

**VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA**

DIPLOMSKO DELO

**ČIŠČENJE INDUSTRIJSKE ODPADNE VODE**

KATJA MOČILNIK

VELENJE, 2015

**VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA**

DIPLOMSKO DELO

**ČIŠČENJE INDUSTRIJSKE ODPADNE VODE  
INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT**

KATJA MOČILNIK

VARSTVO OKOLJA IN EKOTEHNOLOGIJE

Mentor: prof. dr. MILENKO ROŠ

Somentor: DAMIJAN POVODNIK, univ.dipl. ekon.

VELENJE, 2015

Priloga 2: Sklep o diplomskem delu



Številka: 726-35/2012-2

Datum in kraj: 30. 10. 2012, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda

izdajam

**SKLEP O DIPLOMSKEM DELU**

Študent-ka VŠVO

**Katja Močilnik**

lahko izdela diplomsko delo pri predmetu: Čiščenje odpadnih voda

Mentor-ica: prof. dr. Milenko Roš

Somentor-ica: Damijan Povodnik

Naslov diplomskega dela v slovenskem jeziku: Čiščenje industrijske odpadne vode

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: Industrial wastewater treatment

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z Navodili za izdelavo diplomskega dela.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na Senat v roku 3 delovnih dni.



Dekanica  
doc. dr. Natalija Špeh

### Izjava o avtorstvu

Podpisani/a Katja Močilnik, z vpisno številko 34090038,

študent/ka dodiplomskega / podiplomskega (obkrožite) študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije,

sem avtor/ica diplomskega dela z naslovom ČIŠČENJE INDUSTRIJSKE ODPADNE VODE ki sem ga izdelal/a pod mentorstvom prof. dr. MILENKA ROŠA in somentorstvom DAMIJANA POVODNIKA, univ.dipl. ekon..

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral/a prof. NIKA VERHOVNIK;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ podpis avtorja/ice

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se prof. dr. Milenku Rošu za mentorstvo in pomoč pri izdelavi moje diplomske naloge.

Prav posebej se zahvaljujem delovnemu mentorju g. Damijanu Povodnik, ker mi je omogočil sodelovanje pri eksperimentalnih poskusih v podjetju Gorenje d.d., mi pomagal pridobiti ustrezno literaturo in me usmerjal pri pisanju diplomske naloge.

Hvala moji mami, katera me je ves čas mojega študija spodbujala in mi stala ob strani.

## IZVLEČEK IN KLJUČNE BESEDE

Zaradi razvoja gospodarstva in industrije je okolje v Evropski uniji ter Sloveniji precej onesnaženo s težkimi kovinami. S porastom prebivalstva in z razvojem industrije se povečuje tudi poraba vode, ki se po uporabi zavrže kot odpadna voda, saj potencialno onesnažuje površinske in talne vode.

Pred začetkom pisanja diplomskega dela smo se seznanili z delom zaposlenih v podjetju Gorenje, d. d., natančneje na področju varstva okolja, ter sodelovali na posameznih področjih v sklopu projekta *Ponovne uporabe očiščene industrijske odpadne vode z uporabo membranskih filtracij*. Spoznali smo, kako lahko z membranskimi filtracijami dodatno očistimo že očiščeno odpadno vodo do te mere, da je primerna za ponovno uporabo. V kovinski industriji se izvaja čiščenje odpadnih voda v čistilnih napravah, ki temeljijo na fizikalno-kemijski tehnologiji čiščenja odpadnih voda. Membranska tehnologija je nadgradnja fizikalno-kemijske tehnologije, kjer s procesom ultrafiltracije kot predobdelave odstranimo snovi večje od 0,4  $\mu\text{m}$ , kar preprečuje zamašitev membran pred končnim procesom povratne osmoze, s katero pridobimo vodo (permeat), ki izpolnjuje merila za ponovno uporabo. Rezultati projekta so pokazali, da s povratno osmozo in z ultrafiltracijo v povprečju odstranimo 95 % odpadnih snovi iz vode.

**Ključne besede:** odpadne vode, čistilna naprava, fizikalno-kemijska tehnologija, membranska tehnologija, ultrafiltracija, povratna osmoza.

## ABSTRACT AND KEYWORDS

The environment in the European Union and Slovenia is substantially contaminated with heavy metals due to economic and industrial development. The population growth and industrial development have contributed to the increase of water consumption, which is disposed as waste water after the use, because it potentially contaminates surface and ground water.

Prior to the start of writing the thesis, we took note of the work of employees in the company Gorenje, d. d., specifically in the field of environmental protection, and participated in the individual areas within the project *Reuse of purified industrial waste water using membrane filtration*. We have learnt how to purify treated waste water in order for it to be reused by using membrane filtration. In the metal industry the waste water treatment is implemented in waste water treatment plants, which are based on physicochemical technology of waste water treatment. Membrane technology is an upgrade of the physicochemical technology, where the process of ultrafiltration is used as a pre-treatment in order to remove substances greater than 0.4  $\mu\text{m}$ . In doing so, the clogging of the membranes is prevented before the final process of reverse osmosis which results in permeate that meets the criteria for reuse. Results of the project have shown that on average 95 % of waste substances are removed from the water by reverse osmosis and ultrafiltration.

**Keywords:** waste water, waste water treatment plant, physicochemical technology, membrane technology, ultrafiltration, reverse osmosis

## SEZNAM KRATIC

<b>ARSO</b>	Agencija Republike Slovenije za okolje
<b>AOX</b>	Adsorbable organic halogens (adsorbiljivi organski halogeni)
<b>B</b>	Bor
<b>BAT</b>	Best Available Tehnology (Najboljša razpoložljiva tehnika)
<b>BPK</b>	Biokemijska potreba po kisiku
<b>BREF</b>	Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah
<b>CA</b>	Kalcij
<b>CČN</b>	Centralna čistilna naprava
<b>Cd</b>	Kadmij
<b>Cr</b>	Krom
<b>Cu</b>	Baker
<b>DB</b>	Dubnium
<b>DKS</b>	Koncentracija nevarne snovi za dobro kemijsko stanje površinske vode v skladu s predpisom, ki ureja kemijsko stanje površinskih voda, izražena v mg/l
<b>EDTA</b>	Etilendiamintetraocetna kislina
<b>EMAS</b>	Community Eco-Management and Audit Scheme (Upravljanje z okoljem in pregledi EU)
<b>ERA</b>	Evropski raziskovalni prostor
<b>EU</b>	Evropska unija
<b>EUREKA</b>	European Research Coordination Agency (Evropska agencija za koordinacijo raziskovalne dejavnosti)
<b>FKKT</b>	Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
<b>Hg</b>	Živo srebro
<b>IPPC</b>	Integrated Pollution Prevention and Control (Direktiva Sveta 96/61/ES z dne 24. september 1996 o celovitem preprečevanju in nadzoru onesaževanja okolja)
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Mednarodna organizacija za standardizacijo)
<b>IWW – RUSE</b>	Reuse of purified industrial wastewater using membrane filtration (Ponovno čiščenje industrijske odpadne vode s pomočjo membranske filtracije)
<b>KPK</b>	Kemijska potreba po kisiku
<b>MF</b>	Mikrofiltracija
<b>MK</b>	Mejna vrednost letne količine posamezne nevarne snovi, izražena v kg/leto
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	Manganov (IV) ion
<b>NF</b>	Nanofiltracija
<b>Ni</b>	Nikelj
<b>NO<sub>x</sub></b>	Dušikovi oksidi (izraženi kot NO <sub>2</sub> )
<b>NO<sub>2</sub> – N</b>	Nitritni dušik
<b>NO<sub>3</sub> – N</b>	Nitratni dušik
<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	Amonijev dušik
<b>OHSAS</b>	Occupational Health and Safety Assessment Series (Serija za ocenjevanje varnosti in zdravja pri delu)
<b>P</b>	Fosfor
<b>Pb</b>	Svinec
<b>RO</b>	Povratna osmoza
<b>RS</b>	Republika Slovenija
<b>SEVESO</b>	Safety & Quality Assessment System (Sistem ocenjevanja za varnost in kakovost)
<b>SQnp</b>	Srednji nizki pretok vodotoka na kraju iztoka odpadne vode iz naprave, izražen v l/s

**UF**  
**ZVO**  
**Zn**  
**WHO**

Ultrafiltracija  
Zakon o varstvu okolja  
Cink  
World Health Organization (Svetovna zdravstvena organizacija)



## KAZALO

1	UVOD.....	1
1.2	Namen in cilj diplomskega dela ter hipotezi .....	2
1.3	Metode dela.....	2
1.4	Pričakovani rezultati.....	2
2	ODPADNA VODA .....	3
2.1	Pregled predpisov s področja odpadnih voda .....	4
2.1.1	EU zakonodaja s področja odpadnih voda.....	4
2.1.2	Domača zakonodaja s področja odpadnih voda.....	6
2.2	Vrste odpadnih voda v industriji .....	10
2.3	Čiščenje odpadnih voda.....	11
2.3.1	Čiščenje komunalnih odpadnih voda .....	11
2.3.2	Čiščenje industrijskih odpadnih voda.....	12
2.4	Monitoring odpadnih voda.....	14
3	SKRB ZA VAROVANJE OKOLJA V GORENJU D.D.....	19
4	PREDSTAVITEV CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE V GORENJU, D. D. ....	23
4.1	Izvor odpadnih voda v Gorenju, d. d., Velenje.....	24
4.2	Razvrstitev odpadnih voda po sestavi in koncentraciji v Gorenju, d. d.....	24
4.3	Količina in pretoki odpadnih voda v Gorenju, d. d. ....	24
4.4	Delovanje centralne čistilne naprave Gorenje, d. d. ....	24
5	EKSPERIMENTALNI DEL: ČIŠČENJE ODPADNE VODE V PODJETJU GORENJE D.D. Z MEMBRANSKO FILTRACIJO .....	27
5.1	Membranska filtracija .....	27
5.2	Postopek čiščenja odpadnih voda z membransko tehnologijo.....	28
5.2.1	Membranska filtracija z laboratorijsko celico po principu »dead-end«.....	30
5.2.2	Postopek čiščenja odpadnih voda z membransko tehnologijo.....	31
5.3	Možnost ponovne uporabe očiščene industrijske odpadne vode.....	33
5.4	Rezultati ponovne uporabe odpadnih voda s pomočjo pilotske naprave .....	33
6	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	37
7	POVZETEK.....	38
8	SUMMARY .....	39
9	LITERATURA.....	40

## KAZALO SLIK

Slika 1: Postopek čiščenja odpadnih voda .....	14
Slika 2: Centralna čistilna naprava v Gorenju, d. d., Velenje .....	23
Slika 3: Shematski prikaz čiščenja odpadnih voda na centralni čistilni napravi Gorenje, d. d. .....	25
Slika 4: Prikaz procesa membranske filtracije, katere gonilna sila je razlika tlakov .....	27
Slika 5: Shematski prikaz procesa čiščenja z membransko filtracijo .....	29
Slika 6: Shematski prikaz filtracijske celice .....	30
Slika 7: Prikazana zamašena membrana UFX-pHt .....	32
Slika 8: Pilotna naprava ultrafiltracije (UF) .....	34
Slika 9: Pilotna naprava reverzne osmoze (RO) .....	34
Slika 10: Shematski prikaz procesa čiščenja z membransko filtracijo .....	35

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Količina čiščene odpadne vode po posameznih stopnjah čiščenja za obdobje 11 let .....	16
Preglednica 2: Skupna velikost čistilnih naprav po posameznih stopnjah čiščenja po letih ...	16
Preglednica 3: Onesnaževanje voda po dejavnostih in parametrih .....	17
Preglednica 4: Dopustne vrednosti emisije snovi v vode na merilnem mestu MMV 1 v Gorenju, d. d.. Vir: Interni dokumenti Gorenja, d. d. ....	21
Preglednica 5: Letne količine parametrov nevarnih snovi, ki se odvajajo v vodotok Paka z industrijskega kompleksa v Gorenju, d. d. ....	22
Preglednica 6: Prednosti in slabosti membranske filtracije .....	33

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Deleži onesnaževanja voda iz velikih industrijskih obratov po posameznih parametrih .....	18
Graf 2: Poraba vode v Gorenju, d. d., Velenje od leta 2004 do 2013 .....	21

## 1 UVOD

S porastom prebivalstva in industrije se povečuje poraba vode. Voda se po uporabi zavrže kot odpadna voda, ki potencialno onesnažuje površinske in talne vode. Industrijske odpadne vode so specifične in se razlikujejo od komunalnih odpadnih voda. Pogosto vsebujejo strupene snovi in snovi, bogate z dušikom. Zato lahko izpust neочиščene industrijske vode usodno vpliva na vodne organizme in predstavlja večji del onesnaženja površinskih voda. Lahko je ogrožen tudi vir pitne vode ter posledično zdravstveno stanje ljudi.

Zakon o varstvu okolja določa načine za preprečevanje onesnaženja voda, iz njega pa izhajajo številni podzakonski predpisi. Pri pisanju diplomskega dela smo se osredinili na zakone, ki urejajo odvajanje odpadnih voda in emisij iz čistilnih naprav. Za obratovanje čistilne naprave ali vsako večjo spremembo, vezano za njeno obratovanje, je potrebno pridobiti okoljevarstveno dovoljenje. Čistilne naprave so premične ali nepremične tehnološke enote, ki lahko povzročajo obremenitev okolja (izpust emisij v zrak, vodo ali tla, za katere so predpisane mejne vrednosti emisij). Predpisi, ki preprečujejo in nadzorujejo onesnaževanje, so (medmrežje 1):

- Uredba o vrsti dejavnosti in naprav, ki povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega,
- Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročijo onesnaževanje okolja večjega obsega,
- Uredba o dopolnitvi Uredbe o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega,
- Uredba o spremembi in dopolnitvi Uredbe o vrsti dejavnosti in naprav, ki lahko povzročajo onesnaževanje okolja večjega obsega.

»Podobno kot v večini evropskih držav, tudi v Sloveniji v skladu z Okvirno direktivo o vodah uvajamo celovito upravljanje z vodnimi viri. Prednostna naloga je odpravljanje škodljivih vplivov na vode, zagotavljanje vode primerne kakovosti za človeka in naravne ekosisteme ter ohranjanje biotske raznovrstnosti (medmrežje 2).« V diplomskem delu dajemo poudarek predpisu s področja onesnaževanja voda, ki ureja področje odpadnih voda.

Za čiščenje odpadnih voda so na voljo številni postopki, odvisno od tipa odpadne vode, iz katere odstranimo nevarne snovi. Čiščenje odpadnih voda v industrijskih obratih pogosto tvori kombinacija različnih bioloških, kemičnih in fizikalnih procesov. Prečiščeno vodo, za katero morajo biti stopnje vrednosti v mejah zakonsko predpisanih vrednosti, lahko ponovno uporabimo v tehnološke namene ali pa jo izpustimo v naravno okolje.

Med potrošniki tako doma kot po svetu narašča ugled podjetij, ki delujejo po načelih trajnostnega razvoja in s tem dokazujejo družbeno odgovornost in spoštovanje etičnih in moralnih načel do okolja, v katerem delujejo.

V našem kraju deluje veliko industrijsko podjetje Gorenje, d. d., ki izdeluje gospodinjske aparate. Podjetje upošteva tako evropsko kot slovensko zakonodajo in izvaja zahteve z neizmernim čutom za okolje ter z osveščanjem zaposlenih skrbi, da je podjetje prijazno do okolja in ga obenem varuje. V podjetju se zavedajo, da je skrb za okolje širšega pomena in ne le skrb posameznika.

Diplomsko delo je razdeljeno v tri sklope, in sicer so v prvem sklopu predstavljeni teoretični opis odpadnih voda, čiščenja odpadnih voda in zakonski predpisi na tem področju. V drugem sklopu sta opisana ravnanje z odpadnimi vodami v podjetju Gorenje, d. d., ter ureditev problema le-teh. V tretjem sklopu pa je obravnavano vprašanje, ali je obstoječa tehnologija čiščenja odpadnih voda zadostna ali je primernejša nadgradnja obstoječega fizikalno-kemijskega čiščenja odpadnih voda z membransko tehnologijo čiščenja odpadnih voda.

## **1.2 Namen in cilj diplomskega dela ter hipotezi**

Namen diplomskega dela je predstaviti proces čiščenja voda v industrijskem okolju ter načine in namen uporabe prečiščene industrijske vode.

Cilj diplomskega dela je ugotoviti, katera tehnologija čiščenja industrijskih odpadnih voda je najsprejemljivejša tako za podjetje Gorenje, d. d., kot za okolje.

Preveriti želimo dve hipotezi:

Hipoteza 1 (H1): Za čiščenje odpadnih voda je za podjetje primernejša membranska tehnologija

Hipoteza 2 (H2): V podjetju lahko ponovno uporabijo odpadno vodo

## **1.3 Metode dela**

V teoretičnem delu diplomskega dela smo preučili domačo in tujo literaturo ter ostale razpoložljive vire, članke in prispevke s področja odpadnih voda, predpise s področja odpadnih voda in čiščenja odpadnih voda ter tehnologije čiščenja odpadnih voda.

V empiričnem delu smo prikazali skrb podjetja Gorenje, d. d., za okolje ter njihove rešitve za čiščenje in ponovno uporabo odpadnih voda, ter veljavne predpise in sprejeto zakonodajo.

Podatke smo zbrali na podlagi obvezne delovne prakse v podjetju, predpisov podjetja, vezanih na varstvo okolja, predpisov, vezanih na čistilno napravo, ter konzultacij z odgovorno osebo na čistilni napravi.

## **1.4 Pričakovani rezultati**

Rezultati so pokazali, da je skrb za okolje izrednega pomena, ne samo za prebivalce v okolju, temveč tudi za podjetje in da se prečiščena industrijska odpadna voda lahko ponovno uporabi. Nadgradnja mehansko-kemijske tehnologije čiščenja odpadnih voda z membransko tehnologijo čiščenja odpadnih voda pa daje boljše rezultate čiščenja odpadnih voda.

## 2 ODPADNA VODA

Odpadne vode so tekoči iztoki, ki nastajajo iz različnih virov, kot so industrija, gospodinjstvo, kmetijstvo in padavine. V osnovi je odpadna voda tok uporabljene vode iz naseljenega območja, kmetije ali industrije. Narava odpadne vode vključuje fizikalne, kemijske in biološke lastnosti, ki so odvisne od uporabe vode v naseljih, prispevka industrije in trgovine, vremena in infiltracije tako imenovanih tujih vod (Roš in Župančič 2010, str. 29).

Odpadna voda je voda, ki se po uporabi ali kot posledica padavin onesnažena odvaja v javno kanalizacijo ali v vode. Poznamo več vrst odpadnih voda, in sicer je odpadna voda lahko komunalna odpadna voda, industrijska odpadna voda ali padavinska odpadna voda (medmrežje 3).

Glede na vir odpadnih voda po Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo delimo odpadno vodo na (medmrežje 3):

- padavinsko vodo, ki kot posledica meteorskih padavin odteka onesnažena iz utrjenih, tlakovanih, asfaltiranih ali z drugim materialom prekritih površin v vode ali v javno kanalizacijo;
- specifično vodo (npr. radioaktivno);
- melioracijsko vodo, ki nastaja v odtokih izcednih in drenažnih voda;
- kmetijsko odpadno vodo, ki nastaja v odtokih iz poljedelske in živinorejske proizvodnje;
- komunalno odpadno vodo, ki nastaja v bivalnem okolju gospodinjstev, v stavbah javne rabe, kot industrijska odpadna voda v proizvodni ali storitveni dejavnosti in ne presega 4.000 m<sup>3</sup> letne količine;
- gospodinjstvo odpadno vodo, ki nastaja v odtokih gospodinjstev (v sanitarijah in kuhinjskih odtokih);
- industrijsko odpadno vodo, ki nastane pri uporabi v industriji, obrtni dejavnosti ali drugi gospodarski dejavnosti in po nastanku ni podobna komunalni odpadni vodi. Industrijska odpadna voda nastaja pri uporabi v kmetijski dejavnosti, je tudi zmes industrijske odpadne vode s komunalno ali padavinsko odpadno vodo. Industrijske vode so tudi hladilne vode in tekočine, ki se zbirajo in odtekajo iz naprav za predelavo, skladiščenje ali odlaganje odpadkov.

Glede na izvor in vrsto onesnaženosti deli Lobnik (2008) odpadne vode na:

- komunalne,
- industrijske,
- specifične.

Industrijska odpadna voda nastaja predvsem po uporabi v industriji, obrtni ali obrti podobni gospodarski ali kmetijski dejavnosti in po nastanku ni podobna komunalni odpadni vodi. Vsebuje lahko težje biorazgradljive snovi in biološko nerazgradljive snovi, ki jih je potrebno odstraniti, preden jih vrnemo nazaj v okolje (npr. tekstilna industrija, usnjarska industrija, proizvodnja kovinskih izdelkov, proizvodnja stekla, proizvodnja olja idr.). Med industrijsko odpadno vodo se šteje tudi zmes industrijske odpadne vode s komunalno ali padavinsko odpadno vodo ali z obema, če se pomešane vode po skupnem iztoku odvajajo v kanalizacijo ali neposredno v vode. Industrijska odpadna voda so tudi hladilne vode in tekočine, ki se zbirajo in odtekajo iz naprav za predelavo, skladiščenje ali odlaganje odpadkov. Industrijska odpadna voda običajno vsebuje snovi, ki se oksidirajo kot kemijska potreba po kisiku (KPK), fosfor, dušik, organske halogene spojine, ki jih je mogoče določiti kot adsorbirani organski halogeni, živo srebro in njegove spojine, kadmij in njegove spojine, šestvalentni krom in njegove spojine, nikelj in njegove spojine, svinec in njegove spojine, baker in njegove spojine, ter ostale strupene snovi. Emisije snovi pri odvajanju industrijske odpadne vode iz posameznega vira onesnaževanja v kanalizacijo ali neposredno v vode izražamo s parametri

onesnaženosti odpadne vode, količino snovi v odpadni vodi, z emisijskim faktorjem obremenjevanja z odvajanjem odpadne vode in učinkom čiščenja odpadne vode. Parameter onesnaženosti odpadne vode je po predpisanem merilnem postopku izmerjena temperatura, pH vrednost, obarvanost, strupenost, koncentracija snovi ali podobna lastnost odpadne vode. Količina snovi v odpadni vodi je masa z odvajanjem odpadnih vod izpuščenih snovi v določenem obdobju (Lobnik 2008).

»Z razvojem industrije se je povečal tudi obseg onesnaženja okolja in voda. Industrijske odpadne vode so specifične, tako po svoji organski kot anorganski sestavi in pogosto vsebujejo strupene snovi (Ren 2004, str. 1151).« Ker onesnaženje voda in okolja slabša kvaliteto življenja, je potrebno iskati načine, kako z razvojem čistilnih naprav in ostalih okoljskih tehnologij le-to izboljšati. Za izboljšanje kvalitete voda je potrebno:

- preprečiti nastanek odpadnih voda in drugih odpadkov,
- zmanjšati količino uporabljene vode ter s tem tudi količino odpadne vode,
- zmanjšati strupenost kemikalij, pri katerih nastajajo odpadne vode (uporaba varnejših kemikalij z vidika okolja ter varnosti in zdravja pri delu),
- ponovno uporabiti očiščene odpadne vode za isti namen,
- reciklirati odpadne vode,
- čistiti odpadne vode – stalno izboljševanje tehnologij čiščenja in optimizacija procesa.

Za varstvo voda in preprečitev negativnih vplivov odpadnih voda na okolje smo odgovorni vsi. Za izvajanje zakona o varstvu okolja in drugih predpisov ter uredb, ki urejajo odvajanje odpadnih voda v Sloveniji, skrbi Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO).

## **2.1 Pregled predpisov s področja odpadnih voda**

### **2.1.1 EU zakonodaja s področja odpadnih voda**

V EU se uporabljajo tri vrste pravnih aktov (medmrežje 20):

- Uredbe so enakovredne nacionalnim predpisom, uporabljajo pa se v vseh državah članicah EU. Uredba je splošen in v celoti zavezujoč pravni predpis, ki prične veljati takoj v vseh državah članicah EU ter postane del nacionalne zakonodaje, brez da nacionalni organi zakonodajni ukrep sprejmejo;
- Direktive določajo splošna načela, ki jih morajo države članice uresničiti z nacionalnimi predpisi. Nacionalni zakonodajalec direktivo s pravnimi akti prenese v domače pravo, jo uskladi z nacionalno zakonodajo, nakar pričnejo zapisana načela veljati za državljane;
- Sklepi – z njimi institucije odločajo o posameznih zadevah. Naslovljene so na posameznike ali organizacije.

Osnovni dokument Evropske skupnosti s področja voda je Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES, o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike, bolj poznana kot vodna direktiva. S področja odvajanja in čiščenja odpadnih voda so še naslednje direktive:

- Direktiva Sveta 91/271/EGS z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode,
- Direktiva Sveta 91/676/EG z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov,
- Direktiva Sveta 86/278/EGS z dne 12. junija 1986 o varstvu okolja, zlasti tal, kadar se blato iz čistilnih naprav uporablja v kmetijstvu.

Leta 2000 je bila s strani držav članic EU sprejeta Okvirna direktiva o vodah (EU Water Framework Directive, 200/60/EC). Direktiva je bila sprejeta z namenom spodbujanja trajnostne rabe vodnih virov in doseganja dobrega stanja vseh voda ter predstavlja temeljni dokument na področju zakonodaje vsake države članice EU. »Cilj zakonodaje EU o vodah je do leta 2015 doseči poenotenje obravnavanja kakovosti voda na celotnem področju EU in z zakonodajo zastavljenih ciljev o kvaliteti voda. Ta direktiva ima tudi nekatere slabosti: pogoji so postavljeni ohlapno in zapleteno, v času pred prenehanjem obstoječe zakonodaje in po njej je pravna negotovost, prenos pomembnih odločitev se prenaša na kasnejše politične odločitve (Lanz 2001, str. 18).«

»Za zaščito in izboljšanje kakovosti voda v EU so bili z okvirno direktivo o vodah sprejeti novi instrumenti okoljske politike (prav tam 2001, str. 18):

- ekološko in celovito ocenjevanje voda,
- načrtovanje upravljanja s povodji,
- strategija za odpravo onesnaženja z nevarnimi snovmi,
- javno informiranje in razprave,
- finančni instrumenti.«

Še posebej so v direktivi omenjene industrijske odpadne vode z vidika vsebnosti škodljivih snovi. V Direktivi Evropskega parlamenta in Sveta 2006/11/ES je zapis o onesnaževanju pri odvajanju nekaterih nevarnih snovi v vodno okolje Skupnosti (medmrežje 4). Direktiva se nanaša na skupine snovi glede na njihovo strupenost, obstojnost in bioakumulacijo, na snovi ki vsebujejo metaloide in kovine ter njihove spojine (npr.: cink, arzen, krom, svinec, srebro, selen, uran ...) ter biocide in njihove derivate, snovi, ki škodljivo vplivajo na kisikove razmere (amoniak, nitrati).

V ARSO so navedeni evropski predpisi, ki urejajo varstvo okolja in odpadne vode (medmrežje 13):

- Direktiva o celovitem preprečevanju in nadzoru nad industrijskim onesnaževanjem (Integrated Pollution Prevention Control Directive – IPPC),
- Direktiva o čiščenju komunalne odpadne vode (Urban waste water directive),
- Direktiva o onesnaževanju pri odvajanju nekaterih nevarnih snovi v vodno okolje (Directive on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community),
- Krovna vodna direktiva (Water Framework Directive).

Ena izmed pomembnejših direktiv v EU na področju okolja je Direktiva o celovitem preprečevanju in nadzoru nad industrijskim onesnaževanjem (Integrated Pollution Prevention and Control – IPPC), ki je bila sprejeta leta 1996. Z upoštevanjem le-te je potrebno spoštovati preko 30 drugih okoljskih direktiv. Predvsem je ta direktiva pomembna za industrijo, kajti brez dovoljenja, ki ga direktiva predvideva, podjetja ne morejo opravljati svoje dejavnosti. »Direktiva IPPC je za industrijski sektor ena izmed ključnih direktiv EU. Nanaša se na večje potencialne vire industrijskega onesnaževanja. Zahteva celotni pristop, preprečevanje prenosa onesnaževanja iz enega medija v drugega in doseganje visoke stopnje varstva okolja kot celote z uvajanjem najboljših razpoložljivih tehnik oziroma koncepta BAT. Uvaja celovita časovno omejena okoljska dovoljenja, ki so pogoji za opravljanje dejavnosti. Pri izdaji dovoljenj se upoštevajo vplivi na zrak, vodo, tla, nastajanje odpadkov, rabo surovin, energetska učinkovitost, hrup, preprečevanje nesreč, tveganje itd. Gre za krovno direktivo, ki zahteva celovito obvladovanje okolja v podjetjih, stalno spremljanje vplivov na okolje in nenehno izboljševanje. Njeno izvajanje dejansko pomeni upoštevanje in izvajanje drugih direktiv EU o okolju IPPC v Sloveniji (medmrežje 5).«

»Direktiva IPPC je smernica Evropske komisije za celovito preprečevanje in nadzor onesnaževanja, ki je posledica industrijske dejavnosti. Namen te direktive je doseči celovito

preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja. Ta direktiva določa ukrepe za preprečevanje, ali če to ni mogoče, za zmanjševanje emisij v zrak, vodo in tla pri omenjenih dejavnostih, vključno z ukrepi glede odpadkov, da bi dosegli visoko stopnjo varovanja okolja kot celote. Splošna načela direktive IPPC, da države članice lahko sprejmejo potrebne ukrepe, s katerimi pristojnim organom omogočajo zagotavljanje načina delovanja obratov, so:

- da se izvajajo vsi ustrezni ukrepi za preprečevanje onesnaževanja, še posebej z uporabo najboljših razpoložljivih postopkov;
- da se ne povzroča večjega onesnaževanja;
- da ne nastajajo odpadki – skladno z Direktivo Sveta 75/442/EGS z dne 15. julija 1975 o odpadkih se nastali odpadki regenerirajo ali, če to tehnično in ekonomsko ni mogoče, odstranijo brez vpliva na okolje ali tako da se tak vpliv zmanjša;
- da se energija uporablja učinkovito;
- da se izvajajo potrebni ukrepi za preprečevanje nesreč in omejevanje njihovih posledic;
- da se ob dokončnem prenehanju dejavnosti izvedejo potrebni ukrepi, s katerimi se prepreči nevarnost onesnaževanja in se kraj, kjer je obrat deloval, vrne v primerno stanje (medmrežje 6).«

Slovenija je Direktivo IPPC prenesla v svoj pravni red leta 2004, in sicer z Zakonom o varstvu okolja. Dejavnosti in naprave, ki lahko povzročijo onesnaženje okolja večjega obsega, pa so bile natančneje določene s tako imenovano IPPC Uredbo, kot podzakonskim predpisom (Djokić 2012).

### **2.1.2 Domača zakonodaja s področja odpadnih voda**

Področje voda v Republiki Sloveniji (RS) urejajo trije osnovni zakoni, ki urejajo najpomembnejše vsebine za stanje voda in vodnega okolja, in sicer varstvo in rabo voda ter vodnega in obvodnega prostora, urejanje voda in varstvo od voda odvisnih ekosistemov. Zakoni, ki urejajo področje voda v RS, so:

- a. Zakon o varstvu okolja
  - b. Zakon o vodah
  - c. Zakon o ohranjanju narave
- a. Predpis, ki ureja varstvo okolja, je Zakon o varstvu okolja, ki ga je Slovenija sprejela leta 2004. Nadzor nad izvajanjem zakona je v pristojnosti ARSO. Agencija je pristojna za izvajanje vseh pravnih postopkov iz naslova varstva okolja. Slovenija je članica EU in je dolžna spoštovati tudi evropske zakone in predpise s področja varstva okolja. V Sloveniji je več ustanov in društev, ki so aktivna na področju varstva okolja, kot sta na primer društvo Focus, ki si prizadeva za sonaravni razvoj, obenem pa opozarja javnost na okoljske probleme z organizacijo delavnic, projektov in okroglih miz, ter fundacija za trajnostni razvoj Umanotera, ki uveljavlja trajnostni razvoj v nacionalnih politikah in vzpostavlja ravnotežje med človekom in okoljem.

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1-NPB7) ureja številne aktivnosti s tega področja. »Zakon ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem 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 druge z varstvom okolja povezana vprašanja. V ta zakon so vnesene vse direktive EU. Pomen Zakona o varstvu okolja je spodbuditi takšen družbeni razvoj, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranja biotsko raznovrstnost (medmrežje 7):



Namen varstva okolja je spodbujanje in usmerjanje družbenega razvoja, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti.

Cilji varstva okolja so (medmrežje 7):

- preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja,
- ohranjanje in izboljševanje kakovosti okolja,
- trajnostna raba naravnih virov,
- zmanjšanje rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije,
- odpravljanje posledic obremenjevanja okolja, izboljšanje porušenega naravnega ravnovesja in ponovno vzpostavljanje njegovih regeneracijskih sposobnosti,
- povečevanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje,
- opuščanje in nadomeščanje uporabe nevarnih snovi.

Za doseganje ciljev varstva okolja zakon spodbuja proizvodnjo in potrošnjo, ki prispevata k zmanjšanju obremenjevanja okolja, spodbuja razvoj in uporabo tehnologij, ki preprečujejo, odpravljajo ali zmanjšujejo obremenjevanje okolja, obenem pa določa kazni in vrednosti za onesnaževanje okolja in rabo naravnih virov (medmrežje 7).

Na podlagi Zakona o varstvu okolja je bilo v Sloveniji izdanih precejšnje število podzakonskih predpisov in uredb. Za industrijske odpadne vode sta pomembni naslednji uredbi:

1. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo – uredba v zvezi z zmanjševanjem onesnaževanja okolja zaradi emisije snovi in emisije toplote, ki nastajata pri odvajanju komunalne, industrijske in padavinske odpadne vode ter njihovih mešanic v vode, določa mejne vrednosti emisije snovi in toplote, vrednotenje emisije snovi in toplote, ukrepe preprečevanja emisije snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda, ukrepe zmanjševanja emisije snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda, druge ukrepe zmanjševanja emisije snovi, pogoje za odvajanje odpadnih voda in obveznosti investitorjev in upravljavcev naprav, ki se nanašajo na pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja in obratovanje naprave. Uredba se uporablja za ravnanje z odpadnimi vodami iz objektov in čistilnih naprav.

Uredba določa:

- *Mejne vrednosti parametrov odpadnih voda* za posredno in neposredno odvajanje industrijske odpadne vode ter mešanice odpadnih voda iz skupnih čistilnih naprav ter za odvajanje industrijske odpadne vode v javno kanalizacijo. Mejna vrednost letne količine nevarnih snovi v industrijskih odpadnih vodah se izračuna po formuli:

$$MK = 31,5 \times (0,15 \times DKS \times Q_{np})$$

- Mejne vrednosti parametrov za mešanico odpadnih voda se uporabljajo za:
  - iztoke skupne čistilne naprave ter za mešanico komunalnih odpadnih voda z industrijskih odpadnih voda,
  - iztoke industrijske čistilne naprave, na kateri se izvaja čiščenje ali predčiščenje industrijskih odpadnih voda iz več naprav, v katerih poteka več različnih tehnoloških postopkov,
  - skupne iztoke industrijskih odpadnih voda, kadar je iz tehničnih razlogov ni možno obravnavati kot industrijsko odpadno vodo posamezne naprave.
- Mejne vrednosti parametrov za mešanico odpadnih voda, ki vsebujejo nevarne snovi:

- vrednotenje emisije snovi in toplote – določa se na iztoku industrijske odpadne vode iz naprave, komunalne ali skupne čistilne naprave in padavinske odpadne vode. Za industrijsko odpadno vodo se emisija snovi in toplote določa na iztoku iz naprave pred njenim mešanjem s komunalnimi, padavinskimi ali z drugimi vodami. Ugotavljajo se čezmerne obremenitve okolja naprav za odvajanje industrijskih odpadnih voda. Čezmerne obremenitve okolja z industrijsko odpadno vodo se ugotavljajo z več zaporednimi meritvami po predpisu in obratovalnim monitoringom odpadnih voda;
- okoljevarstvena dovoljenja in pridobitev gradbenega dovoljenja – za obratovanje naprave, ki odvaja odpadno vodo v javno kanalizacijo ali neposredno v površinske ali posredno v podzemne vode;
- prepovedi, omejitve in drugi ukrepi zmanjševanja emisije snovi in toplote v vode – za obratovanje naprav mora upravljavec uporabiti tehnologijo za najmanjšo možno porabo vode, uporabo recikliranja odpadnih snovi, varčno rabo surovin in energije. Prednostno čiščenje delnih tokov industrijskih odpadnih voda in izločanje odpadnih snovi na kraju njihovega nastanka ter varno in za okolje sprejemljivo odstranjevanje blata. Komunalno in industrijsko odpadno vodo je prepovedano odvajati posredno v vodotoke.

Investitor oziroma upravljavec naprave mora zagotoviti prve meritve parametrov in količine odpadnih voda pri novi ali rekonstruirani napravi. Pri napravi mora upravljavec naprave v okviru obratovalnega monitoringa zagotavljati občasne ali trajne meritve parametrov in količine odpadnih voda (Ur.l. RS, št. 64/2006, str. 52).

2. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz naprav za proizvodnjo kovinskih izdelkov – uredba v okviru Zakona o varstvu okolja ureja ravnanje z odpadnimi vodami v kovinski industriji. Ta uredba v skladu z Direktivo 2006/11/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. februarja 2006 o onesnaževanju pri odvajanju nekaterih nevarnih snovi v vodno okolje Skupnosti določa posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju industrijskih odpadnih voda iz naprav za proizvodnjo kovinskih izdelkov, in sicer (medmrežje 3):
- mejne vrednosti parametrov industrijskih odpadnih voda,
  - posebne ukrepe v zvezi z zmanjševanjem emisije snovi (prav tam).«

Določbe te uredbe se uporabljajo za naprave za proizvodnjo kovinskih izdelkov ter za naprave za površinsko obdelavo plastičnih ali drugih nekovinskih materialov z elektrolitskimi postopki (v nadaljevanju naprave za proizvodnjo kovinskih izdelkov), in sicer za izvajanje naslednjih procesov, vključno s predobdelavo, vzporedno in končno obdelavo: galvansko obdelavo, luženje, anodiziranje, briniranje, vroče cinkanje in vroče kositriranje, kaljenje, proizvodnjo tiskanih vezij, proizvodnjo galvanskih členov, emajliranje, mehansko obdelavo, brušenje in lakiranje (prav tam).

Posebni ukrepi, ki jih mora izvajati upravljavec naprav za proizvodnjo kovinskih izdelkov v zvezi z odvajanjem odpadne vode, so (prav tam):

- obdelava kopeli (delovnih raztopin) z uporabo primernih postopkov, kot so membranska filtracija, ionska izmenjava, elektroliza, toplotni postopki ali drugi podobni postopki, z namenom, da je uporabnost kopeli čim daljša;
- zmanjševanje izgub sestavin kopeli z izbiro primernega prevoza obdelovancev, s preprečevanjem prelivanja, z ustreznim brizganjem in z izbiro optimalne sestave kopeli (delovne raztopine);
- večkratna uporaba vode za spiranje z uporabo primernih metod, kot so krožni sistemi z uporabo ionskih izmenjevalcev, kaskadno spiranje, spiranje z brizganjem in ostali varčni postopki spiranja;

- ponovno pridobivanje sestavin kopeli iz vod za spiranje ali vračanje sestavin kopeli iz izpirnih vod nazaj v tehnološki proces;
- zbiranje in vračanje etilendiamintetraoetne kisline (EDTA) in njenih homologov ter soli iz kemičnih bakrovih kopeli in pripadajočih izpirnih vod;
- odpadna voda iz razmaščevalnih kopeli, kopeli iz odstranjevanja kovin in nikljevih kopeli ne sme vsebovati etilendiamintetraoetne kisline (EDTA);
- ločevanje posameznih vrst odpadne vode, ki vsebujejo kromate, cianide, nitrite, kompleksante, in njihovo ločeno čiščenje;
- končno čiščenje odpadne vode s peščenimi ali prodatimi filtri, z ionsko izmenjavo ali drugimi primernimi postopki;
- zbiranje in od odpadne vode ločeno odstranjevanje topil in odpadnih raztopin za razmaščevanje in čiščenje, ki niso na vodni osnovi, ter gošč, ki vsebujejo težke kovine;
- uvedba in uporaba krožnih sistemov za ponovno uporabo emulzij pri hlajenju in mazanju;
- od odpadne vode ločeno zbiranje in obdelava izrabljenih emulzij.

Iz Zakona o varstvu okolja izhajajo številni podzakonski predpisi, ki urejajo odvajanje odpadnih voda. Del uredb, ki jih morajo upoštevati v kovinski industriji pri odvajanju odpadne vode, so (medmrežje 3) :

- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda,
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo barvnih kovin,
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav,
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz naprav za hlajenje ter naprav za proizvodnjo pare in vroče vode,
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih voda iz objektov in naprav za proizvodnjo kovinskih izdelkov,
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo kovinskih izdelkov,
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda,
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter pogojih za njegovo izvajanje,
- Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda,
- Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda.

Po Zakonu o varstvu okolja so za povzročitelje onesnaževanja uvedeni ukrepi za preprečevanje in zmanjšanje onesnaževanja, s predpisanimi vrednostmi emisij v okolje.

- b. Zakon o vodah ureja upravljanje z morjem, s celinskimi in podzemnimi vodami ter z vodnimi in s priobalnimi zemljišči in obsega varstvo voda, urejanje voda in odločanje o rabi voda. Ureja tudi javno dobro in javne službe na področju voda, vodne objekte ter druga vprašanja, povezana z vodami. Cilj tega zakona je doseganje dobrega stanja voda in z vodami povezanih ekosistemov, zagotavljanje varstva pred škodljivim delovanjem voda, ohranjanje in uravnavanje vodnih količin in spodbujanje trajnostne rabe voda. Upravljanje z vodami je v pristojnosti države. V tem zakonu so določene tudi dajatve za obremenjevanje voda, tako imenovane okoljske dajatve (medmrežje 9).
- c. Zakon o ohranjanju narave določa ukrepe za ohranjanje biotske raznovrstnosti in sistem varstva naravnih vrednot z namenom prispevati k ohranjanju narave. Zakon določa

predpise o okoljevarstvenih dovoljenjih, presoji vplivov na okolje za posamezne posege, okoljskih davkih in emisijskih kuponih (medmrežje 10).

»Podobno kot v večini evropskih držav, tudi v Sloveniji v skladu z Okvirno direktivo o vodah uvajamo celovito upravljanje z vodnimi viri. Prednostna naloga je odpravljanje škodljivih vplivov na vode, zagotavljanje primerne kakovosti vode za človeka in naravne ekosisteme ter ohranjanje biotske raznovrstnosti.

ARSO na področju spremljanja voda opravlja naslednje naloge:

- pripravlja programe za izvajanje monitoringa stanja voda (rek, jezer, podzemnih voda in morja),
- na podlagi rezultatov monitoringa ocenjuje kemijsko in ekološko stanje površinskih voda ter kemijsko in količinsko stanje podzemnih voda,
- izvaja opazovanja in meritve posameznih elementov vodnega kroga na vodomernih postajah za površinske vode (vodotoki, jezera, morje) ter za podzemne vode in izvire,
- letno spremlja regionalno vodno bilanco in modelsko ocenjuje napajanje vodonosnikov oz. obnavljanja podzemnih vodnih virov,
- na podlagi hidrometričnih meritev in meritev gladin določa pretoke rek, spremlja njihov režim in ugotavlja spremembe,
- opozarja pred poplavami rek in morja ter na upadanje gladin površinskih in podzemnih voda,
- upravlja z vodami na način, da varuje vodo v vseh njenih pojavnih oblikah, ureja vode in odloča o rabi voda ob upoštevanju določenih načel,
- vodi upravne postopke in izdaja upravne odločbe na podlagi predpisov, ki obravnavajo emisije v vodno okolje,
- vodi postopke in obračun vodnih povračil ter spremlja plačila,
- izdaja pooblastila za monitoringe voda in tal,
- vodi baze in evidence ter katastrofe s področja emisij, kakovosti in količin voda,
- spremlja in strokovno obdeluje poročila o monitoringu odpadnih voda,
- opravlja strokovne naloge za izvajanje meddržavnih obveznosti (medmrežje 2).«

## 2.2 Vrste odpadnih voda v industriji

Industrijske odpadne vode vsebujejo anorganske spojine in težko razgradljive ali nerazgradljive organske snovi. Odpadne vode v industriji so onesnažene glede na vrsto industrije, uporabljene surovine in procese. V večini razvitega sveta je še vedno glavni vir onesnaževanja okolja industrijska dejavnost, predvsem v tekstilni industriji (medmrežje 11).

Industrijska odpadna voda je tudi (medmrežje 12):

- odpadna voda, ki nastaja pri opravljanju kmetijske dejavnosti;
- mešanica industrijske odpadne vode s komunalno ali padavinsko odpadno vodo ali z obema, če gre za komunalno ali padavinsko odpadno vodo, ki nastaja na območju iste naprave in se pomešane odpadne vode po skupnem iztoku odvajajo v javno kanalizacijo ali v vode;
- odpadna voda, ki se zbira in odteka iz obratov ali naprav za predelavo, skladiščenje ali odstranjevanje odpadkov ali s funkcionalnih prometnih površin ob teh objektih in napravah;
- hladilna odpadna voda.

## 2.3 Čiščenje odpadnih voda

»Odpadne vode so tekoči iztoki, ki nastanejo v gospodinjstvih, v kmetijskih dejavnostih, v industrijskih obratih in jih ne smemo izpustiti neočiščene v površinske vode zaradi vplivov na zdravje ljudi, ekonomskih, estetskih ali rekreacijskih razlogov in vplivov na organizme (Madigan idr. 2000, str. 991).«

Čiščenje odpadnih voda pomeni odstranjevanje vseh škodljivih, nevarnih in hranljivih snovi s pomočjo različnih mehanskih (usedanje), fizikalno-kemičnih (koagulacija in flokulacija, usedanje, filtracija, centrifugiranje), kemijskih (nevtralizacija, obarjanje, oksidacija in redukcija) in bioloških postopkov (biokemični razkroj, aerobni in anaerobni postopki) v najkrajšem možnem času. Kombinacija bioloških, kemičnih in fizikalnih procesov tvori v industriji čiščenje odpadnih voda.

»Osnovni cilj čiščenja odpadnih voda je, da se (Roš in Župančič 2010, str. 59):

- pretvorijo odpadne snovi, prisotne v odpadnih vodah, v stabilne oksidirane končne produkte, ki jih lahko varno odvajamo v površinske vode, brez kakršnih koli škodljivih učinkov na okolje;
- ohranja javno zdravje;
- poskrbi, da bo odpadna voda učinkovito odstranjena na regularen način, brez motenj ali kršitev predpisov;
- reciklira in pridobi nazaj koristne sestavine odpadnih voda;
- poskrbi za varčen postopek odstranjevanja odpadnih voda;
- podredi zakonskim standardom in zagotovi ustrezno odvajanje odpadnih voda.«

Za obdelavo odpadnih voda se uporabljajo čistilne naprave, ki zmanjšajo ali odpravijo njeno onesnaženost. Komunalna čistilna naprava je čistilna 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. Industrijska naprava je tehnološka enota, v kateri poteka proces ali več procesov, ki pri odvajanju industrijske odpadne vode povzročajo onesnaženje voda. Posebne zahteve v zvezi z emisijo snovi pri odvajanju industrijskih odpadnih vod določajo emisijske uredbe (Uredba o emisiji, 2007).

### 2.3.1 Čiščenje komunalnih odpadnih voda

Čiščenje komunalnih odpadnih voda po Rošu (2001) ter Hammer in Hammer Jr. (2001) lahko razdelimo na štiri glavne faze:

- predčiščenje – odstranjevanje večjih odpadkov (korenine, večji materiali idr.), odstranjevanje dela maščob in kamenja ter peska;
- primarno čiščenje – odstranjevanje netopnih snovi iz vode (pesek, veje idr.). Primarno čiščenje se izvaja s postopki, kot so usedanje, izplavljanje in različne grablje, s tem lahko odstranimo do 30 % organskega bremena;
- sekundarno čiščenje – je namenjeno odstranjevanju topnih organskih snovi, katerih razkroj rabi kisik. Po navadi je ta faza biološka in v tej fazi je najpogostejši in najučinkovitejši proces čiščenja z aktivnim blatom;
- v zadnji fazi se odstranijo suspendirane snovi, kot so biološko nerazgradljivi organski onesnaževalci okolja (klorofenoli, pesticidi, bifenili ...) in raztopljene organske snovi, ki ostanejo po sekundarnem čiščenju (dušik, fosfor). Na koncu lahko sledi še dezinfekcija, s katero se odstranijo patogeni mikroorganizmi.

### 2.3.2 Čiščenje industrijskih odpadnih voda

V industriji se uporabljajo čistilne naprave za čiščenje in recikliranje odpadnih voda pri obratih, kot so tekstilne tovarne, usnjarne, papirnice, železarne, rudniki urana in bakra, jamske vode, kovinska industrija (Gorenje, d. d.), kemična industrija idr.

Odvajanje in čiščenje odpadnih industrijskih voda je možno na dva načina:

- priklop na javno kanalizacijo in čiščenje na komunalni čistilni napravi – posebna storitev gospodarskih javnih služb, ki ne spada v okvir javne službe odvajanja in čiščenja,
- lastno odvajanje in čiščenje – predčiščenje pred odvajanjem v javno kanalizacijo ali celotno odvajanje in čiščenje na lastni čistilni napravi.

Za čiščenje industrijskih odpadnih voda se uporabljajo različne tehnike obdelave odpadnih voda (medmrežje 13):

- tehnike ločevanja ali bistrenja, ki se uporabljajo skupaj z drugimi postopki, kot prvi korak ali kot končni korak bistrenja: separacija skozi pesek, sedimentacija, flotacija z zrakom, filtriranje, mikrofiltriranje/ultrafiltriranje, separacija olj in vode;
- fizikalno-kemične tehnike obdelave, ki se uporabljajo za biološko nerazgradljive odpadne vode: obarjanje/sedimentacija/filtriranje, kristalizacija, kemična oksidacija, hidroliza, nanofiltracija/obratna osmoza, adsorpcija, ionska izmenjava, ekstrakcija, destilacija/rektifikacija, uparevanje, prepihovanje, sežiganje;
- tehnika biološke obdelave se uporablja za biološko razgradljive odpadne vode: »Mikroorganizmi lahko razgrajujejo organsko snov tako v naravi kot v bioloških čistilnih napravah pri različnih oksidacijskih pogojih. Odpadna voda, ki se vodi na čistilno napravo, ne sme vsebovati strupenih snovi, ker lahko zavirajo biološko aktivnost mikroorganizmov. Zato ločimo pri biološkem čiščenju aerobne, anaerobne in anoksične pogoje (Roš in Župančič 2010, str. 96).«
  - Aerobni pogoji so tisti, pri katerih mikroorganizmi uporabljajo kot akceptor elektronov raztopljeni kisik.
  - Anaerobni pogoji so tisti, pri katerih mikroorganizmi dobivajo kisik iz organskih spojin ali iz sulfatnega iona, v sistemu pa ne sme biti prisoten raztopljeni kisik, ker ta zavira delovanje anaerobnih mikroorganizmov.
  - Anoksični pogoji so tisti, pri katerih mikroorganizmi dobivajo kisik iz nitritnega in nitratnega dušika.

Ti pogoji čiščenja simulirajo biološke procese čiščenja vode, kot se dogaja v naravi.

Pri biološkem čiščenju po Rošu in Župančiču (2010) ločimo:

- *nitrifikacija*, ki je dvostopenjska biokemijska reakcija in jo izvedejo avtotrofni organizmi, imenovani nitrifikatorji ali nitrifikacijske bakterije;
- *denitrifikacija*, ki je biokemijski proces in ga izvedejo heterotrofni organizmi in poteka v anoksičnih razmerah.

»Na proces nitrifikacije in denitrifikacije vplivajo koncentracija raztopljenega kisika, temperatura, pH vrednost, oksidacijsko-redukcijski potencial, starost blata in inhibitorji ter toksične stvari (Kurbus idr., str. 23–25).«

Poleg navedenih tehnik čiščenja Roš in Župančič (2010, str. 171–197) navajata še napredni postopek čiščenja odpadnih voda, ki temelji na obravnavi ene ali več naslednjih potreb:

- potrebe po odstranjevanju organskih snovi in celotnih suspendiranih snovi iz tistega, kar je mogoče doseči s konvencionalnimi sekundarnimi postopki čiščenja, ki ustrezajo strožjim zahtevam za odvajanje vode v sprejemnikih in zahteve po ponovni uporabi obdelane vode;

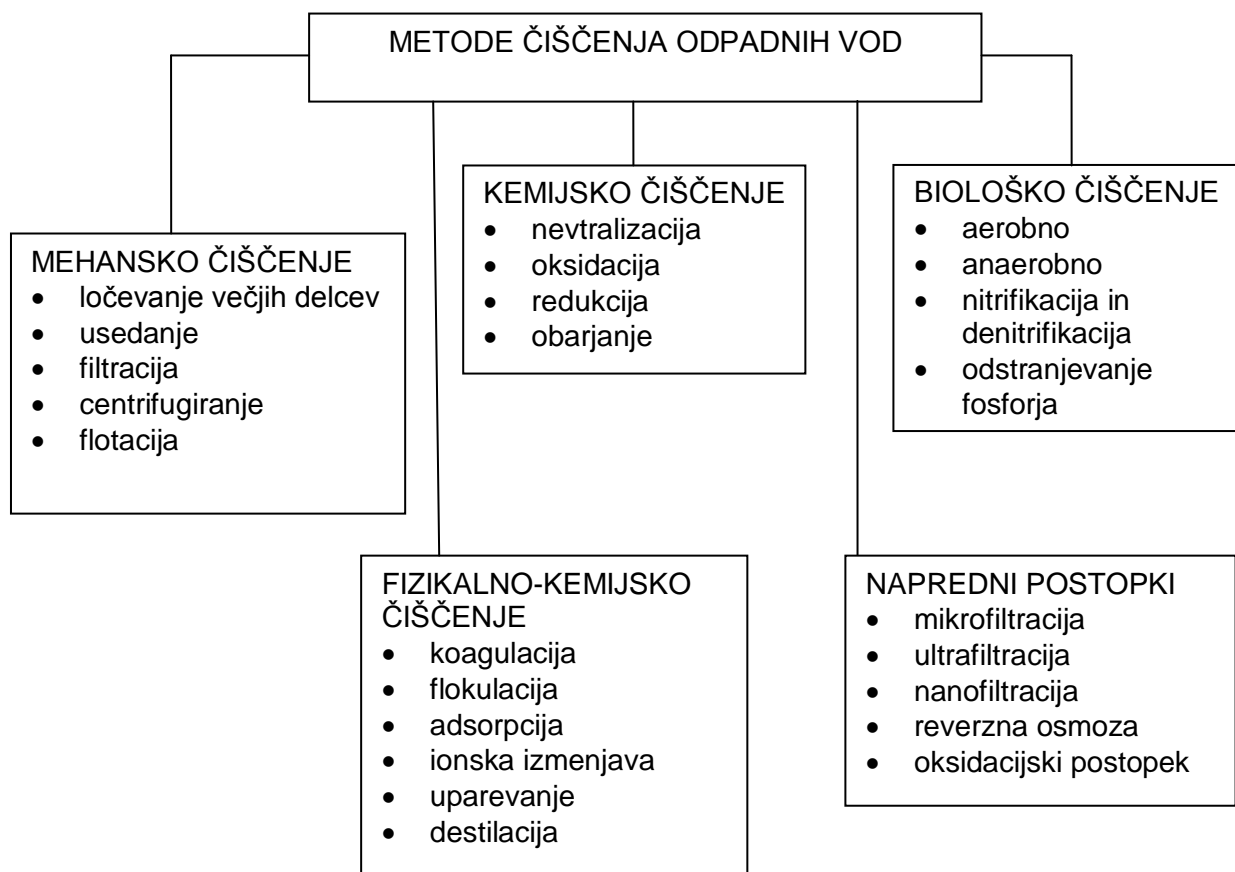
- potrebe po odstranjevanju preostalih celotnih suspendiranih snovi do pogojev prečiščene vode za učinkovitejšo dezinfekcijo;
- potrebe po odstranjevanju hraniv (nutrientov) iz tistega, kar je mogoče doseči s konvencionalnimi sekundarnimi postopki čiščenja, da bi omejili eutrofikacijo občutljivih vodnih teles;
- potrebe po odstranjevanju specifičnih anorganskih (npr. težke kovine) in organskih spojin (npr. pesticidi, herbicidi, PCB), ki ustrezajo strožjim zahtevam za odvajanje vode tako za površinske vode in razprševanje prečiščene vode po zemlji kot za posredno ponovno uporabo pitne vode (npr. napajanje podtalnice);
- potrebe po odstranjevanju specifičnih anorganskih (npr. težke kovine, kremen) in organskih spojin za ponovno industrijsko uporabo obdelane vode (npr. za hladilno vodo, procesno vodo, vodo za nizkotlačne kotle in vodo za visokotlačne kotle).

Najpogostejši napredni postopki čiščenja so:

- globinska filtracija - vključuje odstranjevanje trdnih snovi, suspendiranih v tekočini, s prehajanjem tekočine skozi filtrirno podlago in vsebuje granuliran ali stisljiv material;
- površinska filtracija – vključuje odstranjevanje trdnih suspendiranih snovi iz tekočine z mehanskim sejanjem tako, da gre tekočina skozi tanko mehansko pregrado (filtrirni material);
- membranska filtracija – s filtracijo se lahko iz vode odstrani trdne in delno koloidne delce. Območje filtracije se razširi na raztopljene snovi. Vloga membranske filtracije je uporabiti posebne membrane, ki dovolijo prehod samo nekaterim snovem, ki so prisotne v tekočini;
- adsorpcija – je proces akumulacije snovi iz raztopine na primerni površini. Je proces masnega prenosa, pri katerem se komponenta iz tekoče faze prenese na trdno fazo;
- ionska izmenjava – je postopek, pri katerem se ioni določene vrste izmenjajo iz netopnega izmenjalnega materiala (ionski izmenjevalci) z ioni določene vrste iz raztopine (odpadne vode). Najširšo uporabo ima proces za mehčanje vode;
- napredni oksidacijski procesi – uporabljajo se za oksidacijo kompleksnih organskih snovi, ki jih najdemo v odpadni vodi in so težko biološko razgradljive.

Po Lobniku idr. (2008) so »pomembne tudi vsebnost neraztopljenih in usedljivih snovi, kemijska (KPK) in biokemijska (BPK) potreba po kisiku. Glede na značilnost vira odpadnih voda določamo tudi vsebnost težkih kovin, dušikovih spojin, fosforja, klora in žveplovih spojin ter celotni organski ogljik (TOC), masti, olja, fenole in površinsko aktivne snovi. Zelo pomembna parametra odpadnih voda sta biorazgradljivost in strupenost, ki sta medsebojno povezana.« Odpadna voda, ki vsebuje strupene snovi, lahko zmanjša aktivnost bakterij, posledično se zniža tudi stopnja biološke razgradnje. Hitrost in obseg biorazgradnje sta pogojena s strukturo snovi in količino ter tipom mikroorganizmov.

Pred začetkom čiščenja odpadnih voda moramo poznati njen izvor oziroma tehnologijo, kjer je nastala. Za ovrednotenje odpadnih voda uporabljamo parameter onesnaženosti odpadnih voda, s katerimi so po predpisanem merilnem postopku izmerjene temperatura, pH vrednost, obarvanost, strupenost, koncentracija snovi ali podobna lastnost odpadnih voda. Ko poznamo potrebne parametre odpadnih voda, se odločimo, s katerim postopkom čiščenja (slika 1) bomo obdelali odpadno vodo. Čiščenje odpadnih voda je lahko mehansko čiščenje, fizikalno čiščenje, kemijsko čiščenje, napredno čiščenje ali biološko čiščenje.



Slika 1: Postopek čiščenja odpadnih voda  
Vir: Roš in Župančič 2010, str. 60

Postopki učinkovitega čiščenja odpadnih voda in recikliranja/pridobivanja težkih kovin omogočajo tudi zmanjšanje stroškov porabe električne energije in za uspešno čiščenje ne zahtevajo kemikalij.

## 2.4 Monitoring odpadnih voda

Preverjanje kvalitete odpadnih voda se opravlja po pravilniku o prvih meritvah in obratovnem monitoringu odpadnih voda. Pravilnik določa (medmrežje 14):

- Parametre – osnovni parametri za industrijske odpadne vode ali mešalnice odpadnih voda so temperatura, pH-vrednost, neraztopljene in ujedljive snovi, kemijska potreba po kisiku (KPK) in biokemijska potreba po kisiku (BPK). Dodatni parametri za industrijske odpadne vode so tisti, za katere je s predpisom določena mejna vrednost. To velja za tiste industrijske odpadne vode iz naprav, katerih letna emisija presega količine pri običajnem obratovanju naprave. Prav tako je za industrijsko odpadno vodo, ki vsebuje prednostne snovi ali prednostne nevarne snovi, ki se odvajajo v vodo, dodan dodaten parameter merjenja glede strupenost na vodne bolhe.  
Osnovni parametri za komunalno odpadno vodo pa so neraztopljene snovi, KPK in BPK, kadar je komunalna odpadna voda iz komunalne ali skupne čistilne naprave in KPK in BPK, kadar je odpadna komunalna voda iz malih komunalnih čistilnih naprav.
- Vrste in obseg prvih meritev – izvedejo se po prvem zagonu ali rekonstrukciji čistilne naprave in ob vsaki večji spremembi v obratovanju naprave. Izvajajo se v enakomernih časovnih presledkih, ki niso krajši od desetih dni, in v času, ko je naprava polno obremenjena. Število meritev in čas vzorčenja reprezentativnega vzorca pri prvih meritvah na merilnem mestu na iztoku iz naprave, iz katere se odvaja industrijska



odpadna voda, se določa na podlagi preglednice. Za preizkušanje mikrobioloških parametrov se odvzame trenutni vzorec. Prve meritve odpadnih voda vključujejo:

- merjenje osnovnih in dodatnih parametrov odpadnih voda,
  - pretok odpadne vode med vzorčenjem na merilnem mestu na iztoku iz naprave, če so le-te predpisane,
  - merjenje pretoka in temperature vodotoka, v katerega se odvajajo odpadne vode, če so te meritve predpisane.
- Vrste in obseg obratovalnega monitoringa odpadnih voda – obratovalni monitoring vključuje izvedbo trajnih meritev pretoka in temperature odpadnih voda ter trajnih meritev pretoka in temperature vodotoka, v katerega se odvajajo odpadne vode. Trajne meritve morajo zagotoviti podatke o letni količini odpadnih voda, največjem šesturnem povprečnem pretoku odpadnih voda, največji dnevni količini odpadnih voda in količini odpadnih voda ter povprečni vrednosti pretoka odpadnih voda med vzorčenjem odpadnih voda. Vključuje tudi izvedbo občasnih meritev osnovnih parametrov ter pretoka odpadnih voda med vzorčenjem. Občasne meritve se izvajajo med obratovanjem naprave v enakomernih časovnih presledkih v koledarskem letu ali v obdobju obratovanja, če naprava ne obratuje celotno koledarsko leto. Pogostost občasnih meritev se določa glede na njeno zmožljivost.
  - Metodologijo vzorčenja, merjenja in analiziranja vzorcev – reprezentativni vzorec se vzorči ročno ali s samodejnimi vzorčevalniki. Vzorčenje se opravlja v različnih časovnih zaporedjih (6-urni, 14-urni, 24-urni čas vzorčenja). Za merilno mesto, kjer je na iztoku industrijske odpadne vode določen reprezentativni vzorec, se lahko namesto tega odvzame tudi kvalificirani trenutni vzorec (v primeru, da je zadrževalni čas industrijske odpadne vode daljši od 24 ur in kadar se več kot 85 % povprečne dnevne količine industrijske odpadne vode, glede na letno količino odvede v manj kot 4 urah). Za merjenje posameznega parametra odpadnih voda se uporabljajo metode, ki so potrjene v skladu s standardom SIST ISO/IEC 17025 ali z drugimi mednarodno priznanimi standardi. Analiza homogenih vzorcev in določitve koncentracije snovi so obvezne samo za tiste parametre odpadne vode, ki so v pravilniku posebej označeni.
  - Metodologijo merjenja pretoka odpadnih voda – uporabljajo se referenčne metode, določene s standardi.
  - Vrednotenje – povprečna vrednost parametra odpadne vode se za posamezno obdobje merjena izračuna kot povprečje merjenja opravljenih vseh meritev.
  - Način in obliko poročanja podatkov o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu – pooblaščen izvajalec obratovalnega monitoringa mora o opravljenih prvih meritvah izdelati poročilo, ki ga predloži najkasneje v 30 dneh po opravljenih meritvah Ministrstvu za okolje in prostor, in sicer na obrazcu, ki je objavljen na spletnih straneh ARSO.
  - Vsebinsko poročila o opravljenih prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda.

Pravilnik določa tehnične pogoje za izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa odpadnih voda ter razloge za odvzem pooblastil za izvajanje monitoringa. Izvedba obratovalnega monitoringa obsega (prav tam):

- merjenje pretoka in temperature vodotoka,
- merjenje pretoka odpadne vode med vzorčenjem,
- vzorčenje odpadne vode,
- merjenje temperature in pH-vrednosti odpadne vode med vzorčenjem,
- pripravo, prevoz in shranjevanje vzorcev,
- kemijsko, biološko in ekotoksikološko analizo vzorca odpadne vode glede na osnovne in dodatne parametre ter mikrobiološko preskušanje vzorca,
- vrednotenje emisije snovi, emisijskega deleža oddane toplote ter izračun letne količine odpadne vode in letne količine onesnaževal,
- izračun letnega seštevka enot obremenitve okolja zaradi odvajanja odpadnih voda, če gre za napravo, iz katere se odvaja industrijska odpadna voda,

- izdelavo poročila o opravljenih meritvah.

Od leta 1998 so podatki o obratovalnem monitoringu komunalnih ali skupnih čistilnih naprav ter od leta 2000 podatki o obratovalnem monitoringu industrijskih čistilnih naprav javno dostopni na spletni strani ARSO (preglednici 1 in 2). Rezultati analiz monitoringa posameznih parametrov po splošni uredbi na čistilnih napravah niso javno dostopni (Uredba o emisiji snovi 2005).

Preglednica 1: Količina čiščene odpadne vode po posameznih stopnjah čiščenja za obdobje 11 let

Vir: Medmrežje 15

Stopnja čiščenja	Leto, za katero veljajo podatki									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Mehanska	32619	30591	34450	0	0	0	0	0	0	0
Primarna	14362	13405	14086	8779	8035	4560	467	458	450	433
Sekundarna	38485	48409	45642	72965	77945	90991	90124	98010	77443	81826
Terciarna	2633	12744	26656	27933	27209	30694	41063	47193	42064	48261
SKUPAJ	88099	105150	120834	109677	113190	126245	131654	145661	119958	130519
Količina čiščene odpadne vode (1000 m <sup>3</sup> /leto)										

Preglednica 2: Skupna velikost čistilnih naprav po posameznih stopnjah čiščenja po letih

Vir: medmrežje 15

Stopnja čiščenja	Leto, za katero veljajo podatki									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Mehanska	408050	410250	375000	0	0	0	0	0	0	0
Primarna	196810	169578	174438	134920	134650	49500	15000	15350	15150	15150
Sekundarna	931974	1042324	1078474	1480956	1471197	1523221	1484431	1495297	1519475	1460828
Terciarna	72600	286700	445833	507133	542687	581333	854333	886687	908954	977824
SKUPAJ	1609434	1908852	2073745	2123009	2148534	2154054	2353764	2397334	2443579	2453802
Skupna velikost delujočih čistilnih naprav (PE)										

»Nekatere države so same vzpostavile svoja priporočila in pravilnike, ki določajo minimalno kakovost vod, medtem ko večina držav v Evropi uporablja priporočila, ki jih je podala Mednarodna zdravstvena organizacija (WHO). Evropska direktiva je postavila temelje uporabe različnih vodnih virov. Njena morebitna vzpostavitev za uporabo prečiščene odpadne vode bi imela številne prednosti, saj bi spodbudila javnost k razumevanju in vzpostavitvi projektov recikliranja vode in njihove ponovne uporabe (Lazarova in Bahri 2005, str. 408).«

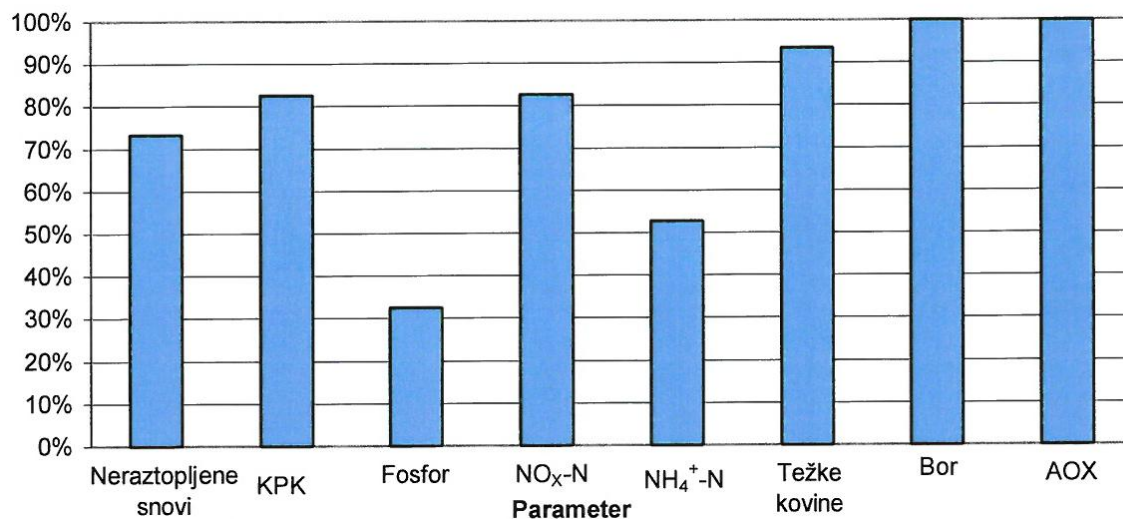
V skladu z Evropsko direktivo v Sloveniji bazo podatkov onesnaževanja voda po dejavnostih in parametrih vodi ARSO. V bazi je opredeljenih 543 virov onesnaževanja, in sicer 86 virov s pretežno biorazgradljivimi odpadnimi vodami iz živilske industrije in 457 industrijskih virov, katerih odpadne vode vsebujejo nevarne snovi. Med nevarne snovi, ki jih odvedejo industrijski obrati v Sloveniji v večjih količinah, so tudi težke kovine in njihove spojine (cink,

nikelj, krom, svinec, živo srebro in kadmij). Največji delež kovin v vode prispevajo industrijski obrati za proizvodnjo kovin in kovinskih izdelkov prikazano v preglednici 3.

Preglednica 3: Onesnaževanje voda po dejavnostih in parametrih  
Vir: Medmrežje 16

Dejavnost po SKD	parameter (ton(letno))														
	Nerazt. sn.	KPK	AOX	P	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Zn	Ni	Cu	Cr	B	Hg	Cd	Pb
CA	818,7	507,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
CB															
DA	616,0	3790,6	0,4	20,8	8,6	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0
DB	70,2	398,2	0,2	3,3			5,7	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0
DC	521,0	1789,5	0,0	3,5			53,9	0,0			2,0				0,0
DD	31,7	129,4	0,0	0,0				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DE	4255,7	25447,4	702,0	8,4	0,0		11,7	0,0	0,0				0,0	0,0	0,0
DF	52,5	322,5	0,1				20,9								
DG	532,5	909,4	0,2	4,3	0,5	0,7	56,2	3,7	0,0	0,4	0,0	56,3		0,0	0,0
DH	39,4	49,8	0,0	0,1		0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0				
DI	163,4	86,3	0,0	0,4	0,3	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0			0,0	0,1
DJ	627,9	291,9	0,2	1,9	51,4	0,7	1,8	1,1	3,2	0,1	3,9	0,4	0,0	0,0	0,2
DK	16,0	45,9	0,0	0,8	0,2		0,2	0,2	0,4	0,0	0,1		0,0	0,0	0,0
DL	31,2	78,0	0,0	0,3	1,8	0,0	0,5	0,5	0,1	0,1	0,0		0,0	0,0	0,0
DM	1,0	2,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0
DN	31,4	16,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0
<b>Skupaj</b>	<b>7808,6</b>	<b>33864,8</b>	<b>703,1</b>	<b>43,9</b>	<b>62,9</b>	<b>1,4</b>	<b>182,7</b>	<b>5,9</b>	<b>3,9</b>	<b>0,7</b>	<b>6,1</b>	<b>56,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>

Delež onesnaževanja voda velikih industrijskih obratov je zelo velik, kot je prikazano v grafu 1. Veliki industrijski obrati so povzročitelji skoraj vsakega onesnaženja voda z bromom, AOX, NO<sub>x</sub> in s težkimi kovinami. Njihov delež pri obremenjevanju voda s KPK je višji od 80 %, z neraztopljenimi snovmi pa višji od 70 %. So povzročitelji dobre polovice onesnaženja voda z amonijevim dušikom in 30 % s fosforjem.



Graf 1: Deleži onesnaževanja voda iz velikih industrijskih obratov po posameznih parametrih  
Vir: Medmrežje 16

### 3 SKRB ZA VAROVANJE OKOLJA V GORENJU d.d.

Skupina Gorenje je največji slovenski neto izvoznik in se uvršča med 8 največjih proizvajalcev bele tehnike v Evropi, kjer dosega stabilni 4 % tržni delež. Temeljno poslanstvo Gorenja, d. d., je ustvarjati inovativne, tehnološko odlične proizvode in storitve, navdihnjene z dizajnom, ki uporabnikom prinašajo preprostost.

Gorenje, d. d., razvija tudi vse tiste obstoječe dejavnosti, ki imajo možnost rasti in ustvarjajo sinergijski učinek s temeljno dejavnostjo. Med temi podjetje posebno pozornost namenja strojogradnji, orodjarstvu, izdelavi grelnikov vode, računalništvu, gostinstvu, turizmu in trgovini. V evropskem merilu je Gorenje, d. d., prepoznano kot pomemben proizvajalec okolju prijaznih velikih gospodinjskih aparatov. Skrb za okolje je v vrhu prioritet razvojne strategije. Politika varstva okolja zajema celoten cikel izdelka od faze načrtovanja izdelka, kasnejše izdelave, do končne uporabe in ravnanja z izdelkom po izteku življenjske dobe. Skupino Gorenje sestavlja krovna družba Gorenje Gospodinjski aparati, d. d., ali skrajšano Gorenje, d. d., ter 35 družb, ki so povezane v sistemu na podlagi kapitalskih deležev. V letu 2013 je bilo v Skupini Gorenje zaposlenih 10.639 delavcev. V Gorenju, d. d., proizvedejo preko 3 milijone velikih gospodinjskih aparatov v lastni proizvodnji in pod svojimi blagovnimi znamkami (medmrežje 17).

Leta 1985 je bil v Gorenju, d. d., ustanovljen oddelek ekologije, kjer so postavili temelje razvojnega dela na področju varstva okolja. V skladu z zahtevami BAT je bilo uvedeno načelo uvajanja čistejših tehnologij. Z uvedbo sistema ravnanja z okoljem, po zahtevah standarda ISO 14001, so bili že leta 1998 postavljeni okoljski cilji, med katerimi so bili odpadki opredeljeni kot pomemben okoljski vidik. V sklopu izvajanja okoljskih programov je bil vzpostavljen ločen sistem zbiranja nevarnih odpadkov, nenevarnih kovinskih odpadkov ter komunalnih odpadkov iz industrije (medmrežje 17).

Skrb za okolje in uvajanje sodobnejših tehnologij, postopkov in materialov sta doprinesla k zmanjšanju količin odpadkov v proizvodnem procesu in znižala porabo energentov (električne energije, vode, zemeljskega plina ...). Cilj, ki ga želijo doseči, so aparati, ki porabijo manj električne energije, vode in pralnih sredstev. Dokaz vlaganj in prizadevanj v skrbi za okolje so podeljeni certifikati, kot so ISO 9001:2000 (za kakovost), ISO 14001:2004 in EMAS (za sisteme ravnanja z okoljem) ter OHSAS 18001:2007 (za varno in zdravo delo) ter številne domače in tuje nagrade (medmrežje 17).

Gorenje, d. d., za svojo dejavnost uporablja vrsto naprav in postopkov za obdelavo kovin, in sicer galvaniziranje, lakiranje in emajliranje. Vse navedeno povzroča nastajanje odpadnih industrijskih voda, ki se čistijo v skupni notranji mehansko-kemijski čistilni napravi. Zaradi predstavljenih tehnoloških postopkov ter povezav v industrijskem kompleksu v Velenju je bila sprejeta odločitev v soglasju z odgovornimi osebami za implementacijo Direktive IPPC. Z vidika priprave dokumentacije v podjetju Gorenje, d. d., obsega vloge ter pripadajočih prilog je bila za podjetje to nedvomno pravilna odločitev. Tak pristop je omogočal večjo transparentnost med posameznimi napravami in podnapravami, saj so v Gorenju, d. d., v vlogi celotno lokacijo razdelili na 31 naprav in 184 podnaprav. Tako je poslovanje Gorenja, d. d., na lokaciji v Velenju opredeljeno v enem celovitem okoljskem dovoljenju (medmrežje 17).

Pri pripravi potrebne dokumentacije za oddajo vloge so poleg zahtev Direktive IPPC upoštevali tudi zahteve vertikalnega BREF-a za površinsko obdelavo kovin in plastike ter serijo horizontalnih BREF-ov, kot so na primer hladilni sistemi, sistemi monitoringa, ekonomski in križni učinki, emisije pri skladiščenju surovin ali naravnih surovin in energetska učinkovitost. Prav tako je bilo treba upoštevati vso pripadajočo okoljsko zakonodajo Republike Slovenije. Ker zakonodaja IPPC zelo omejuje okoljske vplive na posamezni

lokaciji, so se v podjetju že takrat zavedali nujnosti dolgoročnih odločitev o razvoju površinskih obdelav na celotnem industrijskem kompleksu. Zato so izdelali temeljit posnetek stanja varstva okolja v Gorenju, d. d., na lokaciji v Velenju in pripravili desetletni investicijski plan posodobitve tehnoloških postopkov. Tako so leta 1994, še v obdobju razprav o Direktivi IPPC, nadomestili cianidno in kislno bakrenje z dvojnimi nikljanjem na liniji kromanja, kar jim je leta 1996 (ob izidu Direktive IPPC) omogočalo postavitev vakuumskega uparjalnika in elektrolizne celice za ponovno pridobivanje niklja iz izpirnih vod. To galvansko linijo so nato v letu 1997 nadgradili še s postavitvijo vakuumskega uparjalnika za ponovno pridobivanje kroma iz izpirnih vod. Druge linije galvaniziranja (cinkanje, nikljanje) so v tem obdobju ostale nespremenjene, saj je bila njihova posodobitev načrtovana za obdobje 2001 (medmrežje 18).

Velik tehnološki izziv so za vse strokovne sodelavce v podjetju predstavljale obstoječe tehnologije lakiranja, vključno s pripadajočimi predobdelavami. Zaradi velikosti teh linij in njihovega števila so leta 1996 izdelali idejni načrt zamenjave tehnologije klasičnega lakiranja na osnovi organskih topil z alternativnimi postopki. Kot okoljsko in ekonomsko najoptimalnejšo tehnologijo se je pokazala uporaba lakov v prahu, ki je ob ustrezni kakovosti polizdelkov omogočala posodobitev predobdelav pločevine. Tako so v obdobju treh let, s pričetkom leta 1998, zamenjali vse obstoječe lakirnice s tehnologijo lakiranja v prahu, vključno z novimi predobdelavami, ki so vsebovale postopke za reciklažo delovnih kopeli (podaljševanje življenjske dobe delovnih kopeli, izločanje olj, sistemi za varčevanje z vodo). Leta 2000 so ta ciklus končali z novo lakirnico v novi tovarni hladilne tehnike. Obenem pa je v tem obdobju potekal intenzivni investicijski ciklus v krožne sisteme za hlajenje strojev in naprav. Gorenje, d. d., je v rokih, kot je zahtevala okoljska zakonodaja, podalo vlogo za pridobitev celovitega okoljskega dovoljenja. Vloga je bila zaradi velikosti in obsega delovanja podjetja zelo obsežna v strokovnem in »papirnem« obsegu (medmrežje 18).

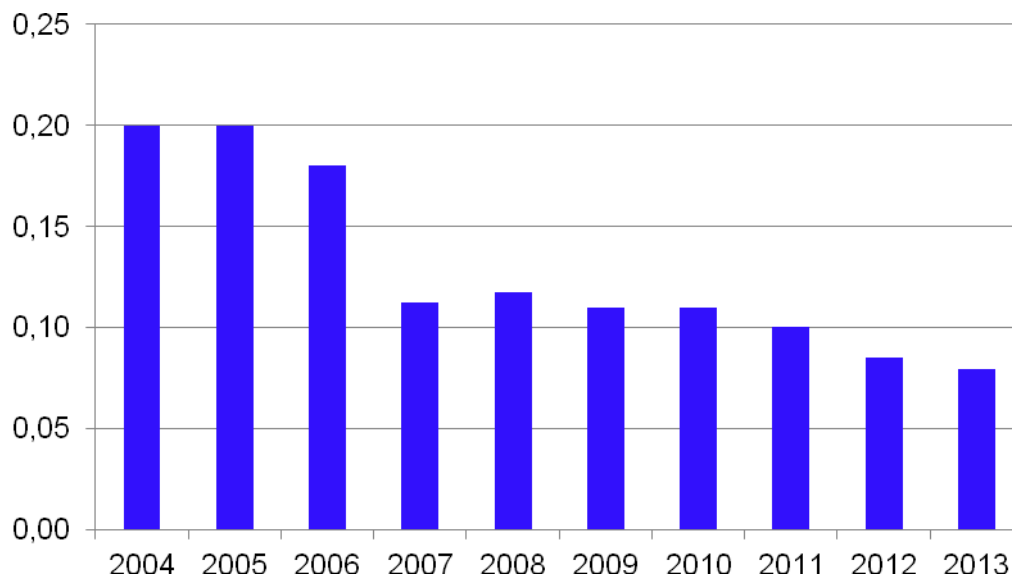
Celovito okoljsko dovoljenje je za Gorenje, d. d., le temelj, ki bo opredeljeval vse okoljske aktivnosti v naslednjem desetletnem obdobju. Zaradi hitrega razvoja stanja tehnike in materialov na področju kovinskopredelovalne industrije pričakujejo v naslednjih letih zelo dinamično poslovanje z nenehnim prilagajanjem novim okoljskim zahtevam. Ker je Gorenje, d. d., med svoje vrednote uvrstilo pošten, odprt in lojalen odnos do vseh zainteresiranih javnosti, si bodo tudi v prihodnje prizadevali ohraniti in nadgrajevati sistemski pristop obvladovanja na področju varstva okolja, kot ga zahteva EMAS. Implementacija Direktive IPPC nima konca, saj je kot zgodba, ki ji je mogoče nenehno dodajati nove motive IPPC v Sloveniji (medmrežje 18)

Na vseh proizvodnih lokacijah ima podjetje Gorenje, d. d., v skladu s politiko varstva okolja definirane dolgoročne in letne cilje, ki se nanašajo predvsem na zmanjševanju nastajanja odpadkov ter porabe vode in energentov. Podjetja v skupini imajo vsa potrebna okoljska dovoljenja in so pod rednim nadzorom nacionalnih inšpektoratov ter delujejo v skladu z okoljsko zakonodajo.

Zmanjšanje porabe vode dosegajo z vpeljavo linij z varčevalnimi izpiranji, vodenjem evidenc porabe, s sistematičnim spremljanjem porabe vode v okviru projekta 20 ključev ter z izobraževanjem in ozaveščanjem zaposlenih. Količino porabljene vode spremljajo preko števca na vhodu v podjetje in na posameznih proizvodnih linijah (Povodnik 2012).

Odkar se v Gorenju, d. d., sistematično ukvarjajo z varstvom okolja, zmanjšujejo tudi letno porabo vode na vseh področjih delovanja. To se pozna tudi v oddelkih površinske zaščite, iz katerih se onesnažena odpadna voda odvaja na čiščenje v Centralno čistilno napravo, od tam pa očiščena v reko Pako (prav tam).

V grafu 2 so prikazani podatki porabe vode, preračunani na enoto (m<sup>3</sup>/kos) proizvoda za posamezne proizvodne lokacije, ki pa se zaradi različnih tehnoloških postopkov razlikujejo.



Graf 2: Poraba vode v Gorenju, d. d., Velenje od leta 2004 do 2013

Vir: Medmrežje 19

Dopustne vrednosti emisije snovi v vode na enem izmed merilnih mest v Gorenju, d. d. smo prikazali v preglednici 4.

Preglednica 4: Dopustne vrednosti emisije snovi v vode na merilnem mestu MMV 1 v Gorenju, d. d.. Vir: Interni dokumenti Gorenja, d. d.

Parameter	Izražen kot	Dopustna vrednost do 31.12. 2012	Dopustna vrednost od 31.12. 2012
Temperatura		30 °C	30 °C
Ph-vrednost		6,5–9,0	6,5–9,0
Neraztopljene snovi		80 mg/l	30 mg/l
Usedljive snovi		0,5 ml/l	0,5 ml/l
Strupenost na vodne bolhe	Sp	5	5
Aluminij	Al	3,0 mg/l	2,5 mg/l
Baker	Cu	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Cink	Zn	2,0 mg/l	2,0 mg/l
Celotni krom	Cr	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Krom, šestvalentni	Cr	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Nikelj	Ni	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Železo	Fe	3,0 mg/l	3,0 mg/l
Amonijev dušik		18 mg/l	18 mg/l
Nitritni dušik		2,2 mg/l	2,2 mg/l
Ciand prosti	CN	0,0285 mg/l	0,0285 mg/l
Fluorid	F	28 mg/l	33 mg/l
Celotni fosfor	P	2,0 mg/l	2,0 mg/l
Sulfat	SO <sub>4</sub>	1187 mg/l	1187 mg/l
Kemijska potreba po kisiku (KPK)	O <sub>2</sub>	268 mg/l	224 mg/l
Biokemijska potreba po kisiku (BPK5)	O <sub>2</sub>	40 mg/l	40 mg/l
Težkohlapne lipofilne snovi		20 mg/l	20 mg/l
Celotni ogljikovodiki (mineralna olja)		10 mg/l	8 mg/l
Adsorbiljivi organski halogeni (AOX)	Cl	1,0 mg/l	1,0 mg/l
Lahkohlapni klorirani ogljikovodiki (LKCH)		0,1 mg/l	0,1 mg/l

V preglednici 5 so predpisane in prikazane največje dovoljene količine posamezne nevarne snovi, ki se z odpadno industrijsko vodo odvaja v vodotok Paka .

Preglednica 5: Letne količine parametrov nevarnih snovi, ki se odvajajo v vodotok Paka z industrijskega kompleksa v Gorenju, d. d.

Vir: Interni dokumenti Gorenja, d. d.

Parameter	Izražen kot	Enota	Največja letna količina
Baker	Cu	kg/letno	6,9
Cink	Zn	kg/letno	138,4
Krom	Cr	kg/letno	13,8
Nikelj	Ni	kg/letno	27,7
Mineralna olja		kg/letno	69,2
Adsorbiljivi organski halogeni (AOX)	Ci	kg/letno	27,7



#### 4 PREDSTAVITEV CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE V GORENJU, D. D.

Industrijske odpadne vode, ki nastajajo v Gorenju, d. d., Velenje in se odvajajo v vodotok Paka, v procesih predobdelave pred emajliranjem, lakiranjem in galvaniziranjem očistijo v mehansko-kemijski čistilni napravi. Za zmanjšanje količin in obremenjenosti odpadnih voda na izvoru se v procesu tehnoloških postopkov uporabljajo različne metode (kaskadna izpiranja, oljni separatorji, elektrolizne celice ...).

Centralna čistilna naprava v Gorenju, d. d., je infrastruktura za čiščenje odpadnih voda, ki jih očiščene odvajajo neposredno v reko Pako. Gre za mehansko-kemijske postopke, kjer skozi procese očistijo vodo do te mere, da ni več škodljiva za okolje. Cilj postopka čiščenja odpadne vode je varovanje okolja pred težkimi kovinami in drugimi škodljivimi snovmi, ki se nahajajo v odpadni vodi.



Slika 2: Centralna čistilna naprava v Gorenju, d. d., Velenje

Vir: Interna galerija slik Gorenja, d. d.

»V CČN dotekajo odpadne vode iz oddelkov površinske zaščite pred lakiranjem, emajliranjem in z linije kromanja v Galvani. Odpadne vode, ki nastajajo v teh oddelkih (industrijske odpadne vode), vsebujejo nevarne sestavine: kisline, luge, železo, krom, nikelj, cink, aluminij, cirkonij in baker, fosfate, nitrate, nitrite, fluoride, sulfate, borate, silikate, karbonate, kloride, razgradljive tenzide, maščobe, soli organskih kislin in delce emajlov. Po sestavi se te odpadne vode v osnovi razvrščajo na: kislota kromatne in kisle ali alkalne. Po koncentraciji pa na: izpirne vode (s pretežno kontinuiranim pretokom) ter koncentrate (občasno izpuščene izrabljene delovne kopeli). Izpirne vode dotekajo na CČN ves čas v času

proizvodnje v oddelkih površinske zaščite, izrabljene koncentrirane kopeli (koncentrati) pa se praviloma izpuščajo v času, ko proizvodnja ne obratuje (Povodnik 2012).«

#### **4.1 Izvor odpadnih voda v Gorenju, d. d., Velenje**

Opadne vode nastajajo pri površinski zaščiti pločevine in žice.

»Količina proizvodnje, ki je v letu 2013 povzročala industrijsko odpadno vodo, je glede na različne vrste proizvodov velikih gospodinjskih aparatov znašala (Interni dokumenti Gorenja, d. d.):

- hladilno-zamrzovalni aparati: 124.098 kosov,
- kuhalni aparati: 1.048.346 kosov,
- pralni in sušilni aparati: 727.158 kosov,
- pomivalni aparati: 32.102 kosov,
- skupna letna proizvodnja gospodinjskih aparatov: 1.931.704 kosov

Osnovni vir vode za proizvodnjo Gorenja, d. d., dobavlja Komunalno podjetje Velenje v obliki pitne vode. V proizvodnji se velika količina vode porabi kot hladilno sredstvo (okoli 47 %) ter za tehnološke namene kot so galvanizacija, predobdelava polizdelkov pred lakiranjem in emajliranjem (okoli 33 %), preostanek pa za sanitarne namene. Letno se porabi okoli 80.000 m<sup>3</sup> vode in od tega predstavlja potencial okoli 60.000 m<sup>3</sup> vode, ki bi bila primerna za ponovno uporabo v podjetju. Preučila se bo možnost uporabe membranskih tehnologij s kombinacijo ultrafiltracije in nanofiltracije oz. reverzne osmoze za čiščenje odpadne vode do takšne mere, da bi zadostila pogojem za ponovno uporabo v proizvodnji Gorenja, d. d. Z realizacijo razvojno raziskovalne naloge se želijo doseči naslednji cilji:

- dimenzioniranje in določitev potrebne membranske tehnologije in s tem povezanih parametrov za postavitve naprave za pridobivanje očiščene odpadne vode, ki bo primerna za ponovno uporabo v tehnologijah Gorenja, d. d.;
- ugotovitev realne ocene stroškov investicije v to napravo ter obratovalnih stroškov te naprave;
- z morebitno realizacijo te investicije bo podjetje lahko zmanjšalo obremenjevanje okolja zaradi bistveno manjše porabe pitne vode in bistveno manjše količine izpuščenih odpadnih voda v reko Pako (prav tam).«

#### **4.2 Razvrstitev odpadnih voda po sestavi in koncentraciji v Gorenju, d. d.**

Industrijske odpadne vode vsebujejo kisline, luge, železo, krom, nikelj, cink, aluminij, titan, cirkonij, baker, fosfate, nitrati, nitrite, fluoride, sulfate, borate, silikate, karbonate, kloride, razgradljive tenzide, maščobe, soli organskih kislin in delce emajlov.

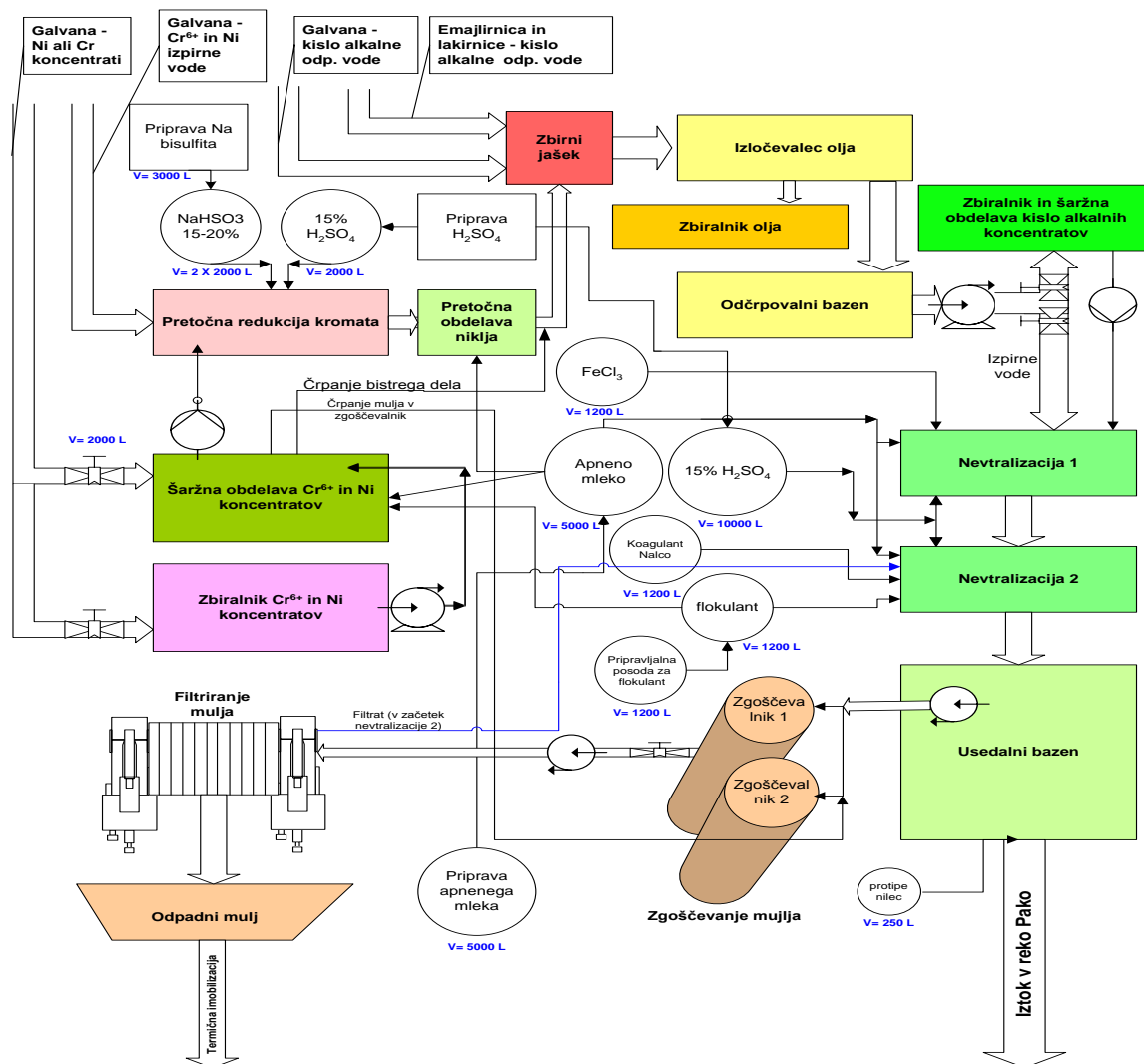
Po sestavi se industrijske odpadne vode v osnovi razvrščajo na kislomkrotne in alkalne, po koncentraciji pa na izpiralne vode (s pretežno kontinuiranim pretokom) in koncentrate (občasno izpuščene delovne kopeli).

#### **4.3 Količina in pretoki odpadnih voda v Gorenju, d. d.**

- izpiralne vode (s pretežno kontinuiranim pretokom) – od 15 m<sup>3</sup>/h do 30 m<sup>3</sup>/h,
- koncentrati (občasno izpuščene delovne kopeli) – do 300 m<sup>3</sup> (prav tam).

#### **4.4 Delovanje centralne čistilne naprave Gorenje, d. d.**

»Čiščenje industrijskih odpadnih vod poteka v mehansko-kemijski centralni čistilni napravi, ki ima kapaciteto 40 m<sup>3</sup>/h odpadnih voda (slika 3).



Slika 3: Shematski prikaz čiščenja odpadnih voda na centralni čistilni napravi Gorenje, d. d. Vir: Povodnik 2012

Čistilna naprava je pretočna, avtomatska in opravlja naslednje funkcije (prav tam):

- pretočna redukcija kromatov in pretočno obarjanje Ni in Cr odpadnih voda,
- šaržna obdelava Ni in Cr koncentratov,
- izločanje mineralnih olj,
- nevtralizacija z obarjanjem težkih kovin in netopnih soli,
- šaržna obdelava kislno alkalnih koncentratov,
- usedanje, črpanje, zgoščevanje in filtriranje mulja.

V času obratovanja proizvodnih linij v reakcijske bazene kontinuirano dotekajo le izpirne vode, koncentradi pa se glede na sestavo zbirajo v ločenih zbiralnih bazenih in se praviloma šaržno obdelujejo (prav tam, str. 12).«

»Krmiljenje celotne čistilne naprave poteka preko krmilnih omar, ki so locirane ob razstrupljevalnem delu, črpališču in ob nevtralizacijskih bazenih. Le-te omogočajo krmiljenje, ki je omogočeno:

- s krmilnikom (vgrajen v vsako krmilno omaro),
- od krmilnika neodvisnim mešanjem in doziranjem kemikalij,

- z osebnim računalnikom (lociran v upravljalnem prostoru),
- s programsko opremo.

Odpadne vode se po čiščenju odvajajo neposredno v vodotok Pake. Srednje nizek pretok vodotoka ( $s_{Qnp}$ ) je 0,293 m<sup>3</sup>/s. Zaradi nizke vrednosti srednje nizkega pretoka vodotoka reke Pake imamo za naše izpuste ostrejša zahteva, kot če bi bil iztok napeljan v vodotok z višjim pretokom. Od oktobra 2008 so zahteve opredeljene v integralnem okoljevarstvenem dovoljenju (prav tam, str. 12).«

## 5 EKSPERIMENTALNI DEL: ČIŠČENJE ODPADNE VODE V PODJETJU GORENJE d.d. Z MEMBRANSKO FILTRACIJO

### 5.1 Membranska filtracija

Membranski procesi (slika 4) so filtracijski postopki, pri katerih je za ločevanje snovi uporabljena selektivno prepustna membrana. Membrana določene snovi zadrži, nekatere pa prepušča.

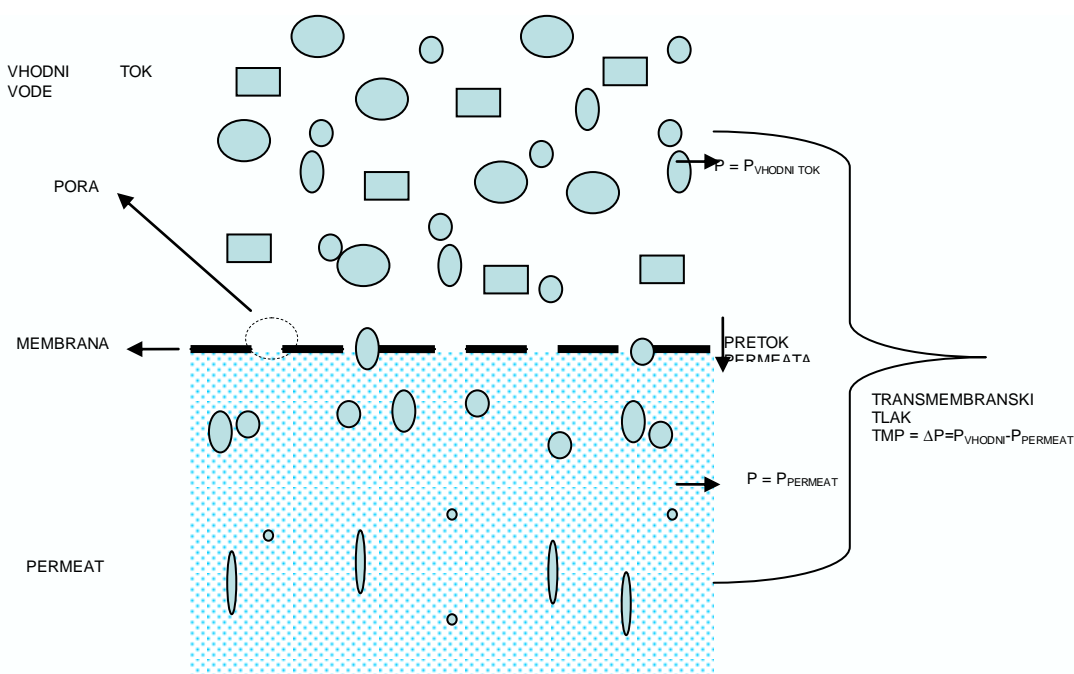
»Ko govorimo o membranskih filtracijah, ne govorimo samo o filtriranju kot ga poznamo pri klasičnem pojmovanju, ko s pomočjo filtra iz tekočine odstranjujemo netopne snovi. Pri membranskih filtracijah so pore v membranah tako majhne, da lahko pri povratni osmozi kot najbolj fini znani membranski filtraciji odstranimo tudi skoraj vse v vodi topne snovi. Najobičajnejša je delitev membranskih filtracij glede na velikost por, saj s tem določamo tudi kakovost produkta – permeata. Delimo jih na:

- mikrofiltracijo – MF (velikost por 100–1000 nm),
- ultrafiltracijo – UF (velikost por 10–100 nm),
- nanofiltracijo – NF (velikost por 1–10 nm) in
- povratno osmozo – RO (velikost por <1 nm) (Povodnik idr. 2014).«

Pri membranskem postopku se voda črpa preko površine membrane, kar daje dva produkta, in sicer vodo ter zadržano vodno suspenzijo.

Napajalni tok membrano loči na dva tokova:

- koncentrat (*angl. reject*), ki vsebuje komponente, ki jih membrana zadrži,
- filtrat (*angl. permeate*), ki vsebuje komponente, ki jih membrana prepušča.



Slika 4: Prikaz procesa membranske filtracije, katere gonilna sila je razlika tlakov  
Vir: Korenak idr. 2008

Pomembni parametri, ki vplivajo na celoten tok permeata, so:

- upor membrane,
- gonilna sila na enoto površine membrane,

- hidrodinamične lastnosti na mejni ploskvi med membrano in tekočino,
- mašenje in naknadno čiščenje površine membrane.

»Pomemben parameter je tok permeata, ki je najzanesljivejši pri določanju hidravličnega učinka membranskega sistema. Specifični volumski tok ali fluks določimo tako, da volumski pretok permeata skozi membrano delimo s površino membrane (Korenak idr.2012).«

$$J = \frac{Q}{A_m}$$

Kjer so:

- $Q_p$  - pretok permeata [L/h]
- $A_m$  - površina membrane [m<sup>2</sup>]
- $J$  - fluks [L h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>]

»Glede na smer toka ločimo dva načina izvajanja membranske filtracije, in sicer (prav tam):

- statično ali »dead-end« filtracijo,
- dinamično ali »cross-flow« filtracijo.«

Statična filtracija je filtracija, pri kateri je napajalni tok pravokoten na površino membrane. Vse raztopljene snovi in suspendirani delci se nalagajo na površino membrane in s tem prispevajo svoj delež k izoblikovanju krovne plasti, katere debelina narašča sorazmerno s tokom suspenzije napajalnega toka – influenta in posledično se zmanjšuje tok. Odstranjevanje krovne plasti, in s tem večji tok permeata, dosegamo s periodičnim povratnim izpiranjem membrane.

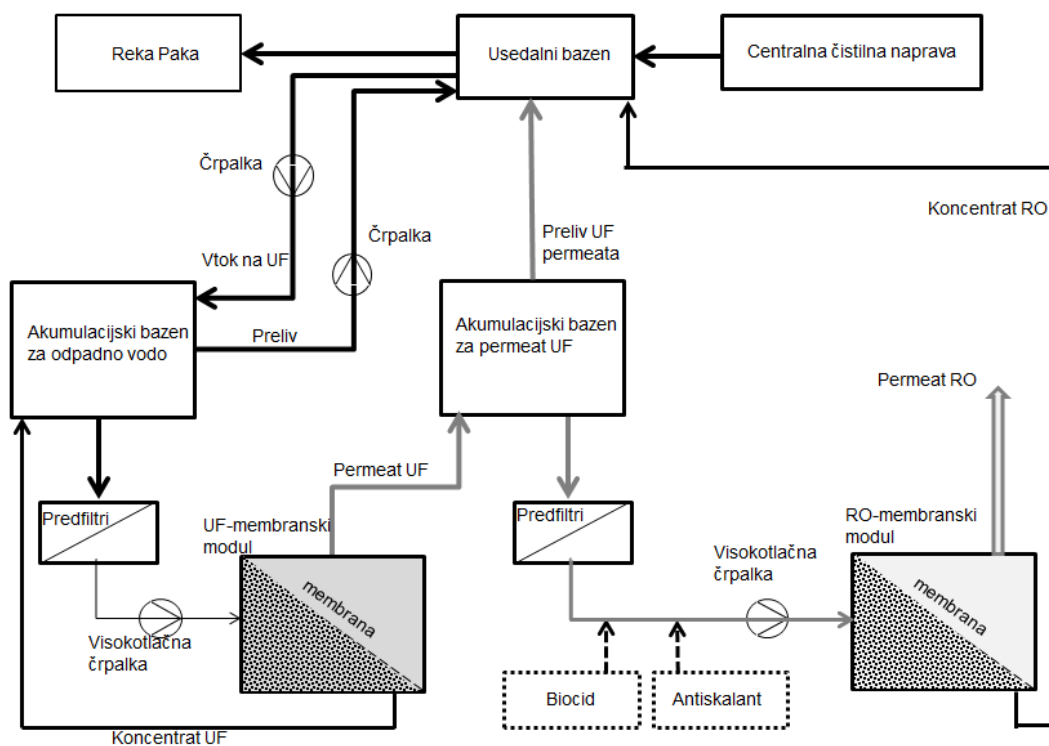
»Dinamična ali filtracija s prečnim tokom je filtracija, pri kateri napajalni tok teče vzporedno s površino membrane. Zaradi vzporednega toka na površino membrane pride do odnašalnega efekta delcev, ki zavira tvorbo nalaganje suspendiranih in raztopljenih snovi na površino membrane. Ker se ustvari ravnotežje med učinkom odnašanja in učinkom odlaganja, ostane debelina prekrivnega sloja po nekem času konstantna (prav tam).«

## 5.2 Postopek čiščenja odpadnih voda z membransko tehnologijo

V podjetju Gorenje, d. d., so se strokovnjaki iz Varstva okolja povezali s strokovnjaki Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru in tujim partnerjem, zasebnim podjetjem Pantarein Bvba iz Belgije, ki je specializirano za izvajanje membranskih filtracij, za pridobitev evropskih sredstev za sofinanciranje prijavljenega razvojno-raziskovalnega projekta EUREKA z naslovom *Ponovna uporaba očiščene industrijske vode z uporabo membranskih filtracij*. Namen projekta, ki je trajal 20 mesecev, je bil, da se natančno preuči in potrdi možnost uporabe membranskih tehnologij s kombinacijo ultrafiltracije, nanofiltracije oz. reverzne osmoze za čiščenje po klasičnem postopku predhodno očiščene odpadne vode do takšne mere, da bi zadostila pogojem za ponovno uporabo v proizvodnji Gorenja, d. d. (Povodnik, 2012, str. 10).

Z morebitno uvedbo ponovne uporabe očiščene odpadne vode v proizvodnjo Gorenja, d. d., smo želeli zmanjšati obremenjevanje okolja, tako da bi na vhodu zmanjšali porabo pitne vode in na izhodu količino izpuščene vode v reko Pako (Povodnik idr. 2012).

Slika 5 prikazuje postavitev sistema čiščenja odpadne vode z membransko tehnologijo.



Slika 5: Shematski prikaz procesa čiščenja z membransko filtracijo

Vir: Povodnik idr. 2014

Imamo 5 različnih vrst membran, in sicer dve ultrafiltracijski membrani (UF GR 60 PP, UFX-pHt), dve nanofiltracijski membrani (NFT -50, NF 99) in membrano z reverzno osmozo (RO BW 30).

Praviloma začnemo filtrirati z UF membrano, nato permeat, ki ga dobimo pri filtriranju, z UF membrano uporabimo pri filtriranju z NF membrano in tudi z RO membrano (slika 6).



Slika 6: Shematski prikaz filtracijske celice

Vir: Osebni vir, 2012

### 5.2.1 Membranska filtracija z laboratorijsko celico po principu »dead-end«

Pri postavitvi je pomembno, da na aktivni del membrane, v našem primeru je to gladka površina membrane, priteka voda, ki jo želimo čistiti. Odpadna voda priteka v celico pod tlakom, zato je pomembno, da je celica dobro zatesnjena.

Da smo lahko določili učinkovitost čiščenja, smo v toku in permeatu merili prevodnost in KPK. Čistilni reagenti, ki se uporabljajo, temeljijo na alkalnih, kislih in oksidativnih reagentih. Določili smo tudi pogostost čiščenja, ki smo ga izvajali trikrat tedensko.

Med izvajanjem eksperimenta smo uporabili več različnih membran, in sicer UF, NF in RO membrane.

Pri meritvah najprej pravilno sestavimo celico, da je gladek del membrane obrnjen navzgor, nato celico dobro zatesnimo in jo sestavimo skupaj. Cev, ki gre iz dušikove bombe, mora biti dobro pritrjena na posodo, da ne spušča. To velja tudi za cev, ki gre iz posode v celico. Pomembno je, da je posoda dobro očiščena in posušena. Najprej naredimo preizkus z demi vodo in pri tem merimo pretok pri treh različnih barih. Seveda vse podatke vpisujemo v Excelovo tabelo, da bomo na koncu vseh meritev naredili primerjave. Ko pridobimo ustrezne podatke, filtriranje ustavimo, posodo in celico očistimo in osušimo. V posodo ulijemo določeno količino vzorca iz vzorčevalnika iz iztoka CČN. Pomembno je, da pred začetkom filtriranja izmerimo prevodnost in naredimo KPK test. To ponovimo tudi na sredini filtriranja, pri permeatu, ki smo ga dobili, da lahko nato po rezultatih vidimo morebitne učinke pri filtriranju.



### 5.2.2 Postopek čiščenja odpadnih voda z membransko tehnologijo

Pomembna naloga pred pričetkom filtriranja je narediti plan filtriranja in pripraviti vse potrebne pripomočke za postopek filtriranja. Vzorec, ki ga odvzamemo iz vzorčevalnika iztoka CČN, je potrebno pravilno razporediti, da ga je dovolj za izvedbo postopka čiščenja v celoti. Pri filtriranju je zelo pomembno, da sta posoda in celica popolnoma čisti in osušeni ter da je vzorec pred filtriranjem vedno dobro premešan. Izvedemo tudi postopek čiščenja Ultrasil 110 za membrano, ki jo bomo uporabili. Postopek velja za čiščenje vsake membrane pred uporabo, in sicer po naslednjem zaporedju:

1. Pripravimo 1 % raztopino Ultrasil 110 (ravno toliko, da je membrana v čaši potopljena, pH naj bo okrog 11): 1 mL Ultrasil 110 dodamo na 100 mL demineralizirane vode.
2. Membrano pustimo v raztopini približno 1 uro.
3. Nato vzamemo s pinceto membrano iz raztopine ter jo dobro speremo z destilirano vodo.
4. Pripravimo 0,5–1 % raztopine citronske kisline (0,5 mg citronske kisline na 100 mL demineralizirane vode), pH vrednost naj bo 3 (korigirajte s kislino, npr. HCl).
5. Membrano pustimo v tako pripravljeni raztopini približno eno uro.
6. Nato membrano dobro speremo z destilirano vodo.
7. Sledi filtracija z destilirano vodo, vsaj pol ure.
8. Med čiščenjem membran imamo čašo, v kateri sta raztopina in membrana postavljeni na magnetnem mešalu, da se tekočina ves čas meša na hitrosti 200 obratov na minuto.

Pri postopku čiščenja odpadnih voda z membransko tehnologijo smo si zastavili potek dela. Pred filtriranjem smo vzorec dobro premešali in prefiltrirali vseh 8200 mL vzorca preko membrane UFX-pHt. Pred filtriranjem smo izmerili prevodnost vzorca in naredili KPK test. S tem, ko smo prefiltrirali še permeat iz UFX-pHt in iz ostalih membran, smo pridobili podatke za primerjavo. Po tem postopku smo pričeli s filtriranjem. Izmerili smo pretok in tlak pretoka merjenja ter čas merjenja. Meritev smo izvajali vsako uro in zapisovali v tabelo tudi volumen permeata, ki se je do takrat iztekel. Nekje na polovici filtriranja smo naredili KPK test in izmerili prevodnost permeata. Ko smo dobili volumen permeata 2000 mL, smo ga prelili v posodo, ki smo jo označili s številko vzorca 767 (permeat iz UFX-pHt) ter vzorec dali v laboratorij za kemijsko analizo. V tem času je filtracija še vedno potekala, saj smo potrebovali še 6000 mL prefiltriranega vzorca, in sicer 2000 mL za filtriranje preko membrane NFT-50 (št. vzorca 769), 2000 mL preko membrane RO BW 30 (št. vzorca 768) in 2000 mL preko membrane NF 99 (št. vzorca 770). Filtracija je potekala teden dni, pri tem pa smo zapisovali vse podatke meritev, postopke ter posebnosti in ugotovitve. Rezultat številke vzorca 767:

- Prevodnost neprefiltriranega vzorca je 1150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . KPK neprefiltriranega vzorca pa znaša 79mg/L. Meritve pretoka smo izvajali vsako uro. Ko smo naredili KPK test pri permeatu vzorca UFX-pHt, je ta znašal 69 mg/l. Izmerili smo tudi prevodnost permeata, ki je bil 970  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Filtriranje smo morali zaradi zamašene membrane ustaviti (slika 7). Za čiščenje membrane smo uporabili postopek čiščenja po Ultrasilu 110.



Slika 7: Prikazana zamašena membrana UFx-pHt  
Vir: Osebni vir, 2012

Ponovno smo vstavili očiščeno membrano in pričeli filtrirati. Pretok smo merili vsako uro. Filtriranje je bilo hitrejše, volumen permeata pa je znašal 5500 mL. Primanjkovalo je 500 mL, ki smo jih verjetno izgubili zaradi puščanja celice. Kasneje smo posodo in celico očistili ter osušili, permeat UFx-pHt premešali in ga vlili v posodo. V celico smo vstavili membrano RO BW 30 in pričeli s filtriranjem. Pred začetkom filtriranja smo zmerili prevodnost, ki je znašala 980  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pretok smo izmerili pri tlaku 6 barov. Po 20 minutah filtriranja je bil volumen le 10 mL, po eni uri 40 mL, ter po nadaljnji uri 100 mL. Izmerili smo prevodnost in naredili KPK test. Celica je zopet rahlo puščala. Pustili smo filtrirati čez noč, naslednji dan pa izmerili volumen permeata, ki je znašal 580 mL. Vmes smo pretok in filtriranje ustavili, da smo prečistili zamašeno membrano. Preostalo tekočino, ki je ostala v celici, smo zlili nazaj v posodo in membrano prečistili po postopku čiščenja za Ultrasil 110, nato pa smo jo vstavili nazaj v celico in pričeli ponovno filtrirati. Preden smo vzorec številka 768 oddali v analizo v laboratorij analize kemije, smo izmerili njegov volumen, ki je znašal 680 mL. Nato smo filtriranje zaključili, očistili celice in vstavili membrano NFT-50, ki smo jo očistili po postopku čiščenja Ultrasil 110 in nato pričeli s ponovnim filtriranjem. Vsako uro smo merili pretok vode, prevodnost in naredili KPK test. Prevodnost je znašala 720  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , KPK pa je bil pod merilnim območjem ( $<15 \text{ mg}/\text{L}$ ). Med filtracijo je v plinski jeklenki zmanjkalo dušika. Namestili smo novo jeklenko dušika in očistili membrano NFT-50 po postopku čiščenja Ultrasil 110 ter pričeli s filtriranjem in z meritvami, ki so potekale vsako uro do naslednjega dne. Izmerjen volumen je znašal 2000 mL – dobili smo številko vzorca je 769 in ga dali v analizo. Membrano NF 99 smo očistili po postopku čiščenja Ultrasil 110 in pričeli z novim filtriranjem. Vsako uro smo merili pretok in izmerili prevodnost, ki je znašala 830  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Naredili smo še KPK test ter dobili rezultat 55  $\text{mg}/\text{L}$ . Ponovno smo izmerili pretok in zaključili filtriranje ter nov vzorec številka 770 (NF 99) odnesli v laboratorij na analizo. Vzorec smo tako prefiltrirali preko vseh membran in zaključili filtriranje.

Rezultati čiščenja industrijske vode z membransko filtracijo so pokazali več prednosti kot slabosti. Le-te smo prikazali v preglednici 6.

Preglednica 6: Prednosti in slabosti membranske filtracije  
Vir: Korenak, 2012

<i><b>PREDNOSTI</b></i>	<i><b>SLABOSTI</b></i>
Okolju prijazne metode, ker so brez dodanih kemikalij.	Zamašitev membran.
Membranska oprema zahteva do 80 % manj prostora kot obstoječe naprave.	Ob slabo izbrani membrani ali nepravilno vodenega procesa je nizek pretok vode.
Različni tipi in oblike membran omogočajo široko uporabo.	Kratka življenjska doba membran.
Prehod patogenih delcev in organizmov ter mikroorganizmov je s pomočjo teh filtrov onemogočen.	Višji stroški filtriranja odpadnih voda.
Že v eni sami stopnji se lahko z membransko filtracijo odstrani večino onesnaževal, vsebnost težkih kovin, kemijske in biološke potrebe po kisiku, vsebnost dušika in suspendirane snovi.	
Z membransko filtracijo se zmanjšujejo zahteve po delu, tako da naprave lahko delujejo samostojno. Delo poteka kontinuirano, rokovanje je enostavno.	
Novejše membrane dovoljujejo uporabo nižjih tlakov; cena.	
Z membransko filtracijo se zmanjšajo stroški porabe električne energije in za uspešno čiščenje ne zahtevajo kemikalij.	

### **5.3 Možnost ponovne uporabe očiščene industrijske odpadne vode**

V podjetju Gorenje, d. d., velja splošno pravilo, da se odpadna voda pred ponovno uporabo obdelata in čisti do tiste stopnje kakovosti, da je primerna za želeni način uporabe. Takšna voda lahko predstavlja za podjetje dodaten prihranek, saj se zmanjšajo tudi okoljske dajatve, obenem pa si podjetje več ugleda zaradi odgovornega odnosa do okolja.

### **5.4 Rezultati ponovne uporabe odpadnih voda s pomočjo pilotske naprave**

Na podlagi dobljenih meritev in delovnih izkušenj iz prvega dela projekta je bila kasneje postavljena pilotna naprava z membransko enoto za čiščenje odpadne vode iz čistilne naprave s pomočjo ultrafiltracije in povratne osmoze. Pri tem so bili optimizirani obratovalni pogoji membranske enote zaradi zmanjšanja obratovalnih stroškov ob hkratnem zagotavljanju maksimalne učinkovitosti čiščenja (Povodnik idr. 2012).

»Potek postavitve pilotnih naprav je potekal aprila 2013. Potrebno je bilo vzpostaviti povezave med obema naprava, da je bilo zagotovljeno kontinuirano delovanje obeh, kot je prikazano na slikah 8, 9 in 10 (prav tam).«



Slika 8: Pilotna naprava ultrafiltracije (UF)

Vir: Korenak idr., 2012

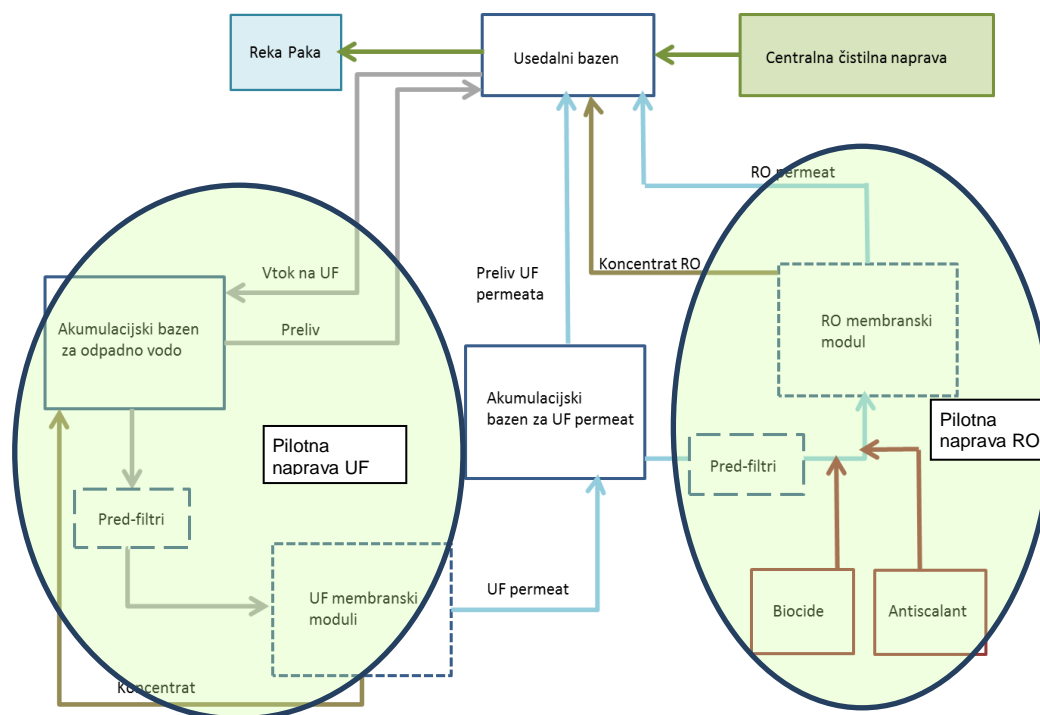


Slika 9: Pilotna naprava reverzne osmoze (RO)

Vir: prav tam

Fizikalno-kemijsko predobdelano vodo iz CČN Gorenje, d. d., so zbirali v posebnem rezervoarju, iz katerega so jo preko visokotlačne črpalke vodili na ultrafiltracijske membranske module. Nastali permeat se je po ultrafiltraciji zbiral v zbirni posodi, koncentrat iz ultrafiltracije pa se je vračal nazaj v rezervoar odpadne vode. Na reverzno osmozo se je preko visokotlačne črpalke črpal permeat iz UF. V dotok na RO membrano sta se kontinuirano dozirala antiskalant ter biocid za zmanjševanje mašenja por na membrani.

Postavitev sistema čiščenja odpadne vode iz iztoka iz čistilne naprave je prikazana na sliki 10 – koncentrat iz UF modulov se je vračal nazaj v rezervoar, medtem ko se je permeat vodil naprej na obdelavo z reverzno osmozo.



Slika 10: Shematski prikaz procesa čiščenja z membransko filtracijo  
Vir: Korenak idr. 2012

Proces čiščenja je začel obratovati konec aprila 2013 in se je zaključil konec junija 2013. Dokazani sta bili učinkovitosti naprav UF in RO, saj je bila v povprečju dosežena 95 % učinkovitost odstranjevanja snovi iz vode, s tem pa so bili doseženi tudi kriteriji za ponovno uporabo te vode. Tehnologija omogoča tudi gospodarno delovanje, kar je razvidno iz potreb kemičnega čiščenja membran in je predstavljalo približno 7,4 % časa med obratovanjem naprave RO ter 13 % časa med obratovanjem naprave UF. Med izvedbo čiščenja odpadne vode s pilotnima napravama UF in RO smo prišli do zaključka, da koncentrat, ki nastaja pri filtraciji RO, po veljavnih predpisih ni primeren za izpuste v reko Pako, če izvedemo maksimalni možen odvzem čiste vode (prav tam).

Prevodnost odpadne vode na iztoku iz čistilne naprave je bila v povprečju 2300–3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . V permeatu po ultrafiltraciji ni prišlo do opaznega zmanjšanja prevodnosti, medtem ko se je v permeatu iz povratne osmoze vrednost prevodnosti zmanjšala na povprečno 60–200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Vrednost KPK v odpadni vodi na iztoku iz čistilne naprave je bila po fizikalno-kemijski obdelavi v povprečju 100–150 mg/L O<sub>2</sub>. Največja vrednost KPK v permeatu UF je bila 126 mg/L, medtem ko je bila v permeatu RO vrednost večinoma pod mejo detekcije (< 10 mg/L O<sub>2</sub>). Pojavil se je problem zaradi visokih vrednosti KPK v koncentratu iz RO, ki bi se naj izpuščal iz CČN, saj so vrednosti v nekaj primerih presegale dovoljene mejne vrednosti za izpust v reko (prav tam).

Najverjetnejše možnosti ravnanja glede koncentrata, ki nastaja pri stopnji RO, so (prav tam):

- odvzem (in vračanje) samo takšne količine vode, da bodo vsi parametri pod MDK, z ustreznim zmanjšanjem stopnje čiščenja naprave RO (v našem primeru  $\leq 40$ ); uvesti dodatno stopnjo čiščenja koncentrata (obarjanje, absorpcija, ionska izmenjava ...),
- izpust v komunalno kanalizacijo (po letu 2017 oz. ko bo to mogoče),
- možnost dogovora z zakonodajalcem o dovolitvi izjeme, saj se emisija snovi v primerjavi s sedanjim stanjem ne bi povečala.

»Učinek čiščenja RO je zadovoljiv, saj v povprečju dosega 95 % učinkovitost odstranjevanja. V nekaterih primerih (Ni, Si in amonij) učinkovitost pade tudi pod 80 %, kar je odvisno od začetne koncentracije snovi. Hkrati pa je izmerjena vrednost pri niklju in amoniju pod mejo detekcije, zato je lahko ta učinek tudi večji. Kakovost očiščene vode dosega zahteve in je uporabna za ponovno uporabo le-te v proizvodnji kot nadomestilo pitne vode (prav tam).«

»Glede na stalno zaostrovanje zahtev po kakovosti izpustov zaradi višanja cen uporabe pitne vode in zaradi stalnih zahtev po zmanjšanju njene porabe je izvedba takšne tehnologije smiselna in potrebna (prav tam).«

## 6 RAZPRAVA IN SKLEPI

Cilj diplomske naloge je bil ugotoviti, katera tehnologija čiščenja industrijskih odpadnih voda je za podjetje Gorenje, d. d., in hkrati okolje najsprejemljivejša. S pomočjo proučene literature o čiščenju odpadnih voda, smo nato pričeli izvajati poskuse z membranskimi filtracijami. Ker so se membranske filtracije izkazale kot učinkovite se je v podjetju kasneje postavila pilotna naprava. Dokazana je učinkovitost naprav UF in RO, saj je bila dosežena povprečno 95 % učinkovitost odstranjevanja snovi iz vode, s tem pa so bili doseženi tudi kriteriji za ponovno uporabo te vode.

### *H1: Za čiščenje odpadnih voda je za podjetje primernejša membranska tehnologija*

Postavljena hipoteza je delno potrjena. Membranska tehnologija je primerna za čiščenje odpadne vode. Rezultati se kažejo v največji meri pri filtriranju z RO membrano. Vendar pa je potrebno poudariti, da je membranska filtracija le nadgradnja mehansko-kemijskega čiščenja odpadnih voda. Prednost membranskih filtracij je, da so pore v membranah tako majhne, da lahko pri povratni osmozi odstranimo skoraj vse v vodi topne snovi.

### *H2: V podjetju lahko ponovno uporabijo odpadno vodo*

Postavljeno hipotezo potrdimo, saj bi z zadostnim finančnim vložkom vodo lahko prečistili do te mere, da bi bila primerna za uporabo. Po osnovnem pregledu stroškov morebitne nadgradnje lahko sklepamo, da bi investicija zaradi manjše količine porabljene pitne vode in manjše količine odvedene odpadne vode v okolje ter posledičnim znižanjem stroškov prinesla pozitivno vrednost.

## 7 POVZETEK

Premalokrat se zavedamo, da marsikje na svetu primanjkuje pitne vode in da je ohranjanje le-te izjemnega pomena za našo prihodnost in prihodnost naših zanamcev. Ravno zato smo se odločili, da diplomsko delo posvetimo tej temi, natančneje membranskim filtracijam, ki so eden izmed postopkov za ohranjanje vode.

Da bi ugotovili učinkovitost membranskih filtracij pred postavitvijo pilotne naprave, smo najprej pričeli z izvajanjem membranskih filtracij. Le te so se izkazale za učinkovite. Prednost membranskih filtracij je, da so pore v membranah tako majhne, da lahko pri povratni osmozi odstranimo skoraj vse v vodi topne snovi.

Med izvajanjem poskusov z membranskim filtriranjem smo ugotovili, da slabost predstavlja mašenje membran, zato je pomembno tudi njihovo čiščenje. Vrsta čistilnega sredstva je odvisna od vrste membrane, modula, ki se uporablja, in od delcev, ki se nalagajo na membrano. Meritve pretokov so bile uporabljene predvsem pri ocenjevanju učinkovitosti čiščenja, pretoki pa so bili pogosto primerjani s pretokom vode novih membran. Po upadu pretoka je pomembno, da membrano prečistimo po postopkih čiščenja, ki smo jih zapisali v opisu dela. Izkušnje kažejo, da je težko najti sredstvo, ki membrano popolnoma očisti, ne da bi jo pri tem poškodovalo, saj so lahko membrane slabo odporne na posamezna sredstva.

Tehnike čiščenja membran imajo nekaj slabosti, ker so mehanizmi mašenja in kemičnega čiščenja membran še precej nejasni, načini čiščenja, ki so podani s strani proizvajalcev, pa ne zadostujejo za čiščenje zamašenih membran. Menimo, da bi lahko membrane izboljšali z razvojem novih materialov ali z uporabo naravnih materialov, saj bi bile membrane odporne na klor in bi se preprečilo mašenje.

Pri delovanju pilotne naprave z membranskimi filtracijami sta bili dokazani učinkovitosti naprav UF in RO, saj je bila v povprečju dosežena 95 % učinkovitost odstranjevanja snovi iz vode, s tem pa so bili doseženi tudi kriteriji za ponovno uporabo te vode. Tehnologija omogoča tudi gospodarno delovanje, kar je razvidno iz potreb kemičnega čiščenja membran in je predstavljalo približno 7,4 % časa med obratovanjem naprave RO ter 13 % časa med obratovanjem naprave UF.

Sodelovanje pri poskusih z membranskimi filtracijami v času delovne prakse se odraža v obilici novega znanja o ohranjanju pitne vode ter preprečevanju onesnaževanja voda z izpusti odpadne vode v reke. S pilotno napravo, ki je nadgradnja membranskih filtracij ter obstoječega sistema fizikalno-kemijskega čiščenja odpadnih voda, smo torej dokazali učinkovitost čiščenja odpadnih voda. Zavedamo se, da so stroški projekta pilotne naprave za podjetje precejšnji, vendar menimo, da bi se projekt obrestoval, saj bi tako znižali stroške porabe pitne vode, posledično pa bi se zmanjšalo tako onesnaževanje reke Pake kot stroški okoljskih dajatev, obenem pa bi ohranjali čisto okolje.



## 8 SUMMARY

Many parts of the world lack potable water and its preservation is of the utmost importance for our future and the future of our descendants. Thus this topic is addressed in this thesis, specifically membrane filtrations which are one of the methods for water conservation.

Membrane filtration was implemented before setting the pilot plant in order to determine its effectiveness. By doing so its effectiveness was proven. The advantage of membrane filtration is that the pores in the membrane are small; therefore nearly all water soluble substances are eliminated by reverse osmosis.

The disadvantage of the membrane filtration is the clogging of the membranes, thus their cleaning is of high importance. The type of cleaning agent is depended on the type of membrane, the module, which is used, and the particles, which are deposited onto the membrane. Flow measurements were used predominantly to assess the effectiveness of cleaning and the flows were often compared to the water flow of the new membranes. After the decline of the flow rate, it is important that the membrane is purified according to the methods of cleaning, which were noted in the description of the work. Experience shows that it is difficult to find a cleaning agent that would completely clean the membrane without causing any damage as membranes can be poorly resistant to individual agents.

Membrane cleaning techniques have some disadvantages due to the vagueness of mechanisms for clogging and chemical cleaning of the membranes, and cleaning methods, given by the manufacturers are insufficient for the cleaning of clogged membranes. It is believed that membranes could be improved by developing new materials or by using natural ones as membranes would be resistant to chlorine and the clogging would be prevented.

The efficiency of UF and RO devices has been shown in the operation of the pilot plant by using membrane filtration as 9

5 % removal efficiency of waste substances from the water was achieved on average; thus the criteria for the reuse of this water have been achieved as well. The technology also allows the operation to be the economical, which is evident from the needs of chemical cleaning of the membranes and that represented approximately 7.4 % of the time during the operation of the RO device and 13 % of the time during the operation of the UF device.

The participation in experiments with membrane filtration during practical training is reflected in new knowledge on conservation of potable water and prevention of water pollution caused by discharges of waste water into the river. The effectiveness of waste water treatment has been proven with the pilot plant, which is an upgrade of membrane filtration and the existing system of physicochemical waste water treatment. It is without a doubt that the costs of the project of the pilot plant for the company are substantial, yet it is believed that the project is worthwhile - the costs of consumption of potable water would be reduced and consequently so would the pollution of river Paka and the environmental taxes, but on the other hand a clean environment would be maintained.

## 9 LITERATURA

1. Djokić, D. (2012). *IPPC direktiva v Rpubliki Sloveniji*. Medmrežje: <http://porocevalec.ibs.si/sl/component/content/article/44-letnik-2-t-1/147-dr-danila-djoki-ippc-direktiva-v-republiki-sloveniji> (1. 8. 2014).
2. Hammer, M. J., Hammer, M. J. jr. (2001). *Water and wastewater technology*. 4th ed., New Jersey, Prentice Hall, str. 536.
3. Letno poročilo Gorenje d.d.. (2013). Interni dokumenti Gorenja, d. d.
4. Korenak, J. idr. 2008. Delovanje membranskega bioreaktorja ter primerjava z učinkovitostjo biološkega čiščenja na centralni čistilni napravi. COBISS. SI-ID 12620822. Slovenski kemijski dnevi 2008. Maribor, str. 8.
5. Korenak, J., Povodnik, D., in Petrinič, I.: (2013). Ponovna uporaba očiščene industrijske odpadne vode z uporabo membranskih filtracij. V: *Slovenski kemijski dnevi 2013: Zbornik povzetkov referatov*. Maribor: FKKT Maribor.
6. Kurbus, T. (2008). *Razvoj visoko učinkovitega postopka čiščenja odpadnih vod v šaržnem biološkem reaktorju*. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, str. 23–25.
7. Lazarova, V., Bahri, A. (2005). *Water Reuse for irrigation*. Landscapes and Turf Grass. Boca Raton, CRP Press, str. 408.
8. Lobnik, A. (2008). *Ekologija in okoljevarstvo*. Medmrežje : <http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/itkek/lakbp/izpiti/Ekologija%20in%20Okoljevarstvo%20-%20gradivo%20in%20vaje/vaje%2008-09/Navodila%20za%20vaje%2008-09.pdf>. (1. 8. 2014).
9. Lanz, K., Scheuer, S. (2001). *Priročnik za razlago politike EU o vodah na podlagi okvirne direktive o vodah*. Ljubljana. Umanotera.
10. Lobnik, A., Podbrežnik, M., Bauman, M. *Membranske tehnologije*. (2008). Medmrežje: [http://www.ekolist.si/documents/07\\_S063-Podbreznik\\_Bauman\\_Lobnik.pdf](http://www.ekolist.si/documents/07_S063-Podbreznik_Bauman_Lobnik.pdf). (1. 2. 2015).
11. Madigan, T. M., idr. (2000). *Brock biology of microorganisms*. 9th ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, str. 991.
12. Petrinič, I., Povodnik, D., in Korenak, J. (2012). Eureka, IWW Reuse, poročilo.
13. Petrinič, I., Povodnik, D., in Korenak, J. (2013). Eureka, IWW Reuse, zaključno poročilo.
14. Povodnik, D. (2012). *Ponovna uporaba očiščene industrijske odpadne vode z uporabo membranskih filtracij*. Interno glasilo podjetja Gorenje, d. d. GiB št. 10–12. Medmrežje : <http://portal.gorenje.si/gorenje/GiB/2012/GiB,%2010-12.pdf>. (15. 6. 2014).
15. Povodnik, D., Korenak, J., Nielsen, C., Petrinič, I. (2014). Medmrežje: ([http://www.sdzv-drustvo.si/images/vodni\\_dnevi/2014/referati/6\\_Zbornik\\_POVODNIK\\_KORENAK\\_NIELSE\\_N\\_PETRINIC\\_24.11.14.pdf](http://www.sdzv-drustvo.si/images/vodni_dnevi/2014/referati/6_Zbornik_POVODNIK_KORENAK_NIELSE_N_PETRINIC_24.11.14.pdf)) (27. 1. 2015)
16. Povodnik, D., Korenak, J., Nielsen, C., Petrinič, I. (2014). Ponovna uporaba očiščene industrijske odpadne vode z uporabo membranskih filtracij na primeru Gorenja, d. d., Velenje. Delovno gradivo.
17. Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda ter o pogojih za njegovo izvajanje. Ur. l. RS, št. 54/2011. Medmrežje 14: <https://www.uradni-list.si/1/content?id=104428>. (2. 8. 2014).
18. Ren, S. (2004). *Assessing wastewater toxicity to activated sludge: recent research and developments*. Environment International, 30, str. 1151–1164.
19. Roš, M. in Zupančič, G. (2010). *Čiščenje odpadnih voda*. Velenje. Visoka šola za varstvo okolja, Velenje, str. 59.
20. Roš, M. (2001). *Biološko čiščenje odpadne vode*. Ljubljana, GV založba.
21. Dr. Roth, J. (2008). *IPPC v Sloveniji*. str. 4-9 Medmrežje 18: [http://zelenaslovenija.si/images/stories/pdf\\_dokumenti/IPPC-v-Sloveniji.pdf](http://zelenaslovenija.si/images/stories/pdf_dokumenti/IPPC-v-Sloveniji.pdf). (15. 8. 2014).
22. Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav, *Ur.l. RS*, št. 45-2451/2007.
23. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo, *Ur. l. RS*, št. 64/2006, str. 52

24. Medmrežje 1: Predpisi. ARSO. <http://okolje.arso.gov.si/ippc/vsebine/zakonodaja>. (23. 3. 2015).
25. Medmrežje 2: Vode. ARSO. <http://www.arso.gov.si/vode/>. (1..8. 2014).
26. Medmrežje 3: Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo kovinskih izdelkov. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4326>. (1. 8. 2014).
27. Medmrežje 4: Direktiva evropskega parlamenta in sveta 2006/11/ES. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:064:0052:0059:SL:PDF> (23. 3. 2015).
28. Medmrežje 5: IPPC v Sloveniji. [http://www.zelenaslovenija.si/images/stories/pdf\\_dokumenti/IPPC-v-Sloveniji.pdf](http://www.zelenaslovenija.si/images/stories/pdf_dokumenti/IPPC-v-Sloveniji.pdf) (1. 8. 2014).
29. Medmrežje 6: IPPC Uredba. ARSO. <http://okolje.arso.gov.si/ippc/faq#2> (1. 8. 2014)
30. Medmrežje 7: Zakon o varstvu okolja (2013). [http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo\\_okolja/varstvo\\_okolja\\_precisceno.pdf](http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo_okolja/varstvo_okolja_precisceno.pdf)). (1. 8. 2014).
31. Medmrežje 8: Seznam predpisov. ARSO. [http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje\\_voda/tabela/2/page/5](http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/tabela/2/page/5) (23. 3. 2015).
32. Medmrežje 9: Zakon o vodah. (2002). Ur. L. RS, št. 67-3237/02. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244> (30. 8. 2014).
33. Medmrežje 10: Zakon o ohranjanju narave. Ur. I. RS, št. 31/2000. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1600> (30. 8. 2014).
34. Medmrežje 11: Projekt Comet št.9. *Zmanjševanje porabe sveže vode v industriji z recikliranjem odpadnih voda, očiščenih z naprednimi oksidacijskimi postopki (AOP)*. <http://www.comet-era.net/>. (3. 8. 2014).
35. Medmrežje 12: Odvajanje odpadne vode. [http://www.carina.gov.si/si/ostale\\_dajatve/okoljske\\_dajatve/odvajanje\\_odpadne\\_vode](http://www.carina.gov.si/si/ostale_dajatve/okoljske_dajatve/odvajanje_odpadne_vode) (30. 8. 2014).
36. Medmrežje 13: Obdelava odpadnih vod. <http://okolje.arso.gov.si/ippc/uploads/File/Povzetek%20CWW.doc>  
<http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&> (2. 8. 2014).
37. Medmrežje 15: Podatki. ARSO. [http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje\\_voda/vsebine/podatki-1](http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_voda/vsebine/podatki-1) (23. 8. 2014).
38. Medmrežje 16: Onesnaževanje voda po dejavnostih in parametrih. <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/industrija.pdf> (23. 8. 2014).
39. Medmrežje 17: Poraba vode v Gorenju, d. d., Velenje (2013). Gorenje letno poročilo. <http://portal.gorenje.si/gorenje/Letna%20poroila/Letno%20poročilo%202013.pdf> (15. 8. 2014).
40. Medmrežje 19: Letno poročilo Gorenje (2013). <http://portal.gorenje.si/gorenje/Letna%20poroila/Letno%20poročilo%202013.pdf> (21. 3. 2015).
41. Medmrežje 20: Evropska komisija. Zakonodaja: [http://ec.europa.eu/legislation/index\\_sl.htm](http://ec.europa.eu/legislation/index_sl.htm) (23. 3. 2015).