

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Matejka PER

**VODA IZ ČISTILNIH NAPRAV KOT
ALTERNATIVNI VIR VODE ZA NAMAKANJE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Matejka PER

**VODA IZ ČISTILNIH NAPRAV KOT ALTERNATIVNI VIR VODE ZA
NAMAKANJE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**WATER FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS
ALTERNATIVE SOURCE OF WATER FOR IRRIGATION**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Podatki letnega monitoringa prečiščenih voda na čistilnih napravah so javno dostopni na spletnih straneh Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), Ministrstva za okolje in prostor.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico diplomskega dela imenovala izr. prof. dr. Marino Pintar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof.dr. Katja Vadnal
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: izr. prof. dr. Marina Pintar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Rok Mihelič
Univerza v Ljubljani, biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Matejka Per

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA VSEBINA

ŠD	Dn
DK	UDK 628.381: 631.879.2 (043.2)
KG	namakanje/komunalne čistilne naprave/industrijske čistilne naprave/prečiščena voda/odplake/uporaba odplak/kmetijstvo
KK	AGRIS P12/F04
AV	PER, Matejka
SA	PINTAR, Marina (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2009
IN	VODA IZ ČISTILNIH NAPRAV KOT ALTERNATIVNI VIR VODE ZA NAMAKANJE
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XII, 28, [7] str., 3 pregl., 2 sl., 6 pril., 30 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Namen diplomskega dela je bil ugotoviti, ali je voda iz čistilnih naprav (ČN) v Sloveniji primerna kot vir vode za namakanje ter oceniti količino takšne vode. Naša delovna hipoteza, da voda iz čistilnih naprav lahko predstavlja znaten vodni vir za namakanje, je temeljila na predpostavki, da je voda iz čistilnih naprav in iz industrijskih čistilnih primerna za namakanje v kmetijstvu. Pri diplomskem delu smo obravnavali razpoložljivo slovensko in mednarodno strokovno literaturo, javno dostopne podatke monitoringa čistilnih naprav in letno poročilo Centralne čistilne naprave Domžale – Kamnik. Ugotovili smo, da slovenski predpisi sledijo veljavnim mednarodnim predpisom, vendar so pomanjkljivi. Pri monitoringu prečiščene vode iz komunalnih ČN in industrijskih ČN ne zahtevajo preverjanja vseh parametrov, ki so pomembni za namakanje, npr. natrija. Nadzor kakovosti se ne izvaja dovolj pogosto v rastni dobi. Javno dostopni podatki izvajanja meritev komunalnih ČN omogočajo le ugotavljanje uspešnosti čiščenja fosforja, dušika in KPK. Podatki o mikrobiološki ustreznosti takšne vode niso znani. Podatke merjenj ostalih parametrov glede na veljavne predpise je možno pridobiti le na zahtevo. Analiza pridobljenih podatkov iz ČN Domžale – Kamnik, je pokazala, da bi bila prečiščena voda primerna za namakanje, v kolikor bi bila znana koncentracija natrija in zagotovljena mikrobiološka neoporečnost. Iz javnih podatkov monitoringa industrijskih ČN je razvidna le letna količina posamezne nevarne snovi v odtoku iz ČN. Ker ne poznamo letne količine prečiščene vode niti dnevnih koncentracij posameznih nevarnih snovi, ne moremo z gotovostjo trditi, da je voda primerna za namakanje. Količina prečiščene vode, ki bi jo lahko uporabili kot vir vode za namakanje ni zanemarljiva, vendar ni prosto dostopna. Glede na razpoložljive podatke se nikjer v Sloveniji ne namaka z očiščeno vodo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 628.381: 631.879.2 (043.2)
CX irrigation/wastewater treatment plants/industrial wastewater treatment plants/treated water/agriculture/wastewater reuse
CC AGRIS P12/F04
AU PER, Matejka
AA PINTAR, Marina (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of agronomy
PY 2009
TI WATER FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS ALTERNATIVE SOURCE OF WATER FOR IRRIGATION
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XII, 28, [7] p., 3 tab., 2 fig., 6 ann., 30 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The purpose of the diploma thesis was to determine whether the water from wastewater treatment plants (WWTP) in Slovenia is a suitable source of irrigation water and estimate the amount of such water. Our working hypothesis is that the water from wastewater treatment plants can represent a significant source of water for irrigation, based on the assumption that the water from wastewater treatment plants (WWTP) and from industrial wastewater treatment plants is suitable for irrigation in agriculture. In the diploma thesis, we review the available Slovenian and international professional literature and regulations, publicly available monitoring data and an annual report WWTP Domžale - Kamnik. We found that Slovenian regulations follow the applicable international rules, but they are deficient. The monitoring of purified water from municipal and industrial WWTP does not require verification of all parameters that are important for irrigation, for example, sodium. Quality control is not performed frequently enough during the growing season. Publicly available data of municipal WWTP permit examine only the effectiveness of treatment in phosphorus, nitrogen and COD. Information on the microbiological suitability and sodium contents of such water is not available. Other monitoring data can be obtained only on request. Analysis of data obtained from the WWTP Domžale - Kamnik, showed that the treated water is suitable for irrigation, if the data of sodium concentration and microbiological integrity are known. Publicly available data of industrial WWTP give only annual intake of individual hazardous substances in the WWTP effluent. The annual quantity of treated water and daily concentrations of certain dangerous substances are not known, so we cannot say with certainty that treated water from industrial WWTP is suitable for irrigation. The amount of treated water, which could be used as a source of irrigation water is not negligible, but it is not freely available. According to available figures in Slovenia so far no surface is irrigated with treated water.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	IX
Okrajšave in simboli	X
Slovarček	XII
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 ZAKAJ NAMAKATI S PREČIŠČENO VODO (RECIKLIRANO VODO)?	2
2.1.1 Pomanjkanje vode in sušni stres	2
2.1.2 Prednosti in pomanjkljivosti namakanja z prečiščeno vodo iz čistilnih naprav	2
2.2 PARAMETRI KAKOVOSTI VODE, POMEMBNI ZA ZDRAVJE LJUDI	4
2.2.1 Parametri kakovosti vode za namakanje, ki vplivajo na zdravje ljudi	4
2.2.1.1 Prisotnost patogenih organizmov	4
2.2.1.2 Vsebnost organskih in neorganskih spojin	5
2.2.1.3 Vsebnost posameznih elementov	5
2.3 PARAMETRI KAKOVOSTI VODE, KI SO POMEMBNI V KMETIJSTVU	6
2.3.1 Soli v tleh	6
2.3.2 Toksičnost elementov	6
2.3.3 Zmanjšana infiltracijska sposobnost tal	7
2.3.4 Reakcija vode	7
2.3.5 Bikarbonat (HCO_3^-) in karbonat (CO_3^{2-})	7
2.3.6 Hranila	8
2.4 ZBIRANJE PODATKOV O KAKOVOSTI VODE IN MONITORING	8
2.5 ČISTILNE NAPRAVE	9
2.6 DOMAČI PREDPISI	9
2.6.1 Zakon o varstvu okolja	9
2.6.2 Zakon o vodah	9
2.6.3 Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje	10
2.6.4 Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav	10
2.6.5 Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo	10
2.6.6 Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla	10
2.6.7 Uredba o stanju površinskih voda	10
2.7 OBLIKE ČIŠČENJA IN DEZINFEKCIJE ODPADNE VODE	10
2.7.1 Zahteve za skladiščenje prečiščene vode, ki je namenjena namakanju	11
2.8 NAČINI NAMAKANJA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČ	11

2.8.1	Površinsko prelivanje in poplavljanje namakalne površine	12
2.8.2	Namakanje z razpršilci	12
2.8.3	Mikro razpršilci	12
2.8.4	Kapljično namakanje	12
2.8.5	Podtalno namakanje	13
2.9	OSTALI DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA MOŽNOST NAMAKANJA S PREČIŠČENO VODO	13
2.9.1	Poroznost in drenaža, vpliv na podtalnico	13
2.9.2	Vnos hranil	13
2.10	VPLIVI UPORABE PREČIŠČENE VODE	14
2.10.1	Ekonomski vplivi	14
2.10.2	Vpliv javnosti	14
2.11	STROKOVNA IZHODIŠČA ZA PRIPRAVO USTREZNIH PREDPISOV	14
3	MATERIAL IN METODE	15
3.1	PODATKI	15
3.2	ANALIZA PODATKOV	15
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	16
4.1	REZULTATI ANALIZ JAVNO DOSTOPNIH PODATKOV KOMUNALNIH IN INDUSTRIJSKIH ČISTILNIH NAPRAV	16
4.2	REZULTATI PODATKOV CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE DOMŽALE – KAMNIK	18
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	20
5.1	RAZPRAVA	20
5.1.1	Zakonodaja	20
5.1.2	Podatki monitoringa	20
5.1.3	Količina vode	21
5.1.4	Organizacija uporabe vode iz čistilnih naprav	22
5.2	SKLEPI	23
6	POVZETEK	24
7	VIRI	26

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Prednosti, priložnosti, pomanjkljivosti in slabosti namakanja z prečiščeno vodo (prirejeno po Lazarova in Bahri, 2005)	3
Preglednica 2: Najpomembnejši patogeni organizmi in koncentracija, ki vpliva na zdravje ljudi (prirejeno po WHO, 2006)	5
Preglednica 3: Čistilne naprave v Sloveniji, ki so v letu 2007 dosegle ustrezno predpisano stopnjo čiščenja KPK, fosforja in dušika (Podatki o izvajanju monitoringa ..., 2007)	17

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Količina odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav po načinih čiščenja v Sloveniji (Podatki o izvajanju monitoringa ..., 2007)	17
Slika 2: Emisije snovi v vode neposredno iz industrijskih čistilnih naprav v obdobju 2000 - 2006 v Sloveniji (Podatki o izvajanju monitoringa na ..., 2007)	18

KAZALO PRILOG

PRILOGA A	Priporočene koncentracije elementov v sledih v vodi za namakanje (prirejeno po Westcot, 1997, cit. po Lazarova in Bahri, 2005)
PRILOGA B	Mejne vrednosti parametrov vode za namakanje rastlin (Uredba o mejnih ..., 2005)
PRILOGA C	Dejavniki, ki jih upoštevamo pri odločanju o obliki namakanja s prečiščeno odpadno vodo (Pescod, 1992)
PRILOGA D	Relativna toleranca nekaterih kmetijskih rastlin na vsebnost soli v tleh (Pescod, 1992; Ayers in Westcot, 1992)
PRILOGA E	Izvajanje monitoringa na CČN Domžale – Kamnik v maju 2008 (Poročilo ..., 2009)
PRILOGA F	Lokacije in velikosti komunalnih in skupnih čistilnih naprav ter industrijskih čistilnih naprav v letu 2006 (Podatki i izvajanju ..., 2006, 2007)

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

WWTP	Wastewater treatment plant, čistilna naprava
COD	Chemical Oxygen demand, kemična potreba po kisiku
BOD	Biological oxygen demand, biološka potreba po kisiku
OZN	Organizacija Združenih narodov
WHO	Mednarodna zdravstvena organizacija
USEPA	Agencija za zaščito okolja Združenih držav Amerike
UNEP	Program za okolje Združenih narodov
IWRI	Ian Wark Research Institute, Univerza v južni Avstraliji
FAO	Organizacija za prehrano in kmetijstvo pri OZN
BPK ₅	biološka potreba po kisiku
KPK	kemična potreba po kisiku
N	dušik
P	fosfor
K	kalij
B	bor
Cl	klor
Na	natrij
Fe	železo
Cu	baker
Mo	molibden
Ni	nikelj
Se	selen
Fl	flor
Mg	magnezij
Mn	mangan
U	uran
Zn	cink
As	arzen
Cr	krom
Cd	kadmij
EC _w	elektroprevodnost
SDS	količina raztopljenih delcev
SAR	indeks izmenljivega natrija
pH	indikator kislosti oz. bazičnosti
HCO ₃ ⁻	bikarbonatni ion
CO ₃ ⁻	karbonatni ion
USEPA	Ameriška agencija za okolje
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
UV	ultravijolično sevanje
ZVO-1B	Zakon o varstvu okolja
ZV-1	Zakon o vodah
TOC	celotni organski ogljik
idr.	in drugo
npr.	na primer

PE	populacijski ekvivalent
MKGP	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
ČN	čistilna naprava
MDK	mejna dovoljena koncentracija

SLOVARČEK

Občutljiva območja - to so vodna območja, kjer je mogoče pričakovati evtrofikacijo, kjer se odvzema pitno vodo, mesta določena s posebno uredbo in območje, kjer je potrebno izpolnjevati obveznosti iz predpisov, ki urejajo upravljanje s kopalnimi vodami (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode..., 2007).

Evtrofikacija - obogatitev vode s hranili, posebno spojinami dušika in/ali fosforja, kar povzroči pospešeno rast alg in višjih rastlinskih vrst, posledica česar je neželena motnja ravnotežja organizmov, prisotnih v vodi, ter kakovosti zadevne vode. (Direktiva sveta evropskih skupnosti o čiščenju komunalne odpadne vode., 1991).

Primarno čiščenje odpadne vode - je postopek čiščenja odpadne vode na fizikalen in/ali kemičen način, vključno z usedanjem neraztopljenih snovi, ki se zagotavlja na komunalni čistilni napravi. Pri tem mora znašati zmanjšanje biološke potrebe po kisiku (BPK₅) najmanj 20% in količine neraztopljenih snovi najmanj 50% pred izpustom (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode..., 2007).

Sekundarno čiščenje - odpadne vode je postopek čiščenja odpadne vode, ki vključuje biološko čiščenje s sekundarnim usedanjem, ali drug način čiščenja, s katerim se zagotavlja doseganje mejne vrednosti (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode..., 2007).

Terciarno čiščenje - odpadne vode je postopek čiščenja odpadne vode, s katerim se dosega eliminacija dušika in fosforja tako, da se zagotavlja doseganje mejnih vrednosti (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode..., 2007).

Analiza stroškov in koristi – je analiza stroškov in koristi ter prednosti pri izdelavi posamezne študije oz. projekta

Patogeni organizmi - so organizmi, ki povzročajo obolenje.

Koliformne bakterije - so skupina bakterij, ki jih lahko najdemo v blatu ljudi in živali, še pogostejše pa v prehransko bogatem okolju v naravi. So pokazatelj obilice prehranskih snovi v vodi, ki je posledica neustrezne priprave vode, onesnaženja po pripravi vode, poškodovanosti ali napak v omrežjih in zajetjih (Pravilnik o pitni vodi, 2006).

Populacijski ekvivalent - je onesnaženje, ki ga dnevno prispeva človek ob predpostavki, da porabi med 200 in 300 litri vode in proizvede enako količino odpadne vode - iz gospodinjstva in z izločki - ki je obremenjena z detergenti, maščobami, dušikovimi spojinami, mikroorganizmi in drugimi organskimi ter neorganskimi primesmi.

Evapotranspiracija - izguba vode z izhlapevanjem s površine tal in procesom transpiracije rastlin.

1 UVOD

Rastoče potrebe po vodi v svetu ter stroga pravila na področju varstva okolja sta dva glavna izziva, s katerima se srečujejo strokovnjaki za vodo pri urejanju rabe vode ter učinkovitem urejanju vodnih virov. Potrebe za namakanje in s tem povezani pritiski na vodne vire naraščajo, da bi zadovoljili rastočo rast pridelave hrane. Recikliranje odpadnih voda ter ponovna raba vode je razvijajoča se alternativna možnost, ki lahko doprinese k zmanjšanju pritiska na vire sveže vode. Aplikacija tako obdelanih voda pa je odvisna od številnih različnih dejavnikov, kot na primer zakonska ureditev področja in politični, tehnični, ekonomski, okoljski ter socialni vidiki (Lazarova in Bahri, 2005).

Namakanje rastlin je ukrep, s katerim z dodajanjem vode v času suše zagotavljamo količinsko in kakovostno primeren pridelek. Potrebna dodana voda je odvisna od rastline ter od podnebnih in talnih razmer (Pintar in Knapič, 2001). Ključni dejavniki kakovosti vode, ki določijo primernost reciklirane vode iz čistilnih naprav za uporabo za namakanje, so vsebnost patogenih organizmov, slanost, vsebnost trdnih delcev, toksičnost določenih ionov, elementi v sledovih in hranila. Področje o rabi reciklirane vode opredeljujeta dve glavni skupini priporočil, in sicer priporočila Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) iz leta 1989, posodobljena v letu 2006, ter priporočila Agencije za zaščito okolja Združenih Držav Amerike (USEPA), posodobljena leta 2004 (Suez Environment, 2006). Čistilne naprave so tradicionalno zasnovane tako, da v procesu čiščenja vode zmanjšajo vsebnost raztopljenih trdnih snovi, patogenih organizmov kot tudi organskih in hranilnih snovi ter s tem zmanjšajo pritisk na okolje. Za rabo vode za namakanje je odstranitev patogenih organizmov primarnega pomena, zato je potrebno proces prečiščevanja ustrezno prilagoditi. Zagotovitev vodnega vira v primeru suše ter zmanjšanje stroškov vode sta pomembna socialna in ekonomska vidika (Asano in sod., 2006 cit. po UNEP, 2007).

Namen diplomskega dela je analizirati trenutno veljavno zakonodajo v Sloveniji in standarde s področja čiščenja odpadne vode. Pričakovan rezultat bo podal osnovo za morebitno izoblikovanje novega pravilnika o monitoringu in uporabi prečiščene vode iz čistilnih naprav v skladu z mednarodnimi standardi in evropskimi direktivami, ki bi določala kakovostne parametre, ki jih mora doseči voda, katero uporablja kmetijstvo za namakanje. Namen diplomskega dela je tudi oceniti količine prečiščene vode v Sloveniji, ki bi bila primerna za namakanje v kmetijstvu.

Naša delovna hipoteza, da voda iz čistilnih naprav lahko predstavlja znaten vodni vir za namakanje, je temeljila na predpostavki, da je voda iz čistilnih naprav in iz industrijskih čistilnih primerna za namakanje v kmetijstvu.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZAKAJ NAMAKATI S PREČIŠČENO VODO (RECIKLIRANO VODO)?

Uporaba prečiščene odpadne vode za namakanje v kmetijstvu se povečuje tako v razvitih državah kot tudi v državah v razvoju predvsem zaradi pomanjkanja vode in povečanega pojava suše ter onesnaženja primernih vodnih virov. Potrebo po alternativnih virih vode za namakanje povečujejo naraščanje števila prebivalstva, povečana potreba po hrani in varovanju okolja ter zagotavljanje trajnostnega razvoja (WHO ..., 2006).

2.1.1 Pomanjkanje vode in sušni stres

Sveže vode je primanjkuje v večjem delu sveta. Ocenjujejo, da bo v prihodnjih 50 letih več kot 40 % ljudi živelo na sušnih območjih, kjer bo veliko pomanjkanje vode (IWMI, 2000, cit. po Lazarova in Bahri, 2005). Urbana okolja porabijo večjo količino vode kot ruralna, kar poveča uporabo razpoložljivih vodnih virov. Tako postaja odpadna voda zanimiva predvsem za kmetijsko pridelavo, ki se nahaja v bližini takšnih večjih naselij (WHO ..., 2006).

Kmetijstvo, s porabo skoraj 70 % (ponekod do 90%), je največji porabnik sveže vode na svetu (FAO, 2002). Glede na to, da se povpraševanje po sveži vodi povečuje zaradi urbanizacije, povečanja prebivalstva ter podnebnih sprememb, so se pokazale potrebe po uporabi alternativnih virov vode za namakanje. Enega izmed takšnih virov (poznamo še desalinacijo in uporabo deževnice iz začasnih akumulacij) predstavlja tudi uporaba odpadne vode oz. prečiščene vode iz čistilnih naprav. Reciklirano vodo lahko uporabljamo za namakanje v kmetijstvu, parkih in zelenicah. Kolikor namakamo s prečiščeno vodo različne kmetijske rastline, zaradi vsebnosti različnih ionov zagotovimo povečanje pridelka od 10 do 30 % (Lazarova in Bahri, 2005) v primerjavi z vodo, pridobljeno iz drugih virov. Glavni omejitveni faktorji, ki določajo primernost vode za namakanje, so predvsem vsebnost patogenih organizmov, slanost, vsebnost trdnih delcev, toksičnost določenih ionov, elementov v sledovih in vsebnost hranil (WHO ..., 2006).

2.1.2 Prednosti in pomanjkljivosti namakanja z prečiščeno vodo iz čistilnih naprav

Pri načrtovanju in izvedbi namakanja s prečiščeno vodo je potrebno predhodno oceniti vse prednosti in pomanjkljivosti pa tudi slabosti in priložnosti (Lazarova in Bahri, 2005). Takšna analiza je predstavljena tudi v preglednici 1.

Razvoj čiščenja in uporaba prečiščene vode iz čistilnih naprav je še vedno premalo poznana. Načrtovanje mora biti skrbno, temeljito, z dobro vzpostavljeno metodologijo. Glavne komponente uspešnega načrtovanja ne predstavljata le tehnološko znanje in primeren inženirski pristop, temveč tudi zelo stroga in temeljita ekonomska analiza. Pozabiti ne smemo niti na socialne in ekološke komponente. Tako mora uspešen projekt vsebovati pravilno razmerje ekonomskih, socialnih in ekoloških prednosti, stroškov in projektnih tveganj.

Preglednica 1: Prednosti, priložnosti, pomanjkljivosti in slabosti namakanja s prečiščeno vodo (prirejeno po Lazarova in Bahri, 2005)

Glavne prednosti in priložnosti	Glavne pomanjkljivosti in slabosti
ALTERNATIVNI VIRI	OHRANJANJE IN SKRB ZA ZDRAVJE
Zmanjša povpraševanje po ostalih vodnih virih	problem kemične in biološke neustreznosti vode
Zanesljiv, varen, na sušo odporen vir	pomanjkljiva zakonodaja
Hitra in lahka uporaba v primerjavi z zagotovitvijo novih vodnih virov	vodne pravice, nezadovoljiv postopek čiščenja
Neodvisno od dobavitelja vode	ODOBRAVANJE JAVNOSTI
OHRANJANJE VODNIH VIROV	spreminjanje socio-ekonomskih vzorcev in ustaljenih načinov kmetovanja ter sprejemljivost takšne vode za prebivalstvo
Ohranjanje vodnega cikla in neoporečnosti pitne vode	zmanjšana možnost trženja takšnih izdelkov
Učinkovitejša ponovna uporaba vode in preprečevanje izgub na namakalnih sistemih	EKONOMSKA VPRAŠANJA
OHRANJANJE ZDRAVJA IN SKRB ZA ZDRAVJE	financiranje infrastrukture takšnih namakalnih sistemov
Izboljšana zdravstvena oskrba kmetov in uporabnikov	neznana višina stroškov takšnega namakanja
Primerna zakonodaja, ki upošteva uporabo vode in prečiščene vode	sezonsko pogojena poraba vode- problem shranjevanja zadostne količine takšne vode
EKONOMSKA VREDNOST	spremembe na tržišču lahko vplivajo na uporabo prečiščene vode, neenaka cena takšne vode. Zagotoviti nižjo ceno za kmetijstvo
Zmanjšanje stroškov iskanja, črpanja in vzpostavitve vodovodnih sistemov	potreba po dobro preučenem ekonomskem pristopu
Nižja komunalna nadomestila za uporabnike	AGRONOMSKA IN OKOLJEVARSTVENA VPRAŠANJA
Umik stroškov zahtevnejšega čiščenja odpadne vode, posredni ekonomski učinki kupcev in industrije	kakovost vode, še posebej vsebnost soli in broma
Zmanjšanje ali opuščanje uporabe klasičnih gnojil, dopolnilno prečiščevanje odpadle vode skozi namakanje preden se le-ta vrne v podtalnico	ob nepravilnem namakanju lahko pride do onesnaženja površja tal in podtalnice
Povečanje turistične dejavnosti na dotlej sušnih območjih, povišanje vrednosti zemljišč	TEHNIČNA VPRAŠANJA
SONARAVEN RAZVOJ	zanesljivost celotnega projekta, primerna izbira tipa čiščenja
Vir vode, ki doprinese k trajnostnem razvoju določenega območja	
Povečana pridelava hrane, izboljšanje življenjskih razmer v vodi	
VAROVANJE OKOLJA	
Zmanjšan vnos škodljivih snovi v rastline in živali	

2.2 PARAMETRI KAKOVOSTI VODE, POMEMBNI ZA ZDRAVJE LJUDI

Kakovost prečiščene vode je najpomembnejši dejavnik, ki definira, ali je voda primerna za namakanje. Pri tem je potrebno upoštevati zdravstvene, ekološke in agronomske parametre. Zanimariti ne smemo niti tehnoloških, političnih vprašanj ter javnega mnenja. Mikrobiološki parametri so najpomembnejši kazalci primernosti vodnega vira, zato mu je potrebno nameniti posebno pozornost. Glede na to, da ni realno pričakovati, da bi izvajali monitoring vseh parametrov, je bolj smiselno testiranje na specifične ciljne patogene organizme. Takšni patogeni organizmi, kot so npr. koliformne bakterije in *Escherichia coli*, so indikatorji potencialnih nevarnosti za zdravje ljudi. Ostali parametri monitoringa se zbirajo z namenom nadzora in uspešnosti čiščenja glede na tip ponovne uporabe vode in regionalnih posebnosti.

Monitoring vode na čistilnih napravah v Sloveniji se izvaja periodično (Pravilnik ..., 2007). Merijo splošne parametre, kot so npr. biološka potreba po kisiku (BPK₅), kemična potreba po kisiku (KPK), suspendirani delci, ipd. Vendar obstoječi monitoring ni definiran za potrebe namakanja. Monitoring suspendirane snovi se izvaja z namenom ugotavljanja zgoščevanja snovi v namakalnem sistemu, višje vrednosti BPK₅ in KPK predstavljajo posredno problem povečane gostote vode. Presoja različnih hranil, predvsem dušika (N) in fosforja (P), je pomembna z vidika preprečevanja eutrofikacije in zmanjšane potrebe po vnosu mineralnih gnojil in upoštevanja v gnojilni bilanci tal (WHO..., 2006). Parametre, ki so zastopani pri določanju primernosti prečiščene vode za namakanje, lahko razdelimo v več skupin, ki so opisane v nadaljevanju.

2.2.1 Parametri kakovosti vode za namakanje, ki vplivajo na zdravje ljudi

Parametri kakovosti vode za namakanje, ki vplivajo na zdravje ljudi lahko razdelimo v več skupin.

2.2.1.1 Prisotnost patogenih organizmov

Neprečiščena voda vsebuje veliko patogenih klic. To so različni črevesni zajedavci, virusi, praživali, bakterije nefekalnega izvora, ki povzročajo bolezni. Takšna voda je le v redkih primerih primerna za namakanje. Veliko patogenih organizmov lahko preživi daljše časovno obdobje tako na pridelku kot tudi v tleh in se prenese na ljudi in živali. Uničenje patogenih organizmov pospešuje primerna temperatura, tekstura tal, pH, sončna svetloba, tekmovalnost z naravno floro in favno, tip pridelka in kloriranje vode (Jimenez, 2003). Največjo nevarnost za zdravje predstavlja uživanje nekaterih surovih pridelkov, kot npr. solate, radiča, čebule, peteršilja, špinače, korenja, ipd.

V preglednici 2 so predstavljene glavne skupine patogenih organizmov, ki lahko negativno vplivajo na zdravje ljudi. Številne mednarodne raziskave nakazujejo povečan delež obolenj z notranjimi zajedavci, virusi in bakterijami, v kolikor so se pridelki namakali z neprečiščeno odpadno vodo. Kljub pravilnem čiščenju odpadne vode obstaja še vedno velika nevarnost črevesnih obolenj pri majhnih otrocih, kadar se prehranjujejo z zelenjavo, katera se uporablja surova. Z upoštevanjem naravnih ovir lahko zmanjšamo kontaminacijo pridelka z različnimi patogenimi organizmi. Celične stene listov in korenin

filtrirajo vodo tako, da mikroorganizmi ne morejo neposredno prodreti v tkivo rastline, razen če je celična stena rastline poškodovana. Sušenje in sončna svetloba uničujeta mikroorganizme, ki so ostali na površini rastlin, če je le na voljo dovolj dolgo obdobje sončnega vremena in se določeno časovno obdobje ne namaka pred pravilom pridelka (Lazarova in Bahri, 2005). Pri določitvi ustreznih kriterijev, ki bi zagotovili ustrezno stopnjo varnosti zdravja, je potrebno upoštevati dejstva, da je potrebno preprečiti namnožitev patogenov na rastlini v takšni količini, da je škodljivo zdravju človeka, ki pride v stik, se okuži in zboli.

Preglednica 2: Najpomembnejši patogeni organizmi in koncentracija, ki vpliva na zdravje ljudi (prirejeno po WHO, 2006)

Patogen	Vrsta patogena	Pričakovano število v odpadni vodi	Specifičnosti in vpliv na zdravje ljudi in živali
PROTOZOA	<i>Entamoeba histolytica</i>	$10^1 - 10^3$	Okužba že s količino 1 - 20
	<i>Giardia lamblia</i>	...	V vodi preživi od 10 do 30 dni
	<i>Cryptosporidium</i>	...	...
	<i>Cyclospora</i>	...	...
NOTRANJI ZAJEDALCI	<i>Ascaris lumbricoides</i>	$10^1 - 10^3$	Okužba že s količino 1-10 jajčec
	<i>Taenia</i>	$10^2 - 10^1$	Visoko obstojna v okolju – več mesecev
	Hoočrvi	...	Predstavlja glavno okužbo pri namakanju s takšno vodo
	Clonorchis	...	...
BAKTERIJE	Skupne koliformne b. št./100mL	$10^5 - 10^9$	Koncentracija okužbe zelo različna
	Fekalne koliformne b. št./100mL	$10^4 - 10^9$	Dolgotrajno preživetje v vodi (10-60dni)
	Streptokoki	$10^3 - 10^7$	Skupne in fekalne koliformne bakterije se uporabljajo kot indikator njihove prisotnosti
	<i>E. coli</i>	$10^4 - 10^9$	Predlagana kot specifični indikator onesnaženosti s fekalijami
	<i>Shigella</i>	$10 - 10^4$	...
	<i>Salmonella</i>	$10^2 - 10^5$	...
VIRUSI	Enterovirus	$10^1 - 10^6$	Ni poznanih detekcijskih metod
	Hepatitis	...	Različno dolg inkubacijski čas, dolgotrajna obstojnost v vodi (50-120 dni)
	Rotavirus	$10^2 - 10^5$	Glavni način prenosa je iz človeka na človeka. Okužba že s količino 1-10.

2.2.1.2 Vsebnost organskih in neorganskih spojin

Komunalne vode, ki ne vsebujejo industrijskih odpadkov, vsebujejo organske in anorganske dodatke, kateri ne predstavljajo večje nevarnosti za zdravje ljudi in živali. Večina, 90 %, takšnih dodanih spojin se očisti v procesu čiščenja in so koncentrirane v komunalnem blatu, ki ostane po koncu čiščenja. Toksične spojine so zabeležili le v vodi industrijskih odpadkov (WHO..., 2006). Maksimalne dovoljene koncentracije onesnažil so bile določene na podlagi koncentracij v tleh, ki so bila namakana s takšno vodo.

2.2.1.3 Vsebnost posameznih elementov

Standarde oz. priporočila o maksimalni dovoljeni koncentraciji posameznih elementov v vodi za namakanje je podala Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) z novimi smernicami leta 2006. Glavno nevarnost za zdravje ljudi, ki se prehranjujejo s hrano, kjer je bila dodana prečiščena voda, predstavljajo težke kovine, rakotvorne organske spojine,

kozmetika in zdravila, različni strupi in ostale sestavine, za katere lahko sumimo, da povzročajo nepravilno delovanje žlez z notranjim izločanjem.

2.3 PARAMETRI KAKOVOSTI VODE, KI SO POMEMBNI V KMETIJSTVU

Predpostavka, da neprimerna kakovost vode lahko povzroča probleme v pridelovalnem procesu, vodi do ugotovitve, da je nujno potrebna primerna ocena vpliva takšne vode na razmere v tleh, oz. da se posledično zahteva uporaba drugačnih pridelovalnih metod za zagotavljanje ustreznega pridelka. Pri procesu določanja ustreznosti parametrov kakovosti vode je potrebno upoštevati tudi kombinacijo naravnih danosti in dejanskih razmer posameznega območja, česar posamezni pilotski projekti vedno ne zajemajo. Redne razmere je potrebno upoštevati predvsem zaradi specifičnosti tal, klime, prisotnosti škodljivcev, razvitosti trga, načina kmetovanja, kot tudi povezovanja in razprave med različnimi členi v proizvodnji hrane – potrošniki, kmeti in strokovno javnostjo. Pri načrtovanju je potrebno nameniti pozornost tudi območjem, kjer se nahajajo čistilne naprave in akumulacije prečiščene vode. Kakovost vode za namakanje vpliva na tla in razvoj pridelka (Ayers in Westcot, 1992). Specifične karakteristike tal, kot npr. struktura tal, poroznost, infiltracijska sposobnost tal, itd., pomembno vplivajo na izmenjavo ionov, ki so v vodi za namakanje. Najprimernejša temperatura vode za namakanje je 20 - 25 °C, ne sme biti toplejša od 35 °C in ne hladnejša od 10 °C (Ayers in Westcot, 1992).

2.3.1 Soli v tleh

Soli v vodi za namakanje in v tleh vplivajo na zmanjšano količino vode, ki je dostopna rastlinam – spremeni se osmotski tlak v območju korenin, kar posledično vodi v zmanjšanje pridelka. Poleg tega vplivajo na toksičnost nekaterih drugih ionov npr. broma in klora (Br, Cl), oz. na sprejem ostalih hranil, kot so npr. fosfor in dušik. Soli so dobro topne in lahko potujejo skozi talni profil, kar lahko negativno vplivajo na podtalnico (WHO ..., 2006; FAO, 2000). Povečana slanost tal je posledica povišanih koncentracij soli v vodi za namakanje, letno dodane količine vode, letne sedimentacije, evapotranspiracije in fizikalno - kemičnih lastnosti tal. Zasoljenost tal lahko merimo kot količino raztopljenih delcev SDS (mg/l) ali kot elektroprevodnost EC_w (dS/m). Maksimalne dopustne koncentracije soli v vodi in tleh znašajo za SDS < 2000 mg/l in EC_w < 3 dS/m (FAO, 2002).

2.3.2 Toksičnost elementov

Nekateri ioni lahko škodijo normalnemu razvoju rastlin, lahko se akumulirajo v rastlini in povzročijo poškodbe na pridelkih, lahko pa zmanjšajo letni pridelek. Najpogostejši ioni, ki povzročajo toksičnost so bor (B), klor (Cl) in natrij (Na). Natrij in klor se absorbirata preko korenin, vnos lahko poteka tudi preko listov z razpršilci ob relativno nizki zračni vlagi (< 30 %). Bor je toksičen že v nizkih koncentracijah (2 mg/l), v komunalnih odplakah ga je lahko do 5 mg/l. Določeni elementi so v nižjih koncentracijah esencialni za nemoteno rast in razvoj rastlin, medtem ko v višjih koncentracijah predstavljajo veliko toksičnost. Takšni ioni so Fe, Cu, Mo, Ni, Se, Fl, Mg, Mn, U, Zn. As, Cr^{6+} , Fl, Cd, Cu, Ni, Zn in Se, ki povzročajo veliko fitotoksičnost že v zelo nizkih koncentracijah, še

posebej ker prehajajo po prehranski verigi do živali in posredno do ljudi in vplivajo na zdravje ljudi (Lazarova in Bahri, 2005). Priporočene maksimalne vrednosti posameznih ionov v vodi za namakanje so podane v Prilogi A. Vrednosti so podane glede na stalnost in dolgotrajnost namakanja ter vpliv posameznega iona na rastlino.

2.3.3 Zmanjšana infiltracijska sposobnost tal

Povečana koncentracija natrija, ki ruši strukturo tal, v primerjavi s kalcijem, ki povezuje talne delce, zmanjšuje infiltracijsko sposobnost tal za vodo. Posledično se pojavi primanjkljaj vode za rastline (Pintar, 2006). Površinski odtok se poveča, prav tako nevarnost erozije in odnašanja rastlinskih hranil ter organskih komponent tal. Spreminja se tudi delež mikro in makro por v strukturi tal. Kot osnovno pravilo pri namakanju s prečiščeno odpadno vodo je potrebno upoštevati, da bo dodana voda z natrijem vplivala na razmere v tleh in na razmerje do drugih elementov, kot so Ca, K in Mg (Lazarova in Bahri, 2005). V ta namen se uporablja indeks izmenljivega natrija (SAR – sodium adsorption ratio), ki prikazuje razmerje med ioni natrija, kalcija in magnezija. Izračun prikazuje enačba 1. Vrednosti SAR uporabljamo v kombinaciji z elektroprevodnostjo (EC_w), da ugotovimo možne negativne vplive natrija na strukturo tal. Elektrostatični privlak veže katione v talni raztopini na negativno nabito površino koloida. Zaradi kationske selektivnosti so nekateri ioni, kot npr. Na^+ , močnejše vezani na koloidne delce tal in je zanje manj verjetno, da bodo prehajali v talno raztopino. Tla, ki vsebujejo višjo vrednost indeksa SAR, vsebujejo večje število ionov natrija, medtem ko je razmerje med ioni kalcija in magnezija uravnoteženo in ne vpliva na infiltracijsko sposobnost tal (FAO, 2002). Za prehod kalcijevega in magnezijevega iona v talno raztopino potrebujemo enako količino H^+ ionov, ki se nahajajo v vodi. Tla, ki vsebujejo veliko natrija ne zadržujejo vode, ker se voda ne veže na talne delce, površina takšnih tal pa je pogosto zaskorjena. Posledično z ukrepom namakanja z nekakovostno vodo še poslabšujemo strukturo tal.

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}{2}}} \quad \dots(1)$$

2.3.4 Reakcija vode

Reakcija vode je indikator kislosti oziroma bazičnosti vode. Normalno območje reakcije vode za namakanje je od 6,5 do 8,4 pH. Če namakamo z vodo, katere vrednosti pH so izven območja, lahko povzročimo porušenje bilance hranil v tleh in rastlini. Lahko se pojavi tudi korozija na namakalni opremi.

2.3.5 Bikarbonat (HCO_3^-) in karbonat (CO_3^{2-})

Znatno zvišanje koncentracije bikarbonatnega iona (>180-240 mg/l) lahko povzroči zvišanje pH tal in v kombinaciji s karbonatom vpliva na permeabilnost tal. Bikarbonatni ion se lahko poveže z kalcijevim ali magnezijevim ionom in poveča SAR vrednost v tleh. Voda, ki vsebuje večje koncentracije bikarbonatnega in karbonatnega iona, pušča bele lise na rastlinah, v kolikor so namakane z razpršilci. Mašijo tudi namakalno opremo, še posebno šobe in kapljače (Lazarova in Bahri, 2005). Da preprečimo foliarni depozit, je

priporočena koncentracija bikarbonatnega iona (HCO_3^-) v primeru namakanja z razpršilci omejena na 90 mg/l (Pescod, 1992).

2.3.6 Hranila

Najpomembnejša hranila za rastline so dušik (N), fosfor (P) in kalij (K). V komunalni vodi se nahajata obe obliki dušika: nitratna in amonijska. Povprečna koncentracija amonijske in nitratne oblike dušika v prečiščeni odpadni vodi znaša 30 mg N- NO_3 . Dušik je najpomembnejše makrohranilo, v kolikor je dodan v normalnih koncentracijah. V prevelikih odmerkih povzroča bujno rast, manj kakovosten pridelek in zavira zrelost. Prevelika koncentracija dušika zmanjšuje mobilnost bakra (Cu) in cinka (Zn). V obliki nitrata se spira v podtalnico ter maši namakalno opremo. Če vsebnost nitratov v vodi, namenjeni namakanju, presega mejno koncentracijo 10 mg/l, je to potrebno upoštevati v gnojilni bilanci (Uredba ..., 2005). Kalij v prečiščeni odpadni vodi ima majhen vpliv na rastline. Koncentracija fosforja v takšni vodi je prenizka, da bi zadovoljevala vse potrebe rastlin po hranilih. Vendar se v daljšem časovnem obdobju namakanja s takšno vodo poveča delež fosforja v tleh in predstavlja antagonista pri sprejemu ionov magnezija (Mg) v rastline (Pescod, 1992).

Pri namakanju z razpršilci lahko povečana vsebnost klora (0,5-1mg/l) povzroči poškodbe na rastlinah. Klor je zelo reaktiven plin, ki je dobro topen v vodi. Uporablja se za dezinfekcijo vode v primeru dolgotrajnega skladiščenja prečiščene odpadne vode, namenjene namakanju. Pri odločanju o možnosti namakanja s prečiščeno odpadno vodo je potrebno upoštevati različne dejavnike, ki so navedeni v Prilogi B. Odločilen vpliv imata zaloga prečiščene vode in njena kakovost.

2.4 ZBIRANJE PODATKOV O KAKOVOSTI VODE IN MONITORING

Pri zbiranju podatkov o kakovosti vode in monitoringu primernosti vode za namakanje je potrebno upoštevati osnovna pravila monitoringa, ki morajo zagotavljati transparentnost in ponovljivost. Standardi, ki določajo namakanje s prečiščeno odpadno vodo, se razlikujejo med seboj glede na tip namakanja, regionalne posebnosti in upoštevanje zdravstvenega rizika. Varna zakonodaja, ki ima zagotovljene ustrezne mehanizme varovanja in izvajanja dobre prakse, je zelo pomembna tako za kmete in upravljalce namakalnih sistemov, kot tudi za potrošnike.

Prva priporočila, kakšna naj bo prečiščena odpadna voda za namakanje, je sprejela WHO leta 1973, jih nadgradila leta 1989 in zaostrila leta 2006. Nove smernice so strožje pri parametrih, ki odločilno vplivajo na zdravje ljudi, predvsem fekalne koliformne bakterije. Določajo oblike zaščite kmetov na poljih, načine čiščenja odpadne vode, prepovedi namakanja določenih pridelkov, predvsem zelenjave, določajo kontrolo apliciranja. Pomembno je tudi vrednotenje večbariarnega sistema preprečevanja okužbe s patogeni in vključevanja v vodni krog. Nekatere države so same vzpostavile svoja priporočila in pravilnike, ki določa minimalno kakovost vode, primerne za namakanje. Pri tem ima najstrožje omejitve USEPA, ki natančno določa varovalne pasove, ki ločuje polja, namakana s prečiščeno odpadno vodo in naselja. Večina držav v Evropi uporablja priporočila, ki jih je podala WHO. Evropska vodna direktiva je postavila temelje uporabe

različnih vodnih virov. Njena morebitna vzpostavitev za uporabo prečiščene odpadne vode, bi imelo številne prednosti (Lazarova in Bahri, 2005). Med drugim bi spodbudilo javnost k razumevanju in vzpostavitvi projektov recikliranja vode in njegove ponovne uporabe za namakanje. Po vzpostavitvi namakanja s prečiščeno odpadno vodo, je smiselno izvajati monitoring učinkov in posledic namakanja na pridelkih, tleh in podtalnici ter na podlagi ugotovitev prilagoditi oz. spremeniti način apliciranja (Lazarova in Bahri, 2005).

2.5 ČISTILNE NAPRAVE

Čistilna naprava (ČN) je naprava za obdelavo odpadne vode, ki zmanjšuje ali odpravlja njeno onesnaženost. Komunalna čistilna naprava je naprava za komunalno odpadno vodo ali mešanico komunalne in padavinske odpadne vode. Skupna čistilna naprava pa je čistilna naprava za mešanico komunalne ali padavinske odpadne vode ali obeh z industrijsko odpadno vodo, pri kateri delež obremenitve čistilne naprave, ki jo povzroča industrijska odpadna voda ene ali več naprav, presega 50 %, merjeno s kemijsko potrebo po kisiku (Uredba o emisiji ..., 2007). Industrijska naprava je tehnološka enota, v kateri poteka proces ali več procesov, ki pri odvajanju industrijske odpadne vode povzročajo onesnaževanje voda. Posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju industrijskih odpadnih vod določajo emisijske uredbe.

2.6 DOMAČI PREDPISI

2.6.1 Zakon o varstvu okolja

Zakon ureja varstvo okolja pred obremenitvami kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja (Zakon ..., 2006). Iz zakona izhajajo številni podzakonski predpisi, ki urejajo odvajanje odpadnih vod.

2.6.2 Zakon o vodah

Zakon ureja upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter vodnimi telesi in priobalnimi zemljišči. Samo upravljanje z vodami obsega varstvo in urejanje voda, vodne objekte ter naprave. V zakonu so podane zahteve za podelitev vodne pravice, vodno dovoljenje, opisan je postopek pridobitve vodnega soglasja ter postopek pridobitve koncesije koriščenja vode za namakanje kmetijskih zemljišč (Zakon ..., 2002).

2.6.3 Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje

To je glavni predpis, ki določa vrste parametrov, ki so predmet prvih meritev in obratovalnega monitoringa odpadnih vod, metodologijo vzorčenja in merjenja parametrov in količine odpadnih vod, vsebino poročila o prvih meritvah in emisijskem monitoringu, način in obliko sporočanja podatkov Agenciji RS za okolje (ARSO) ter pogoje, ki jih mora izpolnjevati oseba, ki izvaja prve meritve in emisijski monitoring (Pravilnik ..., 2007).

2.6.4 Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav

Uredba predstavlja osnovni podzakonski predpis, ki ureja odvajanje odpadnih voda v vodno okolje. Določa splošne mejne vrednosti emisij toplote in snovi v vode in javno kanalizacijo, način vrednotenja teh emisij, prepovedi, omejitve in druge ukrepe zmanjševanja emisij ter vsebino okoljevarstvenega dovoljenja. Predpis je splošen in ureja emisije iz čistilnih naprav in vseh ostalih naprav (Uredba o ..., 2007).

2.6.5 Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo

Uredba določa mejne vrednosti parametrov odpadne vode, mejne vrednosti učinka čiščenja odpadne vode ter posebne ukrepe v zvezi z načrtovanjem in obratovanjem. V uredbi so definirana tudi občutljiva območja (Uredba o emisiji ..., 2005).

2.6.6 Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla

Uredba določa za vse vrste tal na območju Republike Slovenije mejne vrednosti letnega vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla, stopnje zmanjševanja vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla ter druge ukrepe v zvezi z vnosom snovi v tla pri namakanju z namenom zmanjšanja oziroma preprečevanja onesnaženja voda, ki ga povzročajo nitrati iz kmetijskih virov (Uredba o mejnih vrednostih ..., 2005). Določa tudi mejne vrednosti parametrov vode za namakanje rastlin (Priloga B).

2.6.7 Uredba o stanju površinskih voda

Uredba določa merila za ugotavljanje stanja površinskih voda, okoljske standarde kakovosti za ugotavljanje kemijskega stanja ter ekološkega stanja površinskih voda. Določa tudi vrste monitoringa stanja površinskih voda (Uredba ..., 2009).

2.7 OBLIKE ČIŠČENJA IN DEZINFEKCIJE ODPADNE VODE

Poznanih je več stopenj čiščenja odpadne vode. Najenostavnejše in najmanj učinkovito je mehansko čiščenje, kjer gre za fizično ločevanje večjih delcev in mulja. Glede na potrebe oz. upoštevanje zakonodaje, država in upravljavec določita stopnjo fizikalne, kemične in biološke očiščenosti komunalne vode. Poleg tega se lahko na čistilni napravi izvaja

dezinfekcija. Kloriranje je najpogostejše uporabljena oblika dezinfekcije. Učinkovitost kloriranja prečiščene vode je odvisna od temperature vode, pH, vsebnosti klora, vsebnosti različnih snovi in stopnje raztapljanja. S tem postopkom uspemo zmanjšati delovanje skupnih in fekalnih koliformnih bakterij in vrste virusov.

Namesto kloriranja lahko uporabimo ultravijolično sevanje (UV), ki je še učinkovitejše, predvsem pri eliminaciji virusov in različnih bakterij. Metoda je preprosta, brez neželenih stranskih produktov in cenovno zelo ugodna. V aridnih in semi-aridnih predelih sveta zadnjih letih uporabljajo razkuževanje s pomočjo oksidacije oz. dodajanjem ozona (Lazarova in Savoye, 2004; Lazarova in Bahri, 2005).

2.7.1 Zahteve za skladiščenje prečiščene vode, ki je namenjena namakanju

Glede na potrebe po vodi za namakanje, razpoložljivost zalogovnikov takšne vode in zahteve za skladiščenje prečiščene vode jih lahko razdelimo v dve skupini: kratkotrajno skladiščenje (lahko zaprte ali odprte oblike) ter dolgotrajno skladiščenje (predvsem velike odprte akumulacije) (Lazarova in Bahri, 2005). Kakovost prečiščene odpadne vode se ob daljšem skladiščenju spreminja, zato je potrebno skrbno predvideti, koliko časa in na kakšen način se bo voda skladiščila.

2.8 NAČINI NAMAKANJA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČ

Uspeh namakanja s prečiščeno odpadno vodo je odvisen predvsem od izbire prave strategije, ki optimira količino pridelka, ohrani rodovitnost tal in varuje okolje. V prilogi C so podane različne možnosti. Z njihovim kombiniranjem lahko zagotovimo največjo učinkovitost namakanja z odpadno vodo. Izbor strategije postane bolj omejen, v kolikor je povečana vsebnost soli, natrija, ali delež toksičnih elementov v odpadni vodi. Poznavanje primernosti kmetijskih rastlin, njihove tolerance oz. občutljivosti na določene ione v vodi, omogoča ob najprimernejših tehnikah namakanja in pravilnega kmetovanja višji letni pridelek kot uporaba navadne vode. Primer bi lahko poiskali pri uporabi takšne vode za nekatere vrste zelenjave (Lazarova in Bahri, 2005).

Oblike namakanja razdelimo v tri glavne skupine glede na način dodajanja vode. Najstarejše tehnologije obsegajo različne oblike površinskega prelivanja ali poplavljanja namakalnih zemljišč. V večini razvitih držav se poslužujejo uporabe tlačnih namakalnih sistemov, kjer voda potuje od vodnega vira do mesta namakanja po ceveh. Pri tem načinu transporta vode uporabljamo za aplikacijo vode sisteme razpršilcev (mobilne in stabilne) in kapljičnega namakanja. Posebna tehnologija namakanja - podzemno namakanje omogoča najmanjše izgube vode, vendar je tehnologija relativno nova in predvsem draga (Lazarova in Bahri, 2005; Pintar in Knapič, 2001). Izbira pravilne oblike namakanja s prečiščeno odpadno vodo se mora prilagoditi rastlini in ji mora zagotoviti dovolj velik dotok vode. Uspešno in pravilno namakamo, če namakamo skladno z evapotranspiracijo in hkrati kontroliramo stanje vode v tleh. Poleg tega je potrebno upoštevati vrsto tehničnih faktorjev, kot so izbira primernih kmetijskih rastlin, transport vode, vsebnosti soli, onesnaženost tal, sposobnost vzdrževanja rodovitnosti tal, učinkovitost namakanja, kompleksnost namakalnega sistema, možnost okužb kmetov, onesnaževanje okolja in, nenazadnje, višina stroškov. Zelo pomembno vlogo pri izboru metode namakanja

predstavlja tudi financiranje. Način varovanja zdravja je odvisen od izbire metode, učinkovitosti namakalnega sistema. Pri namakanju z prečiščeno odpadno vodo bi bila idealna opcija izbor neposrednega namakanja cone korenin, kar dosežemo z mikro razpršilci oz. kapljači. Največjo prednost predstavlja sposobnost enakomernega namakanja glede na potrebe rastlin, največjo pomanjkljivost takšnega namakanja pa zagotavljanje kontinuitete namakanja, ker že kratkoročno pomanjkanje vode povzroči sušni stres.

2.8.1 Površinsko prelivanje in poplavljanje namakalne površine

Takšna oblika namakanja je najbolj razširjena v nerazvitem svetu, ker je cenovno najugodnejša in enostavna, hkrati pa obstaja velika nevarnost okužbe s patogeni in toksičnimi elementi tako rastlin kot tudi delavcev na polju. Nekoliko večjo zaščito zdravja predstavlja namakanje v brazde, kjer pride samo do omočenosti korenin (Lazarova in Bahri, 2005).

2.8.2 Namakanje z razpršilci

Namakanje z razpršilci predstavlja aplikacijo vode z visokimi tlaki. Takšna oblika namakanja se uporablja na območjih, kjer je povečana nevarnost erozije ali je plitek talni profil, kjer so zelo heterogena tla in kjer obstaja visok nivo podtalnice. Poglavitna slabost takšnega namakanja so visoki stroški postavitve namakalnega sistema in raznovrstnih filtrov, ki preprečujejo zamašitve opreme. Pojavijo se lahko poškodbe, ki jih takšna oblika namakanja povzroča na listih in pridelkih. V kolikor želimo namakati z razpršilci, moramo predvideti potencialen vpliv vetra, ki lahko razprši takšno vodo na urbana naselja oz. na ljudi. Smiselno je razmisliti o postavitvi naravnih pregrad (npr. dreves), ki bi zmanjšala nevarnost okužbe ljudi in živali (FAO, 2000; Suez Environment, 2006).

2.8.3 Mikro razpršilci

Mikro razpršilci zagotavljajo zelo enakomerno namakanje rastlin. Namakanje poteka le na manjšem delu namakalnega zemljišča (Pintar, 2006). Uporabljajo se nižji tlaki, vendar so občutno večje izgube zaradi evapotranspiracije. Je zelo primerna oblika za namakanje dreves, še posebno s prečiščeno odpadno vodo, ker ni večje nevarnosti ogrožanja zdravja ljudi in živali.

2.8.4 Kapljično namakanje

Namakalna metoda omogoča najintenzivnejšo rastlinsko pridelavo ob upoštevanju visoke stopnje varovanja pred onesnaženjem pridelkov in varovanja zdravja, ker ne pride do močenja listne površine. Namakanje poteka le na območju rasti rastlin, medtem ko medvrstni prostori ostanejo suhi. Uporablja se za vse talne tipe, celotni stroški postavitve in vzdrževanja pa so nižji kot pri namakanju z razpršilci. Je najprimernejša oblika namakanja zelenjave, sadnega drevja in vinske trte. Primerno je predvsem za območja, kjer je večja verjetnost suše, dražjih delovnih moči in velike vsebnosti soli v vodi (Lazarova in Bahri, 2005; WHO, 2006).

2.8.5 Podtalno namakanje

Podtalno namakanje pozna dve obliki: podtalno namakanje s prosto gladino, kjer talni profil vlažimo od spodaj in v večji globini potrebujemo nepropustni sloj, ter kapljično podzemno namakanje, kjer vlažnost tal zagotavljajo perforirane cevi, ki so položene v cono korenin (Pintar in Knapič, 2001). Najpomembnejša prednost te metode je najvišja stopnja varnosti, ker ni neposrednega stika kmetov in rastlin s prečiščeno odpadno vodo.

2.9 OSTALI DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA MOŽNOST NAMAKANJA S PREČIŠČENO VODO

Najpomembnejši parameter, ki ga je potrebno upoštevati pri izbiri primernih kmetijskih rastlin, je vsebnost soli v vodi, namenjeni namakanju. Generalno, vrednost $SDS > 4$ g/l oz. $EC_w > 6$ dS/m lahko povzroči nepravilnosti v tehnologiji namakanja. Kopičenje soli v tleh je odvisno od količine soli v vodi za namakanje. Ta delež še povečuje evapotranspiracija in transpiracija. Rastline se različno odzivajo na vsebnost soli zaradi različne sposobnosti uravnavanja osmotskega tlaka. Rastlina sprejema soli v območju korenin, zato je potrebno meritve vsebnosti soli izvajati v območju glavnine korenin (Westcot, 1997). V Prilogi D so prikazane relativne tolerance nekaterih kmetijskih rastlin na vsebnost soli v tleh. Rastline lahko delimo na tolerantne, srednje tolerantne in srednje občutljive.

2.9.1 Poroznost in drenaža, vpliv na podtalnico

Uravnavanje količine vode v območju korenin omogoča normalen razvoj rastlin. V kolikor se akumulirane soli ne izperejo iz cone korenin in odvedejo po drenažnem sistemu, lahko povzročijo slabšo rast in odmiranje rastlin (Lazarova in Bahri, 2005). Drenaža zagotavlja gibanje vode in soli navzdol skozi talni profil, odvajanje vode izven namakalnega območja in osuševanje tal v primeru prekomerne navlaženosti. Poroznost preprečuje povišano koncentracijo soli v območju korenin, vendar lahko zaradi izpiranja vode, ki vsebuje nitrat in soli, pride do izpiranja teh snovi v podtalnico. Pri načrtovanju namakalnega sistema je potrebno upoštevati višino podtalnice in izvajati monitoring potencialnega povišanja vsebnosti nitratov in soli. Prav tako ne smemo pozabiti značilnosti posameznih teksturnih razredov in celotnega profila tal (FAO, 2002; Davis in Hirji, 2003; Pintar, 2006).

2.9.2 Vnos hranil

Glede na številne raziskave (Ayers in Westcot, 1992) lahko povzamemo, da pri namakanju s prečiščeno komunalno odpadno vodo v višini 100 mm vode zagotovimo 16-62 kg skupnega dušika, 4-24 kg fosforja, 2-69 kg kalija, 8-208 kg kalcija, 9-110 kg magnezija in 27-182 kg natrija na hektar. Vsebnosti posameznih hranil v prečiščeni vodi so variabilne, zato ne zadostuje le kemijska analiza vode za namakanje, ampak je potrebno upoštevati tudi strukturo tal ter vsebnosti organskih in mineralnih komponent.

2.10 VPLIVI UPORABE PREČIŠČENE VODE

2.10.1 Ekonomski vplivi

V postopku sprejemanja odločitve o sprejemljivosti in upravičenosti izvedbe namakanja s prečiščeno odpadno vodo je potrebno poiskati ustrezne ekonomske koristi, ki bodo upravičile visoke začetne stroške in stroške vzdrževanja ter povprečne letne stroške, ki bodo nastali v času obratovanja namakanja s takšnim vodnim virom (Lazarova in Bahri, 2005; WHO..., 2006). To je najlažje izvesti s temeljito analizo stroškov in učinkov. Upoštevati je potrebno ceno vode, ki izhaja iz vodne pravice, ter določitev oz. oprostitvijo cene prečiščene vode za odjemalce. Zavedati se moramo, da bo kmet plačal za prečiščeno vodo le v primeru, da bo ta predstavljala najcenejšo možno obliko vode, hkrati pa zagotavljala ustrezna hranila (WHO ..., 2006).

2.10.2 Vpliv javnosti

Sociološka sposobnost spreminjanja določenih vzorcev mišljenja o možnosti uporabe prečiščene vode za namakanje je pogojena z postopnim obveščanjem in izobraževanjem, ki spremeni določena kulturna, religiozna in socialna prepričanja (Cross, 1985, cit. po WHO ..., 2006).

2.11 STROKOVNA IZHODIŠČA ZA PRIPRAVO USTREZNIH PREDPISOV

V večini držav je sprejem in vzpostavitev primerne zakonodaje najpomembnejši korak za razvoj in splošno sprejemanje uporabe reciklirane vode. Politiki in strokovnjaki potrebujejo jasne, zanesljive standarde, da bi odobrili projekte uporabe vode iz čistilnih naprav. Še več, zakonodaja ima poglobljen vpliv na izbor primerne tehnologije čiščenja, in posledično na znesek celotnega projekta. Dopolnilni predpisi, ki omogočajo uporabo takšne vode, morajo stremeti k povišani ceni vodnih pravic in povišanju kazni za prekomerno uporabo podtalnice za namakanje. Še vedno pa je v več državah, tudi v Sloveniji, primerne površinske vode in podtalnice dovolj, kar vodi v nekonkurenčnost ostalih vodnih virov za namakanje. Za uspešnost projektov namakanja s prečiščeno vodo iz čistilnih naprav je bistvenega pomena pri pripravi ustreznih predpisov skupno sodelovanje zakonodajnega telesa, javnosti, kmetov in vodnih skupnosti v celotnem procesu organiziranja in vodenja.

Priprava in vzpostavitev ustrezne zakonodaje potrebuje ustrezno zaporedje. Najprej je potrebno:

- oceniti potrebe in želje zainteresiranih skupin,
- z zakonodajo določiti lastništvo prečiščene vode in inštrumente nadzora,
- z dogovarjanji vseh vpletenih strani določiti izhodišča in norme primerne oblike čiščenja takšne vode,
- določiti pogodbe s kmeti in čistilnimi napravami,
- z zakonskimi in podzakonskimi akti omogočiti izgradnjo ustrezne infrastrukture,
- z izobraževanjem javnosti, kmetov in zakonodajne oblasti omogočiti splošno percepcijo uporabe takšne vode kot alternativnega vira namakanja (Lazarova in Bahri, 2005; Aleksander, 2007).

3 MATERIAL IN METODE

Pri diplomskem delu smo obravnavali razpoložljivo slovensko in mednarodno strokovno literaturo, javno dostopne podatke monitoringa čistilnih naprav in letno poročilo ene centralne čistilne naprave.

3.1 PODATKI

Upravljalci čistilnih naprav in upravljalci industrijskih čistilnih naprav so vsako leto dolžni izvajati monitoring in rezultate poročati ARSO. Izjema so komunalne čistilne naprave z zmogljivostjo čiščenja manjšo od 2.000 populacijskih enot (PE), ki izvajajo drugačen monitoring. Za komunalno čistilno napravo, katere zmogljivost je enaka ali manjša od 50 PE se lahko namesto obratovalnega monitoringa izdela ocena obratovanja naprave, iz katere mora biti razvidno, da učinek čiščenja čistilne naprave zagotavlja doseganje mejne vrednosti biološke potrebe po kisiku (BPK₅) (30 mg O₂/l) in kemične potrebe po kisiku (KPK) (150 mg O₂/l). Zaradi obsežnosti podatkov, bi bila priloga tega diplomskega dela prevelika, tako da tu podajamo le spletni naslov, kjer so podatki prosto dostopni:

Podatki monitoringa komunalnih čistilnih naprav:

http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/pages.php?op=print&id=CISNPR_POD

Podatki monitoringa industrijskih čistilnih naprav:

http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/pages.php?op=print&id=INDNPR_POD

Na prošnjo smo pridobili tudi podatke poročila o obratovanju centralne ČN Domžale–Kamnik, kjer so podani rezultati izvajanja monitoringa (Priloga E).

3.2 ANALIZA PODATKOV

Metodologija analize podatkov različnih predpisov je zajemala v nadaljevanju opisano zaporedje. Najprej smo pregledali slovenske predpise, v kolikšni meri določajo mejne vrednosti posameznih parametrov vode namenjene namakanju. Upoštevati je potrebno tudi mejne vrednosti posameznih snovi in elementov, ki so določene z uredbami o emisijah v vode (Uredba o emisiji snovi ..., 2005 in Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode..., 2007). Pregledali smo tudi predpise FAO ter WHO. Primerjali smo mejne vrednosti parametrov vode za namakanje in mejne vrednosti posameznih elementov z vrednosti, ki so podane v mednarodnih standardih. Pregledali smo tudi razpoložljive strokovno literaturo, ki analizira uporabo prečiščeno vodo in njegovo uporabo. Zanimalo nas je tudi, ali obstaja predpis, ki določa pogoje za hrambo prečiščene vode. Podatke čistilnih naprav smo analizirali glede na stopnjo čiščenja in ustrezno zmanjšanje KPK ter delež čiščenja fosforja in dušika. Dušik in fosfor predstavljata makrohranili, vendar je v skladu s predpisi potrebno upoštevati tudi uspešnost čiščenja.

Podatke industrijskih čistilnih naprav smo analizirali glede na stopnjo čiščenja in ustrezno zmanjšanje KPK, BPK₅ in TOC (Uredba o mejnih vrednostih ..., 2005).

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 REZULTATI ANALIZ JAVNO DOSTOPNIH PODATKOV KOMUNALNIH IN INDUSTRIJSKIH ČISTILNIH NAPRAV

Od leta 1998 se podatki o obratovalnem monitoringu komunalnih ali skupnih čistilnih naprav vodijo v elektronski obliki (= bazi podatkov) in so javno dostopni na spletni strani ARSO, medtem ko se podatki o obratovalnem monitoringu industrijskih čistilnih naprav dostopni od leta 2000. Zadnji javno dostopni podatki za čistilne naprave datirajo v leto 2007, medtem ko so podatki za industrijske čistilne naprave dostopni le do leta 2006.

Rezultati analiz monitoringa posameznih parametrov po splošni uredbi (Uredba o emisiji snovi ..., 2005) na splošnih ČN niso javno dostopni in jih lahko pridobimo le na zahtevo.

Izvajanje meritev kakovosti prečiščene vode in monitoring se izvaja na 223 čistilnih napravah ter 558 industrijskih napravah. Lokacije in zmogljivosti ČN in industrijskih ČN so prikazane v Prilogi F. Podatki vsebujejo naslednje parametre: velikost, lokacija iztoka (koordinata in občina izpusta), tip izpusta čiščene odpadne vode, tip čiščenja odpadne vode, količina čiščene odpadne vode in učinek čiščenja posamezne snovi. Podatki za industrijske ČN vsebujejo velikost, lokacija iztoka (koordinata in občina izpusta), tip izpusta čiščene odpadne vode, tip čiščenja odpadne vode in letno količino izpuščene snovi. Predpisi določajo le standardne parametre, pomembne za namakanje. To so temperatura, pH, vsebnost suspendiranih in raztopljenih snovi, elektroprevodnost in mejne vrednosti nitratov, natrija in kloridov. Določena je tudi mejna vrednost skupnih koliformnih bakterij. Mejne vrednosti posameznih elementov in nevarnih snovi so določene v skladu z dobrim kemijskim stanjem površinskih voda.

Monitoring KPK se izvaja na vseh 223 čistilnih napravah, od katerih jih 156 doseže predpisano stopnjo čiščenja KPK v skladu z uredbo (Uredba o ..., 2005), 67 pa ne. Monitoringa čiščenja dušika in fosforja ne izvajajo vse čistilne naprave. Predpisan učinek čiščenja fosforja je bil dosežen v 12 čistilnih napravah, 138 jih te meritve ne izvaja. Predpisano stopnjo čiščenja dušika ugotovimo v 25 primerih, medtem ko teh meritev ne izvajajo v 132 čistilnih napravah. Podatki o mikrobiološki ustreznosti in BPK₅ niso podani.

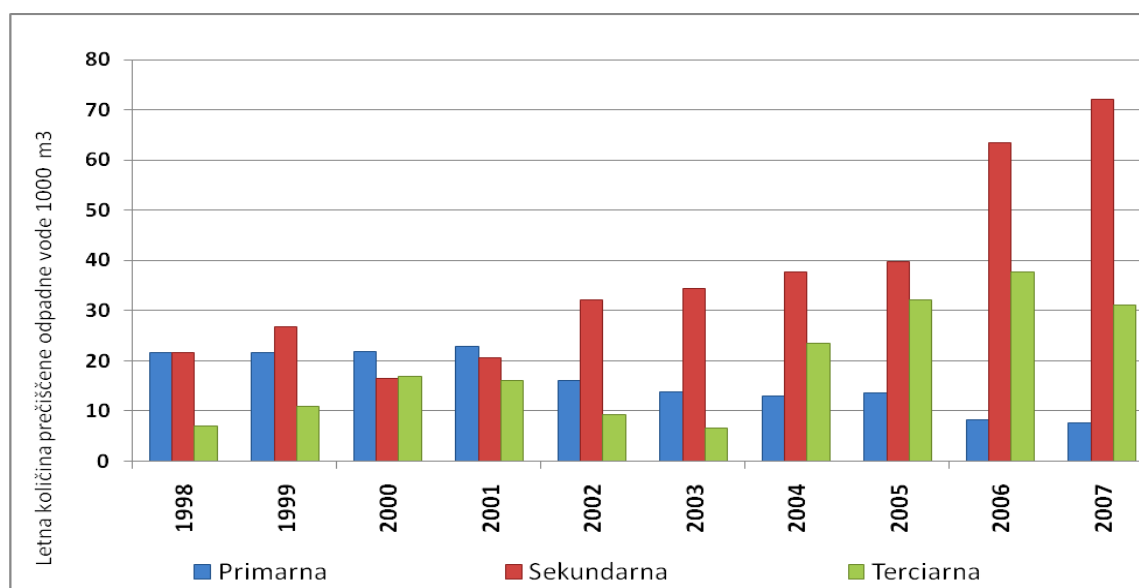
Čistilne naprave dajejo podatek o čiščenja KPK, delež čiščenja fosforja in delež čiščenja dušika. Uredba (Uredba o emisiji ..., 2005) predpisuje kakovost prečiščene vode pri izpustu v vodotoke. Določeno je 80 % zmanjšanje potrebe KPK pri izvajanju sekundarnega čiščenja oz. 90 % zmanjšanje potrebe KPK pri terciarnem čiščenju, 80 % uspešnost čiščenja fosforja in 70 % uspešnost čiščenja dušika.

Pri upoštevanju uredbe (Uredba o emisiji ..., 2005) smo ugotovili, da le voda iz 11 čistilnih naprav v Sloveniji dosega ustrezne vrednosti. Te čistilne naprave so prikazane v preglednici 3.

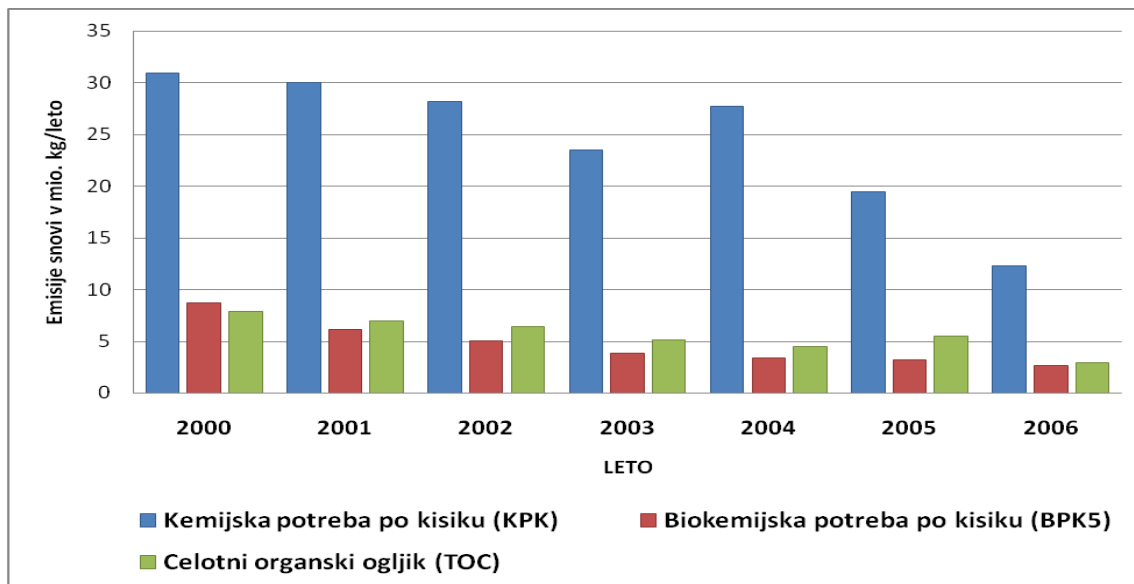
Preglednica 3: Čistilne naprave v Sloveniji, ki so v letu 2007 dosegle ustrezno predpisano stopnjo čiščenja KPK, fosforja in dušika (Podatki o izvajanju monitoringa ..., 2007)

Ime KČN	Letna količina čiščene odplake (1000 m ³ /leto)	Stopnja čiščenja	Učinek čiščenja KPK (%)	Učinek čiščenja fosforja (%)	Učinek čiščenja dušika (%)
Domžale - Kamnik	380,00	terciarna	99,02	88,49	87,59
Maribor	296,30	terciarna	98,41	87,77	91,19
Grosuplje	82,30	sekundarna	95,95	93,17	87,65
Rogaška Slatina	171,00	terciarna	95,84	88,21	89,91
Rače	631,70	terciarna	94,73	92,49	91,00
Logatec	1502,39	sekundarna	93,10	82,45	71,64
Selnica	139,99	terciarna	92,42	96,97	97,34
Rogla	910,00	terciarna	92,20	83,80	87,87
Horjul	566,17	terciarna	91,43	93,31	83,07
Senožeče	287,80	sekundarna	90,88	84,96	77,31
Gornji grad	933,30	sekundarna	87,14	84,20	80,72

Količina čiščene komunalne odpadne vode se v Sloveniji vsako leto povečuje (slika 1). V letu 2007 je skupna količina čiščene odpadne vode znašala 110,99 mio. m³ vode; od tega odpade na sekundarno čiščenje 65 % (73 mio. m³) in na terciarno čiščenje 28% (31,5 mio. m³).

**Slika 1:** Količina odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav po načinih čiščenja v Sloveniji (Podatki o izvajanju monitoringa ..., 2007)

Industrijske čistilne naprave izvajajo meritve KPK, BPK₅ ter nevarnih snovi, ki so značilne za njihovo dejavnost in določene v uredbi (Uredba o emisiji snovi in toplote..., 2005). Podatki ne vsebujejo podatkov o mikrobioloških lastnostih takšne vode.



Slika 2: Emisije snovi v vode neposredno iz industrijskih čistilnih naprav v obdobju 2000 – 2006 v Sloveniji (Podatki o izvajanju monitoringa na ..., 2007)

Iz javno dostopnih podatkov izvajanja monitoringa splošnih parametrov in vsebnosti nevarnih snovi ni mogoče razbrati letne količine prečiščene vode, niti dnevne koncentracije posameznih nevarnih snovi v prečiščeni vodi, ki se izpušča v okolje. Ni podatkov o pogostosti izvajanja monitoringa, niti dnevnega preseganja dovoljenih koncentracij.

Prečiščena voda, ki jo industrijske čistilne naprave izpuščajo neposredno v okolje oziroma v javno kanalizacijo, ki se ne končuje s čistilno napravo, lahko vsebuje previsoke količine snovi glede na normative, določene v uredbi (Uredba o emisiji snovi in toplote..., 2005).

4.2 REZULTATI PODATKOV CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE DOMŽALE – KAMNIK

Na prošnjo smo pridobili podatke CČN Domžale – Kamnik. Monitoring posameznih parametrov po splošni uredbi (Uredba o emisiji snovi in toplote ..., 2005) so v CČN Domžale – Kamnik izvedli v mesecu maju (Priloga E). Prikazane so vrednosti posameznih parametrov, ki jih vzorčijo. Določen je čas dotoka neprečiščene vode na čistilno napravo, mejna vrednost posameznega parametra v prečiščeni vodi, čas iztoka iz čistilne naprave in mejna vrednost posameznega parametra, pri iztoku iz čistilne naprave. Poleg vseh specifičnih meritev, ki jih izvajajo za namene čiščenja odpadnih voda, izvajajo tudi predelavo grezničnih odplak in čiščenje odpadnih voda industrijskih čistilnih naprav, ki odvajajo vode v kanal kanalizacijskega omrežja (Uredba o mejnih vnosih..., 2005).

Ugotovljena je prekomerno povečanje skupnega dušika (TN), medtem ko strupene snovi ne presežejo mejnih vrednosti. Nekatere industrijske čistilne naprave se nahajajo v okolici ČN Domžale – Kamnik in imajo izliv v kanalizacijo, ki se konča na CČN. Mejne vrednosti posameznih nevarnih snovi v tej vodi so lahko presežene, vendar se meritve za te snovi ne izvajajo tako pogosto kot na industrijskih čistilnih napravah. Na iztoku čistilne naprave se dnevno spremlja le uspešnost čiščenja fosforja, dušika ter KPK.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V diplomskem delu smo se osredotočili na ustreznost vode iz čistilnih naprav za namakanje. Delovna hipoteza je temeljila na prepričanju, da bi prečiščeno vodo iz čistilnih naprav pod določenimi pogoji lahko uporabili kot vir vode za namakanje.

5.1.1 Zakonodaja

Slovenski predpisi določajo vrednosti parametrov vode za namakanje rastlin (Uredba o mejnih ..., 2005) in mejne koncentracije težkih kovin, ki morajo zagotoviti dobro kemijsko stanje površinskih voda (Uredba o stanju ..., 2009). Na tem področju naša zakonodaja sledi mednarodnim predpisom. Ugotovili pa smo, da zakonodaja ne določa izvajanja monitoringa natrija. Natrij v previsokih koncentracijah ruši strukturo tal in vpliva na razmerje do kalcija – SAR vrednost. Spremljanju kakovosti vode za potrebe namakanja bi bilo potrebno dodati izvajanje merjenja natrija. Zakonodaja ne določa minimalnih pogojev hranjenja prečiščene vode. Zaradi neizvajanja monitoringa posameznih, za namakanje pomembnih parametrov, ne moremo potrditi primerne kakovosti vode iz ČN v času potreb po namakanju.

Glede na rezultate dela smo ugotovili, da bi bilo smiselno poenotiti predpise na področju izvajanja monitoringa prečiščene vode na čistilnih napravah in industrijskih čistilnih napravah, določiti mejne vrednosti vseh parametrov, ki so pomembni za namakanje, in zagotoviti izvajanje nadzora večkrat v času rastne dobe. Oceniti bi bilo potrebno želje zainteresiranih skupin in z ustrežno zakonodajo določiti lastništvo prečiščene vode in določiti inštrumente nadzora. Zakonodaja ne določa, ali je potrebno pridobiti vodno dovoljenje za uporabo takšne vode.

5.1.2 Podatki monitoringa

Javno dostopni podatki monitoringa zajemajo vse komunalne čistilne naprave, razen malih komunalnih čistilnih naprav z zmogljivostjo manjšo od 50 PE, ki so monitoringa oproščene. Podatki komunalnih čistilnih naprav vsebujejo le podatke o kemijski potrebi po kisiku, postopku čiščenja ter odstotek čiščenja fosforja in dušika (Podatki o izvajanju ..., 2007). Od vseh 223 komunalnih in splošnih čistilnih naprav jih le 11 zagotavlja ustrezno kakovost vode glede na pravilnik. Večina čistilnih naprav ima sekundarno čiščenje (slika 1), vendar ni podatka, kakšna je mikrobiološka ustreznost takšne vode. Glede na razpoložljivo mednarodno literaturo in priporočene mednarodne standarde lahko z veliko verjetnostjo potrdimo, da bi bila voda iz teh 11 čistilnih naprav primerna za aplikacijo v kmetijstvu. Zagotoviti pa bi bilo potrebno ustrezno mikrobiološko neoporečnost z ustreznimi izboljšavami sekundarnega oz. terciarnega načina čiščenja in namestitvami ustreznih biofilmov (Lazarova in Bahri, 2005), oz. kloriranja (Jimenez, 2003).

Različne industrijske panoge so dolžne v skladu z Uredbo (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju..., 2005) in specifičnimi uredbami značilnimi za posamezne dejavnosti izvajati monitoring kakovosti vode na izpustu. Iz razpoložljivih podatkov smo ugotovili, da se

poroča le o letni količini vnosa posamezne nevarne snovi v vodotok. Ne poznamo letne količine prečiščene vode iz industrijskih ČN niti dnevne koncentracije posamezne nevarne snovi v prečiščeni vodi. Na podlagi takšnih podatkov ni mogoče sklepati o primernosti vode iz industrijskih ČN za namakanje. Vrednost KPK ni pomembna za ugotavljanje kakovosti vode za namakanje. Vendar lahko na podlagi podatkov uspešnosti zmanjšanja KPK ocenimo, da koncentracije nevarnih snovi v vodi ne predstavljajo ovir za uporabo v kmetijstvu. Ne izvaja se ustrezna mikrobiološka analiza, niti za odpadno vodo bolnišnic, ki bi jo z Uredbo o emisiji snovi in toplote ..., (2005) morali izvajati. Iz tega lahko povzamemo, da bi bila prečiščena voda iz industrijskih čistilnih naprav manj primerna za uporabo v namene namakanja, ker kljub čiščenju vsebuje prevelike vrednosti posameznih nevarnih snovi, ki jih težko odstranimo. Kakovost takšne vode je vprašljiva tudi iz vidika varovanja zdravja ljudi ter vnosa snovi v tla, ker je nevarnost kontaminacije rastlin prevelika. V primeru industrijskih čistilnih naprav naše hipoteze ne moremo potrditi.

Rezultati monitoringa CČN Domžale – Kamnik, ki je bil izveden v mesecu maju 2007 (Priloga E), kažejo le na presežen delež dušika. Z akumulacijo takšne vode obstaja možnost eutrofikacije in nastajanja alg, ki mašijo namakalno opremo. Z neposredno uporabo prečiščene vode, se temu izognemo. Upoštevati je potrebno koncentracijo natrija in ter ostale mikrobiološke lastnosti, da bi jo lahko uporabili za namakanje. Povečano koncentracijo dušika bi upoštevali v gnojilni bilanci. Našo delovno hipotezo, da voda iz čistilnih naprav lahko predstavlja znaten vodni vir za namakanje v kmetijstvu, bi lahko potrdili za komunalne čistilne naprave. Vendar bi se moral v tem primeru monitoring izvajati pogostejše, predvsem v času rastne dobe in ne le na letni osnovi, ker se vsebnosti posameznih snovi med letom spreminjajo in enkratni odvzem vzorcev ne predstavlja zadovoljive reprezentativne kakovosti vode. Ker je v vodi lahko veliko različnih patogenih organizmov, bi namesto zamudnega monitoringa vseh skupin patogenih organizmov izvajali le testiranje na specifične ciljne patogene organizme, kot npr. koliformne bakterije in *Escherichia coli*, ki so indikator potencialne nevarnosti za zdravje (Lazarova in Bahri, 2005).

5.1.3 Količina vode

Po evidencah MKGP je trenutno v Sloveniji 10.000 ha namakalnih sistemov. Tako bi glede na količine vode za namakanje različnih kmetijskih rastlin, izračunane na podlagi Slovenskega projekta namakanja, potrebovali za obstoječa zemljišča 5 mio. – 25 mio. m³ v povprečnem letu ter 21,8 mio. – 56 mio. m³ v sušnem letu (Pintar, 2007). Ob predpostavljani biološki in kemični ustreznosti bi lahko pridobili cca. 6 mio. m³ vode za namakanje iz 11 komunalnih čistilnih naprav, katere dosegajo ustrezno stopnjo čiščenja. Za primerjavo, ta količina predstavlja 2/3 zadrževalnika Vogršček. V kolikor bi bila vsa voda, prečiščena v sekundarnih in terciarnih čistilnih napravah, ustrezna, bi lahko glede na podatke iz leta 2007 uporabili 104 mio. m³ prečiščene vode. Ta količina bi zadoščala za 20.000 ha namakalnih zemljišč v sušnih letih oz. 40.000 ha namakalnih zemljišč v povprečnih letih. Glede na ocene, da je 25 % prebivalstva Slovenije priključenih na čistilne naprave z zmogljivostjo manjšo od 50 PE (Kompore in sod., 2007), bi bilo smiselno v prihodnje razmisliti tudi o uporabi teh virov vode za namakanje.

5.1.4 Organizacija uporabe vode iz čistilnih naprav

Pri določanju možnosti uporabe vode iz čistilnih naprav za namakanje je potrebno upoštevati veliko heterogenost tal in pridelovalne specifičnosti lokalnega območja (WHO ..., 2006). Na območjih, kjer prevladujejo bazična tla, je potrebno paziti na vsebnost karbonatnega in bikarbonatnega iona, ker lahko spremeni vrednost SAR v tleh (Pintar in Knapič, 2001). Na območjih s kislim pH je potrebno upoštevati spremenjene pogoje pri sprejemu raznih hranil. Pomembna je tudi koncentracija natrija, ki mora biti uvrščen v spremljanje kakovosti voda. Količina prečiščene vode iz ČN in industrijskih ČN je upoštevana v bilanci vodotoka. V kolikor bi jo želeli uporabiti za namakanje, bi bilo potrebno pridobiti ustrezna vodna dovoljenja. Pri pridobitvi dovoljenja veljajo enaka plačila in merila, kot za odjemalce, ki koristijo vodo nizvodno vodotokov. Da bi spodbudili uporabo takšne vode, bi lahko uporabnike nagradili z nižjo ceno za odvzeti m³.

Komunalne in industrijske ČN na območju Krasa težje izpuščajo prečiščeno vodo v površinske vodotoke, ker jih je zelo malo oz. ne obstajajo. Ni razpoložljivega podatka, da katera ČN vodo skladišči, zato obstaja velika verjetnost, da te ČN kršijo predpise in onesnažujejo podtalnico. Uporaba prečiščene vode za namakanje na območju Krasa bi varovala podtalnico in omogočila namakanje kmetijskih površin v času največjih potreb, predvsem v poletnih mesecih.

Komunalne čistilne naprave se nahajajo v bližini večjih mest in krajev (Priloga E), zato je potrebno razmisliti in primerno umestiti v prostor akumulacije očiščene vode in analizirati kmetijsko rabo tal v bližnji okolici. Takšne akumulacije bi lahko imele pomen tudi za ostale panoge, kot npr. voda za gašenje v primeru gozdnih požarov. Vprašanje akumulacij bi lahko rešili tako, da bi vodo uporabljali le v času potreb za namakanje. Upoštevali bi le trenutni iztok ČN.

Nenazadnje smo ugotovili, da je potrebno pri apliciranju takšne vode ustrezno spremeniti gnojilni načrt, ker je potrebno upoštevati vrednosti dušika, fosforja in ostalih mikroelementov v gnojilnih normah. Vrednosti N in P se dnevno spremljajo na iztokih ČN, meritve vsebnosti ostalih mikrohranil se glede na uredbo izvajajo le enkrat v letu. Če ni drugih omejitev vnosa hranil, znašata mejni letni vrednosti vnosa 170 kg/ha dušika in 120 kg/ha fosforja (Uredba o mejnih vrednostih..., 2005). Da bi pokrili to gnojilno normo in upoštevali namakalno normo 1500 – 2500 m³/ha/leto, bi bila lahko povprečna koncentracija dušika v vodi 68 – 113 mg/l in povprečna koncentracija fosforja 48 – 80 mg/l. Dejanske dovoljene koncentracije so odvisne od založenosti tal s hranili, od razvojne faze rastlin, tipa tal, vremenskih razmer in kmetijske kulture.

5.2 SKLEPI

Ugotovili smo, da slovenski predpisi sledijo veljavnim mednarodnim predpisom, vendar so pomanjkljivi. Pri monitoringu prečiščene vode iz komunalnih ČN in industrijskih ČN ne preverjajo vseh parametrov, ki so pomembni za namakanje. Nadzor se ne izvaja večkrat v rastni dobi.

Javno dostopni podatki izvajanja meritev komunalnih ČN omogočajo le ugotavljanje uspešnosti čiščenja fosforja, dušika in KPK. Podatki o mikrobiološki ustreznosti takšne vode niso znani. Podatke merjenj ostalih parametrov glede na veljavne predpise je možno pridobiti le na zahtevo. Analiza pridobljenih podatkov iz ČN Domžale – Kamnik je pokazala, da bi bila prečiščena voda primerna za namakanje, v kolikor bi bila znana koncentracija natrija in zagotovljena mikrobiološka neoporečnost.

Iz javnih podatkov monitoringa industrijskih ČN je razvidna le letna količina vnosa posamezne nevarne snovi. Ker ne poznamo letne količine prečiščene vode niti dnevnih koncentracij posameznih nevarnih snovi, ne moremo z gotovostjo trditi, da je primerna za namakanje.

Količina prečiščene vode, ki bi jo lahko uporabili kot vir vode za namakanje, ni zanemarljiva, vendar ni prosto dostopna.

6 POVZETEK

Naraščajoča tekmovalnost med kmetijstvom in urbanimi naselji za zagotovitev primerne vode povečuje pritisk na vodne vire. Namen diplomskega dela je bil ugotoviti, ali je voda iz čistilnih naprav v Sloveniji primerna kot vir vode za namakanje ter oceniti količino takšne vode. Naša delovna hipoteza, da voda iz čistilnih naprav lahko predstavlja znaten vodni vir za namakanje, je temeljila na predpostavki, da je voda iz čistilnih naprav in iz industrijskih čistilnih primerna za namakanje v kmetijstvu.

Pri diplomskem delu smo obravnavali razpoložljivo slovensko in mednarodno strokovno literaturo, javno dostopne podatke monitoringa čistilnih naprav in letno poročilo Centralne čistilne naprave Domžale - Kamnik. Metodologija analize podatkov je zajemala pregled slovenskih predpisov. Pregledali smo tudi predpise sosednjih držav, ter predpise FAO ter WHO. Primerjali smo mejne vrednosti parametrov vode za namakanje in mejne vrednosti posameznih elementov z vrednostmi, ki so podane v mednarodnih standardih. Pregledali smo tudi razpoložljivo strokovno literaturo. Podatke čistilnih naprav smo analizirali glede na stopnjo čiščenja in ustrezno zmanjšanje KPK ter uspešnost čiščenja fosforja in dušika. Podatke industrijskih čistilnih naprav smo analizirali glede na stopnjo čiščenja in ustrezno zmanjšanje KPK, BPK₅ in TOC.

Ugotovili smo, da slovenski predpisi s področja čiščenja vode sledijo veljavnim mednarodnim predpisom, vendar so pomanjkljivi. Zakonodaja ne določa minimalnih pogojev za hrambo takšne vode, niti pogojev pri pridobitvi vodnega dovoljenja za njeno rabo. Pri monitoringu prečiščene vode iz komunalnih ČN in industrijskih ČN ne preverjajo vseh parametrov, ki so pomembni za namakanje, npr. natrija. Monitoring se ne izvaja večkrat v rastni dobi. Javno dostopni podatki izvajanja meritev komunalnih ČN omogočajo le ugotavljanje uspešnosti čiščenja fosforja, dušika in KPK. Podatki o mikrobiološki ustreznosti takšne vode niso znani. Tudi ne moremo ugotoviti trenutnih koncentracij nevarnih snovi v tej vodi, lahko pa ocenimo količino približno šest milijonov m³ vode iz 11 ČN ob predpostavki, da sekundarno čiščenje zadovoljivo zmanjša delež teh snovi na vrednosti, ki ne predstavljajo ovir za uporabo v kmetijstvu. Podatke monitoringa ostalih parametrov je možno pridobiti le na zahtevo. Analiza pridobljenih podatkov iz ČN Domžale – Kamnik je pokazala, da je prečiščena voda primerna za namakanje, če je dosežena ustrezna mikrobiološka neoporečnost in ustrezna koncentracija natrija. Iz javnih podatkov monitoringa industrijskih ČN je razvidna le letna količina vnosa posamezne nevarne snovi. Ker ne poznamo letne količine prečiščene vode niti dnevni koncentracij posameznih nevarnih snovi, ne moremo z gotovostjo trditi, da je primerna za namakanje.

Razpršenost ČN in industrijskih ČN bi omogočila uporabo očiščene vode širom Slovenije. Količina prečiščene vode, ki bi jo lahko uporabili kot alternativni vir vode za namakanje ni zanemarljiva. Pred uporabo takšne vode je potrebno poznati tip tal, kmetijsko kulturo, ki jih želimo namakati in vremenske razmere. Povišane vrednosti dušika in fosforja v aplicirani vodi, bi upoštevali v gnojilni bilanci. Da bi ČN ohranile z dušikom in fosforjem bogato vodo, bi jo lahko zagotovile manjšo stopnjo čiščenja in tako znižale svoje stroške. Letna norma namakanja je približno od 1500 – 2500 m³/ha. Da bi dosegli gnojilno normo 170 kg/ha dušika in 120 kg/ha fosforja, bi lahko namakali s koncentracijami 68 – 113 mg/l dušika in 48 – 80 mg/l fosforja. Upoštevati je potrebno, da

ta voda ni prosto dostopna, ampak je del vodne bilance vodotoka. V kolikor bi se odločili za namakanje s takšno vodo, bi bilo verjetno potrebno pridobiti vodno dovoljenje. Problem akumulacij bi lahko rešili tako, da bi prečiščeno vodo iz ČN uporabljali le poleti v okviru kapacitet ČN. Na področju Krasa obstaja velika nevarnost onesnaženja podtalnice, ker ni površinskih vodotokov, kamor bi ČN lahko izpuščale vodo. Z uporabo takšne vode v času vegetacije bi rastlinam zagotovili preskrbo z vodo, ČN pa ne bi kršile predpisov pri izpustih prečiščene vode v okolje.

Po dosegljivih podatkih se v Sloveniji do sedaj nobene površine ne namaka s prečiščeno vodo.

7 VIRI

- Ayers R.S., Westcot D.W. 1992. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper, 29. Rim, FAO: 98 str.
- Aleksander K.S., 2007. Social implications of management on-site wastewater treatment systems for groundwater protection. Canberra, CSIRO Land and Water.
http://www.clw.csiro.au/publications/waterforahealthycountry/2007/wfhc_SocialImplicationsWastewaterTreatment.pdf (1.2.2008)
- Asano T. 2002. Water from wastewater – the dependable water resource. Water Science Technology, 45: 8-23.
<http://cee.engr.ucdavis.edu/Faculty/asano/LaureateLectureFinalUS.pdf> (16.7.2007)
- Davis R.; Hirji R. 2003. Irrigation and Drainage: Development. World Bank.
http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2003/08/02/000094946_03071704181190/Rendered/PDF/multi0page.pdf (19.7.2008)
- Direktiva sveta evropskih skupnosti o čiščenju komunalne odpadne vode. 1991. Ul. ES L135/40, št. 91/271/EES. Brussels: 28 str.
- FAO. 2000. Users Manual for Irrigation with Treated Wastewater. Kairo, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<http://www.fao.org/world/Regional/rne/morelinks/Publications/English/Usersmanual-en.pdf> (12.7.2008)
- FAO. 2002. Crops and drops: making the best use of water for agriculture. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<http://www.fao.org/DOCREP/005/Y3918E/Y3918E00.HTM> (15.6.2008)
- Jimenez B. 2003. Health risk in aquifer recharge with recycled water. Copenhagen, World Health Organization.
https://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wsh0308chap3.pdf
- Kompare B., Atanasova N., Uršič M., Drev D., Vahtar M. 2007. Male čistilne naprave na območju razpršene poselitve. Domžale, ICRO – Inštitut za trajnostni razvoj.
http://www.fgg.uni-lj.si/izh/izh1/0_Dokumenti/Projekti/MCN/Brosura.pdf
- Lazarova V., Bahri A. 2005. Water Reuse for Irrigation; Agriculture, Landscapes, and Turf Grass. Boca Raton, CRS Press: 408 str.
- Lazarova V., Savoye Ph. 2004. Technical and sanitary aspects of wastewater disinfection by UV radiation for landscape irrigation. 2004 Water Science & Technology 50 (2). 203-209
<http://www.iwaponline.com/wst/05002/wst050020203.htm> (19.7.2008)

- Pescod M. B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Rim, FAO Irrigation and Drainage Paper 47.
<http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm> (10.7.2008)
- Pintar M. 2006. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v zahodni, osrednji in južni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 56 str.
- Pintar M. 2007. Kmetijstvo in vode. Prispevek za skupno sejo GLOBE in Sveta za varstvo okolja Republike Slovenije, Ljubljana 20.mar. 2007
<http://www.svo-rs.si/globe.nsf/docweb/B5D37A0B7B18D916C12573A2003C61E5?OpenDocument>
- Pintar M., Knapič M. 2001. Nekateri namakalni parametri in obremenitve okolja pri različnih tehnologijah namakanja. Simpozij: Trendi v razvoju kmetijske tehnike, Radenci 14-15 jun. 2001.
<http://www.dkts.si/Izvedeni%20seminarji/Simpozij%202001/NEKATERI%20NAMAKALNI%20PARAMETRI%20IN%20OBREMENITVE%20OKOLJA.pdf> (6.11.2007)
- Podatki o izvajanju monitoringa na komunalnih čistilnih napravah. ARSO - Agencija Republike Slovenije za okolje. 2007.
http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/pages.php?op=print&id=CISNPR_POD (28.1.2008)
- Podatki o izvajanju monitoringa na industrijskih čistilnih napravah. ARSO - Agencija Republike Slovenije za okolje. 2006.
http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/pages.php?op=print&id=INDNPR_POD (28.1.2008)
- Pravilnik o pitni vodi. 2006. Ur.l. RS, št. 92/-3975/06
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje. 2007. Ur.l. RS, št. 74/-3983/07
- Stražar M., Cerar P., Levstek M. 2009. Poročilo o delu Centralne čistilne naprave Domžale – Kamnik d.o.o. v letu 2008. Domžale. 82 str.
- Suez Environment. 2006. Global skills for the environment, Water: Alternative resources – Desalination, wastewater reuse.
<http://www.suez-environnement.com/en/suez-environnement/our-skills/global-skills-for-the-environment/water--alternative-resources/water--alternative-resources/> (10.4.2008)
- UNEP. 2007. Water and Wastewater Reuse.
http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Water_Sanitation/wastewater_reuse/Booklet-Wastewater_Reuse.pdf (14.7.2008)

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju vod v vode in javno kanalizacijo. 2005.
Ur.l. RS, št. 47-1902/05

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav. 2007.
Ur.l. RS, št. 45-2451/07

Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla. 2005. Ur.l. RS, št. 84-3646/05

Uredba o stanju površinskih voda. 2009. Ur. L. RS, št. 14-1757/09

Zakon o varstvu okolja. 2006. Ur.l. RS, št. 39-1682/06

Zakon o vodah. 2002. Ur. L. RS, št. 67-3237/02

Westcot D. W. 1997. Quality Control of Wastewater for Irrigated Crop Production
Rome. Water report No.10.
<http://www.fao.org/docrep/W5367E/W5367E00.htm> (18.11.2007)

WHO. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol.II:
Wastewater use in agriculture. 2006. Geneva, World Health Organization: 196 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici, prof. dr. Marini Pintar, za navdih, strokovno pomoč in spodbudo, za ves čas, ki mi ga je namenila pri razpravah ter za vse ideje in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Staršema se zahvaljujem za vso podporo in potrpljenje.

Zahvaljujem se možu za spodbudo, moralno in materialno pomoč v času študija.

Zahvala mojim sončkom, Luki, Maji in Zoji, preprosto zato, ker so moji ...

PRILOGA A

Priporočene koncentracije elementov v sledeh v vodi za namakanje (Westcot, 1997, cit. po Lazarova in Bahri, 2005)

Element	Maksimalna dopustna koncentracija mg/l ^a		Vpliv elementa na tla in rastlino
	Dolgotrajna uporaba ^b	Manj kot 20 letno namakanje ^c	
Al	5,00	20	Zmanjšuje rodovitnost kislih tal (< 5,5 pH), če je pH > 7,0 se ion absorbira in ni več toksičen.
As	0,10	2,0	Toksičen za rastline na širokem območju koncentracije od < 0,05 mg/l za riž do 12 mg/l za sudansko travo.
Be	0,10	0,5	Toksičen za rastline na širokem območju koncentracije od < 0,5 mg/l za nizek fižol do 5mg/l za kalo.
Cd	0,01	0,05	Toksičen za fižol, peso v koncentracijah nižjih od 0,1 mg/l. Koncentracije so postavljene tako nizko zaradi velike sposobnosti akumulacije v rastlini v koncentracijah, ki so škodljive za človeka.
Cr	0,05	1,00	Splošno ni priznan kot esencionalen za rast rastlin. Ostra meja je postavljena zaradi pomanjkanja znanja o njegovem delovanju.
Co	0,20	5,00	Toksičen za paradižnik v koncentracijah 0,1 mg/l v hranilni raztopini. V nevtralnih in alkalnih tleh je neaktiven.
Cu	1,00	5,00	Toksičen za mnoge rastline v območju od 0,1 mg/l do 1,00 mg/l v hranilni raztopini.
F	5,00	15,00	Neaktiven v nevtralnih in alkalnih tleh.
Fe	5,00	20,00	Ni toksičen za rastline v zračnih tleh, vendar lahko prispeva h kislosti tal in s tem k izgubi esencialnega fosforja in molibdena. Namakanje z razpršilci ima za posledico neljube depozite na rastlinah, opremi in okolici.
Li	2,50	-	V tleh mobilni, spremenljiv za mnoge rastline v koncentraciji do 5 mg/l. Toksičen za citruse.
Mn	0,20	10,00	Toksičen za mnoge rastline v koncentraciji nekaj desetink mg/l do nekaj mg/l vendar le v kislih tleh.
Mo	0,01	0,05	Ni toksičen za rastline in živali v normalnih koncentracijah. Lahko je toksičen za živino, ki se hrani s krmo, ki je rasla na tleh z visoko vsebnostjo dostopnega molibdena.
Ni	0,20	2,00 ^d	Toksičen za rastline v koncentracijah od 0,5-1,0 mg/l. Nevtralna in alkalna tla zmanjšujejo toksičnost.
Pd	5,00	10,00	V visokih koncentracijah zavira rast rastlinskih celic.
Se	0,02	0,02	Toksičen za rastline pri nizkih koncentracijah 0,25 mg/l. Toksičen tudi za živino, če je krma rastla na tleh z relativno visoko vsebnostjo dodanega selena. V zelo nizkih koncentracijah je esencialni element.
Sn	-	-	Rastline ga ne uporabljajo. Specifična toleranca ni znana.
Ti	-	-	
W	-	-	
V	0,10	1,00	Toksičen za mnoge rastline v relativno nizkih koncentracijah.
Zn	2,00	10,00	Toksičen za rastline v različnih koncentracijah. Nižja je v tleh s pH > 6,0 in drobno teksturnih ali organskih tleh.

^a Maksimalna koncentracija v skladu z dobro kmetijsko prakso in namakalno normo 10.000 m³/ha/leto.

^b Namakanje primerno za vse tipe tal.

^c Namakanje površin s fino strukturo ter nevtralnimi do rahlo alkalnimi pH (6,0 – 8,5).

^d Velja le za kislo zemljo.

PRILOGA B

Mejne vrednosti parametrov vode za namakanje rastlin (Uredba o mejnih ..., 2005)

Parameter vode za namakanje	Mejna vrednost
temperatura	35 °C
vsebnost suspendiranih snovi	100 mg/l
vsebnost raztopljenih snovi	2000 mg/l
elektroprevodnost	2000 µS/cm
nitriti ^a	10 mg/l
natrij (Na)	70 mg/l
kloridi (Cl ⁻)	100 mg/l
Mikrobiološka lastnost vode za namakanje	
Namakanje rastlin, katerih deli se uživajo surovi ali prekuhani ^b	1000 skupnih koliformnih bakterij MNP /1
Namakanje rastlin za predelavo	200.000 skupnih koliformnih bakterij MNP/1

^a Pri vrednostih, večjih od mejne vrednosti, je njihovo vsebnost potrebno upoštevati v gnojilni bilanci.

^b Razen pri namakanju s kapljači.

PRILOGA C

Dejavniki, ki jih upoštevamo pri odločanju o obliki namakanja s prečiščeno odpadno vodo (Pescod, 1992)

Prečiščena voda	Opomba
Zaloga prečiščene vode	
Zagotovljena potrebna količina vode za vso rastno dobo.	Celotno območje se lahko namaka.
Količina zagotovljena celo leto.	Shranjevanje vode mora biti na kmetiji ali v neposredni bližini.
Hitrost pretoka v m ³ /dan ali v l/s	Območje se lahko namaka v vsakem trenutku, oprema je pripravljena na uporabo.
Način dobave vode: stalno, občasno ali na zahtevo	Izbora polj, opreme, načina in turnusa namakanja.
Zagotavljanje vode: hramba v rezervoarjih ali na kmetijah	Potreba po namestitvi črpalk za transport vode.
Kakovost prečiščene vode	
Skupna količina soli in/ali elektroprevodnost.	Izbira poljščin, namakalne opreme, oblike namakanja.
Koncentracija kationov npr. Ca ²⁺ , Mg ²⁺ in Na ⁺ .	Vpliv natrija.
Koncentracija toksičnih ionov, kot sta B in Cl ⁻ .	Vpliv toksičnosti.
Koncentracija elementov v sledovih, še posebej tistih, ki so lahko toksični.	Vpliv toksičnosti v sledovih in primerni ukrepi.
Koncentracija hrani, še posebej dušika in nitratov.	Prilagoditev gnojilnih norm, opustitev gnojenja določenih rastlin.
Delež suspendiranih delcev.	Izbira primerne namakalne opreme in preprečevanje mašenja šob in kapljačev.
Delež nematod in fekalnih koliformnih bakterij.	Izbira primerne namakalne opreme in primernih rastlin.

PRILOGA D

Relativna toleranca nekaterih kmetijskih rastlin na vsebnost soli v tleh (Pescod, 1992; Ayers in Westcot, 1992)

Tolerantne	Srednje tolerantne	Srednje občutljive	Občutljive
špargelj	oves	bob	fižol
ječmen	rž	koruza	korenje
sladkorna pesa	pšenica	sončnica	čebula
	koleraba	lucerna	jablana
	soja	cvetača	marelica
	tritikala	brstični ohrovt	robida
	figa	zelje	brusnica
	oljka	listni ohrovt	češnja
	rdeča pesa	aleksandrijska detelja	višnja
	repa	rdeča detelja	ribez
	sudanska trava	črna detelja	breskev
	hmeljna meteljka	brokoli	hruške
	njivska meteljka	koleraba	sliva
	trave	solata	malina
	artičoke	jajčevce	jagoda
	buče	krompir	
		radič	
		špinača	
		paradižnik	
		trta	

PRILOGA E

Izvajanje monitoringa na CČN Domžale – Kamnik v maju 2008 (Poročilo ..., 2009)

Merilno mesto	enota	DOTOK CČN	MDK	IZTOK IZ CČN	MDK
Začetek vzorčenja		26.5.2008 8:00	dotok	27.5.2008 5:00	iztok
Vzorci ID		558	v kanal	566	v vode
pH		7,8	6,5-9,5	6,8	6,5-9,0
temperatura (pri pH)	oC	15		17,3	
TSS (1um)	mg/l	200		24	80
usedlj.snovi (2h)	ml/l	8	10,0	0,1	0,5
obarvanost (436 nm)	SAK/m	11,3		2,9	7
obarvanost (525 nm)	SAK/m	6,9		1,0	5
obarvanost (620 nm)	SAK/m	5,0		0,5	3
vodne bolhe	SD	1		1	3
Al	mg/l	1,16	used.s.	0,27	3,00
As	ug/l	0,0009	100,00	0,0008	100,00
Cu	mg/l	0,18	0,50	0,03	0,50
Ba	mg/l	0,10	5,00	0,12	5,00
B	mg/l	0,27	10,00	0,28	1,00
Zn	mg/l	0,21	2,00	0,11	2,00
Cd	mg/l	0,01	0,10	0,05	0,10
Co	mg/l	0,05	1,00	0,05	1,00
Sn	mg/l	0,02	2,00	0,02	2,00
Cr	mg/l	0,05	0,50	0,05	0,50
Cr 6+	mg/l	0,01	0,10	0,01	0,10
Ni	mg/l	0,06	0,50	0,05	0,50
Ag	mg/l	0,02	0,10	0,02	0,10
Pb	mg/l	0,05	0,50	0,05	0,50
Fe	mg/l	0,87	used.s.	0,27	2,00
Hg	ug/l	0,09	10,0	0,02	10,0
Cl2-prosti	mg/l	0,04	0,50	0,04	0,20
Cl2-celotni	mg/l	0,04	1,00	0,04	0,50
TN (on line)	mg/l	50,9		35,5	20,0
TN	mg/l	48,2		30,8	20,0
N-Kjel	mg/l	38,0		4,1	
N-NH4	mg/l	24,1		0,5	5,0
N-NO3	mg/l	0,8		28,7	
N-NO2	mg/l	0,6		0,6	
CN-celotni	mg/l	0,069	10,00	0,035	0,50
CN prosti	mg/l	0,019	0,10	0,035	0,10
F	mg/l	0,5	20,00	0,5	10,00
Cl ion	mg/l	115		106	
P	mg/l	7,2		4,7	
SO4	mg/l	26,2	300,0	32,7	300,0
S2-	mg/l	0,3	1,0	0,05	0,1
SO3	mg/l	0,3	10,0	0,3	1,0
TOC	mg/l	128		19	30,0
TOC (on line)	mg/l	244		18	30
KPK	mg/l	544		56	100
BPK5	mg/l	340		5	20
TLS	mg/l	52	100	5	20
COV	mg/l	0,2	20,0	0,1	10,0
BTX	mg/l	0,03	1,0	0,03	0,1
AOX	mg/l	0,29	0,5	0,16	0,5
LKCH	mg/l	0,02	0,1	0,02	0,1
pol.org.topila	mg/l	14	5000	5	KPK
fenoli	mg/l	0,07	10,00	0,01	0,10
vsota tenzidov	mg/l	3,87	vpliv na ČN	0,43	1,0
PAH	mg/l	0,001			

* rdeče so označene vrednosti, ki presegajo MDK !

PRILOGA F

Lokacije in velikosti komunalnih in skupnih čistilnih naprav ter industrijskih čistilnih naprav v letu 2006 (Podatki o izvajanju ..., 2006, 2007)

