



# CELOSTNA IZKUŠNJA TEHNOLOŠKE OPTIMIZACIJE VODENJA BIOLOŠKEGA PROCESA ČIŠČENJA ODPADNE VODE

PETER CERAR<sup>1</sup>, MATEJ ČERNIVEC<sup>2</sup>, ROK PIRNAT<sup>3</sup>

## Povzetek

Nadgradnja in implementacija sistema vodenja biološkega procesa s tehnologijo sekvenčnih šaržnih reaktorjev (SBR) sta bili na Centralni čistilni napravi Domžale-Kamnik (CČNDK) izvedeni primarno zaradi preprečevanja rasti nitastih bakterij ter s tem doseganja dobrih usedalnih lastnosti. Sekundarni namen tega je bil izboljšati proces denitrifikacije, zmanjšati rabo energije in izboljšati biološko odstranjevanje fosforja. Članek zajema problematiko povečanega razrasta nitastih mikroorganizmov v preteklem obdobju, kar je vzrok nizkega F/M razmerja, razredčenega vtoka na čistilno napravo v obdobju daljših padavin, občasne prisotnosti lahko razgradljivih snovi, nižjih temperatur ter občasnih prenizkih koncentracij fosforja v določenih obdobjih. Z opisanimi procesnimi nastavitvami, vodenjem in ukrepi, predvsem v obdobjih pogojev za razrast nitastih mikroorganizmov in povečane tvorbe EPS, skrbimo, da do tega ne prihaja prepogosto, zato skušamo ohranjati čim bolj ustrezne usedalne lastnosti ter lastnost odvodnjavanja aktivnega blata pri zgoščanju.

**Ključne besede:** aktivno blato, biološko čiščenje, biološka obremenitev blata (F/M razmerje), ekstracelularna polimerna substanca (EPS), nitasti mikroorganizmi, selektor, volumski indeks blata (VIB).

## Abstract

The upgrade and implementation of a biological process control system with sequential batch reactor technology (SBR) has been done at the Wastewater Treatment Plant Domžale – Kamnik, primarily to prevent the growth of filamentous bacteria and thus achieve good sedimentation properties, and the secondary purpose was to improve the denitrification process, reduce energy use and improve biological phosphorus removal. This article presents the problem of the increased growth of filamentous microorganisms in the past. The main reasons are low F/M ratio, diluted inflow to the treatment plant during rainfall periods,

1 Peter Cerar, tehnični vodja, JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o.

2 Matej Černivec, procesni inženir, JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o.

3 Rok Pirnat, vodja tehnološkega procesa, JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o.



the occasional presence of easily degradable substances, lower temperatures and occasional low phosphorus concentrations in a certain period. With the described process settings, management and measures, especially in the periods of righteous conditions for the growth of filamentous microorganisms and increased EPS formation, we take care that this does not occur excessively, with that, we are maintaining appropriate sedimentation and filterability properties of the activated sludge, during settling and sludge dewatering.

**Keywords:** activated sludge, biological treatment, extracellular polymeric substance (EPS), filamentous microorganisms, food to microorganism ratio (F/M), selector, sludge volume index (SVI).

## 1. UVOD

Centralna čistilna naprava Domžale-Kamnik je velikosti 149.000 PE in je bila v letih od 2014 do 2017 nadgrajena na terciarno stopnjo čiščenja, medtem ko je anaerobna obdelava blata s strojnim zgoščanjem in energetiko ostala ob rednih investicijsko vzdrževalnih vlaganjih v osnovi enaka, kot je bila zgrajena v osemdesetih letih prejšnjega stoletja. CČNDK sprejema odpadne vode iz šestih občin, kanalizacijski sistem je večinoma mešan oz. delno tudi ločen. Odpadne vode, sprejete po kanalu, so komunalne, industrijske in padavinske, poleg tega pa se v obdelavo in čiščenje sprejemajo tudi pripeljani biološko razgradljivi odpadki, greznične vsebine, blato malih čistilnih naprav ter drugi tekoči odpadki. Količine sprejetih odpadnih voda v čiščenje so leta 2020 znašale 7,5 milijona, celotna obremenitev je bila skoraj 125.000 PE in linije vode okoli 108.000 PE. Proizvodnja električne energije na kogeneracijskih enotah iz proizvedenega bioplina pokriva že nekaj več kot 80 % lastne rabe električne energije, s toplotno energijo pa je sistem 100-% samooskrben.

Biološki del tehnološkega procesa na liniji vode sestavljajo štiri linije SBR s selektorji, zgoščevalci odvečnega blata s strojnim predzgoščanjem, objekt puhal za vnos zraka, sistem za doziranje  $\text{FeCl}_3$  za obarjanje ortofosfata, sistem za občasno doziranje zunanjega vira ogljika za izboljšanje denitrifikacije in merilno mesto iztočne očiščene vode. Proces nitrifikacije in denitrifikacije poteka simultano v fazi vtoka in aeracije, denitrifikacija poteka delno v selektorjih in delno v reaktorju, selektorji posredno služijo tudi biološkemu odstranjevanju fosforja. Sistem je za spremljanje procesnih parametrov učinkov čiščenja in za potrebe regulacij opremljen z merilniki kisika, amonijskega dušika, nitratnega dušika, koncentracije aktivnega blata, temperature, nivoja, ortofosfata, TOC, TN ipd.

Kot veliko čistilnih naprav s terciarno stopnjo čiščenja je bila tudi CČNDK po izgradnji podvržena čezmerni rasti nitastih bakterij v določenih obdobjih leta, vzroki v prvem letu obratovanja niso bili povsem jasni, zato smo pristopili k iskanju vzrokov in rešitev. Na podlagi učenja, spremljanja in praktičnih izkušenj smo optimirali sistem vodenja tehnološkega procesa ter s tem dosegli veliko bolj stabilne pogoje, zlasti primarno, da nitaste bakterije ne prevladajo v združbi aktivnega blata. Večino časa izpustni parametri dosegajo precej nižje vrednosti od predpisanih

na iztoku, občasno pa se zaradi daljših nihanj dotočnih parametrov in letnih sprememb lahko pojavijo določeni problemi v biološki stopnji čiščenja odpadne vode.

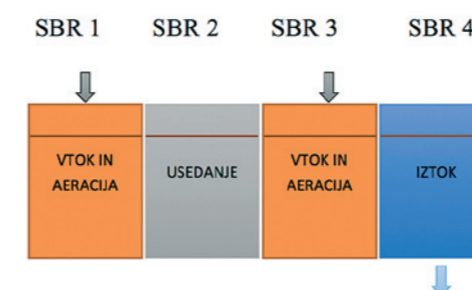


**Slika 1:** CČN Domžale-Kamnik, posnetek iz zraka.

Vir: JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o., 2017.

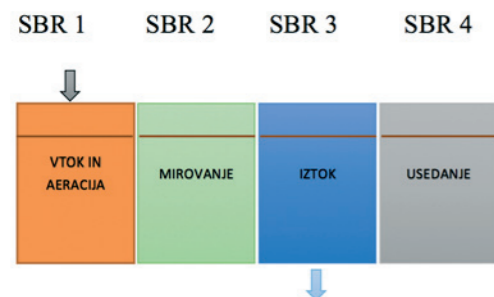
## 2. OPIS STANJA IN STRATEGIJE VODENJA

Na podlagi spremljanja procesnih parametrov, predvsem obremenitev po parametrih KPK, TN in pretok na vtoku ter predvidenih vrednosti teh parametrov v prihodnji polovici dneva ali enem dnevu, kot tudi vremenske napovedi morebitnih padavin se odloča tako o začetku kot trajanju izklopa linije v začasno mirovanje. Pogoje je, da so v tem času, ko gre linija v mirovanje, obremenitve na vtoku dovolj nizke, običajno je to ponoči, ob nedeljah, v času poletnih in zimskih dopustov, po padavinah, ko je pretok že nižji, vendar še vedno razredčen. S kontinuirnimi meritvami TOC,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  in TN se stalno spremlja, da so predpisane vrednosti nižje od dovoljenih za izpust čiščene vode v vodotok. Obdobja in čas obratovanja s tremi linijami se prilagaja tudi ostalim spremenljivkam, kot so letni časi in temperature odpadne vode, sestava odpadne vode, možnosti doseganja zadostne koncentracije raztopljenega kisika v fazi vtoka in aeracije, usedalnih lastnosti aktivnega blata ipd. S pridobljenimi izkušnjami zadnjih treh let je vodenje biološkega procesa postalo bolj stabilno in učinkovito.



**Slika 2:** Primer običajnega obratovanja s štirimi linijami SBR.

Vir: JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o., 2021.



**Slika 3:** Primer občasnega obratovanja s tremi linijami SBR (fazi usedanja in iztoka potekata s posledkom na vsake tri cikle).

Vir: JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o., 2021.

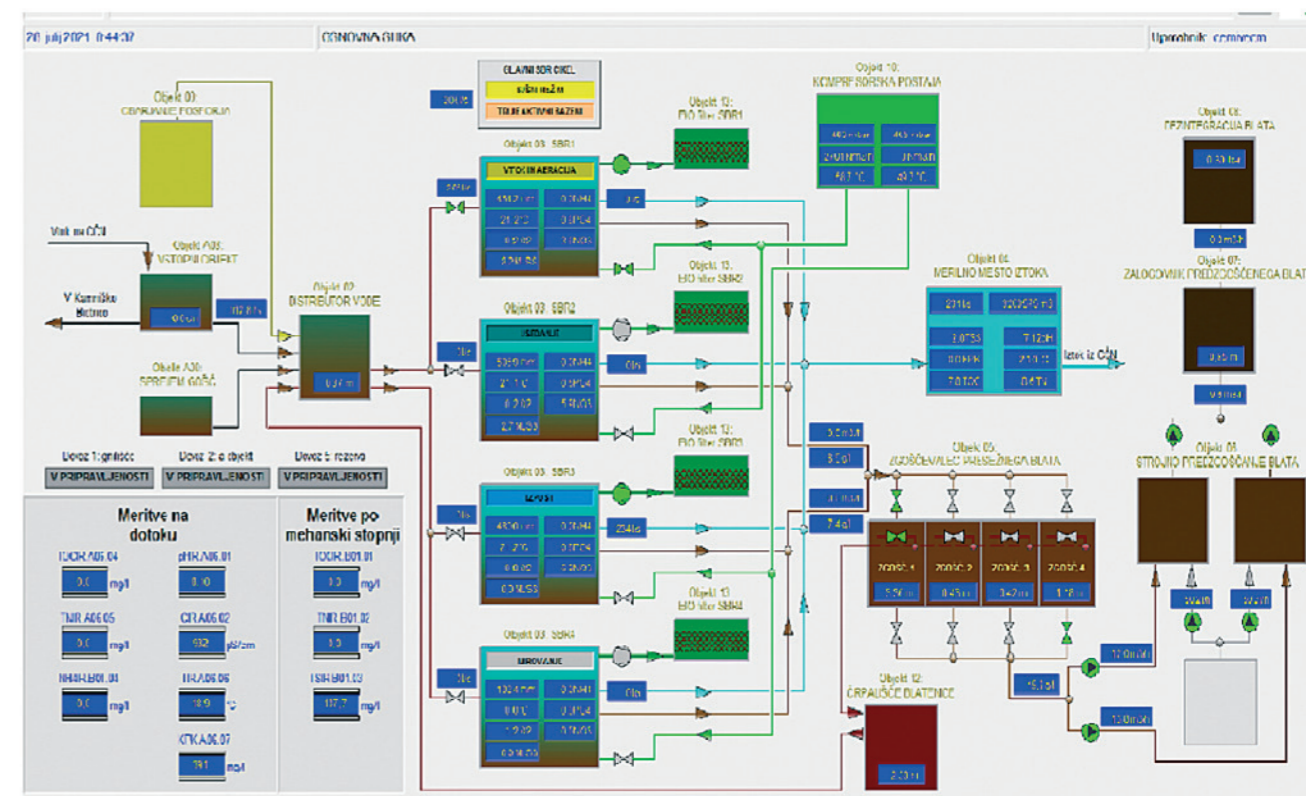
Z izključitvijo ene linije SBR v mirovanje v času nižjih obremenitev se poveča F/M razmerje za okoli 25 %, s tem opažamo, da je vrednost F/M običajno zadostno zvišana, da ne prihaja do rasti nitastih mikroorganizmov pri prenizkih vrednostih F/M, kot opredeljuje specifična hitrost rasti mikroorganizmov v odvisnosti od koncentracije substrata za nitaste in flokotvorne mikroorganizme. Zelo pomembno je, da se zelo hitro opazijo prva povečanja števila filamentov v aktivnem blatu, ob tem pa takoj začne ukrepati in s tem preprečevati razrast. V našem primeru mora biti vrednost F/M vsaj 0,05 kg BPK<sub>5</sub>/kg MLSS na dan.

Za izboljšanje gradienta substratne obremenitve aktivnega blata se glede na obremenitve in za boljši potek procesa denitrifikacije v fazi vtoka in aeracije izvede ustrezno prezračevanje, čas tega pa je odvisen predvsem od parametra amonijskega dušika, tj. nitrifikacije, pri čemer ta ne sme presegati 3 mg/l. Računalniška aplikacija ozračevanja SBR omogoča nastavitve, s katerimi na podlagi spremljanja procesnih parametrov, predvsem obremenitev in iztočnih parametrov, izvajamo korekcije v nastavitvah trajanja in intenzitete ozračevanja.

Opis tehnično-tehnoloških zahtev za občasno delovanje s tremi linijami SBR:

- Posamezne linije se izključujejo iz obratovanja izmenjujoče, tako da posamezna linija SBR ni izključena več kot 16 ur. Predolga izključenost bi privedla do odmiranja mikroorganizmov in ob vnovični vključitvi do slabše aktivnosti.
- Ko se izključena linija znova vklopi v obratovanje, mora že v prvem ciklu sprejeti celoten dotok, s tem pa se prepreči možnost rasti nitastih mikroorganizmov zaradi nizke obremenitve.
- Sistem preklapljanja med štiri- in tribazenskim načinom obratovanja (kot tudi obratno) poteka po logiki časovne zaporednosti ciklov, v tribazenskem načinu delovanja so faze posameznih linij prilagojene in delujoče na osnovi logike štiribazenskega načina.
- Računalniško vodenje faz/ciklov SBR omogoča občasno obremenitev z dotokom, tj. hranjenje izklopljene linije po npr. 8-urnem mirovanju. Omogočeno je tudi odvajanje presežnega blata v zgoščevalce v vsakem ciklu.
- Računalniško vodenje omogoča tudi nastavljeni čas in intenziteto prezračevanja izključene linije v vsakem ciklu. S tem se preprečuje časovno predolgo trajanje anaerobnih pogojev, ki prevedejo do razpadanja biomase, nastanka neprijetnih vonjav in sproščanja fosforja ter amonijskega dušika.

- Pri občasnem delovanju z le tremi linijami SBR se prihrani tudi električna energija.
- Za občasno obratovanje s tremi linijami moramo predvsem v času nižjih temperatur zagotavljati ustrezno visoko starost blata, tj. zadostno količino nitrifikacijskih bakterij, kar omogoča predpisano stopnjo odstranjevanja celotnega dušika.



**Slika 4:** Osnovna shema biološkega dela ČN iz nadzornega sistema.

Vir: JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o., 2021.

Za preprečevanje čezmerne rasti nitastih mikroorganizmov je zelo pomembna vloga selektorja, ki je na CČNDK razdeljen na 10 manjših zaporedno vezanih con, v katerih je visoka koncentracija organskih snovi, kar daje flokotvornim bakterijam prednost oz. enakovreden dostop do hranil. Pogoji za dobro delovanje selektorja so spreminjajoči se parameter, ki vpliva na delovanje, obenem pa je stopnja obremenitve biomase v selektorju, ki naj bi bila v prvi coni anoksično delujočega/projektiranega selektorja 6 kg KPKt/kg MLSS d ter v naslednjih conah proporcionalno nižja, v aerobno delujočem/projektiranem selektorju v prvi coni pa kar 12 kg KPKt/kg MLSS. Meritve in izračuni za selektor pokažejo, da ta parameter v našem anoksično/anaerobno delujočem selektorju ni vedno dosežen, prenizek je v primeru razredčenega dotoka ob padavinah, ki vsebuje tudi veliko raztopljenega kisika, zaradi česar postane selektor v celoti aeroben, zlasti v času nizkih obremenitev na vtoku. Obremenitev biomase dodatno znižajo še višje koncentracije biomase v SBR in s tem v selektorju v času višjih starosti blata pozimi. V teh pogojih se skuša navedenemu parametru približati tako, da se zniža koncentracija biomase v selektorju in poveča breme, v osnovi na to najbolj vplivamo z občasnim nadzorovanim obratovanjem z le tremi linijami SBR, s tem dosežemo enkratno povečano obremenitev po KPK ob enkratnem zmanjšanju koncentracije biomase v selektorju. Pogoji za potek biokemij-



skih procesov v posameznih conah selektorja se spremljajo tudi z občasnimi meritvami redoks potenciala, ki se giblje od +150 do -200 mV. Predvsem v času deževnih razredčenih vtokov z visokimi koncentracijami kisika se kaže, da selektorji v teh obdobjih opravljajo svoje funkcijo zelo omejeno.

Na povečano rast nitastih mikroorganizmov na CČNDK v določenih obdobjih leta vpliva tudi povečana prisotnost lahko razgradljivih substratov na vtoku oz. z dovozi, ki izvirajo iz živilskopredelovalne industrije, industrije pijač in mesne industrije. Izpusti so običajno razporejeni neenakomerno/šaržno, kar še poslabšuje stanje.

Na problematiko usedanja blata, ki se odraža v povečanju VIB, se v krajših obdobjih leta pojavlja problem septičnih-zagnitih odpadnih voda oz. večje količine grezničnih gošč, ki se odraža v povečanju organskih kislin, predvsem acetatov, ki so prav tako lahko razgradljiv substrat. Pomembno je, da na sami čistilni napravi ne prihaja do zastajanja muljev in blata ter pri tem do anaerobne hidrolize.

Zaznan vpliv na rast nitastih mikroorganizmov in povečano tvorbo EPS je bil tudi v krajših obdobjih, ko so koncentracije ortofosfata v SBR prenizke. Na podlagi meritev in sledenja procesnih parametrov se je ugotovilo, da pride do pomanjkanja nutrienta fosforja v biološkem procesu, ko se koncentracija spusti pod okvirno 0,4 mg PO<sub>4</sub>-P/l. Vzrok je v nižjih koncentracijah na vtoku, v zelo dobrem biološkem odstranjevanju in procesnih pogojih ozračevanja. V teh obdobjih se koagulant za kemijsko obarjanje ne dozira ali pa se celo dodaja zunanji vir fosforja. Pomembno je, da ne prihaja do pomanjkanja le v določenih urah dneva.

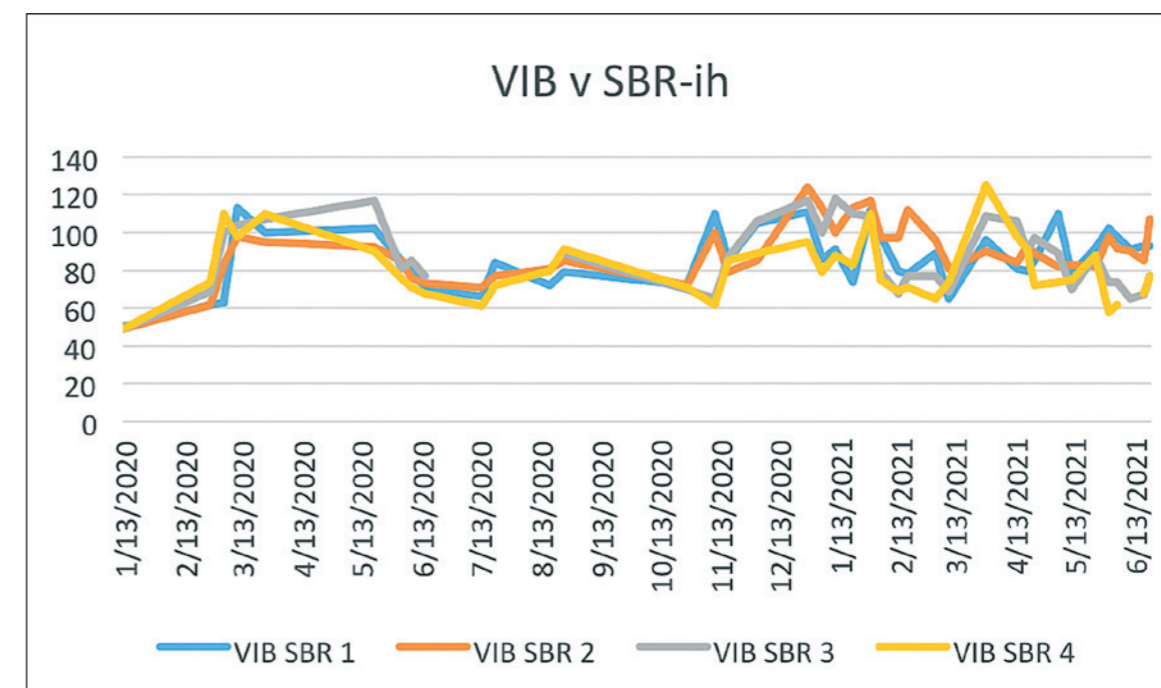
Velikokrat se dva in več navedenih vzrokov pojavijo v istem časovnem obdobju, s čimer se pogoji za rast nitastih mikroorganizmov multiplicirajo in zato lahko v kratkem času prevladajo nad flokotvornimi bakterijami.

### 3. REZULTATI IN ZAKLJUČKI

Z opisanim vodenjem bioloških stopenj in upoštevanjem pridobljenih praktičnih izkušenj smo v zadnjih dveh letih dosegli zadosti stabilne usedalne lastnosti aktivnega blata, s procesnimi nastavitvami pa zagotavljali pogoje, ki so preprečevali čezmerno rast nitastih mikroorganizmov in hkrati zagotavljali rast flokotvornim bakterijam. Povprečni volumski indeks blata je bil okoli 80 ml/g, v obdobjih, ugodnih za nitaste mikroorganizme, pa večino časa pod 120 ml/g, kar omogoča dobro ločevanje aktivnega blata od čiščene vode, medtem ko so suspendirane snovi na iztoku večino časa nižje od 10 mg/l.

V času nižjih temperatur in s tem višjih starosti blata se zviša koncentracija blata, kar pomeni za približno 50 % več mase suhe snovi aktivnega blata v reaktorjih glede na poletje, posledično pa so vedenje in hitrosti usedanja slabše, kar se odraža v višjih volumskih indeksih blata.

Graf 1: VIB v SBR-ih za leti 2020 in 1/2 2021.



Vir: JP CČN Domžale-Kamnik, d. o. o., 2021.

Dosežena stopnja nitastih organizmov do vključno 3/6 (filamenti v kosih 1–5/kosem) v aktivnem blatu omogoča dobro odvodnjavanje/filtracijo v postopkih gravitacijskega in strojnega predzgoščanja kot tudi na dehidraciji blata po anaerobni digestiji. S tem je omogočeno doseganje visokih vsebnosti suhe snovi blata ob zmerni porabi flokulantov. Manjše so tudi količine odvečnega sekundarnega blata.

Z navedenimi vodenji in ozračevanji SBR linij v določenih urah dneva, ob koncu tedna oz. v obdobjih z nižjimi obremenitvami se prihrani od 15 pa vse do 30 % električne energije, večinoma na puhalih za ozračevanje.

Napredno vodenje prezračevanja z nastavljivim odmorom v fazi vtoka in aeracije izboljša učinkovitost procesa denitrifikacije ter s tem doseganje vrednosti skupnega dušika pod 10 mg/l.

Zelo pomembno je tudi dosledno uravnavanje starosti aktivnega blata glede na zunanje in notranje vplive/spremembe, skupna starost blata je od okoli 17 dni poleti in do okoli 33 dni pozimi, v vmesnih obdobjih pa se uravnava čim bolj zvezno v odvisnosti od razmer.

### LITERATURA IN VIRI

1. Černivec, M., 2020. Nastanki problemov v procesu in obvladovanje čiščenja odpadne vode na CČNDK. Diplomsko delo višje strokovne šole ERUDIO.
2. Jenkins, D. in Wanner, J., 2013. Activated sludge – 100 years and counting. IWA Publishing, London.
3. JP CČNDK, 2019. Poročilo o delu CČNDK za leto 2019, Interno poročilo.
4. JP CČNDK, 2020. Poročilo o delu CČNDK za leto 2020, Interno poročilo.



5. Mangrum, C., 1998. The effect of anoxic selectors on the control of activated sludge bulking and foaming, Master thesis. Falls Church, Virginia.
6. Marten, B., 2014. Controlling activated sludge bulking & foaming: From theory to practice. Donohue, 38<sup>th</sup> annual conference Grand Rapids.
7. Richard, M., 2003. Activated sludge microbiology problems and their control. Presented at the 20<sup>th</sup> Annual USEPA national operator trainers conference Buffalo, NY.
8. Salihović, E., 2019. Effects of wastewater quality and operating parameters on the sludge settleability. EWT Wassertechnologie GmbH AT, Report for WWTP Domžale Kamnik.
9. Tandoi, V., Jenkins, D. in Wanner, J., 2006. Activated sludge separation problems. London. IWA Publishing.