upravljavec sprejeti vse potrebne ukrepe za čim večje znižanje koncentracije svinca v pitni vodi.

Pri izvajanju ukrepov za doseganje mejne vrednosti je treba prednostno poskrbeti za območja, kjer so koncentracije svinca v pitni vodi najvišje.

Opomba 10: Upravljavec mora zagotavljati čim nižjo vrednost, pod pogojem, da to ne vpliva na uspešnost dezinfekcije.

Izbrane spojine so: kloroform, bromoform, dibromoklorometan, bromodiklorometan.

Upravljavec mora zagotoviti, da se sprejmejo vsi potrebni ukrepi za čim večje zmanjšanje koncentracije trihalometanov (THM) v pitni vodi. Pri izvajanju ukrepov za doseg te vrednosti mora upravljavec postopoma dati prednost tistim območjem, kjer so koncentracije THM-jev v pitni vodi najvišje.

DEL C

Indikatorski parametri

Parameter	Mejna vrednost parametra/specifikacija	Enota	Opombe
Aluminij	200	µg/l	
Amonij	0,50	mg/l	
Barva	Sprejemljiva za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Celotni organski ogljik (TOC)	Brez neobičajnih sprememb		Opomba 1
<i>Clostridium perfringens</i> (vključno s spori)	0	število/100 ml	Opomba 2
Električna prevodnost	2500	µS cm ⁻¹ pri 20 °C	Opomba 3
Klorid	250	mg/l	Opomba 3
Koliformne bakterije	0	število/100 ml	Opomba 4
Koncentracija vodikovih ionov (pH vrednost)	≥ 6,5 in ≤ 9,5	enote pH	Opombi 3 in 5
Mangan	50	µg/l	

Priloga C (5/6): Parametri in mejne vrednosti parametrov

Motnost	Sprejemljiva za uporabnike in brez neobičajnih sprememb		Opomba 6
Natrij	200	mg/l	
Oksidativnost	5,0	mg O ₂ /l	Opomba 7
Okus	Sprejemljiv za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Sulfat	250	mg/l	Opomba 3
Število kolonij pri 22 °C	Brez neobičajnih sprememb		
Število kolonij pri 37 °C	Manj kot 100	število/ml	
Vonj	Sprejemljiv za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Železo	200	µg/l	

RADIOAKTIVNOST

Parameter	Mejna vrednost parametra	Enota	Opombe
Tritij	100	Bq/l	Opombi 8 in 10
Skupna prejeta doza	0,10	mSv/leto	Opombi 8, 9 in 10

Opomba 1: Ni potrebno meriti pri sistemih za oskrbo s pitno vodo, ki zagotavljajo manj kot 10.000 m³ na dan.

Opomba 2: Določa se le, če je pitna voda po poreklu površinska voda ali pa le-ta nanjo vpliva. V primeru neskladnosti mora upravljavec opraviti dodatna preskušanja in zagotoviti, da pitna voda ne predstavlja potencialne nevarnosti za zdravje ljudi zaradi prisotnosti patogenih mikroorganizmov, npr. kriptosporidija. Ministrstvo, pristojno za zdravje mora v primeru neskladnosti rezultate dodatnih preskušanj vključiti v poročilo, ki ga mora predložiti v skladu z drugim odstavkom 36. člena pravilnika.

Opomba 3: Voda ne sme biti agresivna.

Opomba 4: Za vodo, namenjeno pakiranju, je enota število/250 ml.

Opomba 5: Za vodo, namenjeno pakiranju je lahko najnižja vrednost 4,5. Za vodo, namenjeno pakiranju, ki je naravno bogata ali umetno obogatena z ogljikovim dioksidom, je spodnja vrednost lahko še nižja.

Priloga C (6/6): Parametri in mejne vrednosti parametrov

Opomba 6: V primeru priprave pitne vode iz površinske vode, motnost ne sme presegati 1,0 NTU (nefelometrijske turbidimetrijske enote) v vodi pri izstopu iz naprave za pripravo pitne vode.

Opomba 7: Parametra ni potrebno meriti, če se preskuša Celotni organski ogljik (TOC).

Opomba 8: Monitoring radioaktivnosti pitne vode se izvaja v skladu s predpisi, ki urejajo spremljanje stanja radioaktivnosti okolja in so izdani na podlagi Zakona o varstvu pred ionizirajočimi sevanji in jedrski varnosti (Uradni list RS, št. 50/03 – prečiščeno besedilo).

Opomba 9: Mejna vrednost parametra ne upošteva prispevkov tritija ^3H , kalija ^{40}K , radona ^{222}Rn in njegovih razpadnih produktov.

Opomba 10: Monitoring pitne vode glede vsebnosti tritija ali radioaktivnosti zaradi preverjanja skupne prejete doze ni potreben tam, kjer so na podlagi izvajanja drugega monitoringa ravni tritija ali izračunane doze znatno pod mejnimi vrednostmi parametrov.