

Raziskava onesnaženosti odpadnih voda v slovenski tekstilni industriji in ekonomska upravičenost učinkovitega čiščenja

Darko Drev^{1,2}, Aleksandra Krivograd Klemenčič^{2,3}, Jože Panjan², Boris Kompare²

¹Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova 28c, 1000 Ljubljana, darko.drev@izvrs.si

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

³Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Oddelek za sanitarno inženirstvo, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana

Odpadne vode iz tekstilne industrije so praviloma zelo obremenjene. Njihovo obremenitev lahko ugotavljamo preko inženirskih normativov, normativov najboljših razpoložljivih tehnologij ter z letnimi obratovalnimi monitoringi. Raziskava zajema vse zavezanca na podlagi Direktive 96/61/ES o celovitem preprečevanju in nadzoru onesnaževanja okolja iz tekstilne industrije v Sloveniji, podrobneje pa smo raziskali dve tekstilni tovarni. Pri večini obravnavanih tekstilnih tovarn smo ugotovili bistveno večje emisije, kot bi jih pričakovali na podlagi inženirskih in Best Available Techniques (BAT) normativov. Razlog je zastarela tehnološka oprema, ki znatno odstopa od BAT normativov. Ker so v Sloveniji tekstilne tovarne večinoma priključene na javna kanalizacijska omrežja, ki se zaključijo s centralnimi čistilnimi napravami, se pojavlja vprašanje ekonomske upravičenosti postavitve učinkovitih čistilnih naprav za predhodno čiščenje odpadnih voda. Obvezno je doseganje predpisanih kriterijev za izpust v javno kanalizacijo. Bolj učinkovito čiščenje pa je upravičeno le, če je to ekonomsko upravičeno. Ekonomsko upravičenost presojamo iz vidika stroškov, ki so sestavljeni iz cene sveže vode, okoljske dajatve, cene za odvajanje in čiščenje odpadne vode ter stroškov za učinkovito lastno čiščenje.

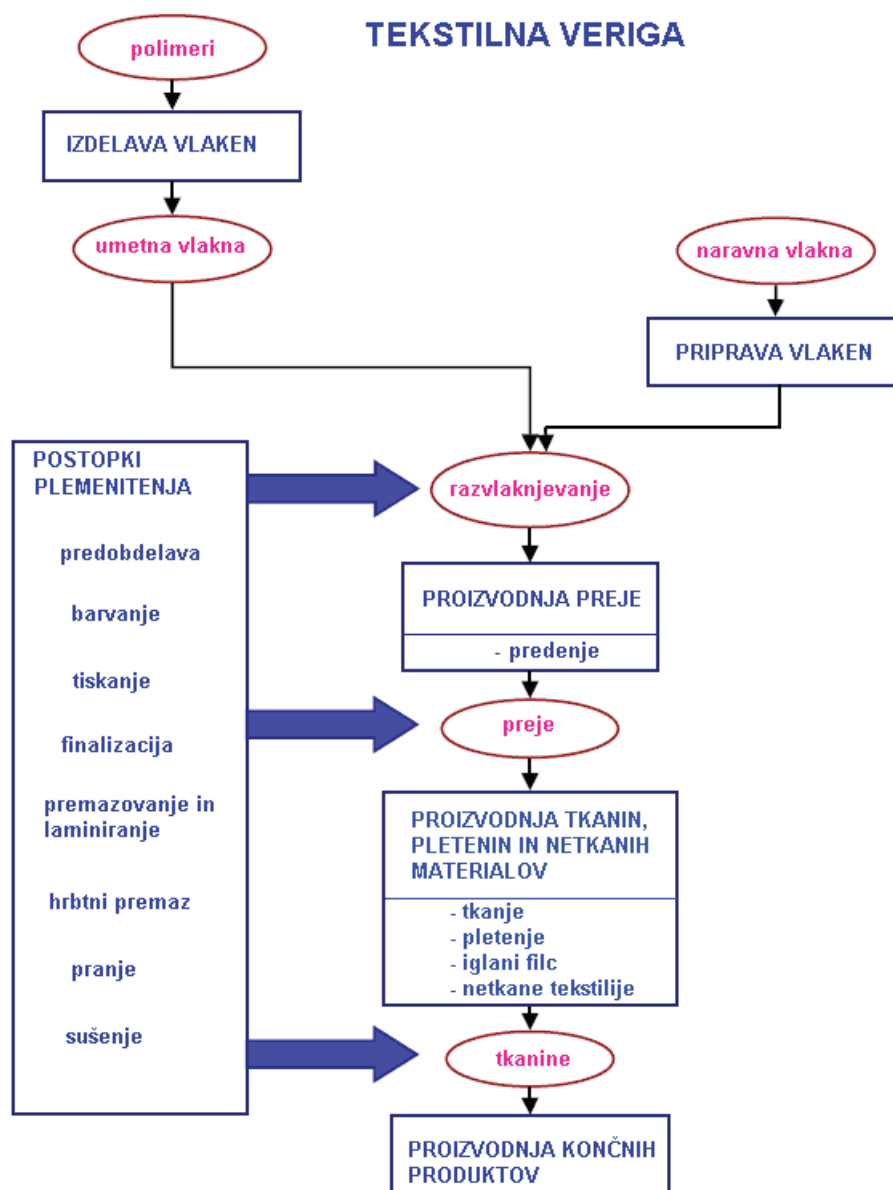
Ključne besede: emisije, predhodno čiščenje, tehnološke odpadne vode, tekstilna industrija

1 Uvod

Industrijske dejavnosti so kljub zmanjšanju emisij v zadnjem desetletju še vedno glavni vir onesnaževanja okolja. V tekstilni industriji nastajajo velike količine močno onesnaženih tehnoloških odpadnih voda v proizvodnji tekstilnih materialov, medtem ko pri konfekciji oblačil nastajajo relativno majhne količine tehnoloških odpadnih voda. Največ močno obremenjenih tehnoloških odpadnih voda nastane pri barvanju in površinskih obdelavah tekstilij. Količina in obremenjenost odpadnih voda se ugotavlja v okviru rednega letnega obratovalnega monitoringa (Ur. l. RS, št. 54/2011; Ur. l. RS, št. 7/2007) ali preko inženirskih normativov. Nemški inženirski normativi: Abwassertechnische Vereinigung (ATV) in Verein Deutscher Ingenieure (VDI) podajo relativno dobro sliko o obsegu onesnaževanja okolja iz tekstilne industrije. Z Direktivo 96/61/EC o celovitem preprečevanju in nadzoru onesnaževanja okolja z dne 24. septembra 1996 (IPPC direktiva) so bila uvedena »okoljevarstvena dovoljenja« za industrijske obrate ter ocenjevanje tehnologije glede na njeno

stanje (Najboljše razpoložljive tehnologije/Best Available Techniques (BAT)). BAT normativi so nadgradnja ATV in VDI normativov, s to razliko, da vsaka država samostojno oceni, kaj je zanjo BAT. Ocenjevanje tehnologije vključuje uporabljen tehnološki postopek, kot tudi način načrtovanja, gradnje, vzdrževanja, upravljanja in razgradnje obrata. BAT pomeni tehnologijo na takšni ravni, ki omogoča njeno uporabo v posamezni industrijski panogi pod ekonomsko in tehnično izvedljivimi pogoji. Obremenjevanje voda v tekstilni industriji je odvisno od vrste proizvodnje in vrste uporabljene tehnologije (IPPC Reference Document on BAT, 2003; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1984). Tekstilna veriga (slika 1) obsega faze od izdelave vlaken do končnih izdelkov (IPPC Reference Document on BAT, 2003). Odpadne tehnološke vode nastajajo vzdolž celotne tekstilne verige. Njihova količina in obremenjenost je odvisna od uporabljenih surovina, tehnološkega postopka in uporabljene tehnološke opreme.

Združenje za tekstilno, oblačilno in usnjarsko predelovalno industrijo Gospodarske zbornice Slovenije v sodelovanju



Slika 1: Primer tekstilne verige, povzeto po BAT (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

z Inštitutom za vode Republike Slovenije in Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo ter Zdravstveno fakulteto Univerze v Ljubljani sodeluje pri mednarodnem CORNET projektu z naslovom »Reducing fresh water consumption in high water volume consuming industries by recycling AOP-treated effluents« in akronimom AOP4WATER (<http://www.cornet-aop4water.eu>). Cilj projekta je zagotavljanje novih virov vode za potrebe industrije z visoko porabo vode (npr. tekstilna in papirna industrija) s ponovno uporabo (recikliranjem) očiščenih odpadnih voda iz papirne, tekstilne in prehranske industrije ter očiščenih komunalnih odpadnih voda v proizvodnem procesu. Ključ do ponovne uporabe vode je izboljšana učinkovitost čiščenja odpadnih voda s pomočjo naprednih oksidacijskih postopkov (AOP) in optimiziranega biološkega čiščenja za zagotovitev optimalne kakovosti očiščene vode ter

s tem omogočiti ponovno uporabo očiščene vode v proizvodnem procesu.

2 Materiali in metode

Količino in obremenitev odpadnih voda iz slovenske tekstilne industrije smo povzeli po letnih obratovalnih monitoringih iz leta 2009 za posamezne tekstilne tovarne (<http://www.arso.gov.si/>). Vse meritve so se izvajale v skladu s predpisanimi standardi za izvajanje prvih meritev in emisijskega monitoringa odpadnih voda, ki so navedeni v prilogi 2 Pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur.l. RS, št. 54/2011; Ur.l. RS, št. 14/2010). Raziskava zajema vse IPPC zavezance iz

tekstilne industrije v Sloveniji, podrobneje pa smo raziskali dve tekstilni tovarni, ki sodelujeta pri raziskovalnem projektu CORNET AOP4WATER. Ekonomsko smo ovrednotili stroške, ki nastanejo v posameznih tovarnah zaradi neučinkovitega čiščenja tehnoloških odpadnih voda. Pri izračunu smo upoštevali ceno 0,4 €/m³ očiščene tehnološke odpadne vode (Ur. l. RS, št. 7/2010).

Okoljsko dajatev smo izračunali na podlagi določil Uredbe o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda (Ur. l. RS, št. 7/2010).

Izračun obremenitve:

$$\text{seštevek EO za tekoče leto} = \frac{365 \times \text{seštevek EO za preteklo leto}}{\text{število obratovalnih dni v preteklem letu}}$$

Kjer je:

- EO enota obremenitve

Količine snovi, ki določajo enoto obremenitve (EO) so prikazane v tabeli 1.

3 Rezultati

V raziskavi smo zajeli pregled stanja BAT na področju tekstilne industrije v Sloveniji z vidika onesnaževanja voda. BAT na področju tekstilne industrije smo primerjali s stanjem v

slovenski tekstilni industriji z vidika pričakovanih količin in obremenjenosti odpadnih voda ter rezultatov letnih obratovalnih monitoringov. Količine odpadnih voda, ki nastajajo v posameznih tehnoloških fazah, so lahko zelo različne. V tabeli 2 so prikazane okvirne količine porabe vode za različne tehnološke postopke v tekstilni industriji. Podatki so merodajni za tehnologije iz leta 1984 (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1984; Hahn, 1987), vendar pa so za slovensko tekstilno industrijo še vedno aktualni.

Pri novejših tehnoloških postopkih je poraba vode bistveno manjša v primerjavi s starejšimi tehnološkimi postopki (IPPC Reference Document on BAT, 2003; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1984). V tabeli 3 so navedene najmanjše možne količine porabljenega vode pri kontinuiranem postopku pranja tkanine iz bombaža, viskoze in njihovih mešanic s sintetičnimi vlakni (BAT) (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

Količina in sestava odpadnih voda v tekstilni industriji se bistveno spreminja v odvisnosti od tehnološkega postopka in izbrane tehnološke opreme. V tabeli 4 je primerjava moderne in starega postopka barvanja (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

V tabeli 5 je prikazana značilna sestava odpadne vode iz tekstilne industrije z relativno moderno tehnološko opremo. Odpadna voda se ustrezno očisti s čistilno napravo z aktivnim

Tabela 1: Določanje enot obremenitve (EO) za industrijsko odpadno vodo ter koncentracija in letna količina snovi za katero se okoljska dajatev ne plačuje (Ur. l. RS, št. 14/2010)

snov	količina snovi, ki določa enoto obremenitve	koncentracija in letna količina snovi, za katero se okoljska dajatev ne plačuje
kemijska potreba po kisiku - KPK	50 kg O ₂	30 kg/L in 250 kg/leto
fosfor	3 kg	0,1 mg/L in 15 kg/leto
dušik	25 kg	5 mg/L in 125 kg/leto
organske halogenske spojine kot adsorbiljivi organski halogeni - AOX	2 kg halogenov, izračunano kot organsko vezani klor	100 mg/L in 10 kg/leto
– živo srebro	20 g	0,1 mg/L in 100 g/leto
– kadmij	100 g	5 mg/L in 500 g/leto
– krom 6+	100 g	10 mg/L in 0,5 kg/leto
– nikelj	500 g	50 mg/L in 2,5 kg/leto
– svinec	500 g	50 mg/L in 2,5 kg/leto
– baker	500 g	50 mg/L in 2,5 kg/leto
strupenost za vodne bolhe	3000 m ³ odpadne vode/S(D)	S(D) = 2

Tabela 2: Okvirne količine nastalih odpadnih vod v tekstilni industriji v letu 1984 (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1984)

vrsta proizvodnje	[m ³ /t izdelka]
pranje volne	20 – 70
barvanje	20 – 50
beljenje	50 – 100
proizvodnja tkanin	600 – 1000
viskoza, trgana volna, svila	50 – 100
proizvodnja celuloze	350 – 1000

Tabela 3: Najmanjše možne količine porabljene vode pri kontinuiranem postopku pranja tkanine iz bombaža, viskoze in njihovih mešanic s sintetičnimi vlakni (BAT) (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

tehnološki proces	poraba vode [L/kg materiala]	
	skupaj	od tega vroča voda
pranje za odstranitev sredstev za površinsko obdelavo	3 - 4	3 - 4
pranje po alkalnem kuhanju	4 - 5	4 - 5
pranje po beljenju	4 - 5	4 - 5
pranje po hladnem beljenju	4 - 6	4 - 6
pranje po mercerizaciji	4 - 5	4 - 5
- izpiranje NaOH	1 - 2	ni podatka
- nevtralizacija brez sušenja	1 - 2	<1
- nevtralizacija in sušenje		
pranje po barvanju		
- reaktivna barvila	10 - 15	4 - 8
- redukcijska barvila	8 - 12	3 - 7
- žveplova barvila	18 - 20	8 - 10
- naftolna barvila	12 - 16	4 - 8
pranje po tiskanju		
- reaktivna barvila	15 - 20	12 - 16
- redukcijska barvila	12 - 16	4 - 8
- naftolna barvila	14 - 18	6 - 10
- disperzna barvila	12 - 16	4 - 8

Tabela 4: Primerjava porabe sredstev in potrebnega časa pri modernih in zastarelih tehnoloških postopkih barvanja (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

dotok	stara tehnologija	nova tehnologija	prihranek
voda ⁽¹⁾ [L/kg materiala]	100 - 130	50 - 90	30 - 70
pomožna sredstva [g/kg materiala]	15 - 75	8 - 40	5 - 25
barvila [g/kg materiala]	10 - 80	10 - 80	10 - 80
para [kg/kg materiala]	100 - 900	80 - 640	60 - 480
električna energija [kWh/kg materiala]	4 - 5	2 - 3	1,5 - 2,5
čas ⁽²⁾ [min]	0,34 - 0,42	0,26 - 0,32	0,18 - 0,22

Pomen oznak v tabeli:

(1) vključno s spiranjem

(2) vključno s polnjenjem in praznjenjem

ogljem ali reverzno osmozim membranskim filtrom (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

Pri novejših tehnoloških postopkih je poleg bistveno manjše porabe vode, bistveno manjša tudi poraba pomožnih sredstev, barvil, pare in električne energije (IPPC Reference Document on BAT, 2003). Posledično nastajajo pri novejših tehnoloških postopkih tudi manjše količine manj obremenjenih odpadnih voda (Hahn, 1987; Schönberger and Schäfer, 2003; ATV, 2000). Prvi korak pri ustreznem reševanju problematike odpadnih voda je vedno namenjen zmanjšanju količine in obremenjenosti odpadne vode na izvoru nastajanja. V drugem koraku sledi odvajanje in čiščenje odpadnih voda.

V zadnjih dvajsetih letih se je količina in obremenjenost odpadnih voda v slovenski tekstilni industriji nekaj krat zmanjšala. Razlog za to pa ni v tem, ker bi se tekstilna industrija posodobila in na ta način zmanjšala količino in obreme-

njenost odpadnih voda, temveč zaradi zaprtja mnogih tovarn. V tabeli 6 so prikazani izpusti KPK iz tekstilnih tovarn v letu 2009 (www.arso.gov.si) (Podatki v tabeli 6 trenutno niso več realni, saj se obseg tekstilne industrije v Sloveniji še vedno zmanjšuje).

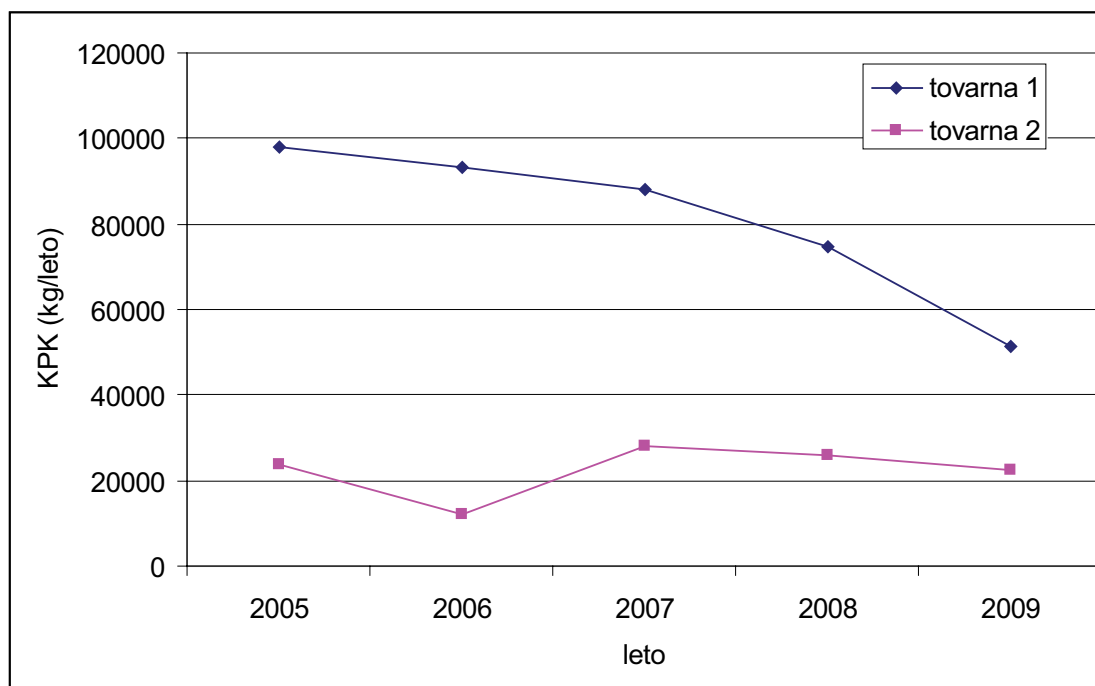
Na sliki 2 so prikazani letni izpusti KPK na iztoku iz dveh tovarn, ki sta zajeti v raziskave. V tovarni 1 je prišlo do zmanjšanja proizvodnje in kot posledica tega tudi do zmanjšanja izpustov KPK, medtem ko se obremenjenost odpadnih vod ni spremenila. V tovarni 2 se je proizvodnja v zadnjih petih letih podvojila, izpusti KPK pa so ostali približno enaki. Iz tega lahko sklepamo, da je bilo onesnaževanje v tovarni 2 nekoliko manjše zaradi povečanje proizvodnih serij in večje tehnološke discipline.

V tabeli 7 je prikazano nihanje obremenitve odpadne vode po posameznih parametrih v tovarni 1 v letu 2009. Kriteriji za

Tabela 5: Značilna sestava tekstilne odpadne vode z relativno moderno tehnološko opremo na dotoku in iztoku iz filtra z aktivnim ogljem (iztok 1) ali reverzno osmotsnega membranskega filtra (iztok 2) (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

parameter	enota	dotok	iztok 1	iztok 2
el. prevodnost	mS/cm	5,9	6,2	0,8
temperatura	$^{\circ}\text{C}$	26,2	22,9	/
KPK	mg/L	515	20	10
BPK ₅	mg/L	140	<0,1	<0,1
TOC	mg C/L	135	4,8	3
anionski tenzidi	mg/L	/	0,02	/
kationski tenzidi	mg/L	/	0,02	/
trdota	$^{\circ}\text{dH}$	2,5	13,6	/
NH ₄ ⁺	mg N/L	0,3	<0,01	/
NO ₃ ⁻	mg N/L	2,5	0,9	/
Fe	mg Fe/L	/	<0,01	/
Al	mg Al/L	/	<0,01	/
Cl ⁻	mg Cl/L	1750	1710	/
SO ₄ ⁻²	mg SO ₄ ⁻² /L	163	188	/
PO ₄ ⁻³	mg PO ₄ ⁻³ /L	0,7	<0,01	/
obarvanost pri 436 nm	m ⁻¹	13	0,04	0
obarvanost pri 525 nm	m ⁻¹	16,2	0,04	0
obarvanost pri 620 nm	m ⁻¹	24,5	0,04	0

/ ni podatka



Slika 2: Prikaz letnih izpustov KPK iz dveh tekstilnih tovarn v Sloveniji v letih 2005-2009.

izpust odpadne vode v kanalizacijo (Ur. l. RS, št. 7/2007) so bili preseženi za vse meritve temperature, pri eni meritvi koncentracije adsorblijivih organskih halogenov (AOX), eni meritvi pH in vseh meritvah koncentracije sulfita. Ostali merjeni

parametri so bili pod mejnimi vrednostmi za izpust odpadnih voda v kanalizacijo. V tabeli 8 je prikazano nihanje obremenitve odpadne vode po posameznih parametrih v tovarni 2 v letu 2009. Kriteriji za izpust odpadne vode v kanalizacijo so bili

Tabela 6: Emisije KPK iz tekstilnih tovarn v Sloveniji v letu 2009 (www.arso.gov.si)

tovarna	izpust v občini	tip iztoka	vodotok	ime KČN	KPK (mg O ₂ /leto) x 10 ⁶
Beti tekstilna industrija d.d.	Metlika	v okolje	potok Obrh		3 506
Beti tekstilna industrija d.d.	Metlika	na KČN		Metlika	86 059
Gorenjska predilnica d.d.	Škofja Loka	na KČN		Škofja Loka	60 980
Inplet pletiva d.o.o.	Sevnica	v okolje	kanal in nato v reko Savo		27 237
Konus Konex d.o.o.	Slovenske Konjice	na KČN			51
MTT Tekstil	Maribor	na KČN		Maribor	15 504
Polzela tovarna nogavic, d.d.	Polzela	na KČN		Kasaze	51 503
Svilanit - v likvidaciji d.d.	Kamnik	na KČN		Domžale - Kamnik	16 025
Šešir, d.d.	Škofja Loaka	na KČN		Škofja Loka	199
Tekstilna tovarna Okroglica d.d.	Nova Gorica	v okolje	melioracijski kanal		143
Tekstila d.d. Ajdovščina	Ajdovščina	na KČN		Ajdovščina	19 187
Tosama d.d.	Domžale	na KČN		Domžale - Kamnik	42 196
TSP, d.d.	Maribor	na KČN		Maribor	22 264
Velana d.d.	Ljubljana	na KČN		Ljubljana - Zalog	7 870
Zvezda SPT d.o.o.	Kranj	na KČN		Kranj	7 006

Pomen oznak v tabeli:

KČN – komunalna čistilna naprava

preseženi za vsebnost celotnih ogljikovodikov pri treh vzorcih od štirih. V obeh tovarnah so bile pri vseh meritvah izmerjene visoke vrednosti KPK. Če primerjamo odpadne vode iz preiskovanih tekstilnih tovarn (tabeli 7 in 8) s komunalnimi odpadnimi vodami, vidimo, da so odpadne vode preiskovanih tekstilnih tovarn skoraj dva krat bolj obremenjene kot komunalne odpadne vode (Hahn, 1987; Gray, 1999; Schönberger and Schäfer, 2003; ATV, 2000). Vzorci so bili odvzeti pred iztokom iz tovarne v javno kanalizacijo.

V tabeli 9 je prikazana primerjava porabljenih količin vode na kilogram barvanega izdelka na podlagi letnih poročil o obratovalnih monitoringih za leto 2009 ter normativnimi porabami za staro in novo tehnologijo (BAT) (IPPC Reference Document on BAT, 2003). Iz tabele 9 je razvidno, da tovarna 1 ne dosega normativov niti s staro tehnologijo, medtem ko je poraba vode v tovarni 2 v normativih z novo tehnologijo.

Ker obe tovarni spuščata odpadne vode v javno kanalizacijo, plačujeta taksi, ki sta zmanjšani za učinek čiščenja na

komunalnih čistilnih napravah. Tovarna 1 je plačala za leto 2009 vsega skupaj približno 30.555,00 €, približno toliko je plačala tudi tovarna 2 (tabela 10). Cene so le okvirne, saj obstajajo različne cene za čiščenje tehnoloških in komunalnih odplak na posameznih čistilnih napravah.

4 Razprava

Stanje tehnologije v nekem obratu (tovarni) se lahko ugotavlja tudi preko letnih poročil o obratovalnih monitoringih. V letnem poročilu obratovalnega monitoringa je navedena poleg vodnih bilanc in onesnaževanja odpadne vode tudi količina proizvedenih izdelkov. Okoljski normativi pa so navedeni v ATV, VDI in BAT dokumentaciji. Na podlagi primerjave rezultatov letnih obratovalnih monitoringov in mejnih ekoloških parametrov s področja odpadnih voda (Ur. l. RS, št. 7/2007) smo ugotovili, da je slovenska tekstilna industrija tehnološko precej zaostala.

Tabela 7: Rezultati letnega obratovalnega monitoringa v tovarni 1 za leto 2009

parameter	mejna vrednost		1. vzorec	2. vzorec	3. vzorec
	kanalizacija	vodotok			
temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	40	30	50,0	41,2	46,8
pH vrednost	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	9,35	9,11	10,34
nerazt. sn. [mg/L]	(a)	80	72	55	32
used. sn. [ml/L]	10	0,5	0,05	0,35	0,05
obarvanost pri 436 nm [m^{-1}]	(b)	7,0	34,5	10,4	25,9
obarvanost pri 525 nm [m^{-1}]	(b)	5,0	15,6	6,3	15,6
obarvanost pri 620 nm [m^{-1}]	(b)	3,0	11,7	4,5	10,8
KPK [mg O_2 /L]	(h)	200 (i)	1340	600	1130
BPK $_{\zeta}$ [mg O_2 /L]		30	500	280	320
biološka razgradljivost [%]	70	(h)	70	70	80
Al [mg/L]	(c)	3,0	0,1	0,1	0,05
Zn [mg/L]	3,0	3,0	0,06	0,05	0,05
Cu [mg/L]	1,0	1,0	0,16	0,28	0,27
Cd [mg/L]	0,1	0,1	0,001	0,001	0,001
Cr $_{VI}$ [mg/L]	0,1	0,1	0,025	0,025	0,09
Cr - celotni [mg/L]	2,0	2,0 (1,0 (d))	0,04	0,03	0,05
Co [mg/L]	0,5	0,5	0,04	0,08	0,17
Sn [mg/L]	1,0	1,0	0,1	0,1	0,02
Pb [mg/L]	0,5	0,5	0,01	0,01	0,01
TOC [mg C/L]	(h)	60 (g)	573,6	141,5	316,9
celotni ogljikovodiki [mg/L]	20	10	0,6	1,1	11
celotni fosfor [mg/L]		1,0	2,94	5,9	4,6
amonijev dušik [mg N/L]	200 (e)	5,0	46,2	2,6	5,0
sulfat [mg/L]	400	(f)	147	109	84
sulfid [mg/L]	1,0	0,5	0,02	0,02	0,02
sulfit [mg/L]	10	1,0	18,2	24,5	12
AOX [mg/L]	0,5	0,5	0,540	0,395	0,129
LKCH [mg/L]	0,2	0,1	0,01	0,01	0,01
fenoli [mg/L]	10	0,1	0,17	0,10	0,05
tenzidi-vsota [mg/L]	(a)	1,0	47,2	17	4,0
tenzidi-anionski [mg/L]			0,41	1,3	0,47
tenzidi-neionski [mg/L]			47	16	3,5

(a) mejna koncentracija neraztopljenih snovi in tenzidov v industrijski odpadni vodi se določa v okoljevarstvenem dovoljenju na podlagi mnenja upravljavca javne kanalizacije oziroma komunalne ali skupne čistilne naprave o vrednosti, pri kateri še ni škodljivega vpliva na kanalizacijo ali ni motenj pri obratovanju komunalne ali skupne čistilne naprave,

(b) uporabljajo se določbe tretjega odstavka 3. člena Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken.

(c) mejna vrednost parametra je določena posredno z mejno vrednostjo za neraztopljene snovi,

(d) če se v isto kanalizacijo odvajajo industrijske odpadne vode iz več naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken, ki se čistijo na isti komunalni ali skupni čistilni napravi, je mejna vrednost za odvajanje v javno kanalizacijo 1 mg/L,

(e) za odpadne vode, ki odteka v čistilne naprave z zmogljivostjo, manjšo od 2.000 PE, je mejna vrednost 100 mg/L. Za odpadne vode, ki odteka v čistilne naprave z zmogljivostjo, enako ali večjo od 2.000 PE, je mejna vrednost 200 mg/L,

(f) mejna vrednost se določa v skladu s predpisom, ki ureja emisijo snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo,

- (g) če v mesečnem povprečju iz analize 24-urnega reprezentativnega vzorca izhaja, da je vrednost TOC v surovi industrijski odpadni vodi na dotoku v biološko stopnjo čiščenja večja od 400 mg/L, velja namesto mejne vrednosti za TOC mejna vrednost za učinek čiščenja industrijske čistilne naprave, ki ne sme biti manjši od 85 odstotkov. Učinek čiščenja se v tem primeru izračunava kot povprečna vrednost razmerja 24-urnih obremenitev odpadne vode, merjeno s TOC, na dotoku in iztoku iz industrijske čistilne naprave,
- (h) odvajanje odpadne vode je dovoljeno, če je stopnja biološke razgradljivosti odpadne vode, izražena z vrednostjo KPK ali TOC, najmanj 70 odstotkov stopnje biološke razgradnje komunalne odpadne vode na komunalni čistilni napravi,
- (i) če v mesečnem povprečju iz analize 24-urnega reprezentativnega vzorca izhaja, da je vrednost za KPK v surovi industrijski odpadni vodi na dotoku v biološko stopnjo čiščenja industrijske čistilne naprave večja od 1.350 mg/L, velja namesto mejne vrednosti za KPK mejna vrednost za učinek čiščenja industrijske čistilne naprave, ki ne sme biti manjši od 80 odstotkov. Učinek čiščenja se v tem primeru izračunava kot povprečna vrednost razmerja 24 urnih obremenitev odpadne vode, merjeno s KPK, na dotoku in iztoku čistilne naprave,
- (j) vrednost parametra v industrijski odpadni vodi se izračuna kot vsota alifatskih kloriranih ogljikovodikov z vreliščem do 150 °C, kakršni so diklormetan, 1-1-1-trikloretan, 1-2 dikloretan, trikloretan in tetrakloretan, izraženih kot Cl.
- Pri tem pomeni 1PE = 60 mg BPK₅/dan, oziroma onesnaževanje, ki ga povzroči en povprečni prebivalec.

Tabela 8: Rezultati letnega obratovalnega monitoringa v tovarni 2 za leto 2009.

parameter	mejna vrednost		1.vzorec	2.vzorec	3.vzorec	4.vzorec
	kanalizacija	vodotok				
temperatura [°C]	40	30	35,6	38,4	32,2	24,3
pH vrednost	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	7,54	6,60	7,11	7,43
nerazt. sn. [mg/L]	(a)	80	270	340	220	200
used. sn. [ml/L]	10	0,5	0,1	0,4	5,0	3,0
obarvanost pri 436 nm [m ⁻¹]	(b)	7,0	62,7	20,8	62,1	11,8
obarvanost pri 525 nm [m ⁻¹]	(b)	5,0	67,2	13,3	72,0	9,5
obarvanost pri 620 nm [m ⁻¹]	(b)	3,0	43,3	8,8	41,2	7,4
KPK [mg O ₂ /L]	(h)	200 (i)	1090	1170	1060	480
BPK ₅ [mg O ₂ /L]		30	380	400	300	180
biološka razgrad. (%)	70	(h)	85	90	90	94
Al [mg/L]	(c)	3,0	0,15	0,19	0,13	0,079
Zn [mg/L]	3,0	3,0	0,05	0,05	0,11	0,05
Cu [mg/L]	1,0	1,0	0,02	0,02	0,06	LOD
Cd [mg/L]	0,1	0,1	LOD	0,001	LOD	LOD
Cr – celotni [mg/L]	2,0	2,0 (1,0 (d))	0,11	0,14	0,11	0,029
Cr _{VI} [mg/L]	0,1	0,1	0,025	LOD	LOD	0,025
Co [mg/L]	0,5	0,5	0,01	0,020	0,016	0,01
Sn [mg/L]	1,0	1,0	LOD	0,02	LOD	LOD
Pb [mg/L]	0,5	0,5	LOD	0,01	0,01	LOD
TOC [mg/L]	(h)	60 (g)	219	220	226	137
celotni ogljikovodiki [mg/L]	20	10	28	28	59	15
AOX [mg/L]	0,5	0,5	0,28	0,054	0,35	0,088
celotni fosfor [mg/L]		1,0	0,98	1,46	0,73	0,36
amonijev dušik [mg/L]	200 (e)	5,0	21,6	23,2	13,8	9,6
tenzidi-vsota [mg/L]	(a)	1	6,4	14,7	17,6	7,8
tenzidi-anionski [mg/L]			0,23	0,35	0,35	0,12
tenzidi-neionski [mg/L]			6,2	14,34	17,2	7,7
sulfat [mg/L]	400	(f)	138	233	120	107
sulfid [mg/L]	1,0	0,5	0,02	0,02	LOD	0,02
sulfit [mg/L]	10	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3
LKCH [mg/L]	0,2	0,1	LOD	0,002	0,002	0,002
Fenoli [mg/L]	10	0,1	0,61	0,87	1,00	0,31

LOD -meja zaznavnosti

(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j) – glej tabelo 6.

Tabela 9: Primerjava porabe vode na kilogram barvanega izdelka na podlagi letnih poročil o obratovalnih monitoringih za leto 2009 v tovarnah 1 in 2 z normativnimi porabami vode po BAT (IPPC Reference Document on BAT, 2003).

proizvajalec	proizvodnja [t/leto]	poraba vode [m ³ /leto]	poraba vode [L/kg]	normativna poraba vode [L/kg] (BAT)	
				stara tehnologija	nova tehnologija
tovarna 1	143	54.000	378	100 - 130	50 – 90
tovarna 2	900	57.000	63		

Tabela 10: Skupno letno plačilo za takso in čiščenje odpadne vode v tovarni 1 in tovarni 2 za leto 2009.

	tovarna 1		tovarna 2	
	količina izpusta	cena (€)	količina izpusta	cena (€)
EO	1207,2	31.885,00	859	22.688,00
zmanjšano EO	97,2	2.567,00	60,6	1.601,00
letna količina odpadne vode (m ³)	69970	27.988,00	57600	23.040,00
SKUPAJ		30.555,00		24.641,00

EO – število enot obremenitve

Večina slovenskih tekstilnih tovarn porabi bistveno več vode, kot bi jo lahko z uporabo moderne tehnologije, iz česar lahko sklepamo, da nekateri obrati ne izpolnjujejo BAT kriterijev. Posledično posameznim obratom grozi, da pri naslednjem podaljšanju okoljevarstvenega dovoljenja ne bodo uspešni. Poleg tega uporaba zastarele tehnologije povzroča dodatne stroške in s tem zmanjšuje konkurenčnost slovenske tekstilne industrije. Pri obravnavi količine in obremenitve odpadnih voda iz tekstilne industrije v Sloveniji je potrebno upoštevati dejstvo, da slovenska tekstilna industrija z redkimi izjemami že dalj časa ni vlagala v posodobitev proizvodnje. Slovenska tekstilna industrija se že dolgo časa bori za preživetje, zato so bila vlaganja v ekološko posodobitev tehnološke opreme samo tolikšna, da so bili zadoščeni minimalni kriteriji za pridobitev okoljevarstvenih dovoljenj. Vendar pa je tudi doseganje minimalnih kriterijev pogosto težavno. Naša raziskava je pokazala, da v letu 2009 pri obravnavanih tekstilnih tovarnah niso bili v celoti doseženi niti vsi kriteriji za izpust v javno kanalizacijo, kaj šele v vodotoke (tabeli 7 in 8). V obravnavanih tovarnah so bila prisotna velika nihanja pH vrednosti in ostalih merjenih parametrov (KPK, BPK₅, neraztopljen snovi, obarvanost, olja, itd.). Odpadna voda iz tekstilne industrije ima v večini primerov višjo temperaturo od najvišje dovoljene temperature za izpust v kanalizacijo in vodotoke. To pomeni, da se z odpadnimi vodami v okolje odvaja tudi velika količina toplotne energije, kar predstavlja precejšnjo ekonomsko škodo. Obremenitev odpadne vode tekstilne industrije je odvisna tudi od organizacije proizvodnje. Pogosto menjavanje proizvodnih procesov povzroča nastajanje večjih količin obremenjenih odpadnih voda na enoto proizvoda kot pri velikih serijah.

Z bolj učinkovitimi postopki predhodnega čiščenja odpadnih voda (pred izpustom odpadnih voda v kanalizacijski sis-

tem) bi bilo možno znatno znižati stroške, ki nastanejo zaradi obremenjevanja voda (taksa, oz. okoljska dajatev + čiščenje) (Čvan, 2004). Ugotovili smo, da v obravnavanih tovarnah znašajo letni stroški zaradi taks in čiščenja odpadnih voda med 20.000,00 € in 30.000,00 € (brez stroškov za dobavo vode in brez stroškov porabljene energije). Ti stroški bi se lahko bistveno znižali, če bi odpadno vodo očistili do te mere, da bi jo lahko vračali v tehnološki proces. S tem bi se znižala tudi cena za porabo vode ter zmanjšala izguba toplotne energije. Z uvajanjem primernih metod predhodnega čiščenja bi lahko iz odpadnih voda tekstilne industrije odstranjevali tudi potencialno nevarne snovi navedene na seznamu prioritarnih substanc Direktive 2008/105/EC. Industrijske odpadne vode bodo morale biti v prihodnosti bolj strogo nadzorovane, če bomo želeli ohraniti naravno ravnovesje v okolju. V skladu z Vodno direktivo 2000/60/EC je potrebno vse industrijske vire onesnaževanja voda redno analizirati tudi glede prisotnosti številnih spojin, ki so strupene, bioakumulativne ali delujejo kot endokrini motilci. Direktiva 2000/60/EC v svojem 4. členu kot enega od ciljev na področju upravljanja voda določa doseganje dobrega stanja površinskih voda do leta 2015, določa pa tudi konkretne cilje glede onesnaževanja površinskih voda s prednostnimi in prednostnimi nevarnimi snovmi, in sicer: i) postopno zmanjšanje onesnaževanja s prednostnimi snovmi in drugimi onesnaževali ter ii) ustavitev oziroma postopno odpravo emisij, odvajanja in uhajanja prednostnih nevarnih snovi. Klasične komunalne čistilne naprave niso narejene za odstranjevanje nevarnih organskih substanc (Gray, 1999; ATV, 2000), tako le te po izpustu v vodotoke konzumirajo vodni organizmi, kar posledično predstavlja nevarnost za celotno prehranjevalno verigo. Med bolj uspešnimi metodami predhodnega čiščenja so med drugim različne vrste membranske fil-

tracije in napredni oksidacijski postopki (AOP) (Schönberger and Schäfer, 2003; ATV, 2000).

5 Sklepi

Tekstilna industrija v Sloveniji je relativno zastarela, kar se kaže v večjih emisijah snovi in toplote v vode, kot bi jih pričakovali pri najboljših razpoložljivih tehnologijah (BAT). Ker je večina tekstilnih tovarn priključena na javne kanalizacijske sisteme s centralnimi komunalnimi čistilnimi napravami, se zadovoljijo le s kriteriji, ki veljajo za izpust v javno kanalizacijo. Pogosto teh kriterijev ne dosegajo. Pozabljajo tudi na ceno sveže vode, ki odteka v kanalizacijo ter veliko količino izgubljene toplotne energije. S tem se sprijaznijo z visokimi stroški za odvajanje in čiščenje odpadnih voda ter okoljskimi dajatvami. Z učinkovitim čiščenjem in rekuperacijo toplote bi bistveno znižali stroške. Učinkovito čiščenje odpadnih voda je ekonomsko upravičeno, če so stroški izgradnje in obratovanja čistilne naprave takšni, da se investicija povrne v nekaj letih. Pri tem ne smemo pozabiti na toplotno energijo, saj rezultati obratovalnih monitoringov kažejo, da spuščajo tovarne občasno v kanalizacije tako vroče odpadne vode, da ne dosegajo niti kriterijev za izpust v javno kanalizacijo.

Sanacija odpadnih voda iz tekstilne industrije se naj rešuje kot sestavni del posodobitve tehnologije in organizacije proizvodnje. S takšnimi ukrepi se lahko bistveno zmanjša količina in obremenjenost odpadnih voda. Šele nato pridejo na vrsto različne tehnologije čiščenja. Na primer v okviru naših raziskav smo ugotovili, da se lahko v tovarni 1 zamenja $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ s cenejšim FeCl_3 . S tem so se bistveno zmanjšale emisije neprijetnih vonjav v okolje ter vsebnost SO_4^{2-} v odpadni vodi. Nekoliko so se pri tem znižali tudi stroški proizvodnje. Tipičen organizacijski ukrep, ki zmanjša količino in obremenjenost odpadnih voda, je združevanje naročil v večje serije. Zelo pogosto menjavanje proizvodnih serij povzroča večje količine odpadnih voda (menjava barvnih flot, itd.). Šele po tehnoloških in organizacijskih ukrepih pridejo na vrsto različni postopki čiščenja odpadnih voda. Če bi se na primer v tovarni 1 postavili toplotni izmenjevalec, bi lahko velik delež toplotne energije koristno izrabili. Iz ohlajene vode bi se nato lažje izločala mineralna olja. Morda bi lahko nadgradili obstoječi egalizacijski bazen v preprosto flotacijsko čistilno napravo s katero bi iz odpadne vode izločali velik delež mineralnih olj in tenzidov. Obstoječe raziskave v okviru projekta CORNET AOP4WATER so namreč pokazale, da bi na ta način znatno znižali obarvanost. Izbira učinkovitega predhodnega ali dokončnega čiščenja je odvisna od vrste odpadne vode ter stroškov postavitve in obratovanja čistilne naprave. Različni kemijski in fizikalni postopki so praviloma relativno dragi (O_3 , H_2O_2 , UV, kavitacija, ultrazvok, aktivno oglje, membranska filtracija, itd.), medtem, ko so biološki postopki znatno cenejši. Vendar pa s klasičnimi biološkimi postopki navadno ne moremo dovolj uspešno odstranjevati obarvanosti in mineralnih olj. Pri tovrstnih odpadnih vodah je zato smiselno iskati rešitve z zmanjšanjem obremenitev na izvoru nastajanja (tehnološka in organizacijska posodobitev proizvodnje) ter kombinacijo ustreznega predhodnega in dokončnega biološkega čiščenja.

Literatura

- ATV. (2000). *ATV-Handbuch, Industrieabwasser*. Ernst&Sohn.
- Čvan, S. (2004). *Ekološki in ekonomski vidiki zmanjšanja onesnaženosti odpadnih vod tekstilne industrije*, magistrska naloga, Univerza v Mariboru, Maribor.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). (1984). *Abwassertechnologie*, Berlin: Springer-Verlag.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*.
- Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008, on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*, L 348/84.
- Direktiva Sveta 96/61/EC z dne 24. septembra 1996 o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja, EGT L 257, *Evropska komisija*, 1996.
- Gray, N. F. (1999). *Water Technology*, Arnold.
- Hahn, H.H. (1987). *Wassertechnologie*, Springer – Verlag.
- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry, *European Commission*, 2003.
- Schönberger, H. & Schäfer, T. (2003). *Beste verfügbare Techniken in Anlagen der Textilindustrie*, Umweltautorität.
- Uradni list RS, št. 7/2010, *Sklep o določitvi zneska okoljske dajatve na enoto obremenitve okolja zaradi odvajanja odpadnih voda*.
- Uradni list RS, št. 14/2010, *Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda*, 1210 -1720.
- Uradni list RS, št. 54/2011, *Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih vod ter o pogojih za njegovo izvajanje*, Evropska komisija, 7723-7748.
- Uradni list RS, št. 7/2007, *Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken*, 609-612.

Aleksandra Krivograd Klemenčič je zaposlena na Univerzi v Ljubljani, Zdravstveni fakulteti ter Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo kot vodja projektov in raziskovalka na nacionalnih in mednarodnih projektih. Ima dolgoletne izkušnje iz ekologije voda, limnologije, ekologije in taksonomije alg, ekološkega pretoka, čiščenja odpadnih voda in ekoremediacijskih tehnologij. Sodelovala je pri pripravi metodologije vzorčenja in laboratorijske obdelave vzorcev alg (fitobentosa) za določanje ekološkega stanja vodotokov v Sloveniji. Je soavtorica znanstvene monografije z naslovom "Monografija sladkovodnih in kopenskih alg v Sloveniji", ki je na območju Slovenije edinstveno delo s področja algologije. Na Inštitutu za celulozo in papir v Ljubljani je delovala kot vodja mikrobiološkega laboratorija in vodja projektov. Svoje delo je predstavila na številnih mednarodnih in domačih konferencah, seminarjih, delavnicah in srečanjih.

Boris Kompare, redni profesor za področje Okoljsko inženirstvo je zaposlen na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Njegov osnovni profil je gradbeno inženirstvo, dodatno se je specializiral na področju

sanitarnega in okoljskega inženiringa s bio-geo kemijo. Ukvarja se predvsem z ekološkim modeliranjem in strojnimi učenjem (ML). Ima številne izkušnje na področju mednarodnega svetovanja, na primer UN-GEF Danube programa za zmanjšanje onesnaževanja, implementacija EU direktiv (UWWT in WFD). Bil je vodja projekta RR1: Biološke tehnologije čiščenja odpadnih voda v slovenski nacionalni mreži odličnosti Okoljske tehnologije. Ima izkušnje na področju čistilnih naprav in modelov QSAR - biorazgradljivost kemikalij s pristopom ML.

Darko Drev je redno zaposlen na Inštitutu za vode Republike Slovenije, pogodbeno pa tudi na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Ima bogate delovne izkušnje v gospodarstvu in negospodarstvu, kjer je opravljal različna dela (tehnolog, vodja proizvodnje, vodja razvoja, tehnični direktor, v.d. direktor, itd.). Pri tem si je pridobil različna funkcionalna znanja in pooblastila (stotnik 1. stopnje ABKO, pooblaščen inženir projektant in revident, sodni izvedenec in cenilec, itd.). V svoji dolgoletni karieri je večkrat zamenjal delovna področja, ali pa jih dopolnjeval z novimi vsebinami (tehnični tekstil, plastika, keramika, ekologija, sanitarno inženirstvo). Čeprav je v zadnjem obdobju težišče njegovega dela znanstveno raziskovalno delo, je po srcu še vedno tehnolog, tako kot je bil v začetku svoje kariere. Ko je delal v gospodarstvu, so se rezultati njegovega dela odražali v novih izdelkih, novih tehnologi-

jah, novih objektih, itd. Pozneje pa je začel objavljati tudi strokovne in znanstvene članke, prijavljati patente in pisati učbenike.

Jože Panjan je izredni profesor za področje Okoljsko inženirstvo na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo in predstojnik Inštituta za zdravstveno hidrotehniko. Ima tudi bogate delovne izkušnje, saj je bil okoli deset let zaposlen v gospodarstvu. Največ izkušenj ima na področju gradnje sistemov za odvod padavinskih in odpadnih voda in čiščenja onesnaženih voda. Raziskovalno, razvojno in strokovno delo usmerja na razvoj sodobnih tehnoloških rešitev v tehniki čiščenja odpadnih voda (nitrifikacija, denitrifikacija, defosfatizacija, membranska filtracija, adsorpcija idr.), odvajanju onesnaženih voda (kanalizacijski sistemi, zadrževanje, prelivanje, samočiščenje idr. in zaščiti voda (samočiščenje v površinskih vodotokih, naravni in antropogeni vplivi ter njihovi sanaciji idr.) ter s komunalno zdravstveno hidrotehnično infrastrukturo, z izdelavo modernih upravljaljskih sistemov zdravstveno hidrotehnične infrastrukture v GIS. Je pooblaščen inženir projektant za področji gradbeništva in sanitarnega inženirstva ter pooblaščen revident za področja gradbeništva in tehnologije s strani Inženirske zbornice Slovenije. Je avtor dveh učbenikov, v Cobissu ima obsežno bibliografijo s čez osemsto naslovi.

Investigation of wastewater pollution in Slovenian textile industry and economic viability of effective treatment

Wastewaters from textile industry are generally highly loaded. Their load can be determined by engineering standards, standards of best available technologies and annual operational monitoring. Investigation presented covers all textile factories in Slovenia obligated by the Directive 96/61/ES on integrated pollution prevention and pollution control; two textile factories in Slovenia were studied in details. In the majority of discussed textile factories significantly higher pollution emissions that would be expected on the basis of engineering and Best Available Techniques (BAT) standards were found. The reason is outdated technological equipment which departs significantly from BAT standards. As the textile factories in Slovenia are mostly connected to public sewer networks which are terminated by central treatment facility, economic viability of installing treatment plants for efficient wastewater pre-treatment is questionable. It is mandatory to achieve the required criteria for discharge into public sewers. More efficient treatment is justified only when it is cost efficient. Economic viability is assessed in terms of costs, which consist of expenses for fresh water supply, environmental taxes, charges for wastewater collection and wastewater treatment and expenses of effective treatment within the factories.

Keywords: emissions, pre-treatment, industrial wastewater, textile industry