



## PROBLEMATIKA ČIŠČENJA MLEKARSKE ODPADNE VODE

**dr. MARJETKA LEVSTEK<sup>1</sup>, mag. BARBARA BRAJER HUMAR<sup>2</sup>,  
dr. MARJETKA STRAŽAR<sup>3</sup>, VALERIJA JAVORNIK<sup>4</sup>,  
STOJAN KOGEJ<sup>5</sup>, DANIEL KELEČEVIĆ<sup>6</sup>**

### Povzetek

Pri predelavi mleka v mlečne izdelke se lahko porabi od 0,75 do 5 litrov vode na liter predelanega mleka. Količina odpadne vode, njena sestava in dinamika nastanka čez dan so močno odvisne od velikosti predelovalnega obrata, vrste mlečnih proizvodov, ločevanja stranskih produktov ter načina čiščenja proizvodnih linij. V odtoku tako odteka mešanica odpadne vode, ki ima spreminjajoč pH, visoko organsko obremenitev od 3.000 do 60.000 mgKPK/L ter nizko obremenitev po dušiku in fosforju. Zaradi šaržnih izpustov iz proizvodnje in visoke organske obremenitve te odpadne vode predstavljajo veliko breme za okolje, zato se morajo pred izpustom prečistiti na industrijski čistilni napravi. V prispevku bosta predstavljena način vodenja dveh industrijskih čistilnih naprav kot tudi nov način vodenja SBR bazena. Enega največjih izzivov predstavlja preprečevanje nastajanja napihnjene blata zaradi previsoke vsebnosti mikroorganizmov tipa *Thiotrix sp.*

**Ključne besede:** anaerobni selektor, flotacija, mlekarska odpadna voda, napihnjeno blato, SBR, *Thiotrix sp.*

### Abstract

In milk processing, the use of water per litre of milk processed may vary from 0.75 to 5 litres. The amount, composition, as well as dynamics of wastewater flow during the day depends greatly on the production line size, types of dairy products made, and on the methods implemented for by-product separation and production line cleaning. The outflow consists of a mixture of wastewater with a varying pH, a high organic load from 3,000 to 60,000 mg COD/L, and a low nitrogen and phosphorus load. Due to batch discharges from production lines and a high organic load, this type of wastewater represents a considerable strain to the environment and must be treated in an industrial wastewater treatment plant prior to

- 1 Dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž. kem. inž., JP CČN Domžale-Kamnik, d.o.o.
- 2 Mag. Barbara Brajer Humar, univ. dipl. biol., JP CČN Domžale-Kamnik, d.o.o.
- 3 Dr. Marjetka Stražar, univ. dipl. biol., JP CČN Domžale-Kamnik, d.o.o.
- 4 Valerija Javornik, mag. inž. str., Mlekarna Celeia, d.o.o.
- 5 Stojan Kogej, univ. dipl. inž. kem. inž., Trisep, d.o.o.
- 6 Daniel Kelečević, Mlekarna Krepko, Kele & Kele, d.o.o.



discharge. The article describes the management of two industrial wastewater treatment plants. Since one of the greatest challenges is to prevent formation of bulking sludge because of high concentrations of *Thirotrix sp.*, the article also presents a new method of advanced SBR basin operation.

**Keywords:** anaerobic selector, bulking sludge, dairy wastewater, flotation, SBR, *Thirotrix sp.*

## 1. UVOD

Mleko, eno od osnovnih živil, ima visoko hranilno vrednost, vsebuje vse esencialne aminokisljine, hkrati pa je vir mineralov in vitaminov. Zaužijemo ga kot surovega ali ga predelamo v številne mlečne izdelke, kot so maslo, jogurti, siri ipd. Ker je občutljivo živilo, moramo pri njegovem zbiranju in predelavi skrbeti za ustrezno higieno in čiščenje proizvodnih linij. Pri tem nastanejo odpadne vode, ki predstavljajo veliko breme za okolje, bodisi za iztok v kanalizacijo in naprej na komunalno čistilno napravo bodisi neposredno ali posredno v vodno okolje. Tako vrsta predelave kot čiščenje proizvodnih linij nista konstantna in predstavljata še dodaten izziv pri čiščenju odpadne vode.

V Sloveniji smo v letu 2019 proizvedli 548 milijonov litrov mleka, od tega se ga je 393 milijonov litrov mleka (72 %) predelalo v slovenskih mlekarnah (Statistični urad Republike Slovenije, 2019). Pri predelavi mleka v mlečne izdelke se lahko porabi od 0,75 do 5 litrov vode na liter predelanega mleka (Ajjero in Campbell, 2017). Ocenjena količina odpadne vode pri povprečni porabi 3 litre vode na liter predelanega mleka v Sloveniji tako znaša 1.179 milijonov litrov vode na leto oz. 3,23 milijona litrov vode na dan, kar pri obremenitvi 6.000 mgKPK/L predstavlja 161.500 PE<sub>KPK</sub>.

Količina odpadne vode, njena sestava in dinamika nastanka čez dan so močno odvisne od velikosti predelovalnega obrata, vrste mlečnih proizvodov, ločevanja stranskih produktov ter načina čiščenja proizvodnih linij. V odtoke tako odteka mešanica odpadne vode, ki ima spreminjajoč pH, visoko organsko obremenitev od 3.000 do 60.000 mgKPK/L, visoko vsebnost maščob (nad 200 mg/L) ter nizko vsebnost dušika in fosforja. Odvajanje teh odpadnih voda v kanalizacijo neposredno iz proizvodnje brez predčiščenja predstavlja veliko in spreminjajočo se obremenitev na komunalnih čistilnih napravah ter s tem povezane težave s pomanjkanjem kisika v prezračevalnih bazenih, napihnjenostjo blata in posledično slabšim učinkom čiščenja komunalne odpadne vode. Negativni vpliv šaržnega izpusta neprečiščenih odpadnih voda je še posebej opazen na manjših čistilnih napravah. Že 10 m<sup>3</sup>/dan odpadne vode iz predelave mleka z obremenitvijo 6.000 mgKPK/L predstavlja dodatnih 500 PE<sub>KPK</sub> obremenitve, ki običajno priteče na čistilno napravo v dopoldanskem času.

Iztoki iz objektov za predelavo mleka morajo slediti parametrom za iztok v kanalizacijo ali neposredno in posredno odvajanje v vode, kot jih narekuje Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih suro-

vin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme<sup>7</sup>. Pri izbiri tehnologije čiščenja pa je treba uporabljati najboljšo razpoložljivo tehnologijo (BAT) za industrijo hrane, pijače in mleka v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta<sup>8</sup>. V praksi se kot najpogostejša tehnologija za doseganje zelenih parametrov uporablja fizikalno-kemijsko čiščenje, kot so egalizacija in flotacija ter biološko čiščenje (Yonar et al., 2018).

## 2. SESTAVA IN ČIŠČENJE ODPADNE VODE IZ PREDELAVE MLEKA

### 2.1 Sestava odpadne vode iz predelave mleka

Okvirna sestava odpadne vode, povezana z zbiranjem in predelavo mleka, ki smo jo več let analizirali v laboratoriju JP CČN Domžale-Kamnik, je prikazana v tabeli 1. Kot je razvidno iz tabele, se sestava odpadne vode iz predelave mleka giblje okoli 3.000 mgKPK/L, vsebuje nad 200 mgTLS/L, okoli 150 mgTN/L, 20 mgNH<sub>4</sub>-N/L in 70 mgTP/L. Vrednost pH je močno odvisna od načina čiščenja proizvodnih linij in časa zastajanja odpadne vode v proizvodnem procesu ali egalizacijskih bazenih. Odpadna voda se zaradi visoke organske obremenitve in ob odsotnosti kisika začne anaerobno razgrajevati, ob tem pa se zniža pH vrednost in pojavijo neprijetne vonjave.

Tabela 1: Sestava odpadne vode pri predelavi mleka

Vir odpadne vode	pH	KPK mg/L	BPK5 mg/L	TN mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L	TP mg/L	TLS* mg/L	TSS** mg/L
Alpsko mleko		152.000						
Sirotko (Petek, 2019)	4,4	76.000		765	77,7			
Kislo spiranje mlekarskih strojev	6,3	1.612	993					
Bazično spiranje mlekarskih strojev	9,5	955	587					
Iztok iz Mlekarne Krepko	5,9	12.120		274	9,1	75	273	6.156
Egalizacija in nevtralizacija iz Mlekarne Celeia	7,2	2.600		60,1	26,8			

\*TLS – Težkohlapne lipofilne snovi

\*\*TSS – Suspendirane snovi

(Vir: Lastni)

7 Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih surovin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme. Uradni list RS, št. 45/07.

8 Izvedbeni sklep komisije (EU) 2019/2031 z dne 12. novembra 2019 o določitvi zaključkov o najboljših razpoložljivih tehnikah (BAT) za industrijo hrane, pijače in mleka v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta. Uradni list Evropske unije 208/38 z dne 17. avgusta 2018.



## 2.2 Industrijska čistilna naprava Mlekarnе Krepko – posredno odvajanje v vode

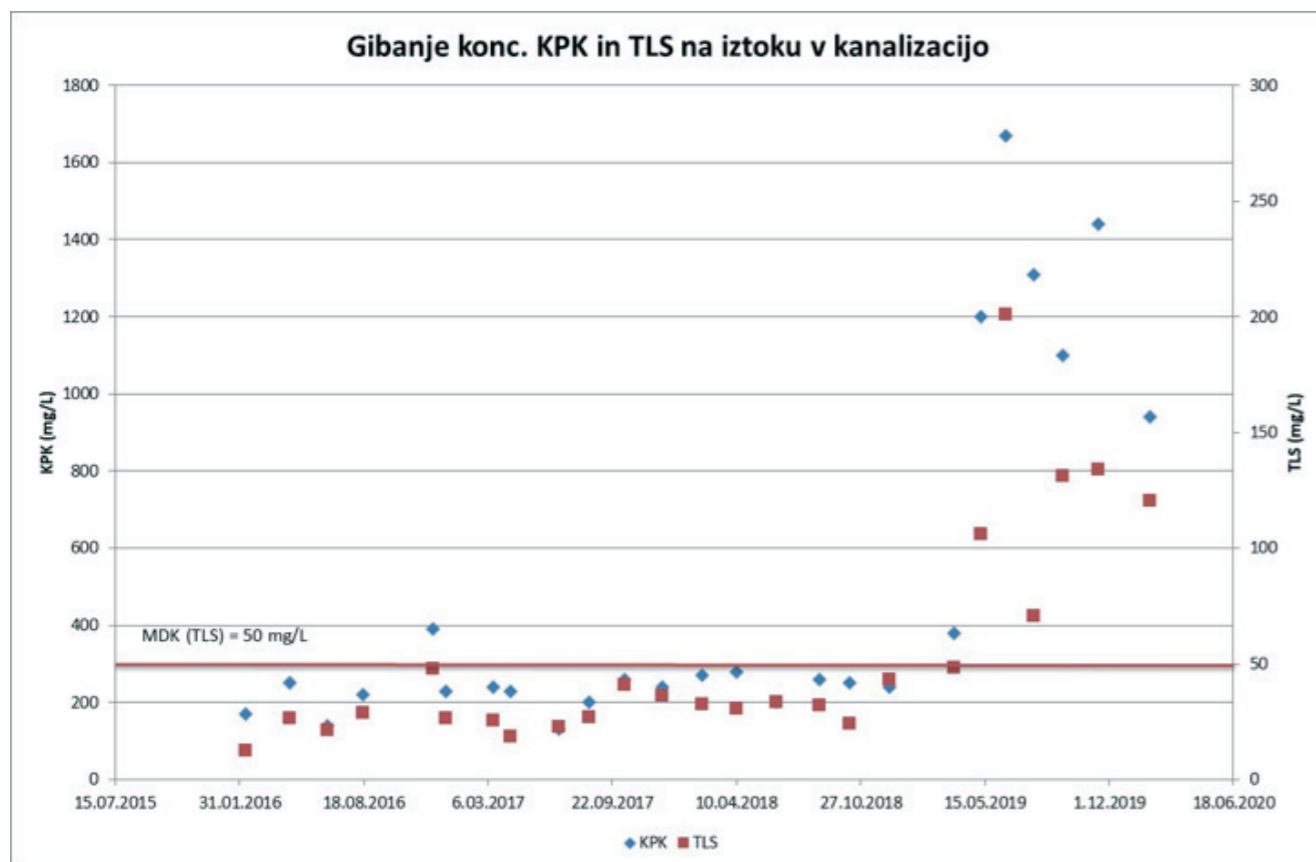
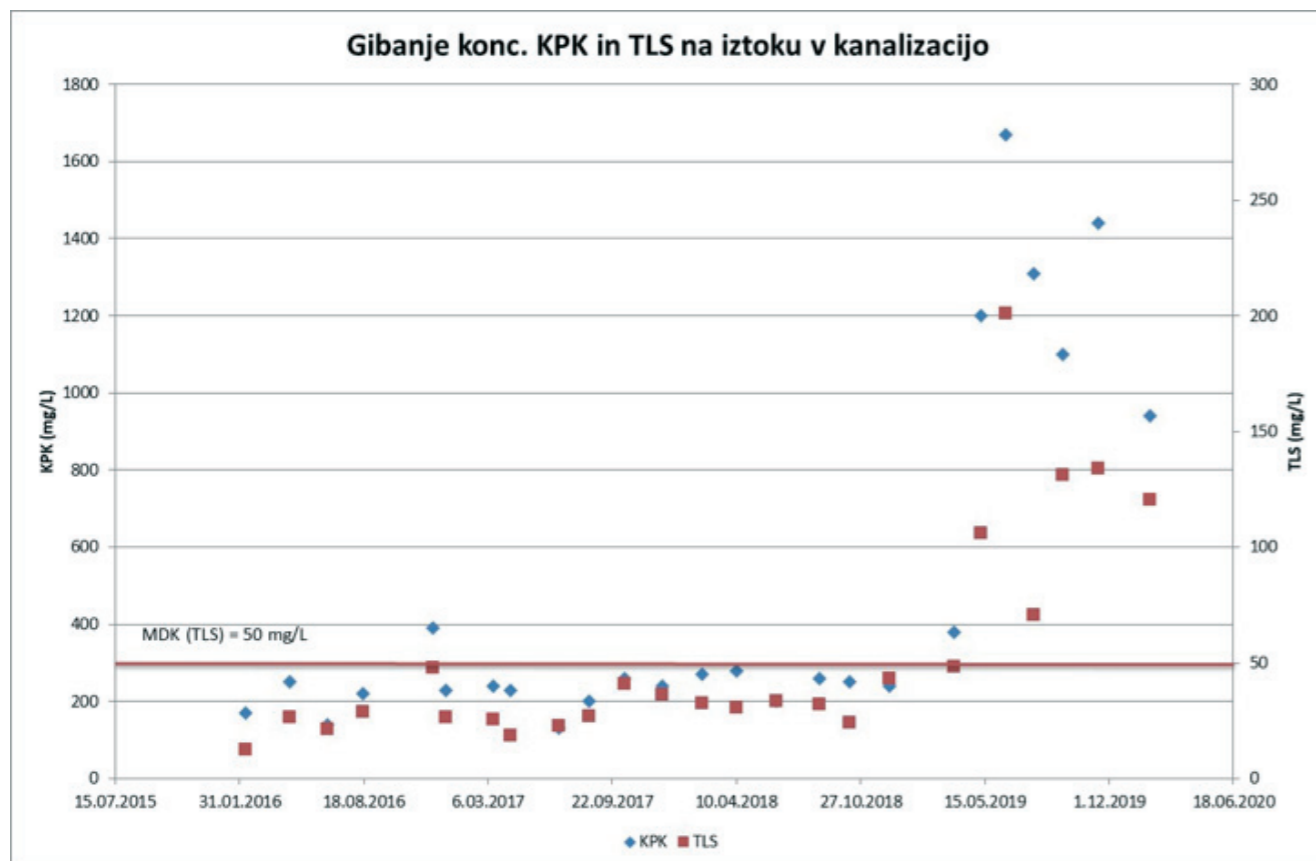
V Mlekarni Krepko dnevno nastane med 20 in 30 m<sup>3</sup> odpadne vode, ki so mešanica ostan-kov čiščenja proizvodnih linij. Povprečne koncentracije se gibljejo okoli 6.000 mgKPK/L in 250 mgTLS/L. Sirotka se ločuje v ločen rezervoar in vozi na predelavo. Dnevna obre-menitev tako znaša do 1.500 PE<sub>KPK</sub>. Ker obrat mlekarnе stoji v manjšem zaselku, katere komunalne odpadne vode se čistijo na mali komunalni čistilni napravi velikosti 300 PE, je morala mlekarna postaviti svojo lastno industrijsko čistilno napravo s posrednim odvajanjem v vode. Mlekarna se nahaja na občutljivem območju kraškega sveta z bogatim živalskim podzemnim svetom, zato je iz tega razloga pri izdaji okoljevarstvenega dovoljenja ZRSVN postavilo še dodatne, bolj stroge zahteve za iztok v vode, kot jih predpisuje uredba. Čistilna naprava mora na iztoku poleg predpisanih parametrov iz uredbe zagotoviti tudi dodatno pre-zračenje iztoka, katere nasičenost s kisikom mora biti nad 90 %. Postavljena je bila mejna vrednost za sulfat 200 mg/L, medtem ko mora posredno odvajanje biti izvedeno prek po-nikovalnega polja. Upravljavec mora poleg rednega obratovalnega monitoringa 3-krat letno dnevno izvajati meritve temperature, pH, KPK in TN ter nasičenosti s kisikom. Te vrednosti mora vpisovati v obratovalni dnevnik. Ob izpadu industrijske čistilne naprave ali kakršnikoli okvari v proizvodnji, ki lahko povzroči onesnaženje večjega obsega, mora upravljavec usta-viti odvajanje čiščene vode v okolje in dogodek javiti inšpekcijama, pristojnima za varstvo okolja in ribištvo.

Mlekarna Krepko je izvedla ustrezno hidrogeološko študijo, ki je bila osnova za umestitev čistilne naprave v prostor in pridobitev ustreznih dovoljenj. Industrijska čistilna naprava je sestavljena iz grobih sit, ki zadržijo delce, večje od 2 mm, sledi pred akumulacijskim baze-nom (44 m<sup>3</sup>) z nameščenim flow jet mešalom za akumulacijo odpadne vode in vzpostavitev aerobnih pogojev. Odpadna voda se nato s konstantnim pretokom črpa v flotacijsko enoto, katere namen je izločitev maščob in znižanje organske obremenitve. Delno razbremenjena odpadna voda se odvaja v egalizacijski bazen (80 m<sup>3</sup>), od koder se črpa v dva ločena SBR bazena (vsak 140 m<sup>3</sup>). Zaradi neustreznega razmerja hranil se ta po potrebi dodajo v posa-mezni cikel čiščenja v SBR bazenu. Po končanem biološkem čiščenju se čiščena voda izčrpa v bazen za čiščeno vodo, kjer se dezinficira in dodatno prezrača z ozonom pred končnim iztokom v ponikanje. Blato iz SBR bazena in flotacije se kontinuirno črpa na strojno zgošča-nje. Postavljena industrijska čistilna naprava je tehnološko zahtevna, zato dnevno potrebuje nadzor in razumevanje procesa čiščenja od upravljavca čistilne naprave, saj je vsak segment čistilne naprave ključen za zagotavljanje ustreznega iztoka v občutljivo vodno okolje.

## 2.3 Industrijska čistilna naprava Mlekarnе Celeia – odvajanje v kanalizacijo

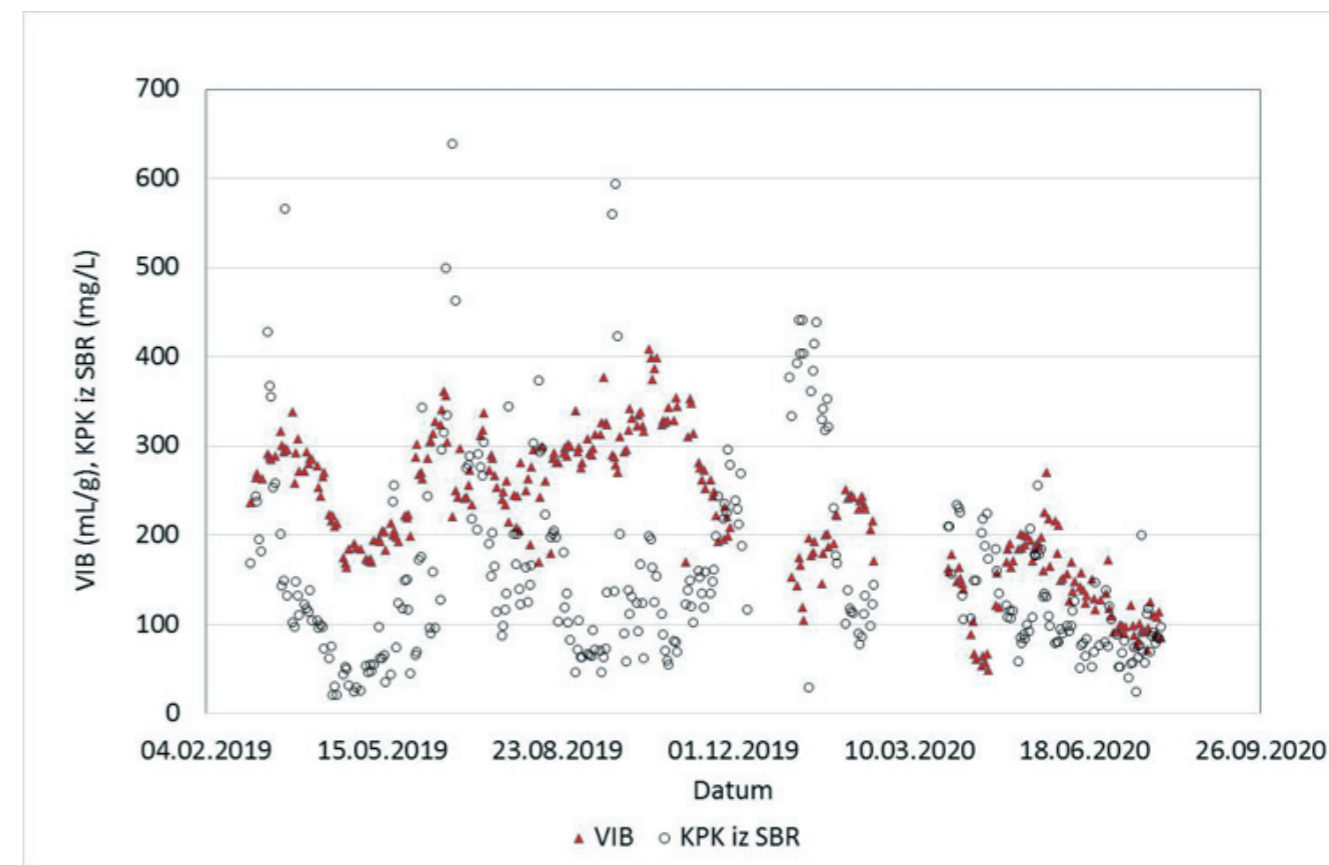
V Mlekarni Celeia letno predelajo do 100 milijonov litrov mleka in so eni vodilnih predelo-valcev mleka v Sloveniji. Pri predelavi mleka porabijo do 2,5 litra vode na liter predelanega mleka. Dnevno tako nastane med 400 in 800 m<sup>3</sup> odpadne vode s povprečno obremenitvijo okoli 2.600 mgKPK/L, kar pomeni v povprečju 13.000 PE<sub>KPK</sub>. Glavni proizvodi so mleko, siri, jogurti, maslo ipd. V mlekarni se že od samega začetka zavedajo, da njihove odpadne vode predstavljajo veliko breme za komunalno čistilno napravo. Prav iz tega razloga so leta 2007 postavili industrijsko čistilno napravo za predčiščenje lastnih odpadnih vodá. Industrijska čistilna naprava je sestavljena iz manjše egalizacije in nevtralizacije (250 m<sup>3</sup>), enega SBR (800 m<sup>3</sup>) biološkega reaktorja in strojnega zgoščanja blata. Odpadne vode po predčiščenju odtekaajo v kanalizacijo in na dokončno čiščenje na lokalno čistilno napravo dimenzionirane velikosti 60.000 PE.

Pri čiščenju odpadne vode na industrijski čistilni napravi so se kljub intenzivnemu dnevnu spremljanju procesa čiščenja v letu 2019 pojavljali slabši učinki čiščenja, ki so posledično povzročili zvišanje vrednosti KPK in TLS na iztoku v kanalizacijo (Slika 1). Obremenitev iz industrijske čistilne naprave se je tako s povprečne vrednosti 1.500 PE<sub>KPK</sub> povečala na pov-prečno vrednost 7.500 PE<sub>KPK</sub>. Konične dnevne obremenitve so se zaradi dodatnega izplavlja-nja biomase iz SBR bazena povečale do 15.000 PE<sub>KPK</sub>.



Slika 1: Gibanje koncentracije vrednosti KPK in TLS na iztoku v kanalizacijo (Vir: Obratovalni monitoring odpadnih voda)

Mlekarna Celeia je takoj začela iskati vzroke za nenadno povečanje vrednosti KPK in TLS na iztoku v kanalizacijo. Identificirali so spremembe v proizvodnem procesu, ki se zaradi majhne egalizacije (250 m<sup>3</sup>) toliko bolj odražajo v neenakomerni organski obremenitvi aerobne biološke stopnje v SBR bazenu. Aktivno blato je bilo tako čez dan obremenjeno med 0,1 do 0,4 kgKPK/kgMLSS.dan, kar je pomenilo velik stres in favoriziranje rasti nitastih mikroorganizmov. Volumski indeks blata (VIB) je bil v letu 2019 nad 250 mL/g (Slika 2), pri čemer je bilo treba podaljševati čas usedanja, posledično pa so na SBR čistilni napravi prečistili manj odpadne vode.



Slika 2: Gibanje VIB blata v SBR bazenu in KPK iz SBR bazena (Vir: Obratovalni monitoring odpadnih voda)

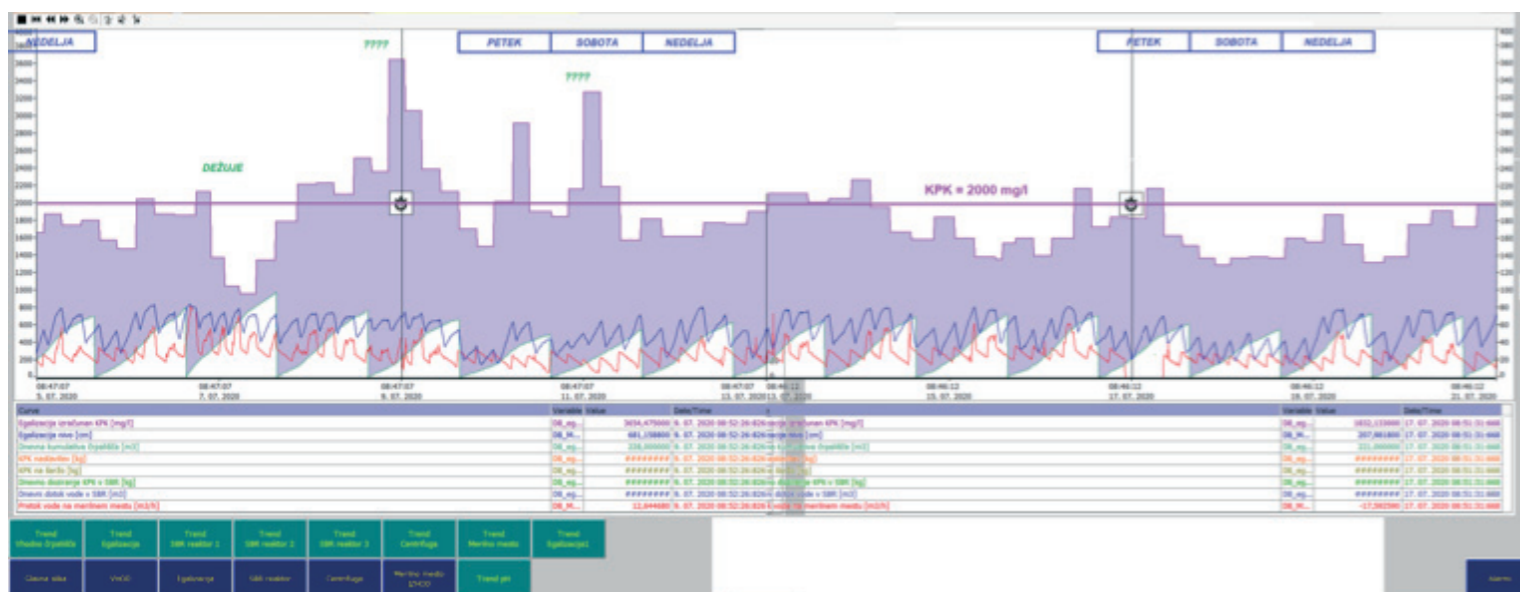
Z mikroskopsko analizo aktivnega blata je bilo identificirano, da se v aktivnem blatu nahaja visoka koncentracija nitastih mikroorganizmov tipa *Thiotrix sp.*, ki ga iz obstoječega SBR bazena zaradi načina odvajanja blata niso mogli odvesti. *Thiotrix sp.* se pojavljajo pri pogojih, kot so prisotnost lahko razgradljivega substrata v visoki koncentraciji, kratkoverižnih maščobnih kislin in sulfida, prenizka koncentracija kisika ter pomanjkanje nutrientov, kot sta dušik in fosfor. Ker izgradnja večjega egalizacijskega bazena in/ali umestitev flotacije prostorsko in finančno nista bili takoj izvedljivi, jim je s posegom v obstoječo infrastrukturo in načinom vodenja kljub velikemu nihanju obremenitve iz proizvodnje uspelo stabilizirati proces čiščenja z obstoječo opremo. To so dosegli z naslednjimi spremembami:

- Dvignili so maksimalno raven polnjenja v SBR bazenu na zgornjo mejo in tako povečali dnevno količino čiščenja vode.



- Da bi zavrli rast *Thiothrix sp.*, so uvedli specifično metodo selekcije aktivnega blata prek načina vodenja SBR bazena. V literaturi so kot dokazan postopek obvladovanja nitastih bakterij navedeni anaerobni selektorji pred vstopom v aerobno biološko stopnjo (Henriet et al., 2017). Način vodenja SBR bazena so tako spremenili na način, da se vtok odpadne vode v SBR bazen vodi pod anaerobnimi pogoji do 80 minut, in šele nato vključili pre-zračevanje v skupnem trajanju do 140 minut, ki pa se lahko tudi predhodno zaustavi, ko je poraba kisika nižja od nastavljene vrednosti. Sledita mu ena ura usedanja in pol ure dekantacije.
- Namesto konstantnega pretoka odpadne vode so uvedli dinamično doziranje količine odpadne vode glede na respirometrično aktivnost aktivnega blata. Na ta način so zagotovili bolj konstantno organsko obremenitev odpadne vode na posamezno šaržo v SBR bazenu. Z vsemi temi ukrepi se je VIB znižal pod 200 mL/g, posledično pa se je na čistilni napravi od aprila do julija 2020 količina čiščene odpadne vode dvignila z 52 na 76 %.

Na sliki 3 so razvidni dinamično nihanje nivoja v egalizaciji (modra črta), kumulativna količina čiščene vode na čistilni napravi in izračunan KPK vtoka v SBR bazen.



**Slika 3:** Izpis iz SCADA sistema industrijske čistilne naprave Mlekarna Celeia

(Vir: Mlekarna Celeia, d.o.o.).

Iz zadnjih rezultatov sledenja iz SBR bazena je razvidno, da so vrednosti TLS pod 50 mg/L in KPK pod 100 mg/L.

### 3. ZAKLJUČEK

Kljub temu da je mleko živilo, ki ga dnevno uživamo, odvajanje surovega mleka ali ostankov pri njegovi proizvodnji predstavlja veliko breme za okolje. Odpadne vode iz predelave mleka se morajo pred iztokom v kanalizacijo, še posebej pa pred neposrednim ali posrednim odvajanjem v vode, ustrezno prečistiti, saj bomo le tako ustrezno zaščitili naše vode.

Način čiščenja mlekarskih odpadnih vodá je treba prilagoditi tako obsegu obremenitve kot namenu čiščenja. Zavedati se moramo, da vodenje industrijske čistilne naprave zahteva znanje operaterja čistilnih naprav, dnevno spremljanje in hitro odzivanje ob nepravilnem delovanju. Pred postavitvijo industrijske čistilne naprave za predčiščenje v kanalizacijo je zaželeno sodelovanje z upravljavcem kanalizacije in čistilne naprave, ki se dogovorita, pod kakšnimi pogoji se predčiščena odpadna voda lahko odvaja v kanalizacijo.

### LITERATURA IN VIRI

1. Ajjero, I. in Campbell, D., 2017. Benchmarking Water Use in the UK Food and Drink Sector: Case Study of Three Water-Intensive Dairy Products. *Water Conservation Science and Engineering*, doi: 10.1007/s41101-017-0036-0.
2. Henriet, O., Meunier, C., Henry, P. in Mahillon, J., 2017. Filamentous bulking caused by *Thiothrix* species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy. Dostopno na: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-01481-1> [30. 7. 2020].
3. Izvedbeni sklep komisije (EU) 2019/2031 z dne 12. novembra 2019 o določitvi zaključkov o najboljših razpoložljivih tehnikah (BAT) za industrijo hrane, pijače in mleka v skladu z Direktivo 2010/75/EU Evropskega parlamenta in Sveta. Uradni list Evropske unije 208/38 z dne 17. avgusta 2018.
4. Petek, B., 2019. Vpliv dodane sirotke na proizvodnjo bioplina iz odpadnega biološkega blata. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
5. Statistični urad Republike Slovenije, 2019. Mleko in mlečni izdelki, Slovenija, 2019. Dostopno na: <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/8661> [30. 7. 2020].
6. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadne vode iz naprav za obdelavo in predelavo živalskih in rastlinskih surovin ter mleka pri proizvodnji hrane za prehrano ljudi in živalske krme. Uradni list RS, št. 45/07.
7. Yonar, T., Sivrioğlu, Ö. in Özengin, N., 2018. Physico-Chemical Treatment of Dairy Industry Wastewaters: A Review, Open access peer-reviewed chapter. Dostopno na: <https://www.intechopen.com/books/technological-approaches-for-novel-applications-in-dairy-processing/physico-chemical-treatment-of-dairy-industry-wastewaters-a-review> [30. 7. 2020].