

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

V zbirki je izvorna različica izdajatelja.

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

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is a publisher's version PDF file.

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

Drev, D., Panjan, J. 2012. Učinkovito predhodno čiščenje mlekarških odpadnih vod = Effective pre-treatment of dairy wastewaters. Acta hydrotechnica 25, 43: 129–140.

<ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a43dd.pdf>
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5501/>

Datum arhiviranja / Archiving Date: 26-4-2016

UDK/UDC: 628.32:663.911.3

Prejeto/Received: 24. 01. 2013

Kratki znanstveni prispevek – Short scientific paper

Sprejeto/Accepted: 25. 01. 2015

UČINKOVITO PREDHODNO ČIŠČENJE MLEKARSKIH ODPADNIH VOD

EFFECTIVE PRE-TREATMENT OF DAIRY WASTEWATERS

Darko Drev^{1,*}, Jože Panjan¹

¹ Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

Izvleček

Odpadne vode iz predelave mleka so praviloma zelo obremenjene z onesnažili. Njihovo obremenjevanje lahko ugotovljamo preko ATV (Allgemeine Technische Vertragsbedingungen), VDI (Verein Deutscher Ingenieure) in BAT (Best Available Techniques) normativov ter z obratovalnimi monitoringi. Emisije iz mlekarn povzročajo velike stroške zaradi onesnaževanja voda. Pri vseh obravnavanih mlekarnah smo ugotovili bistveno večje emisije kot bi jih pričakovali na podlagi ATV in BAT normativov. Ker so mlekarn priključene na javne kanalizacije s centralnimi čistilnimi napravami, se pojavlja vprašanje ekonomske upravičenosti postavitve učinkovitih čistilnih naprav za predhodno čiščenje. Mlekarn v Sloveniji plačujejo okoljske dajatve za onesnaževanje voda ter stroške čiščenja na centralnih čistilnih napravah. Podobno je urejeno tudi v ostalih članicah EU. Pilotni preskusi s flotacijsko čistilno napravo so pokazali dovolj velike učinke čiščenja, da bi se skupna letna obremenitev zmanjšala za več kot polovico. Pri takšnih učinkih čiščenja bi se bistveno znižali stroški zaradi onesnaževanja voda. Investicija v učinkovito predhodno čiščenje bi se izplačala v nekaj letih.

Ključne besede: mlekarn, obremenjevanje, predhodno čiščenje, učinek, stroški.

Abstract

Milk processing effluents typically present a considerable burden to the environment. The level of burden can be determined with the use of ATV (Allgemeine Technische Vertragsbedingungen), VDI (Verein Deutscher Ingenieure) and BAT (Best Available Techniques) standards, or via operational monitoring. Water emissions from dairy plants are associated with high water pollution costs. In our survey of dairy processing plants, we found water emissions in excess of ATV and BAT standard predictions. As dairy plants are usually connected to public sewer systems with centralized water treatment facilities, the economic viability of installing effective waste water pre-treatment plants is an important issue to examine. In Slovenia, dairy plants pay water pollution fees and contribute to clean-up costs in centralized water treatment plants. This regime is similar to that in many other European countries. A preliminary test of the efficacy of flotation pre-treatment plants exhibited sufficient cleaning effects to reduce total annual burden by more than half. This level of cleaning efficiency could greatly lower the cost of water pollution. An investment in installing pre-treatment plants under such conditions would likely become cost-effective in a few years.

Keywords: dairy, pollution, effluent pre-treatment, environmental impact, economic impact.

* Stik / Correspondence: darko.drev@fgg.uni-lj.si

© Drev D., Panjan J.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0.](#)

© Drev D., Panjan J.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – Non Commercial – Share Alike 4.0 Licence.](#)

1. Uvod

Pri predelavi mleka nastanejo velike količine zelo obremenjenih odpadnih voda (Abwassertechnische Vereinigung, 2000). Razlog za to je osnovna surovina mleko, ki povzroča veliko obremenitev voda. Z uporabo modernih tehnologij za predelavo mleka se bistveno zmanjša količina in obremenjenost odpadnih voda (Balannec et al, 2002). Tudi dokončno biološko čiščenje mlekarških odpadnih voda ni posebno zahtevno. Lahko uporabimo standardni aerobni biološki proces čiščenja (Degremont, 2009), anaerobni biološki proces (Demirel et al., 2005), ali pa čiščenje z rastlinsko čistilno napravo (Heaty et al., 2007). V fazi predhodnega čiščenja ter pri dokončnem čiščenju se lahko za izboljšanje učinkov čiščenja uporabljajo tudi dodatki na bazi encimov (Leal et al., 2006). Količino in obremenjenost odpadnih voda ugotavljamo z monitoringom, ali pa preko inženirskih normativov. Nemški ATV in VDI normativi podajo relativno dobro sliko o obsegu onesnaževanja okolja, ki nastane pri predelavi mleka. Kratica ATV v slovenskem prevodu pomeni splošni tehnični pogoji (Allgemeine Technische Vertragsbedingungen), kratica VDI pa smernice združenja nemških inženirjev (Verein Deutscher Ingenieure). Direktiva 96/61/ES z dne 24. septembra 1996 (IPPC direktiva) je uvedla za industrijske obrate »okoljevarstvena dovoljenja« ter ocenjevanje tehnologije glede na stanje tehnike (BAT = Best Available Techniques). BAT normativi so v bistvu nadgradnja ATV in VDI normativov, s to razliko, da vsaka država samostojno oceni kaj pomeni zanjo BAT (EU Direktiva 2010/75/EU). ATV smernice izdaja Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), VDI smernice pa Verein Deutscher Ingenieure. Ocenjevanje tehnologije vključuje tako uporabljen tehnološki postopek kot tudi način načrtovanja, gradnje, vzdrževanja, upravljanja in razgradnje obrata. Razpoložljiva tehnologija pomeni tehnologijo na ravni, ki omogoča njeno uporabo v posamezni industrijski panogi pod ekonomsko in tehnično izvedljivimi pogoji.

Obremenjevanje voda zaradi predelave mleka je različno glede na tehnološko fazo in vrsto tehnologije (Abwassertechnische Vereinigung, 2000). V tem članku smo se omejili le na onesnaževanje voda iz predelave mleka v Sloveniji. Izbrali smo tri mlekarne, ki so IPPC zavezanci. To pomeni, da predelajo več kot 200×103 L mleka na dan. Predelava mleka je povezana z nastajanjem velikih količin zelo obremenjenih odpadnih voda. Te odpadne vode nastajajo kot posledica:

- čiščenja cistern, posod in tehnološke opreme,
- odpadnih produktov mleka pri predelavi,
- odpadnih snovi pri čiščenju polnilnih linij (CIP),
- hlajenja surovega mleka, polproizvodov in proizvodov, itd.

V preglednicah 1 in 2 so navedeni podatki o sestavinah surovega in delno predelanega mleka, iz katerih izhaja glavno obremenjevanje odpadnih voda. V preglednicah 3 in 4 so našteje vrste obremenitev ter količine odpadnih voda.

Iz navedenih podatkov je razvidno, da so lahko v mlekarnah zelo različne količine in obremenitve odpadnih voda. To je odvisno od konkretnega tehnološkega postopka v določenem obratu.

Slovenija spada med velike predelovalke mleka glede na površino in število prebivalcev (Statistični urad RS, 2007). Večino mleka se predela v petih največjih mlekarških obratih, ki so IPPC zavezanci. Znatna količina mleka se izvozi (v Italijo), predela v manjših mlekarnah, ali pa porabi na kmetijah.

Okoljske dajatve za obremenjevanje voda plačujejo le mlekarne, ki so zavezanci za izvajanje obratovalnega monitoringa. Okoljska dajatev se ustrezno zniža glede na učinek čiščenja KČN. Če so povezane na komunalne čistilne naprave, pa plačujejo tudi kanalščino, oziroma uslugo čiščenja, ki jo za njih izvaja KČN. Za njih je smiselno, da imajo čim manjše emisije v vode, ker bodo na ta način plačevale nižje okoljske dajatve ter tudi manjšo kanalščino. Stanje tehnike to omogoča, ekonomski izračun pa potrjuje

smiselnost izgradnje kvalitetnega predhodnega čiščenja.

Obstajajo različne tehnologije predhodnega čiščenja (European Commission, Integrated

Pollution Prevention and Control, 2006), ki so primerne za čiščenje mlekarških odpadnih voda. V raziskavi smo se omejili le na flotacijo, ki je relativno učinkovita in hkrati tudi enostavna.

Preglednica 1: Sestava mleka in obremenitev, ki jo predstavljajo posamezne vrste mleka (*Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH, 1984*).

Table 1: Milk types and associated burdens posed by each type of milk (*Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH, 1984*).

mlečni izdelek	utežni %					BPK ₅ [mg/L]
	voda	maščobe	beljakovine	sladkor	pepel	
polno mleko	87,8	3,9	3,2	5,1	0,7	110000
posneto mleko	92,3	0,1	3,3	4,3	0,8	70000
pinjenec	92,3	0,5	3,4	4,3	0,7	70000
sirotka	93,9	0,3	0,9	4,9	0,6	32000

Preglednica 2: Sestava mlečnih proizvodov v [g/kg] in njihove vrednosti odpadne vode (*Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH, 1984*).

Table 2: Composition of dairy products in [g/kg] and associated waste water characteristics (*Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH, 1984*).

parameter	polno mleko 3,5% mašč.	posneto mleko	smetana 30% mašč.	sirotka	mlečni prah
voda	875	908	636	938	43
sušina	125	92	364	62	957
maščobe	35	0,5	300	0,5	10
beljakovine	36	36	28	7,5	350
skupni dušik	6	6	4	1,2	60
mlečni sladkor	47	47	33	47	519
sol	7	7	3	7	78
BKP ₅	114	90	400	42	700
KPK	183	147	750	65	950
BPK ₅ /TKN	19	15	100	35	11,7
TOC	70	62	186	27	374

Preglednica 3: Obremenitve, ki nastanejo v fazi predelave mleka (*Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH, 1984*).

Table 4: Loads that occur during milk processing (*Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH, 1984*).

Vrsta obremenitve	vsebnost	sveže mleko	nadaljnja predelava	
			povprečje	obseg
hladilne vode	m ³ /1000 L mleka	/	/	2,0-4,0
odpadne vode	m ³ /1000 L mleka	1,0	2,0	0,5–5,0
BPK ₅	m ³ /1000 L mleka	0,1–2,5	2,5	0,3–5,0
BPK ₅	mg O ₂ /L	100–2500	1250	1–50.000
BPK ₅ /KPK	/	/	0,69	0,35–0,9

Preglednica 4: Podatki o obremenjevanju odpadne vode iz mlekarn (*Abwassertechnische Vereinigung, 2000*).

Table 4: Dairy processing plant waste water burden data (*Abwassertechnische Vereinigung, 2000*).

Parameter	enota	vrednost
količina odpadne vode	m ³ /1000 kg mleka	0,8–2,0
BPK ₅ –obremenitev	kg BPK ₅ /1000 kg	0,8–2,0
BPK ₅ –koncentracija	mg O ₂ /L	500–2000
KPK/BPK ₅	/	1,3–2,2
TKN–Kjeldahl	mg N/L	30–50
N–NO ₃	mg N/L	20–130
BPK ₅ /TKN	/	12–20
BPK ₅ /cel. dušik	/	3–14
P–celokupni	mg P/L	10–100
lipofilne snovi	mg/L	20–250
usedljive snovi	mL/L	1–2
pH–vrednost	/	9,0–10,5

2. Materiali in metode

Pri izvedbi preiskav smo uporabili uradne podatke od Statističnega urada RS in ARSO (Agencije Republike Slovenije za okolje), velik del terenskih in laboratorijskih preiskav pa smo opravili sami po akreditiranih metodah.

Tehnološke postopke smo preučevali na podlagi dejanskega stanja na terenu ter na podlagi ATV, VDI in BAT normativov (European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control, 2006).

Pilotne preskuse smo izvajali na pilotni flotacijski napravi volumna približno 200 L, pri čemer smo uporabljali različne flokulante in koagulate.

Koagulanti so bili predvsem na bazi aluminija in železa ($AlCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$), flokulanti pa na bazi anionskih in neionskih poliakrilamidov. Za uravnavanje pH vrednosti smo uporabljali tudi solno kislino (HCl) in apno ($Ca(OH)_2$).

Izbrali smo tri velike mlekarske obrate, ki so vsi IPPC zavezanci. Pri vseh obravnavanih mlekarnah smo preučili tehnologijo z vidika skladnosti z ATV normativi.

Pilotne preskuse smo izvajali pri eni izmed obravnavanih mlekar v maju in juniju, ko je dosežena povprečna vsebnost maščob in beljakovin glede na letno povprečje odkupljenega mleka v Sloveniji.

3. Preiskava

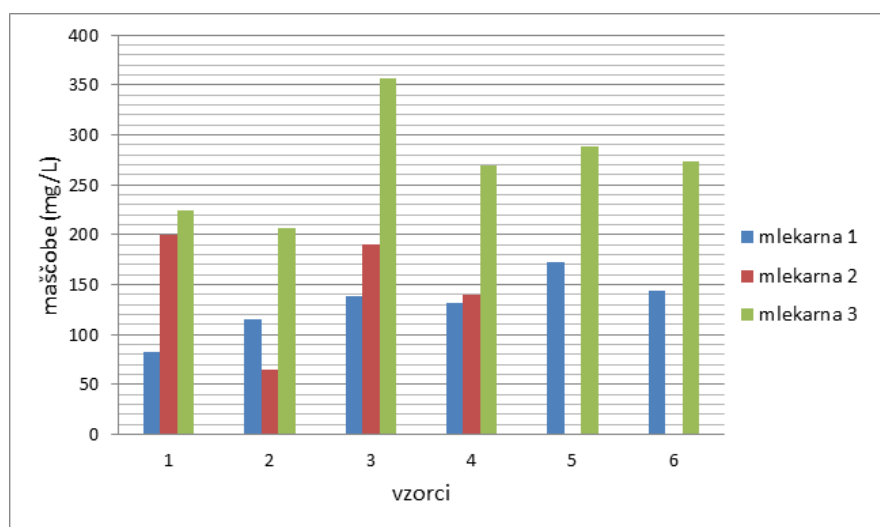
Preiskave so zajele pet področij:

- zbiranje podatkov in pregled stanja tehnoloških postopkov v mlekarnah
- zbiranje podatkov in pregled stanja količin in kakovosti proizvedenega in odkupljenega mleka

- zbiranje podatkov in pregled stanja izvedenih monitoringov pri mlekarnah in zbiralnicah mleka (1994–2009)
- izvedbo monitoringov (3 mlekarne, 3 zbiralnice mleka)
- izvedba pilotnih preskusov predhodnega čiščenja odpadne vode pri mlekarni št. 1.

Iz vsebnosti maščob v odpadni vodi, ki je prikazana na sliki 1, lahko najboljše ugotovimo stopnjo predhodnega čiščenja. Mlekarna 1 je imela leta 2005 egalizacijski bazen, ki je služil tudi kot usedalnik, na katerem je bilo nameščeno preprosto posnemalo za maščobe. Tudi mlekarna 2 je imela enostavno predhodno čiščenje. Pri mlekarni 3 pa v času vzorčenja ni bilo nobene ustrezne stopnje predhodnega čiščenja.

Če primerjamo letna poročila o obratovalnih monitoringih odpadnih voda za leto 2005 v vseh treh obravnavanih mlekarnah z ATV normativi glede na količino predelanega mleka, lahko ugotovimo dobro ujemanje s pričakovanji (preglednice 5, 6 in 7). Pri meritvah emisij snovi v vode pa takšnega ujemanja ni. Iz preglednice 5 je razvidno relativno slabo ujemanje izračunane vrednosti na podlagi ATV normativa in rezultatov monitoringa pri mlekarni 1. To je razumljivo, saj je bilo v mlekarni 1 pomanjkljivo predhodno čiščenje.



Slika 1: Nihanje vsebnosti maščob v mlekarnah 1, 2 in 3 ob odvzemu vzorcev za obratovalni monitoring leta 2005.

Figure 1: Dairy fat content fluctuations in dairy plants 1, 2 and 3, operational monitoring samples taken in the year 2005.

Preglednica 5: Emisije v vode iz mlekarne 1 v letu 2005 (predelava mleka 83.851.555 L) v primerjavi z ATV normativi.

Table 5: Emissions to water from dairy plant 1 in the year 2005 (milk processing 83.851.555 L) in comparison to ATV standards.

parameter	Enota	ATV	ATV [83.851.555 L]	letno poročilo 2005
količina odp. vode	m ³ /1000 L mleka	0,8–2,0	67081–167702 m ³	281200 m ³
BPK ₅	g O ₂ /m ³	0,5–2,0	42926–167702 m ³	266609 kg
KPK	g O ₂ /m ³	0,65–4,4	54503–368944 kg	393026 kg
KPK/BPK ₅	/	1,3–2,2	/	1,47
TKN–Kjeldahl	g N/m ³	30–50	2516–4193 kg	11605 kg
N–NO ₃	g N/m ³	20–13	1677–10901 kg	/
P–celokupni	g P/m ³	10–100	839–8395 kg	3458 kg
lipofilne snovi	g/m ³	20–250	1677–20963 kg	36437 kg
usedljive snovi	mL/L	1–2	83852–167703 L	500536 L
pH–vrednost	/	9,0–10,5	/	6,9

Preglednica 6: Emisije v vode iz mlekarne 2 v letu 2005 (predelava mleka 61.300.000 L) v primerjavi z ATV normativi.

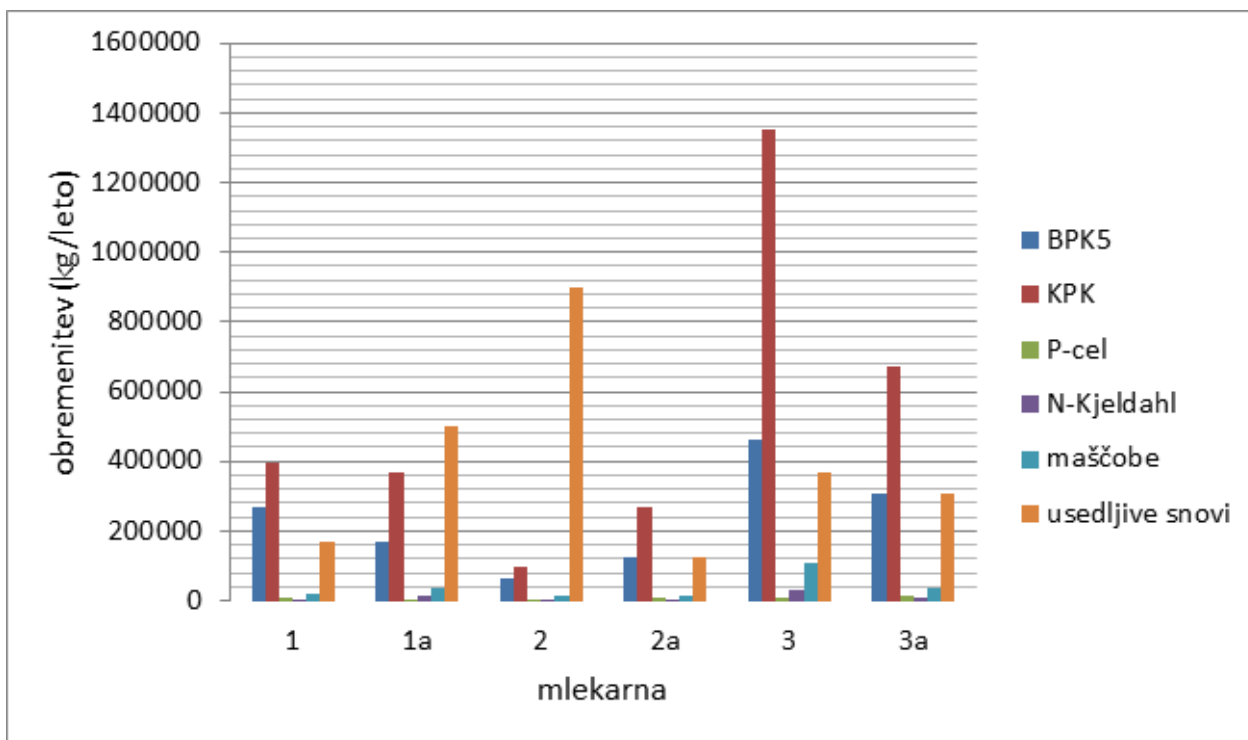
Table 6: Emissions to water from dairy plant 2 in the year 2005 (milk processing 61.300.000 L) in comparison to ATV standards.

parameter	Enota	ATV	ATV [61.300.000 L]	letno poročilo 2005
količina odpadne vode	m ³ /1000 L mleka	0,8–2,0	49040–122600 m ³	77102 m ³
BPK ₅	g O ₂ /m ³	0,5–2,0	30650–122600 m ³	56729 kg
KPK	g O ₂ /m ³	0,65–4,4	39845–269720 kg	96915 kg
KPK/BPK ₅	/	1,3–2,2	/	1,7
TKN–Kjeldahl	g N/m ³	30–50	1839–3065 kg	3095 kg
N–NO ₃	g N/m ³	20–130	1226–7969 kg	/
P–celokupni	g P/m ³	10–100	613–6130 kg	1008 kg
lipofilne snovi	g/m ³	20–250	1226–15325 kg	12182 kg
usedljive snovi	mL/L	1–2	61300–122600 L	901600 L
pH–vrednost	/	9,0–10,5	/	6

Preglednica 6: Emisije v vode iz mlekarne 3 v letu 2005 (predelava mleka 152.976.903 L) v primerjavi z ATV normativi.

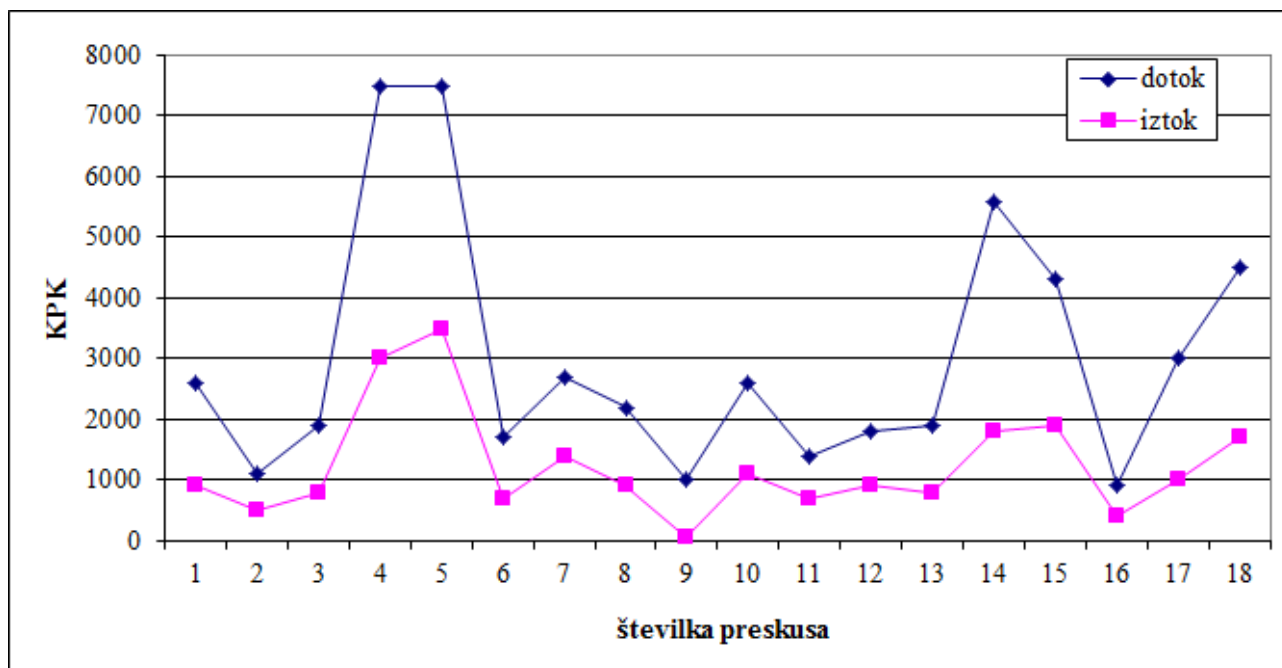
Table 7: Emissions to water from dairy plant 3 in the year 2005 (milk processing 152.976.903 L) in comparison to ATV standards.

parameter	enota	ATV	ATV [152.976.903 L]	letno poročilo 2005
količina odpadne vode	m ³ /1000 L mleka	0,8–2,0	122382–305954 m ³	398936 m ³
BPK ₅	g O ₂ /m ³	0,5–2,0	76488–305954 kg	463295 kg
KPK	g O ₂ /m ³	0,65–4,4	99435–673099 kg	1349967 kg
KPK/BPK ₅	/	1,3–2,2	/	2,9
TKN–Kjeldahl	g N/m ³	30–50	4589–7649 kg	32559 kg
N–NO ₃	g N/m ³	20–130	3059–19887 kg	120 kg
P–celokupni	g P/m ³	10–100	1529–15297 kg	6895 kg
lipofilne snovi	g/m ³	20–250	3059–38244 kg	107555 kg
usedljive snovi	mL/L	1–2	152977–305954 L	366540 L
pH–vrednost	/	9,0–10,5	/	9,2



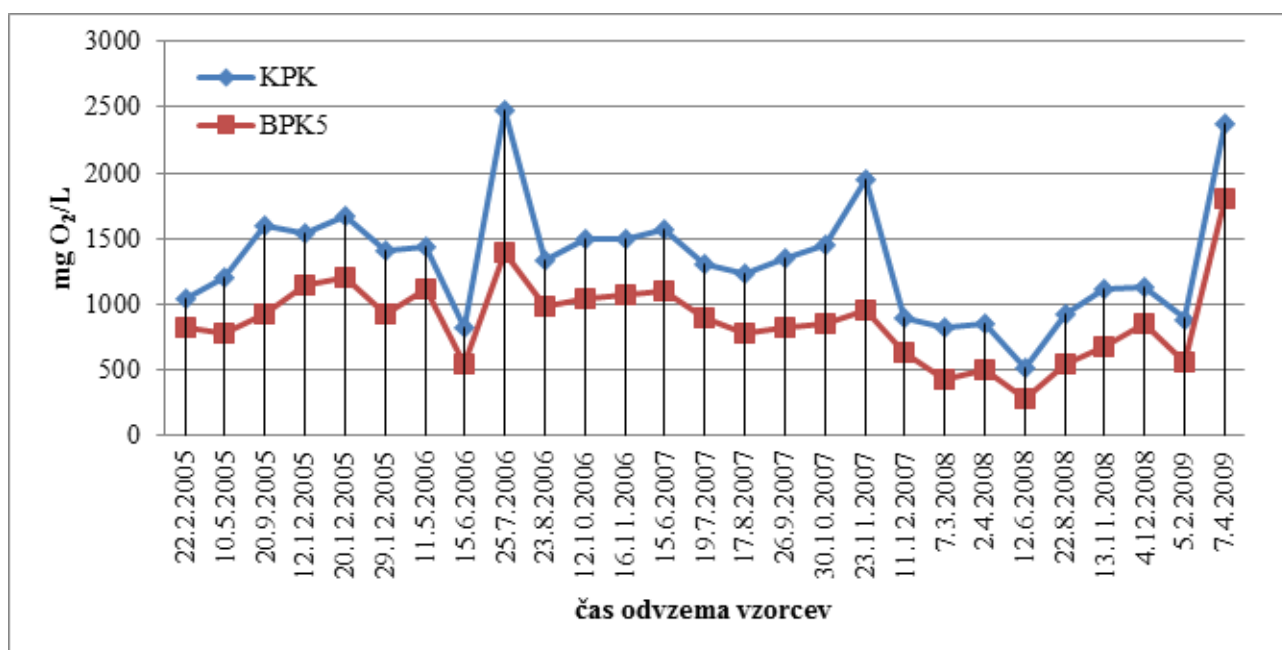
Slika 2: Primerjava povprečnih letnih obremenitev in izračunanih normativnih obremenitev za mlekarne 1, 2 in 3.

Figure 2: Comparison of average annual loads and the calculated regulatory burden for dairy plants 1, 2 and 3.



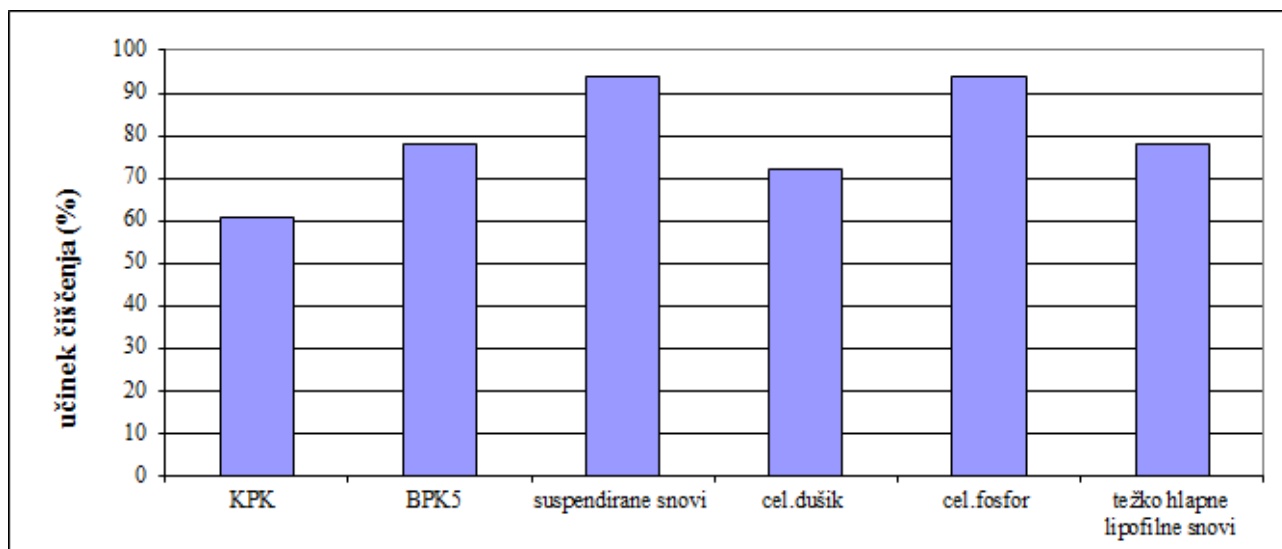
Slika 3: Prikaz vrednosti KPK na vtoku in iztoku med preskusi predhodnega čiščenja odpadne vode iz mlekarne 1.

Figure 3 COD values in the inflow and outflow during pre-treatment test for dairy plant 1.



Slika 4: Vrednosti KPK in BPK₅ v odpadni vodi mlekarne 1 na iztoku v javno kanalizacijo v času izvajanja meritev v okviru obratovalnega monitoringa odpadnih voda za obdobje 2005–2009.

Figure 4: COD and BOD₅ values in the effluent of dairy plant 1 at the outlet into the public sewer system at the time of implementation of measurements within the operational monitoring of wastewater in the period 2005–2009.



Slika 3: Povprečni rezultati flotacijskega postopka predhodnega čiščenja odpadne vode iz mlekarne 1.

Figure 4: The average results of preliminary flotation treatment of waste water from dairy plant 1.

Iz preglednice 6 je razvidno, da je pri mlekaršni 2 ujemanje izračunanih vrednosti na podlagi ATV standarda in rezultatov obratovalnega monitoringa relativno dobro. Proizvodnji proces je bil delno posodobljen, kar se odraža na rezultatih.

Iz preglednice 6 je razvidno, da je količina in obremenjenost odpadne vode pri nekaterih postavkah v mlekaršni 2 večja, kot bi jo pričakovali na izračuna na podlagi ATV smernice. Količina odpadne vode je v skladu s pričakovanji, bistveno preveč pa je usedljivih snovi. Razlog za to je odsotnost ustreznega predhodnega čiščenja.

Iz preglednice 7 je razvidno, da je gre pri mlekaršni 3 za velika odstopanja od pričakovanega obsega onesnaževanja. Nekoliko večja od pričakovanj je tudi količina odpadne vode. Razlog za to je odsotnost kakršnega koli predhodnega čiščenja.

Na sliki 2 so navedene količine najpomembnejših onesnaževal v letu 2005 v odpadnih vodah v treh obravnavanih mlekaršnah. Označene so s številkami 1, 2 in 3, izračunane koncentracije po ATV normativih pa s številkami 1a, 2a in 3a. Pri parametru KPK, ki ponazarja letno obremenitev, je pri mlekaršni 3 najbolj očitna razlika med izračunano vrednostjo na podlagi ATV normativov in izmerjeno vrednostjo med monitoringom. Razlog za to je odsotnost vsaj

najbolj enostavnega postopka predhodnega čiščenja. Mlekaršna 1 je imela takrat egalizacijsko sedimentacijski bazen in lovilec olja, zato je tudi najmanjša razlika med izračunano in izmerjeno obremenitvijo.

V času izvajanja pilotnih preskusov z odpadno vodo iz mlekaršne 1 (slika 3) je bilo bistveno večje nihanje KPK kot v času izvajanja obratovalnega monitoringa (slika 4). Občasni sunki so dosegali celo vrednosti, višje od 7000 mg O₂/L. Takrat je verjetno prišlo do izpusta sirotke v odpadno vodo.

S flotacijskim postopkom smo dobili relativno dobre učinke čiščenja za KPK, BPK5, celotni dušik, celotni fosfor, težko hlapne lipofilne snovi ter suspendirane snovi (slika 5). Glavni parameter za plačilo okoljske dajatve in čiščenje odpadne vode se je znižal za več kot 60%.

Pri stroških zaradi onesnaževanja voda se v Sloveniji upošteva okoljska dajatev za obremenjevanje vode, ki jo onesnaževalec plačuje državi, ter strošek za odvajanje in čiščenje voda, ki jo onesnaževalec plačuje javnemu podjetju s koncesijo za odvajanje in čiščenje odpadnih voda. Okoljska dajatev za obremenjevanje voda je zadnja leta okoli 26,4 EUR za enoto obremenjevanja. Cena za odvajanje in čiščenje odpadnih voda pa se nekoliko razlikujejo med mlekaršnimi 1, 2 in 3, kar je razvidno iz preglednic

8, 9, 10 in 11. Komunalna podjetja, ki upravljajo kanalizacijske sisteme in centralne komunalne čistilne naprave, imajo nekoliko različne cene. Pri vseh ja cena odvisna od količine in obremenitve odpadne vode. Za lažjo primerjavo smo vzeli enotno ceno 0,73 EUR/m³. Pravilnik o tehnični izvedbi in uporabi javnih objektov in naprav za odvajanje in čiščenje odpadnih komunalnih ter padavinskih voda (UL RS 66/2007) pa točno definira kako se izračunava faktor onesnaženosti, ki se uporablja za izračun stroškov za čiščenje odpadne vode.

Za izračun faktorja onesnaženosti se uporablja naslednja formula:

$$F = \frac{0,4U_i}{U_f} + \frac{0,6KPK_i}{KPK_f} + \frac{0,1S_i}{S_f} + \frac{0,1K_i}{K_f} \quad (1)$$

kjer je:

- F faktor onesnaženosti,
- U_i usedljivost industrijske odpadne vode po Imhoffu v 60 minutah,
- U_f usedljivost komunalne odpadne vode po Imhoffu v 60 minutah, ki je določena kot konstanta 5 mL/L,
- KPK_i izmerjena kemijska potreba po kisiku izmerjene odpadne vode s K-bikarbonatom,
- KPK_f kemijska potreba po kisiku komunalne odpadne vode s K-bikromatom, ki je določena kot konstanta 300 mg O₂/L,
- S_i strupenost industrijske odpadne vode kot faktor razredčenosti, da odpadna voda ne

deluje več zaviralno za razvoj bakterij (test po Offhausovi metodi),

- S_f strupenost komunalne odpadne vode kot faktor razredčenosti, da odpadna voda ne deluje več zaviralno za razvoj bakterij (test po Offhausovi metodi),
- K_i vsebnost težkih kovin in snovi, ki presegajo mejne vrednosti v 63. členu ali uredbah omejene vrednosti,
- K_f mejne koncentracije težkih kovin in snovi, ki presegajo mejne vrednosti v 63. členu ali uredbah omejene vrednosti.

Kadar je onesnaženost vode (i) po posameznih kriterijih manjša, kot je določena za komunalno odpadno vodo (f), se v števcu uporabi konstanta, določena za komunalno odpadno vodo. Kriterija S in K se prištevata samo, kadar je količnik večji od ena.

Preglednica 8: Preračunane obremenitve mlekarš iz leta 2005 v vrednosti dajatev za obremenjevanje.

Table 7: Calculated loads of dairies for the year 2005 and the associated pollution fee amounts.

	1	2	3
enote	9503	2398	34336
dajatev [EUR]	250879	63307	906470

Če se odvajanje komunalne odpadne vode zaključuje s komunalno ali skupno čistilno napravo s primarnim čiščenjem, se letni seštevek enot obremenitve zmanjša za 40% (UL RS 80/2012).

Preglednica 9: Izračun okoljske dajatve za obremenitev po KPK brez ustreznega predhodnega čiščenja.

Table 9: Calculation of COD environmental fees without proper pre-cleaning.

mlekarna	KPK	enote	okoljska dajatev [EUR]	40% cene dajatev
1	393026	7861	207518	124511
2	96915	1938	51171	30703
3	1349967	26999	712783	427670

Preglednica 10: Okvirna letna cena za odvajanje in čiščenja odpadnih voda (0,73 EUR/m³).

Table 10: Indicative annual cost for collection and treatment of waste water (€0,73/m³).

mlekarna	količina [m ³]	cena [EUR]
1	281200	205276
2	77102	56284
3	398936	291223

Preglednica 11: Skupna letna cena za odpadne vode ter okvirni prihranek pri 60% učinku predhodnega čiščenja KPK

Tabele 11: Total annual cost of waste water and saving under 60% COD pre-cleaning efficacy.

mlekarna	40% cene okoljske dajatve	čiščenje [EUR]	skupaj [EUR]	prihranek 60%
1	124511	205276	329787	197872
2	30703	56284	86987	52192
3	427670	291223	718893	431336

Iz preglednice 11 je razvidno, da bi s predhodnim čiščenjem s flokulacijsko –flotacijskim postopkom pri učinku čiščenja 60% KPK dosegli precejšnje prihranke. Izračunane vrednosti so le okvirne, saj nismo upoštevali konkretnih faktorjev za izračun cene za odvajanje in čiščenje odpadnih voda za vsako mlekarno posebej. Vzeli smo okvirni strošek čiščenja 0,73 EUR/m³ tehnološke odpadne vode, ki predstavlja povprečje. Prav tako nismo upoštevali stroškov delovanja čistilne naprave.

4. Zaključki

Pri predelavi mleka v mlečne izdelke nastanejo znatne količine zelo obremenjenih odpadnih voda. Podatki kažejo, da so tri obravnavane mlekarnice izpuščale v času raziskave iz proizvodnje bistveno bolj obremenjene odpadne vode kot bi pričakovali na podlagi ATV, VDI in BAT normativov. Razlog za to je v tem, da niso imele dovolj učinkovitih postopkov predhodnega čiščenja. Zato so plačevale državi visoke okoljske dajatve za obremenjevanje voda. Poleg tega so plačevale upravljavcem čistilnih naprav tudi visoke stroške za čiščenje odpadnih voda.

Rezultati preiskav kažejo, da večina izmerjenih parametrov prekorači izračunane vrednosti na podlagi ATV normativov za količine predelanega mleka. Nobena izmed obravnavanih mlekarn ni imela ustrezne stopnje predhodnega čiščenja (Luckert, 2005), zato ni čudno, da so izmerjene izrazito visoke vsebnosti težko hlapnih lipofilnih in usedljivih snovi. Tudi vrednosti KPK in BPK5 so nekoliko večje od maksimalnih vrednosti na podlagi ATV normativov. Z učinkovitejšimi postopki predhodnega čiščenja bi bistveno znižali obremenitev odpadnih voda, s čemer bi znižali višine okoljske dajatve za obremenjevanje voda ter tudi plačila upravljavcem čistilnih naprav. Postavitev lastne biološke čistilne naprave pa bi bila možna samo v primeru mlekarnice 1, ki leži izven urbanega okolja. Vendar pa bi bila takšna rešitev vprašljiva, saj je centralna čistilna naprava oddaljena od mlekarnice približno 4 km. Postavitev še ene čistilne naprave na razdalji 5 km bi pomenilo dodatno obremenjevanje prostora in odpor lokalnega okolja. Cena za m³ očiščenih odpadnih voda pa morala biti pri večjih čistilnih napravah nižja kot pri manjših.

Predhodni pilotni preskusi čiščenja s flotacijsko čistilno napravo, ki smo jih izvedli pri mlekarnici 1, kažejo na to, da bi lahko znižali vrednost KPK za

ca 60%, vsebnost težko hlapnih snovi pa za 78%. V primeru, da bi znižali vsebnost KPK na iztoku za 60%, bi pri eni izmed obravnavanih mlekarn prihranili več kot 400.000 EUR na leto.

Raziskava kaže, da bi se v relativno kratkem času izplačala investicija v ustrezno stopnjo predhodnega čiščenja pri vseh obravnavanih mlekarnah. Posebno pa to velja za mlekarno 3, ki spušča v kanalizacijo najbolj obremenjene odpadne vode. To lahko posplošimo tudi na druge mlekarne, ki niso navedene v članku, ter druge države, kjer veljajo okoljske dajatve za obremenjevanje voda.

Viri

Abwassertechnische Vereinigung (2000). *ATV-Handbuch, Industrieabwasser Lebensmittelindustrie*. Ernst & Sohn, 482 p.

Balanec, B., Gesan-Guizion, G., Chaufer, B., Rabiller-Baudry, M., Daufin, G. (2002). Treatment of dair process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration, *Desalination*, **147**, 89-94.

Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH (1984). *Abwasser-technologie*. Springer-Verlag, 1105 p.

Demirel, B., Yenigun, O., Onay, T. (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, *Process Biochemistry*, **40**, 2583–2595.

Degremont (2009). *Water Treatment Handbook*, 1571 p.

European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control (2006). Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, 638 p.

EU Direktiva 2010/75/EU (2010). EU Direktiva o industrijskih emisijah (celovito preprečevanje in nadzorovanje onesnaževanja), Uradni list Evropske unije, L 334/17.

EU Direktiva 96/61/ES (1996). EU Direktiva o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja, Uradni list Evropske unije, L257/26.

Heaty, M. G., Rodgers, M., Mulqueen, J. (2007). Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. *Bioresource Technology*, **98**, 2268–2281.

Luckert, K. (2005). *Handbuch der mechanischen Fest – Flüssig-Trennung*. Vulkan-Verlag GmbH, 563 p.

Leal, M., Freire, D., Cammarota, M., Sant Anna, G. (2006). Effect of enzymatic hydrolysis on anaerobic treatment of dairy wastewater, *Process Biochemistry*, **41**, 1173–1178.

UL RS 80/2012 (2012). Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda= Decree on environmental tax for environmental pollution caused by waste water discharge. Uradni list RS št. 80/2012 (in Slovenian).

UL RS 66/2007 (2007). Pravilnik o tehnični izvedbi in uporabi javnih objektov in naprav za odvajanje in čiščenje odpadnih komunalnih ter padavinskih. Uradni list RS št. 66/2007 (in Slovenian).

Statistični urad RS (2007). Statistični letopis 2007=Statistical yearbook 2007. Statistični urad RS, 600 p. (in Slovenian).