

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI ČIŠČENJA ODPADNE VODE
NA CČN ROGAŠKA SLATINA V SUŠNEM IN DEŽEVNEM
OBDOBJU**

PATRICIJA GOBEC

VELENJE, 2026

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI ČIŠČENJA ODPADNE VODE NA CČN ROGAŠKA SLATINA V SUŠNEM IN DEŽEVNEM OBDOBJU

Študentka: PATRICIJA GOBEC

Študijski program: Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: viš. pred. Nataša Uranjek, univ. dipl. inž. kem. inž. ^[11]_{SEP}

VELENJE, 2026

SKLEP O IMENOVANJU DIPLOMSKE KOMISIJE

Dekan Fakultete za varstvo okolja
imenuje diplomsko komisijo za zagovor diplomskega dela

**PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI ČIŠČENJA ODPADNE VODE NA CČN ROGAŠKA
SLATINA V SUŠNEM IN DEŽEVNEM OBDOBJU**

kandidatke

PATRICIJE GOBEC,

v sestavi:

izr. prof. dr. Irena Petrinič, predsednica,

viš. pred. dr. Goran Pipuš, član,

viš. pred. Nataša Uranjek, članica – mentorica,

Jože Gretič, član – mentor.

Velenje, 16. 6. 2025
Št.: 726-4/2025-3



Prof. dr. Boštjan Pokorný
dekan



Fakulteta za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si
www.fvo.si



Izjava o avtorstvu

Podpisana **Patricija Gobec** z vpisno številko **34230028**, študentka dodiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije.

Sem avtorica diplomskega dela z naslovom PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI ČIŠČENJA ODPADNE VODE NA CČN ROGAŠKA SLATINA V SUŠNEM IN DEŽEVNEM OBDOBJU, ki sem ga izdelala pod mentorstvom viš. pred. Nataše Uranjek, univ. dipl. inž. kem. inž.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in je delo lektorirala Damjana Seme;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne _____

podpis avtorja/ice

IZVLEČEK

V diplomskem delu obravnavamo primerjavo učinkovitosti čiščenja komunalne odpadne vode na Centralni čistilni napravi Rogaška Slatina v sušnem in deževnem obdobju za leto 2024. Namen diplomskega dela je bil ugotoviti, kako vremenske razmere vplivajo na delovanje čistilne naprave, ter s tem podati oceno učinkovitosti odstranjevanja posameznih parametrov kakovosti odpadne vode.

Analiza je temeljila na podatkih, pridobljenih iz obratovalnega monitoringa, pri katerem so bili obravnavani pretoki odpadne vode, pH, temperatura, kemijska potreba po kisiku, celotni fosfor, amonijev dušik in pa neraztopljene snovi. Za primerjavo obeh obdobjev so bile potem izračunane vrednosti teh posameznih parametrov ter učinkovitost čiščenja.

Ključne besede: komunalna odpadna voda, centralna čistilna naprava, CČN Rogaška Slatina, sušno obdobje, deževno obdobje, parametri, učinkovitost čiščenja.

ABSTRACT

This bachelor's thesis presents a comparison of the efficiency of municipal wastewater treatment at the Central Wastewater Treatment Plant Rogaška Slatina during dry and rainy periods in 2024. The main objective of the study was to determine how weather conditions affect the operation of the wastewater treatment plant and to evaluate the efficiency of removing individual wastewater quality parameters.

The analysis was based on data obtained from operational monitoring, including wastewater flow, pH, temperature, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD₅), total nitrogen, total phosphorus, ammonium nitrogen, and suspended solids. To compare the dry and rainy periods, average values of the selected parameters and treatment efficiencies were calculated and analysed.

The results showed that the treatment plant operated efficiently in both periods. However, increased wastewater flow during the rainy period resulted in a slightly lower removal efficiency for some parameters due to higher hydraulic loading. Despite these differences, the effluent quality remained within the prescribed limit values, confirming the stable and reliable operation of the Central Wastewater Treatment Plant Rogaška Slatina.

Keywords: municipal wastewater, Central Wastewater Treatment Plant, CWWTP Rogaška Slatina, dry period, rainy period, wastewater quality parameters, treatment efficiency

KAZALO VSEBINE

ABSTRACT	V
1. UVOD	8
1.1. Namen in cilji	8
1.2 Postavitev hipotez	9
1.3 Metodologija	9
2. TEORETIČNA IZHODIŠČA	10
2.1 Odpadne vode in njihov vpliv na okolje	10
2.1.1 Vrste odpadnih voda in njihove lastnosti (parametri kakovosti vod in opis parametrov)	11
2.1.2 Lastnosti odpadnih vod	12
2.1.2 Parametri kakovosti vod	12
2.2 Procesi čiščenja komunalnih odpadnih vod	15
2.2.1 Procesi čiščenja vode in SBR-sistemi	17
2.3 Breme	18
2.4 Kanalizacijski sistemi	19
2.5 Vpliv padavin na delovanje kanalizacijskega sistema in čistilne naprave	20
2.5.1 Povečanje intenzivnosti padavin in težave s kanalizacijo	21
2.5.2 Kako lahko padavine vplivajo na lokalne kanalizacijske sisteme	21
2.6 Zakonodajne podlage	22
3. MATERIALI IN METODE	23
3.1 Opis Centralne čistilne naprave Rogaška Slatina	23
3.1.1 Izpust prečiščene vode iz čistilne naprave	25
3.1.2 Zahteve za čiščenje	25
3.3 Metode dela	26
3.3.1 Vzorčenje odpadne vode	27
3.3.2 Meritve pH	27
3.3.3 Določitev KPK	27
3.3.4 Določitev BPK ₅	27
3.3.5 Določitev neraztopljenih snovi	27
3.3.6 Določitev dušika	27
3.3.7 Določitev fosforja	27
3.3.8 Metode izračuna	27
3.3.9 Breme onesnaženja	28
4. REZULTATI IN RAZPRAVA	29
4.1 Rezultati meritev v sušnem obdobju	29

4.2	Rezultati meritev v deževnem obdobju	32
4.3	Primerjava vpliva vremenskih razmer na učinkovitost čiščenja	33
4.4	Izračun bremena.....	34
4.5	Omejitve raziskave	36
1.6.	Praktični pomen diplomske naloge	36
5.	SKLEP.....	37
5.2	Ustreznost postavljenih hipotez.....	37
6.	POVZETEK.....	39
7.	SUMMARY	40
8.	VIRI.....	41

KAZALO SLIK

Slika 1: Zadrževalni bazeni na CČN Rogaška Slatina	10
Slika 2: Lastnosti odpadnih vod	12
Slika 3: SBR-reaktor (sequential batch reactor)	18
Slika 4: Načrt poteka kanalizacije OKP Rogaška Slatina.....	20
Slika 5: Lokacija čistilne naprave Rogaška Slatina.....	23
Slika 6: Shema čistilne naprave Rogaška Slatina	24
Slika 7: Prikaz meritev KPK	31
Slika 8: Primerjava povprečnih koncentracij KPK in BPK ₅	32
Slika 9: Učinkovitost čiščenja posameznih parametrov v deževnem in sušnem obdobju.....	33

KAZALO TABEL

Tabela 1: Meje vrednosti pri sekundarnem in terciarnem čiščenju.....	14
Tabela 2: Meje vrednosti pri terciarnem čiščenju.....	15
Tabela 3: Meje vrednosti za CČN Rogaška Slatina	25
Tabela 4: Vrednosti parametrov obratovalnega monitoringa na vtoku CČN Rogaška Slatina.....	29
Tabela 5: Vrednosti parametrov obratovalnega monitoringa na iztoku CČN Rogaška Slatina	30
Tabela 6: Izračun bremena neraztopljenih snovi iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina	34
Tabela 7: Izračun bremena KPK iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina	34
Tabela 8: Izračun bremena BPK ₅ iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina.....	35
Tabela 9: Izračun bremena amonijevega dušika iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina	35
Tabela 10: Izračun bremena celotnega dušika iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina	35
Tabela 11: Izračun bremena celotnega fosforja iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina	36

1. UVOD

Čistilne naprave (CČN) so tehnološki sistemi, katerih osnovna naloga je obdelava in čiščenje odpadnih voda, preden se te izpustijo v naravne vodne vire ali ponovno uporabijo. Postopki čiščenja vključujejo odstranjevanje trdnih delcev, organskih in anorganskih onesnaževal, hranil, težkih kovin in mikroorganizmov, ki so prisotni v odpadnih vodah. Čistilne naprave so sestavljene iz več faz, ki omogočajo postopno čiščenje vode, od mehničnega čiščenja in biološke razgradnje organskih snovi do kemijskega odstranjevanja hranil in drugih onesnaževal.

Spremljanje ključnih parametrov na čistilni napravi, kot so KPK, BPK₅, pH, amonijev dušik, celotni dušik in celotni fosfor, je ključno za zagotavljanje učinkovitega delovanja naprave in zaščito okolja pred onesnaženjem. Vsak parameter ima določene mejne vrednosti, ki jih določajo okoljski predpisi in ki jih mora čistilna naprava doseči, da se odpadne vode lahko izpustijo v okolje. (L. J. P. van der Meer, Water and Wastewater Engineering, 4th Edition, McGraw-Hill, 2013)

Čistilna naprava Rogaška Slatina je ena večjih, saj je nanjo lahko priključenih 12.500 enot. Naprava ima štiri bazene, v katerih potekajo reakcije za čiščenje odpadne vode. Onesnaženje v odpadni vodi uporabljajo kot hranilo (substrat) za gojenje bakterijske kulture oziroma mikroorganizmov. Bakterijska kultura, ki se razmnožuje v aerobnih pogojih, oblikuje kosme (aktivno blato), ki se mešajo z odpadno vodo. Aerobne pogoje dosežejo z vpihovanjem zraka pod tlakom s pomočjo prezračevalcev. S tem zagotovijo tudi mešanje, ki preprečuje tvorbo usedlin v bazenih in homogenizira mešano tekočino (OKP Rogaška Slatina, 2023, 8).

1.1. Namen in cilji

Kanalizacijski sistem, po katerem odpadna voda doteka na CČN Rogaška Slatina, je mešan kanalizacijski sistem, kar pomeni, da ob deževju v sistem doteka padavinska voda. Namen diplomske naloge je ugotoviti, kako vremenske razmere, predvsem padavine, vplivajo na učinkovitost čiščenja odpadne vode, in s tem prispevati k optimizaciji procesov na čistilni napravi ter k varovanju okolja in vodnih virov.

Cilji diplomske naloge so:

- Analizirati ključne parametre kakovosti odpadne vode (KPK, BPK₅, celotni dušik, celotni fosfor in suspendirane snovi) na vtoku in iztoku centralne čistilne naprave Rogaška Slatina v sušnem in deževnem obdobju.
- Primerjati pretok odpadne vode na CČN (dnevni dotok) in posledično hidravlično obremenitev zaradi vpliva vremenskih razmer (padavinski dotok, sušni dotok, obremenitev naprave) ter učinkovitost čiščenja po posameznih parametrih (KPK, BPK₅, celotni dušik, celotni fosfor in suspendirane snovi).
- Oceniti skladnost prečiščene vode z zakonodajnimi zahtevami v različnih vremenskih razmerah.

1.2 Postavitev hipotez

Pri snovanju diplomskega dela smo si zastavili tri hipoteze:

- H1: Med sušnim obdobjem je potrebna večja prilagoditev delovanja CČN, kar lahko pripelje do manjše učinkovitosti čiščenja v primerjavi z deževnim obdobjem.
- H2: Količina padavin spremeni koncentracije spremljanih parametrov.
- H3: Padavine imajo vpliv na učinkovitost čiščenja odpadnih voda na centralni čistilni napravi pri parametrih KPK, BPK₅, celotni dušik, fosfor in suspendirane snovi.

1.3 Metodologija

Podatke za teoretični del diplomske naloge bom poiskala v različnih knjigah, člankih in učbenikih. Opisala bom sistem delovanja kanalizacijskega sistema in Centralne čistilne naprave Rogaška Slatina, pregledala in analizirala rezultate obratovalnega monitoringa in izvedla analize posameznih parametrov: KPK, BPK, dušik, fosfor, neraztopljene snovi in pH.

Za dosego zastavljenih ciljev bo delo temeljilo na naslednjih metodah:

1. Pregled literature in zakonodaje
 - Analiza obstoječih študij in znanstvenih člankov o vplivu vremenskih razmer na delovanje čistilnih naprav.
 - Pregled zakonodajnih okvirov (npr. Direktiva EU o čiščenju komunalne odpadne vode, slovenska Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode).
2. Eksperimentalni del – analiza podatkov iz CČN Rogaška Slatina
 - Zbiranje podatkov o vhodni in izhodni kakovosti vode (KPK, BPK₅, dušikove in fosforjeve spojine, suspendirane snovi).
 - Primerjava učinkovitosti čiščenja v sušnem in deževnem obdobju (vsaj 6-mesečno obdobje).
 - Analiza hidravličnih obremenitev in korelacija med količino padavin ter učinkovitostjo čiščenja.
3. Statistična obdelava podatkov
 - Primerjalna analiza rezultatov.
 - Vizualizacija podatkov s pomočjo grafov in tabel.
4. Interpretacija rezultatov in priporočila
 - Ocenitev, ali so rezultati v skladu z zakonodajnimi zahtevami.

2. TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Odpadne vode in njihov vpliv na okolje

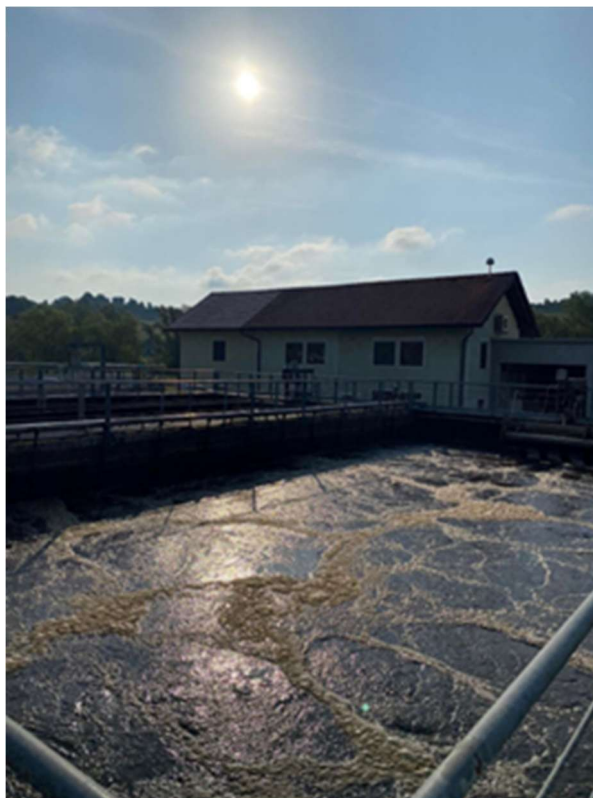
Odpadna voda je voda, ki se onesnaži po uporabi (v gospodinjstvu ali industriji) ali zaradi padavin in se nato odvaja v okolje. Tako nastale odpadne vode odvajamo v javno kanalizacijo ali vodotok oz. jih ponikamo v tla ali podzemno vodo. Onesnaženost odpadne vode je treba pred izpustom v okolje kontrolirati. [3]

Namen izvedbe prvih meritev in obratovalnega monitoringa odpadnih voda je ugotavljanje:

- učinkovitosti delovanja čistilnih naprav,
- vsebnosti onesnaževal in posledično plačila okoljske dajatve zaradi njihovega odvajanja.

Če odpadne vode niso ustrezno očiščene, so pomemben vzrok onesnaževanja voda, kar vpliva na zdravje ljudi in okolje. Kakovost vode v EU se je v zadnjih 30 letih močno izboljšala, ne nazadnje zaradi zakonodaje EU o čiščenju komunalnih odpadnih voda. Kljub temu je še vedno preveč onesnaževanja in vedno znova se pojavljajo nova onesnaževala. S tem onesnaževanjem se je treba spoprijeti, da bi zaščitili zdravje ljudi in okolje.

Cilj EU je doseči ničelno onesnaževanje okolja do leta 2050. V ta namen je Svet sprejel posodobljena pravila o čiščenju komunalnih odpadnih voda, ki posodablajo zadevna pravila iz leta 1991. [3]



Slika 1: Zadrževalni bazeni na CČN Rogaška Slatina

VIR: lasten

- **PE** je enota za izražanje obremenitve vode z organskimi biološko razgradljivimi snovmi in ustreza dnevnu onesnaženju, ki ga povzroči en prebivalec. Izražena je v BPK_5 (5-dnevna biološka potreba po kisiku). 1 PE je enak 60 g BPK_5/dan .
- **Povprečni dnevni pretok** pomeni, koliko vode je šlo čez čistilno napravo v enem dnevu.
- **Kakovost iztoka** je treba redno preverjati, saj lahko hitro pride do kakšnih nepravilnosti, kot so povečane vsebnosti KPK in BPK_5 . Zato je treba določene parametre, neraztopljene snovi in amonijev dušik še pozorno spremljati.

2.1.1 Vrste odpadnih voda in njihove lastnosti (parametri kakovosti vod in opis parametrov)

Komunalna odpadna voda

To je tista odpadna voda, ki nastaja v bivalnem okolju gospodinjstev zaradi rabe vode v sanitarnih prostorih, pri kuhanju, pranju in drugih gospodinskih opravilih. Komunalna odpadna voda je tudi odpadna voda, ki:

- nastaja v objektih v javni rabi ali pri drugih dejavnostih, če je po nastanku in sestavi podobna vodi po uporabi v gospodinjstvu,
- nastaja kot industrijska odpadna voda v proizvodnji ali dejavnosti ali mešanica te odpadne vode s komunalno ali padavinsko odpadno vodo, če je po naravi in sestavi podobna odpadni vodi po uporabi v gospodinjstvu, njen povprečni dnevni pretok ne presega 15 m^3/dan , njena letna količina ne presega 4.000 m^3 , obremenjevanje okolja zaradi njenega odvajanja ne presega 50 populacijskih ekvivalentov (PE) in pri kateri za nobeno od onesnaževal letna količina ne presega predpisanih mejnih vrednosti letnih količin onesnaževal,
- nastaja kot industrijska odpadna voda, za katero iz posebnega predpisa, ki posamezna vprašanja emisije snovi in toplote pri odvajanju tovrstne odpadne vode ureja drugače, izhaja, da se za te industrijske odpadne vode ne uporablja ali
- nastaja kot industrijska odpadna voda v napravi, za katero iz posebnega predpisa, ki posamezna vprašanja emisije snovi in toplote pri odvajanju industrijske odpadne vode iz tovrstne naprave ureja drugače, izhaja, da se za industrijske odpadne vode iz te naprave ne uporablja. [4]

Industrijska odpadna voda in tehnološke odpadne vode

- Industrijska odpadna voda večinoma nastaja v industriji, obrtni, gospodarski, kmetijski dejavnosti in po nastanku ni podobna komunalni odpadni vodi (tekstilna industrija,reja domačih živali, proizvodnja stekla, zdravstvena dejavnost itd.). Mednje štejejo tudi hladilne vode in izcedne vode deponij, ki se zbirajo in odteka iz obratov ali naprav za predelavo, skladiščenje ali odlaganje odpadkov. [5]

Padavinska odpadna oz. meteorna odpadna voda

- Padavinska odpadna voda kot posledica padavin odteka iz utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom pokritih površin neposredno v vode ali se odvaja v javno kanalizacijo.

- Količina teh voda se konstantno spreminja. Ko padavin ni, te vode ne nastajajo, ko pa so padavine, še posebno ob nalivih, njihova količina močno naraste, zato je lahko zelo velika. Padavinska voda nosi s seboj droben pesek, zato je lahko njena največja dovoljena hitrost 3 m/s.

2.1.2 Lastnosti odpadnih vod

Narava odpadne vode vključuje fizikalne, kemijske in biološke lastnosti. Te so odvisne od uporabe vode v naseljih, prispevka industrije in trgovine, vremena, infiltracije (dotoka) in tujih vod, ki dotekajo v kanalizacijski sistem zaradi netesnih cevi.



Slika 2: Lastnosti odpadnih vod

Vir: lasten

2.1.2 Parametri kakovosti vod

Za oceno učinkovitosti čiščenja odpadne vode na čistilni napravi v Rogaški Slatini so bili v analizo vključeni izbrani parametri kakovosti vode. Med temi spremljanimi parametri so bili KPK, BPK₅, celotni N, celotni P, TSS in pH. Ti predstavljajo stopnje onesnaženosti vode ter njenega čiščenja. [6]

- KPK – kemijska potreba po kisiku

Predstavlja količino kisika, ki je potrebna za kemijsko oksidacijo organskih in nekaterih anorganskih snovi v vzorcu vode. Tudi KPK je pokazatelj stopnje organskega onesnaženja vode. Za določanje KPK se najpogosteje uporablja kalijev dikromat ($K_2Cr_2O_7$) kot močno oksidacijsko sredstvo, zato se metoda pogosto označuje kot KPCKr. Analiza KPK je bistveno hitrejša od določanja BPK, saj običajno traja le približno 20–30 minut. [6]

Glavna razlika med BPK in KPK je v tem, da BPK določa količino biološko razgradljivih organskih snovi, medtem ko KPK določa skupno količino oksidabilnih snovi, vključno z biološko razgradljivimi in težje razgradljivimi organskimi snovmi ter nekaterimi reducirajočimi anorganskimi spojinami. Zaradi tega so vrednosti KPK praviloma vedno višje od vrednosti BPK.

KPK (COD) je podobna BPK (BOD); prav tako je parameter kakovosti vode, ki kaže stopnjo organskega onesnaženja vode.[6]

- BPK_5 – biokemijska potreba po kisiku

BPK_5 , je količina raztopljenega kisika, ki ga potrebujejo (zahtevajo) aerobni biološki organizmi za razgradnjo organskih snovi, ki so prisotne v danem vodnem vzorcu pri določeni temperaturi v določenem časovnem obdobju. BPK je na preprost način parameter, ki označuje stopnjo organske onesnaženosti vode. Višja kot je vrednost BPK, večja je organska onesnaženost. Je pokazatelj količine kisika, ki ga lahko porabijo reakcije v izmerjeni raztopini. Predstavlja količino raztopljenega kisika, ki jo aerobni mikroorganizmi potrebujejo za razgradnjo organskih snovi v vzorcu vode pri določeni temperaturi in v določenem časovnem obdobju. BPK je pomemben kazalnik stopnje organskega onesnaženja vode – višja kot je vrednost BPK, večja je vsebnost biološko razgradljivih organskih snovi in s tem večja stopnja organskega onesnaženja. Standardna določitev biokemijske potrebe po kisiku traja 20 dni pri temperaturi 20 °C, vendar je takšno obdobje za rutinske analize predolgo. Raziskave so pokazale, da vrednost, določena po petih dneh (BPK_5), predstavlja približno 68–70 % vrednosti BPK. Zaradi krajšega časa analize in primerljive informativnosti se danes po vsem svetu kot standard uporablja določitev BPK_5 . [6]

- Celotni dušik – TN

Koncentracija skupnega dušika se določi kot vsota masnih koncentracij dušika po Kjeldahlu, nitritnega dušika in nitratnega dušika. Elementa dušik in fosfor sta bistvena za rast mikroorganizmov, rastlin in živali in ju imenujemo hraniva (nutrienti) ali biostimulatorji. Poleg dušika in fosforja so pomembni tudi elementi v sledovih, kot so železo, žveplo, kalij, magnezij, kalcij, natrij in klor, ter minerali v izredno majhnih količinah, kot so cink, mangan, molibden, selen, kobalt, baker in nikelj. Ker je dušik eden osnovnih gradnikov beljakovin, je tudi nujno potreben pri biološkem čiščenju. Kemija dušika je zelo zapletena, ker ga najdemo v različnih oksidacijskih stanjih. V odpadnih vodah se dušik lahko pojavlja v naslednjih oblikah: kot organsko vezani dušik, amonijev dušik (NH_4-N), nitritni dušik (NO_2-N) in nitratni dušik (NO_3-N), odvisno od onesnaženja, ki je prisotno v odpadni vodi in od redukcijsko-oksidacijskega stanja vode. Dušik neprestano kroži med zrakom, prstjo, rastlinami in živalmi. To kroženje imenujemo kroženje dušika ali dušikov ciklus. [7] Nitrifikacija je dvostopenjska biološka oksidacija amonijaka v nitrit in nazadnje v nitrat. Denitrifikacija je proces, pri katerem se s pomočjo mikrobov nitrat reducira in na koncu tvori molekularni dušik. Nitrifikacija/denitrifikacija se najpogosteje uporablja v procesih obdelave odpadnih vod.

Celotni fosfor – TP

Fosfor je tudi bistven za rast alg in ostalih bioloških organizmov. Zaradi čezmerne rasti alg v površinskih vodah je treba v njih kontrolirati količino fosforja. Komunalne odpadne vode vsebujejo med 4 in 16 mg/L fosforja. Fosfor se v naravnih in odpadnih vodah nahaja v različnih

oblikah, kot so organsko vezani fosfor, polifosfati in ortofosfati. Za biološko rast so primerni le ortofosfati, polifosfati pa morajo pred uporabo hidrolizirati. [7]

TSS – celotne suspendirane snovi

Celotne suspendirane snovi (TSS) so suha masa suspendiranih delcev v vzorcu vode, ki niso raztopljeni in jih je mogoče ujeti na filtru, ki se analizira s filtracijsko napravo. Merimo jih v mg/L. [6]

pH

pH (potencial vodika) predstavlja merilo koncentracije vodikovih ionov (H^+) v raztopini in nam pove, kako kislila ali bazična je določena snov. pH-lestvica sega od 0 do 14. Vrednost pH 7 označuje nevtralno okolje, kot je na primer čista voda. Vrednosti nižje od 7 pomenijo kislilo okolje, vrednosti višje od 7 pa bazično oziroma alkalno okolje. Lestvica je logaritemska, kar pomeni, da vsaka stopnja predstavlja desetkratno spremembo koncentracije vodikovih ionov. Tako je na primer raztopina s pH 4 desetkrat bolj kislila kot raztopina s pH 5. [8]

pH je pomemben pokazatelj ravnovesja med kislilinami in bazami, ki vpliva na potek številnih kemijskih in bioloških procesov. Vrednost pH je neposredno odvisna od koncentracije vodikovih ionov v raztopini. Večja koncentracija ionov H^+ pomeni večjo kislilo, manjša koncentracija pa večjo bazičnost. Pri tem ima pomembno vlogo voda (H_2O), saj se lahko razcepi na vodikove (H^+) in hidroksidne (OH^-) ione. Razmerje med tema ionoma določa pH-vrednost raztopine. Spremljanje pH je zato pomembno pri nadzoru kakovosti vode, delovanju čistilnih naprav ter pri številnih laboratorijskih in industrijskih procesih. [8]

Tabela 1: Mejne vrednosti pri sekundarnem in terciarnem čiščenju

Parameter onesnaženosti	Izražen kot	Enota	Skupna obremenitev aglomeracije ali zmogljivost čistilne naprave (a)		
			≥ 2.000 PE in < 10.000 PE	≥ 10.000 PE in < 100.000 PE	≥ 100.000 PE
biokemijska potreba po kisiku (BPK ₅)	O ₂	mg/L	25	20	20
	učinek čiščenja		90	90	90
kemijska potreba po kisiku (KPK)	O ₂	mg/L	125	110	100
	učinek čiščenja	%	80	80	80
neraztopljene snovi		mg/L	35	35	35
amonijev dušik (b)	N	mg/L	10	10	10
celotni dušik (c)	N	mg/L	(d)	(d)	(d)

Tabela 2: Mejne vrednosti pri terciarnem čiščenju

Parameter onesnaženosti	Izražen kot	Enota	Skupna obremenitev aglomeracije ali zmogljivost čistilne naprave (a)		
			>= 2.000 PE in < 10.000 PE	>= 10.000 PE in < 100.000 PE	>= 100.000 PE
celotni fosfor	P	mg/L	2,00	2,00	1,00
	učinek čiščenja	%	80	80	80
celotni dušik (b) (c)	N	mg/L	15	15	10
	učinek čiščenja	%	70	70	80

2.2 Procesi čiščenja komunalnih odpadnih vod

Fizikalno čiščenje

Fizikalno čiščenje temelji na odstranjevanju onesnaževal s pomočjo fizikalnih procesov, kot so sedimentacija, sejanje in filtracija. Ti postopki se uporabljajo predvsem za odstranjevanje suspendiranih oziroma neraztopljenih snovi iz odpadne vode. Med fizikalne postopke sodijo grablje, sita, peskolovi in usedalniki. [19]

Kemijsko čiščenje

Kemijsko čiščenje vključuje dodajanje kemikalij, ki omogočajo pretvorbo ali odstranjevanje onesnaževal s kemijskimi reakcijami. Najpogostejši postopki so koagulacija in flokulacija za odstranjevanje trdnih delcev, kemijsko obarjanje fosforja ter dezinfekcija za zmanjšanje števila patogenih mikroorganizmov. [19]

Biološko čiščenje

Biološko čiščenje temelji na delovanju mikroorganizmov, ki razgrajujejo organske snovi v odpadni vodi. Na komunalnih čistilnih napravah se uporabljajo mikroorganizmi, ki so naravno prisotni v odpadni vodi. Med najpogostejše biološke postopke sodijo postopek z aktivnim blatom, membranski bioreaktorji in precejalniki.

Glavni namen biološkega čiščenja je zmanjšanje koncentracije biološko razgradljivih organskih snovi na raven, ki ustreza zakonskim zahtevam. Poleg odstranjevanja organskih snovi se biološki postopki uporabljajo tudi za odstranjevanje hranil, predvsem dušika in fosforja. [19]

Predčiščenje

Predčiščenje predstavlja prvo stopnjo čiščenja odpadne vode in vključuje odstranjevanje večjih delcev ter snovi, ki bi lahko povzročale težave pri delovanju čistilne naprave. Med takšne snovi sodijo krpe, veje, plastika in drugi večji odpadki. Za odstranjevanje teh snovi se uporabljajo grablje, sita, drobilniki, peskolovi ter naprave za odstranjevanje olj in maščob. Namen predčiščenja je zaščita opreme in zagotavljanje nemotenega delovanja nadaljnjih procesov čiščenja. [19]

Primarno čiščenje

Primarno čiščenje temelji predvsem na fizikalnih procesih odstranjevanja suspendiranih snovi iz odpadne vode. Najpogosteje se uporablja sedimentacija v primarnih usedalnikih, kjer se težji delci usedejo na dno, lažje snovi pa ostanejo v vodi ali plavajo na površini. Kljub odstranitvi dela suspendiranih snovi voda po primarnem čiščenju še vedno vsebuje precej organskih snovi, izraženih kot KPK in BPK₅, zato je potrebno nadaljnje čiščenje. [19]

Izboljšano primarno čiščenje

Izboljšano primarno čiščenje vključuje uporabo kemikalij za povečanje učinkovitosti odstranjevanja suspendiranih snovi. V ta namen se uporabljajo koagulanti in flokulanti, ki povzročijo združevanje manjših delcev v večje kosmiče. Ti se nato lažje odstranijo s sedimentacijo v usedalnikih. Takšen postopek omogoča učinkovitejše odstranjevanje suspendiranih snovi ter delno tudi fosforja. [19]

Sekundarno čiščenje

Sekundarno oziroma biološko čiščenje predstavlja najpomembnejšo stopnjo čiščenja komunalne odpadne vode. Proces temelji na delovanju mikroorganizmov, ki razgrajujejo organske snovi v odpadni vodi. Čiščenje običajno poteka v biološkem reaktorju z aktivnim blatom, nato pa sledi ločevanje biomase od očiščene vode v sekundarnem usedalniku. Učinkovitost sekundarnega čiščenja se najpogosteje ocenjuje na podlagi odstranjevanja parametrov BPK₅ in suspendiranih snovi. Sekundarno čiščenje je čiščenje komunalne odpadne vode s postopkom, ki vključuje biološko čiščenje s sekundarnim usedanjem, ali z drugim postopkom, s katerim se dosega odstranjevanje organskega onesnaženja tako, da mejne vrednosti parametrov onesnaženosti ali učinkov čiščenja iz 6. člena te uredbe niso presežene. [19]

Terciarno čiščenje

Terciarno čiščenje je čiščenje komunalne odpadne vode s katerim koli postopkom, s katerim se dosega odstranjevanje organskega onesnaženja, dušika in fosforja tako, da mejne vrednosti parametrov onesnaženosti ali učinkov čiščenja iz 6. in 7. člena te uredbe niso presežene. Terciarno čiščenje predstavlja dodatno stopnjo obdelave odpadne vode po sekundarnem čiščenju. Namenjeno je odstranjevanju preostalih suspendiranih snovi in mikroorganizmov. Med najpogostejše postopke sodita filtracija skozi filtrirne materiale ter dezinfekcija. Terciarno čiščenje omogoča doseganje višje kakovosti očiščene vode, odstranjuje hranila in zmanjšuje vpliv izpustov na okolje. [19]

Dodatna obdelava ali dezinfekcija

Dodatna obdelava komunalne odpadne vode je obdelava komunalne odpadne vode s postopkom, s katerim se zmanjšuje ali odpravlja njena mikrobiološka onesnaženost tako, da mejne vrednosti mikrobioloških parametrov iz 9. člena te uredbe niso presežene.

Napredno čiščenje

Napredno čiščenje se uporablja v primerih, ko je potrebno dodatno odstranjevanje specifičnih onesnaževal ali kadar se očiščena voda pripravlja za ponovno uporabo. Med napredne postopke sodijo adsorpcija na aktivno oglje, ionska izmenjava, membranske tehnologije in

drugi specializirani postopki. Ti procesi omogočajo odstranjevanje snovi, ki jih s konvencionalnimi postopki čiščenja ni mogoče učinkovito odstraniti. [19]

2.2.1 Proces čiščenja vode in SBR-sistemi

SBR-sistemi (angl. Sequencing Batch Reactor) so sestavljeni iz enega ali več reaktorjev, vtočnih in iztočnih objektov, naprav za mešanje in prezračevanje, opreme za odstranjevanje odvečnega blata ter sistemov za nadzor in upravljanje procesa.

Pred vstopom odpadne vode v biološki del čistilne naprave se običajno izvaja predčiščenje, ki vključuje odstranjevanje večjih delcev in peska s pomočjo grabelj, sit in peskolovov. Namen predčiščenja je zaščita opreme ter zagotavljanje nemotenega delovanja nadaljnjih procesov čiščenja. Osnovna značilnost SBR-sistema je, da vsi procesi biološkega čiščenja potekajo v istem reaktorju, vendar v časovno ločenih fazah. Takšna zasnova omogoča učinkovito odstranjevanje organskih snovi ter hranil, kot sta dušik in fosfor.

Proces čiščenja v SBR-reaktorju običajno poteka v petih fazah. Prva faza je polnjenje, kjer odpadna voda priteka v reaktor. Sledi reakcijska faza, ki je najpomembnejši del procesa biološkega čiščenja. V tej fazi se izmenjujeta aerobno prezračevanje in anoksični pogoji. Med prezračevanjem mikroorganizmi ob prisotnosti kisika razgrajujejo organske snovi ter poteka nitrifikacija, pri kateri amonijev dušik oksidira najprej v nitritni in nato nitratni dušik. V fazi usedanja se mešanje in prezračevanje ustavita, aktivno blato pa se usede na dno bazena. Nato sledi faza odvajanja očiščene vode, pri kateri se očiščena voda odvaja iz reaktorja. Zadnja faza je mirovanje, ki predstavlja pripravo sistema na nov cikel čiščenja. Enoreaktorski SBR-sistemi se pogosto uporabljajo v industrijskih obratih, kjer dotok odpadne vode ni neprekinjen. Tak primer so industrije, ki ponoči ne obratujejo, saj lahko v tem času potekajo posamezne faze cikla, kot so reakcija, usedanje, odtok očiščene vode in mirovanje.

Zaradi enostavne zasnove in nižjih naložbenih stroškov so enoreaktorski sistemi primerni tudi za manjše komunalne čistilne naprave in podeželska naselja. V takšnih primerih je dotok odpadne vode sicer neprekinjen, vendar je v nočnem času bistveno manjši. Zato ni mogoče jasno ločiti faz polnjenja in mirovanja kot pri sistemih z občasnim dotokom.

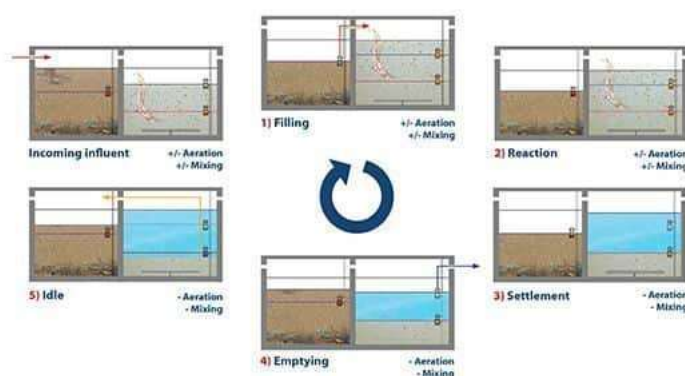
Pri neprekinjenem dotoku lahko pride do povečane rasti nitastih mikroorganizmov, kar povzroča težave z usedanjem aktivnega blata. Ta pojav imenujemo nitasta razrast oziroma filamentno nabrekanje blata. Težave je mogoče zmanjšati tako, da se odpadna voda med fazo polnjenja dovaja pod plast aktivnega blata brez mešanja in prezračevanja. Na ta način mikroorganizmi hitro vežejo organske snovi, ki so jim nato na voljo v višjih koncentracijah ob začetku prezračevanja.

SBR-sistemi, namenjeni večjim mestom in zahtevnejšim industrijskim odpadnim vodam, so običajno sestavljeni iz več reaktorjev. Vsi reaktorji prejemajo odpadno vodo iz istega vira, vendar posamezni cikli v posameznih reaktorjih potekajo ob različnih časih. Takšna zasnova omogoča neprekinjeno obratovanje čistilne naprave ter večjo prilagodljivost pri spreminjajočih se obremenitvah. Upravljanje večreaktorskih sistemov pogosto zahteva uporabo avtomatiziranih in računalniško podprtih sistemov vodenja.

Za izvedbo SBR-sistemov se uporabljajo okrogli ali pravokotni bazeni. Okrogli bazeni so običajno cenejši za gradnjo in so zato pogosti pri manjših čistilnih napravah. Pri večjih sistemih

z več reaktorji pa se pogosteje uporabljajo pravokotni bazeni, saj omogočajo učinkovitejšo razporeditev objektov in boljšo izrabo prostora.

Prednost SBR-tehnologije je predvsem v združevanju vseh faz čiščenja v enem objektu, kar zmanjšuje prostorske zahteve in omogoča učinkovito odstranjevanje organskih snovi ter hranil. Učinkovitost delovanja SBR-sistemov se najpogosteje spremlja z analizo parametrov, kot so KPK, BPK₅, suspendirane snovi, celotni dušik in celotni fosfor, saj ti parametri prikazujejo uspešnost odstranjevanja organskih snovi in hranil iz odpadne vode. [21]



Slika 3: SBR-reaktor (sequential batch reactor)

Vir: <https://www.bioazul.com/en/technologies-and-products/sbr-sequential-batch-reactor/>

2.3 Breme

Masni tok oziroma hitrost obremenitve predstavlja trenutno hitrost, s katero onesnaževalo prehaja skozi referenčni prerez vodotoka, in je izražen v gramih na sekundo (g/s). Pretok predstavlja trenutno hitrost, s katero voda prehaja skozi isti referenčni prerez, in je izražen v kubičnih metrih na sekundo (m³/s). [22]

Tako koncentracija kot pretok sta zvezni funkciji časa, vendar ju ni mogoče meriti neprekinjeno. Zato meritve, ki jih izvajamo v praksi, predstavljajo zaporedje posameznih oziroma diskretnih meritev koncentracije in pretoka.

Zato je v praksi vzorčenje pogosto omejeno na mesečne ali četrletne meritve. Posledično je običajen in praktičen pristop ocenjevanje »manjkajočih« koncentracij, ki se povežejo z izmerjenimi pretoki v času, ko kemijski vzorci niso bili odvzeti. Zaradi tega je ustaljena in praktična rešitev ocena manjkajočih koncentracij, ki ustrezajo pretokom, izmerjenim v obdobjih, ko kemijski vzorci niso bili odvzeti. Razvitih je bilo več pristopov za izračun obremenitev v primerih, ko ne razpolagamo z neprekinjenimi meritvami koncentracij.

Pri izbiri ustrezne metode za določene okoliščine (glede na značilnosti pretoka in vrsto onesnaževala) je treba upoštevati naslednje lastnosti:

- Natančnost – ali metoda pri večkratnem izračunu obremenitve daje rezultate z majhnimi medsebojnimi razlikami.
- Točnost – če so ocenjene vrednosti blizu dejanski vrednosti, je metoda točna.

- Pristranskost – predstavlja pomanjkanje točnosti; nepristranski merilni sistem zagotavlja točne rezultate.
- Učinkovitost – metode z majhno pristranskostjo in visoko natančnostjo, ki za izračun potrebujejo razmeroma malo vzorcev, so učinkovite.
- Robustnost – metoda mora biti čim manj občutljiva na značilnosti podatkov, na primer na neobičajno visoke koncentracije.
- Objektivnost – metoda naj vključuje čim manj subjektivne presoje oziroma strokovnega odločanja.

Poleg koncentracij posameznih parametrov je za oceno obremenitve čistilne naprave pomembno tudi breme onesnaženja. Breme predstavlja maso onesnaževala, ki v določenem časovnem obdobju preide skozi sistem oziroma priteče na čistilno napravo ali se iz nje odvaja. Izračun temelji na koncentraciji posameznega parametra in pretoku odpadne vode, zato omogoča celovitejšo oceno dejanske obremenitve sistema kot zgolj spremljanje koncentracij. [22]

Ker se koncentracije onesnaževal in pretoki skozi čas spreminjajo, jih v praksi ni mogoče spremljati neprekinjeno, temveč se breme ocenjuje na podlagi posameznih meritev koncentracije in pretoka. V okviru diplomskega dela je bilo dnevno breme izračunano po enačbi: $L = \frac{Q \times C}{1000}$

$$L = Q \times C \text{ (kg/dan)}$$

Q – pretok odpadne vode (m³/dan)

C – koncentracija posameznega onesnaževala (mg/L)

Izračun bremen omogoča boljše primerjavo med sušnim in deževnim obdobjem, saj poleg koncentracije upošteva tudi količino odpadne vode, ki priteče na čistilno napravo. Na ta način je mogoče natančneje oceniti dejansko obremenitev sistema in učinkovitost odstranjevanja posameznih parametrov. [22]

2.4 Kanalizacijski sistemi

Kanalizacijski sistem je sklop objektov, naprav in cevi omrežja, ki so namenjeni zbiranju in odvajanju odpadnih in padavinskih voda z določenega območja poselitve ali naselja v čistilne naprave oziroma v naprave za čiščenje odpadnih voda ali v odvodnik. [9]

Glede na vrsto komunalne rabe se kanalizacijski sistemi delijo na:

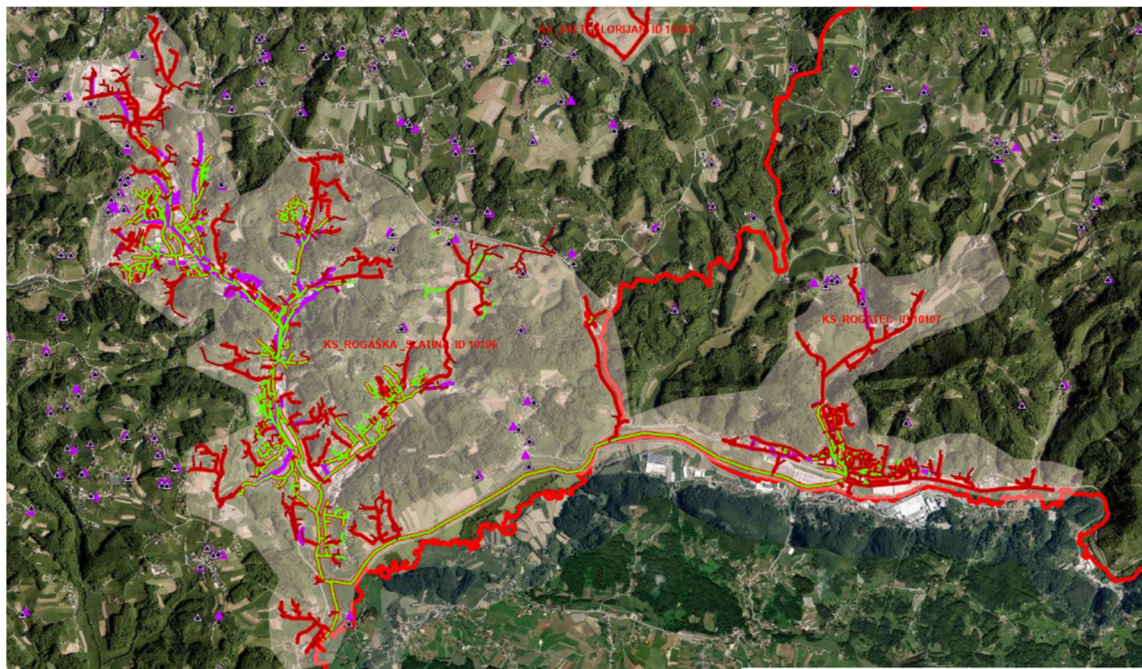
- javne kanalizacijske sisteme,
- interne kanalizacijske sisteme.

Glede na namen odvodnje je lahko javni kanalizacijski sistem:

- mešan – če po kanalizacijskem sistemu odvajamo odpadno in padavinsko vodo skupaj; načeloma morajo strešne vode ponikati oziroma se, kjer je le mogoče, odvajajo direktno v vodotok;
- ločen – če v en kanalizacijski sistem odvajamo padavinsko vodo, v drugega pa odpadno komunalno vodo.

Sestavni deli kanalizacijskih sistemov

- Omrežje in objekti na omrežju (jaški, požiralniki, peskolovi, lovilci lahkih tekočin, lovilci maščob in olj, črpališča, razbremenilniki, združitveni objekti, zadrževalni bazeni, regulacijski objekti, telemetrijske postaje, nadzorni centri),
- objekti in naprave za čiščenje odpadne vode,
- interna kanalizacija in kanalizacijski priključki kot sestavni del objekta v lasti porabnika.



Slika 4: Načrt poteka kanalizacije OKP Rogaška Slatina

Vir: OKP Rogaška

Legenda:

Rdeče linije – kanalizacijsko omrežje (kanalizacijski vodi). To je glavni sloj na karti.

Zelene linije – novejši ali ločen tip kanalizacije (pogosto fekalna ali tlačna kanalizacija)

Rumene linije – glavni zbirni kanal oziroma druga kategorija kanalizacijskih vodov (npr. magistralni vodi).

Vijolični poligoni oziroma odebeljeni odseki – objekti na omrežju (črpališča, razbremenilniki, zadrževalni objekti ali posebni odseki kanalizacije).

▲ Vijolični trikotniki – točkovni objekti (jaški, črpališča ali drugi evidentirani objekti).

2.5 Vpliv padavin na delovanje kanalizacijskega sistema in čistilne naprave

Močnejše padavine so postale vse pogostejši pojav v Sloveniji. To je predvsem posledica podnebnih sprememb, ki vplivajo na intenzivnost in pogostost ekstremnih vremenskih pojavov.

Močni nalivi lahko povzročijo številne težave z lokalno kanalizacijo. Pogosto vodijo do poplav, ki povzročijo škodo na domovih in infrastrukturi in vplivajo na procese čiščenja odpadne vode na čistilni napravi.

Hidravlična obremenitev je količina vode, ki jo kanalizacijski sistem ali čistilna naprava **obdeluje v določenem času** (npr. m³/dan ali l/s). [15]

2.5.1 Povečanje intenzivnosti padavin in težave s kanalizacijo

Ob močnem deževju lahko pride do situacije, ko lokalni kanalizacijski sistemi ne morejo več učinkovito odvajati vode. Velika količina vode se lahko nabere v kratkem času. Kanalizacija je zasnovana za povprečne količine dežja. Močni nalivi, ki v nekaj urah prinesejo večmesečno količino padavin, hitro preobremenijo sistem. Preobremenjena kanalizacija lahko povzroči poplavljanje cest, dvorišč, kleti in drugih nizko ležečih območij, kjer voda nima kam odteči. Po poročanju ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje) se je v zadnjih desetletjih količina ekstremnih padavin znatno povečala, kar še dodatno obremenjuje obstoječo infrastrukturo. To potrjuje potrebo po rednem vzdrževanju in prilagajanju kanalizacijskih sistemov novim vremenskim razmeram. [15]

Poleg tega lahko težave z zamašenimi odtoki in kanali še poslabšajo situacijo. Kanalizacijski sistemi, ki niso redno vzdrževani, se težje spopadajo s povečano količino vode. Listje, ostanki in druge snovi še dodatno otežujejo odvajanje. V takšnih primerih lahko voda začne zatekati nazaj v domove ali preplavi cestne površine. Prav zato je pomembno, da lastniki nepremičnin in lokalne skupnosti redno vzdržujejo kanalizacijo in odtoke, saj lahko pravočasno čiščenje znatno zmanjša tveganje poplav.

2.5.2 Kako lahko padavine vplivajo na lokalne kanalizacijske sisteme

Visoke padavine vplivajo na kanalizacijske sisteme na več načinov, vključno z naslednjimi težavami:

- Preobremenitev kanalizacijskega sistema

Močni nalivi povzročijo hitro povečanje količine vode, ki se poskuša odvesti skozi kanalizacijske cevi. Če kanalizacijski sistem ni sposoben obvladovati tako velikega pretoka, lahko voda začne poplavlјati.

- Vdor meteorne vode v fekalno kanalizacijo

V nekaterih primerih se lahko meteorna voda pomeša s fekalno kanalizacijo, kar povzroči dodatne težave, kot so poplave v stanovanjskih območjih, kjer lahko pride do vdora onesnažene vode. Ta pojav predstavlja resno grožnjo za zdravje ljudi, saj fekalna voda vsebuje bakterije in druge patogene snovi.

- Zamašitve zaradi naplavin

Visoke padavine pogosto prinesejo velike količine naplavin, kot so listje, vejice in drugi organski ostanki, ki lahko zamašijo odtočne sisteme in kanalizacijske cevi. Če kanali niso ustrezno vzdrževani, lahko te naplavine povzročijo zamašitev in posledično poplave.

- Erozija in poškodbe infrastrukture

Močne padavine lahko povzročijo erozijo tal okoli kanalizacijskih sistemov, kar lahko vodi do poškodb cevi in infrastrukture. Posledično je lahko kanalizacijski sistem manj učinkovit in potrebuje popravilo ali zamenjavo. [15]

2.6 Zakonodajne podlage

Področje odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode ter izvajanje ukrepov iz Direktive 91/271/EGS v RS urejajo naslednji predpisi:

- Zakon o vodah (ZV-1) (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15, 65/20, 35/23 – odl. US, 78/23 – ZUNPEOVE in 52/24 – odl. US).
- Zakon o varstvu okolja (ZVO-2) (Uradni list RS, št. 44/22, 81/22 – odl. US, 121/22 – ZUOKPOE, 160/22 – odl. US, 18/23 – ZDU-10, 78/23 – ZUNPEOVE, 23/24, 21/25 – ZOPVOOV, 56/25 – PoZ in 11/26 – odl. US).
- Zakon o gospodarskih javnih službah (ZGJS) (Uradni list RS, št. 32/93, 30/98 – ZZLPPO, 127/06 – ZJZP, 38/10 – ZUKN in 57/11).
- Zakon o financiranju občin (ZFO-1) (Uradni list RS, št. 123/06, 57/08, 36/11, 14/15 – ZUUJFO, 71/17, 21/18 – popr., 80/20 – ZIUOOPE in 189/20 – ZFRO).
- Zakon o oskrbi s pitno vodo ter odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (ZOPVOOV) (Uradni list RS, št. 21/25).
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14, 98/15, 203/20, 75/22 in 157/22).
- Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Uradni list RS, št. 98/15, 76/17, 81/19, 194/21, 21/25 in 113/25).
- Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja (Uradni list RS, št. 87/12, 109/12, 76/17, 78/19 in 21/25).
- Uredba o okoljski dajatvi za onesnaževanje okolja zaradi odvajanja odpadnih voda (Uradni list RS, št. 123/04, 142/04, 68/05, 77/06, 71/07, 85/08, 104/09).
- Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav (Uradni list RS, št. 62/08).
- Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uradni list RS, št. 99/13 in 56/15).
- Pravilnik o občutljivih območjih (Uradni list RS, št. 98/15 in 44/22 – ZVO-2).
- Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda (Uradni list RS, št. 94/14, 98/15 in 44/22 – ZVO-2).
- Pravilnik o katastrih gospodarske javne infrastrukture (Uradni list RS, št. 54/21).
- Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15, 12/17 in 79/19).

3. MATERIALI IN METODE

3.1 Opis Centralne čistilne naprave Rogaška Slatina

Čistilna naprava je locirana pod Rogaško Slatino, natančneje na desnem bregu reke Sotle po združenju kanala, ki pripelje odpadno vodo iz Rogaške in Rogatca. Lokacija te čistilne naprave je pravzaprav edina možna, saj se na tej točki prostopadno združijo kanalizacije. Nižja postavitev ni možna, ker se dolina tam zoži in se začne predvidena akumulacija za Sotelsko jezero.



Slika 5: Lokacija čistilne naprave Rogaška Slatina

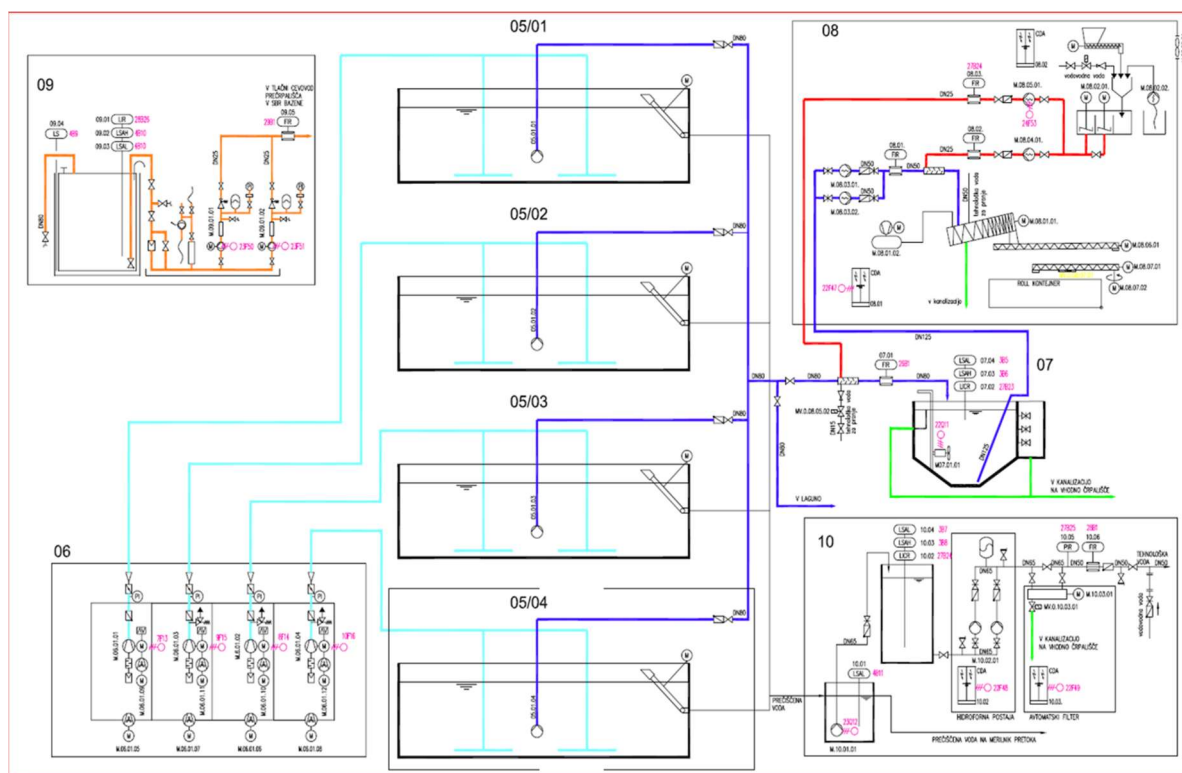
Vir: OKP Rogaška Slatina, 2023

Čistilna naprava Rogaška Slatina je ena večjih v državi, saj je njena kapaciteta oz. zmogljivost čiščenja 12.500 populacijskih enot (PE). Naprava ima štiri bazene, v katerih potekajo reakcije za čiščenje odpadne vode. Onesnaženje v odpadni vodi uporabljajo kot hranilo za gojenje mikroorganizmov (substrat) bakterijske kulture. Bakterijska kultura, ki se razmnožuje v aerobnih pogojih, oblikuje kosme (aktivno blato), ki se mešajo z odpadno vodo. Aerobne pogoje dosežejo z vpihovanjem zraka pod tlakom s pomočjo puhal. S tem zagotovijo tudi mešanje, ki preprečuje tvorbo usedlin v bazenih in homogenizira mešano tekočino (OKP Rogaška Slatina, 2023, 8).

Na napravo Rogaška Slatina po mešanem kanalizacijskem sistemu dotekajo fekalne odpadne vode Rogaške Slatine in Rogatca. Nanjo je priključeno 6.439 prebivalcev občin Rogaška Slatina in Rogatec. [17] Na napravi se čistijo komunalne odpadne vode iz naselij (odstotki predstavljajo odpadno vodo iz določenega naselja) Rogaška Slatina (93 %), Rogatec (93 %), Tržišče (65 %), Sp. Ngonje (87 %), Ratanska vas (67 %), Take (18 %), Žahenberc (19 %), Rjavica (90 %), Sp. Sečovo (65 %), Prnek (59 %), Tuncovec (90 %), Irje (12 %), Brezovec (Rogatec) (73 %), Cerovec (Boč) (74 %) ter komunalne odpadne vode pripadajoče industrije: Steklarna Rogaška d. d. (4,3 %), Salesianer Miettex Periteks d. o. o. (3,5 %), Droga Kolinska

d. d., PE Rogaški vrelci (14,2 %), Hoteli in turizem d. o. o. (2,1 %), TermeSPA Rogaška d. d. (3,5 %). [16]

Čistilna naprava z zmogljivostjo 12.500 PE je biološka z dispergirano biomaso. Izvedena je kot sekvenčni biološki reaktor. Trije bazeni imajo prostornino 948 m^3 , četrti bazen pa ima prostornino 1106 m^3 . Skupna velikost bioloških reaktorjev tako znaša 3950 m^3 . Črpališče vodo, ki priteka po mešanem kanalizacijskem sistemu, dviguje na nivo naprave, kjer fine rešetke odstranjujejo plavajoče delce, ki padajo na tekoči trak, s katerega se nato stresejo v kontejner. Voda nato odteče skozi peskolov, kjer se odstrani pesek, ki se črpa v klasifikator za pesek ter naprej v kontejner za odvoz. Mehansko čiščene vode se prelijejo v črpališče (120 m^3), ki deluje kot izravnalni bazen in iz njega se voda prečrpa v biološke reaktorje, v katerih se odvija defosfatizacija, nitrifikacija in denitrifikacija istočasno ob razgradnji organskih snovi. Postopek deluje z enovitim muljem v eni sami reaktorski posodi, ki obenem izvaja izločevanje čvrstih delcev in biološko razgradnjo. Odvečno blato iz reaktorja se prečrpa v muljno laguno (8760 m^3), kjer se stabilizira in dehidrira. Iztok iz naprave je izveden v vodotok Sotlo. Razbremenilnik in zadrževalni bazen s prostornino 959 m^3 služita za zadrževanje prvega naliva.



Slika 6: Shema čistilne naprave Rogaška Slatina

LEGENDA OBJEKTOV:

- 05 SBR BAZENI (OBSTOJEČE)
- 06 KOMPRESORSKA POSTAJA
- 07 ZGOŠČEVALEC IN ZALOGOVNIK BLATA
- 08 STROJNO ZGOŠČANJE BLATA IN PROSTOR ČRPALK
- 09 OBARJANJE FOSFORJA
- 10 TEHNOLOŠKA VODA

Vir: OKP Rogaška Slatina

3.1.1 Izpust prečiščene vode iz čistilne naprave

Prečiščena voda iz čistilne naprave se preko merilnega mesta na iztoku izliva v reko Sotlo. Sotla je majhna reka, katere pretok se močno spreminja glede na čas deževja in čas suše. Tako je bil po podatkih iz Hidrometeorološkega zavoda najmanjši izmerjen pretok v obdobju od 1955 do 1986 samo 9 l/s, kar je bilo izmerjeno samo enkrat v mesecu avgustu. Srednje nizki pretok je bil 54 l/s, srednji pretok pa 638 l/s. Merilna postaja je bila postavljena pod mostom v Rogatcu, kjer je danes mejni prehod z Republiko Hrvaško. Pretok se danes ne meri več, merilna letev pa še vedno stoji. Upoštevati je treba, da se Sotla do lokacije izpusta iz čistilne naprave obogati še s potoki Dragonjo, Odenco, Teršnico in Ločnico. Vodni prispevek teh potokov na osnovi ogleda ocenjujemo na 50-odstotno povečanje same Sotle do lokacije iztoka vode iz ČN Rogaška Slatina, zato se za izračune uporabi okrogla ocenjena $Q_V = 80$ l/s (OKP Rogaška Slatina, 2023, 8). [16]

Načrtovana tehnologija zagotavlja iztočne parametre, ki so v skladu s slovensko zakonodajo, in sicer z Uredbo o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Ur. l. RS, št. 98/15, 76/17, 81/19, 194/21 in 44/22 – ZVO-2).

3.1.2 Zahteve za čiščenje

Upravljallec naprave mora zagotavljati izvajanje obratovalnega monitoringa odpadnih voda. Meritve za napravo z zmogljivostjo 12.500 PE morajo biti izvedene vsako leto z vzorčenjem najmanj dvanajstih 24-urnih vzorcev na iztoku naprave na merilnem mestu MM1, določenem z Gauss-Krugerjevima koordinatama $Y = 549914$ in $X = 118759$ na zemljišču v k. o. Prišlin na parc. št. 562/1. Upravljallec mora zagotoviti merjenje parametrov ter zagotoviti, da predpisane mejne vrednosti v tabeli niso presežene. [16]

- Največja letna količina odpadne vode je $2.600.000 \text{ m}^3$,
- največja dnevna količina komunalne odpadne vode je 8.500 m^3 ,
- največji 6-urni povprečni pretok na iztoku naprave je 100 l/s [16].

Tabela 3: Mejne vrednosti za CČN Rogaška Slatina

Naziv parametra	enota	Mejna vrednost
Amonijev dušik	mg/l	<10
Biokemijska potreba po kisiku (BPK5)	mg/l	<20
Celotni fosfor	mg/l	< 2
Celotni vezani dušik	mg/l	< 15
Kemijska potreba po kisiku (KPK)	mg/l	<110
Neraztopljene snovi	mg/l	<35

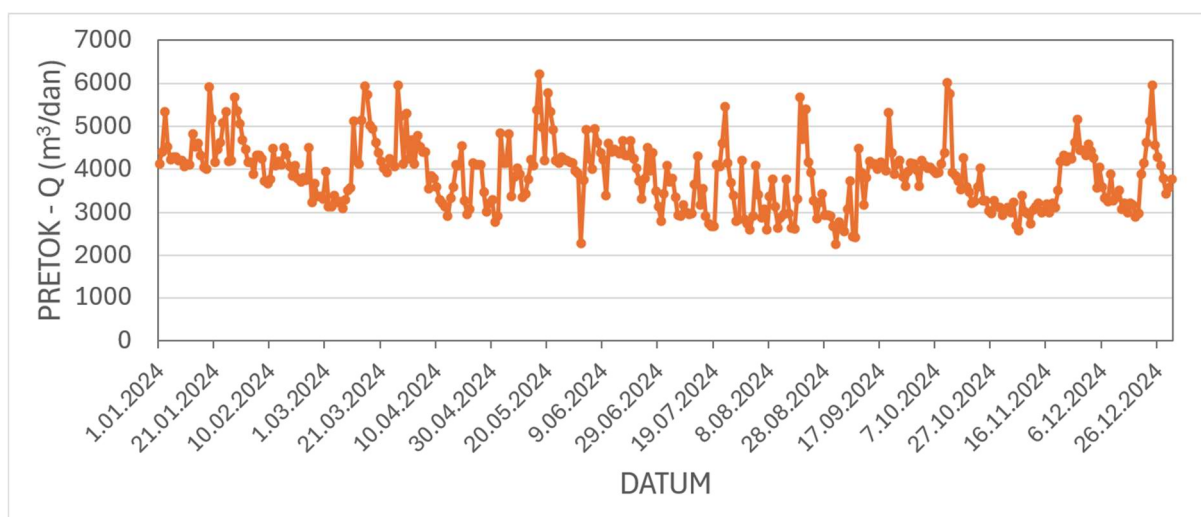
Vir: OVD Rogaška Slatina

3.3 Metode dela

V diplomskem delu so bili uporabljeni podatki o kakovosti odpadne vode na CČN Rogaška Slatina na vtoku in iztoku za leto 2024. Podatki so bili pridobljeni iz obratovalnega monitoringa čistilne naprave. Monitoring je izvajal akreditirani laboratorij v skladu z veljavnimi standardnimi metodami in predpisi.

Iz podatkov obratovalnega monitoringa sem naredila primerjavo sušnega in deževnega obdobja. Vzorci so bili analizirani s standardnimi metodami.

Za primerjavo vpliva vremenskih razmer so bili pridobljeni podatki razdeljeni na sušno in deževno obdobje. Obdobji nista bili določeni neposredno na podlagi količine padavin, temveč na podlagi dnevnega pretoka na iztoku iz CČN Rogaška Slatina. Višje vrednosti so bile obravnavane kot posledica padavin in vdora meteorne vode v kanalizacijski sistem. Potrebne podatke sem pridobila neposredno iz čistilne naprave in njenih evidenc. Na grafu 1 so prikazane vrednosti dnevnih pretokov v letu 2024.



Graf 1: Vrednosti dnevnih pretokov odpadne vode na CČN Rogaška Slatina v letu 2024

Na grafu so vidna nihanja dnevnih pretokov na CČN Rogaška Slatina v letu 2024. Pretoki so se, kot je razvidno na grafu, skozi leto spreminjali, večinoma pa so se gibali med 3000 in 5000 m^3 /dan. V posameznih obdobjih opazimo izrazit porast, ko dnevni pretok preseže 5000 m^3 /dan; najvišje vrednosti pa so presegale tudi 6000 m^3 /dan. Povečani pretoki so bili tudi potem uporabljeni kot merilo za določitev deževnega obdobja.

Kot mejo za deževno obdobje sem določila vrednost 5000 m^3 /dan. Dneve, pri katerih je iztok presegel določeno mejo, torej 5000 m^3 /dan, sem uvrstila v deževno obdobje, dneve z enakim ali manjšim iztokom pa v normalno oz. sušno obdobje.

$$\bar{x} \equiv \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$\bar{x}$ = povprečna vrednost

$x_1 + x_2 + \dots + x_n$ = posamezne meritve

n = število meritev

3.3.1 Vzorčenje odpadne vode

Vzorčenje je bilo izvedeno kot kompozitno na vtoku in iztoku čistilne naprave. Vzorci so bili odvzeti v okviru rednega obratovalnega monitoringa na iztoku naprave, na merilnem mestu MM1, določenem z Gauss-Krugerjevima koordinatama Y = 549914 in X = 118759, na zemljišču v k. o. Prišlin na parc. št. 562/1.

3.3.2 Meritve pH

pH-vrednost odpadne vode je bila določena z uporabo pH-metra v skladu s standardnimi metodami za analizo. Meritve so bile izvedene na vtoku in iztoku.

3.3.3 Določitev KPK

Kemijska potreba po kisiku je bila določena z uporabo standardnih metod za analizo, ki temeljijo na oksidaciji organskih snovi.

3.3.4 Določitev BPK₅

Biokemijska potreba po kisiku je bila določena z merjenjem porabe kisika pri biološki razgradnji organskih snovi v vzorcu.

3.3.5 Določitev neraztopljenih snovi

Neraztopljene snovi v vodi so bile določene z uporabo standardnih metod za filtracijo. Ta metoda temelji na ločitvi trdnih delcev iz vzorca s filtracijo ter določanju njihove mase po sušenju.

3.3.6 Določitev dušika

Dušikove spojine v odpadni vodi so bile določene z uporabo standardnih metod. Dušik je sicer pomemben kazalnik učinkovitosti biološkega čiščenja, predvsem procesa nitrifikacije in denitrifikacije.

3.3.7 Določitev fosforja

Fosfor je bil določen tudi po standardnih metodah, ki omogočajo določitev njegove koncentracije.

3.3.8 Metode izračuna

Učinkovitost čiščenja je bila izračunana na podlagi razlike med koncentracijo onesnaževal na vtoku in iztoku po naslednji enačbi:

$$n = \frac{C_{dotok} - C_{iztok}}{C_{dotok}} \times 100$$

n = učinkovitost čiščenja

C_{dotok} = koncentracija parametra na dotoku v mg/L

C_{iztok} = koncentracija parametra na iztoku v mg/L

S tem je bila izračunana učinkovitost odstranjevanja glede na parametre, pri katerih so bili podatki na voljo. Kjer podatki niso bili podani, je bila izvedena primerjava vrednosti na iztoku. Pretok ni upoštevan zaradi predpostavke, da je vrednost enaka in nima vpliva na izračun.

3.3.9 Breme onesnaženja

Breme onesnaženja predstavlja dejansko količino posameznega onesnaževala, ki v enem dnevu vstopi v čistilno napravo oziroma iz nje izteče.

Formula za izračun: $L = \frac{Q \times C}{1000}$

Q = dnevni pretok odpadne vode m^3/dan

C = koncentracija posameznega parametra v mg/L

L = breme onesnaženja v kg/dan

Za izračun bremena sem uporabila podatke iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina za leto 2024. Uporabljeni so bili podatki o dnevnem pretoku in koncentracijah posameznih parametrov na vtoku in iztoku naprave.

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

Podatke za raziskavo sem pridobila iz obratovalnega monitoringa čistilne naprave ter jih analizirala in izračunala povprečne vrednosti meritev, na podlagi katerih sem prišla do rezultatov.

4.1 Rezultati meritev v sušnem obdobju

V sušnem obdobju leta 2024 je bilo analiziranih 337 meritev iztoka na Centralni čistilni napravi Rogaška Slatina. Povprečni dnevni pretok odpadne vode je znašal 3738,65 m³/dan, kar nam pove, da so hidravlične razmere stabilne brez večjih vplivov padavin.

Tabela 4: Vrednosti parametrov obratovalnega monitoringa na vtoku CČN Rogaška Slatina

Datum	Pretok (m ³ /dan)	Temperatura (°C)	KPK (mg/L)	BPK ₅ (mg/L)	Celotni dušik (mg/L N)	Celotni fosfor (mg/L P)
29. 1. 2024	5818	–	–	–	–	–
21. 2. 2024	4172	11,6	504	155	37,6	6,97
18. 3. 2024	5285	12,6	333	133	21,4	3,04
11. 4. 2024	3870	14,7	349	179	25,9	3,72
14. 5. 2024	4693	15,3	377	164	17,3	3,99
6. 6. 2024	5151	17	1165	588	33,6	8,06
17. 7. 2024	3073	21,1	431	250	24,1	3,96
29. 8. 2024	3227	23	365	247	23,6	3,41
12. 9. 2024	3579	21,4	379	224	24,9	3,24
14. 10. 2024	4381,6	18,2	290	150	19,8	2,8
12. 11. 2024	3911	15,2	976	482	35,1	9,51

Vir: obratovalni monitoring OKP Rogaška Slatina za leto 2024

Tabela 5: Vrednosti parametrov obratovalnega monitoringa na iztoku CČN Rogaška Slatina

Datum	Temperatura (°C)	Neraztopljene snovi (mg/L)	KPK (mg/L)	BPK ₅ (mg/L)	Amonijev dušik (mg/L N)	Celotni dušik (mg/L N)	Celotni fosfor (mg/L P)
29. 1. 2024	9,4	18,6	28,2	9,4	1,63	3,64	0,51
21. 2. 2024	11,8	3,7	14,9	5,1	1,37	3,09	0,42
18. 3. 2024	12,3	3,95	17,7	4,6	1,56	3,96	0,26
11. 4. 2024	16	4,1	13,3	4	1,67	3,58	0,42
14. 5. 2024	16,5	3,7	15,9	4	0,4	0,8	0,16
6. 6. 2024	18,4	3,7	9	4	1	2,28	0,32
17. 7. 2024	23,3	7	12,5	8,7	0,91	2,03	0,98
29. 8. 2024	24,2	3,93	21,3	5,45	0,93	2,01	0,73
12. 9. 2024	22,4	6,1	8,2	5	0,65	2,54	0,66
14. 10. 2024	18,3	3,73	14,1	5,15	1,64	3,64	0,21
12. 11. 2024	15,1	4,19	9,66	4,19	0,82	2,89	0,45

Vir: Obratovalni monitoring OKP Rogaška Slatina za leto 2024



Graf 2: Število dni v sušnem in deževnem obdobju

Povprečna vrednost pH v tem obdobju je znašala 7,82, kar nam pove, da je bila odpadna voda v tem primeru rahlo bazična in tudi v okviru običajnih vrednosti za komunalne odpadne vode. Temperatura je bila v povprečju 17,2 °C, kar je ravno tako značilno za toplejša obdobja in ugodno vpliva na biološke procese čiščenja v napravi.

Kar se pa tiče nizkih pretokov v sušnem obdobju, to pomeni manjšo hidravlično obremenitev čistilne naprave. To omogoča daljši zadrževalni čas vode v sistemu in praviloma bolj učinkovito čiščenje.

V tem obdobju je bilo tudi vključenih osem meritev posameznih parametrov. Povprečni iztok KPK je znašal 13,73 mg/L, povprečni iztok BPK₅ pa 5,20 mg/L. BPK₅ Povprečni učinek odstranjevanja KPK je 96,53 %, učinek odstranjevanja BPK₅ pa 97,48 % BPK₅, kar nam pove, da se organske snovi dobro odstranjujejo.



Slika 7: Prikaz meritev KPK

Na sliki so prikazane koncentracije KPK na dotoku in iztoku čistilne naprave v letu 2024. Koncentracije na vtoku so bistveno višje kot na iztoku, kar pomeni, da je odstranjevanje organskih snovi učinkovito.

Pri hranilih oz. ostalih parametrih je bil povprečni učinek odstranjevanja celotnega vezanega dušika 89,95 %, pri celotnem fosforju pa 87,56 %. Povprečna koncentracija neraztopljenih snovi na iztoku je znašala 4,56 mg/L, amonijevega dušika pa 1,05 mg/L. Rezultati kažejo, da je čistilna naprava v tem sušnem obdobju delovala dokaj stabilno. Pretoki so bili nižji, hidravlična obremenitev pa manjša.

Ker je učinkovitost odstranjevanja KPK visoka, to kaže na stabilno delovanje biološkega procesa v tem obdobju. Ker so pretoki nizki, je tudi hidravlična obremenitev manjša, kar se kaže v daljšem zadrževalnem času vode v reaktorju ter posledično učinkovitejši razgradnji organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov. Rezultati, ki smo jih pridobili, potrjujejo, da SBR-tehnologija pri stabilnih pogojih zagotavlja učinkovito odstranjevanje organskega onesnaženja.

4.2 Rezultati meritev v deževnem obdobju

Število dni, uvrščenih v deževno obdobje, je relativno malo, saj so bili kot deževni dnevi upoštevani le tisti z izrazito povišanim pretokom, torej nad 5000 m³/dan. Takšen pristop mi je omogočal identifikacijo dejanskih dogodkov, ki so vplivali na hidravlično obremenitev.

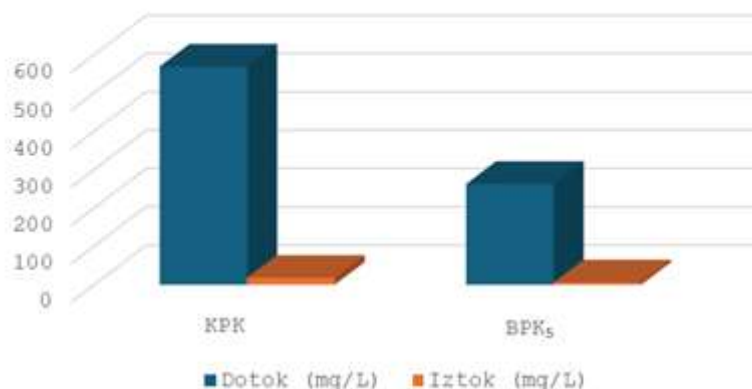
V deževnem obdobju leta 2024 je bilo 29 dni, za katere je bil značilen pretok nad 5000 m³/dan na CČN Rogaška Slatina. Povprečni dnevni pretok odpadne vode je znašal 5479,09 m³/dan, kar predstavlja očitno povečanje hidravlične obremenitve sistema v primerjavi s sušnim obdobjem.

Povečan pretok je posledica povečanih padavin, ki povzročijo dotok meteorne vode v kanalizacijski sistem bodisi prek mešanega kanalizacijskega sistema bodisi zaradi infiltracije ali vdora padavinske vode.

Povprečna vrednost pH v deževnem obdobju je znašala 7,72, kar je nekoliko nižja kot v sušnem obdobju. Minimalna vrednost temperature je bila 9,79 °C, maksimalna pa 23,6 °C. Temperatura odpadne vode je v povprečju merila 14,6 °C, kar je posledica mešanja s hladnejšo meteorno vodo.

Zaradi povečanega pretoka v deževnem obdobju se zmanjša zadrževalni čas odpadne vode v čistilni napravi, kar lahko tudi negativno vpliva na učinkovitost čiščenja. To je zato, ker mikroorganizmi niso prilagojeni na hitre spremembe.

V deževnem obdobju so bile v analizo vključene tri meritve. Povprečna koncentracija KPK v dotoku je znašala 569,67 mg/L, v iztoku pa 18,30 mg/L. Povprečna učinkovitost odstranjevanja KPK je tako znašala 96,79 %. Pri BPK₅ je bila povprečna koncentracija v dotoku 263,07 mg/L, v iztoku pa 6,00 mg/L, kar pomeni 97,72-odstotno učinkovitost odstranjevanja.



Slika 8: Primerjava povprečnih koncentracij KPK in BPK₅

Iz grafa je razvidno, da so koncentracije KPK in BPK₅ na vtoku bistveno višje kot na iztoku.

Rezultati potrjujejo učinkovito odstranjevanje organskih snovi tudi v deževnem obdobju.

Pri celotnem vezanem dušiku je bila učinkovitost v deževnem obdobju 84,87 %, pri celotnem fosforju pa 90,55 %. Povprečna vrednost neraztopljenih snovi na iztoku je znašala 8,75 mg/L, amonijevega dušika pa 1,4 mg/L. Višje vrednosti nekaterih parametrov so lahko tudi posledica

hidravlične obremenitve pri povečanih padavinah, saj večji pretok zmanjša zadrževalni čas odpadne vode v napravi.



Slika 9: Učinkovitost čiščenja posameznih parametrov v deževnem in sušnem obdobju

4.3 Primerjava vpliva vremenskih razmer na učinkovitost čiščenja

Primerjava rezultatov v sušnem in deževnem obdobju za leto 2024 kaže na izrazit vpliv vremenskih razmer na hidravlično obremenitev CČN Rogaška Slatina.

V deževnem obdobju je bila maksimalna vrednost pretoka $8.030 \text{ m}^3/\text{dan}$. Izračunala sem povprečje pretoka odpadne vode, ki je torej znašalo $5479,09 \text{ m}^3/\text{dan}$, kar je za približno 47 % več kot v sušnem obdobju, v katerem je povprečje znašalo $3738,65 \text{ m}^3/\text{dan}$. Povečan pretok je posledica meteorne vode, ki doteka v kanalizacijski sistem, kar povzroči večjo hidravlično obremenitev. Povečana količina vode v deževnem obdobju povzroča redčenje odpadne vode, kar se odraža v nekoliko nižji vrednosti pH v primerjavi s sušnim obdobjem. Prav tako je bila v deževnem obdobju izmerjena nižja temperatura, kar je posledica hladnejše meteorne vode.

Višji pretoki v deževnem obdobju vplivajo na delovanje čistilne naprave, saj se zaradi povečane hidravlične obremenitve skrajša zadrževalni čas odpadne vode v sistemu. To vodi do neučinkovitega odstranjevanja onesnaževal, predvsem v biološkem delu čiščenja, kjer mikroorganizmi potrebujejo stabilne pogoje za opravljanje svoje naloge.

Na rezultate učinka čiščenja vpliva tudi delovanje razbremenilnikov v kanalizacijskem sistemu, saj lahko ob intenzivnem nalivu del odpadne vode obide čistilno napravo. Posledično izmerjene vrednosti na iztoku ne predstavljajo celotne obremenitve sistema, kar lahko vpliva tudi na učinkovitost procesa čiščenja. Na podlagi te primerjave je mogoče zaključiti, da vremenske razmere močno vplivajo na delovanje čistilne naprave, pri čemer deževno obdobje predstavlja večji izziv zaradi povečane hidravlične obremenitve in nestabilnosti procesov čiščenja.

Primerjava obdobj pri parametrih kaže, da je učinkovitost odstranjevanja organskih snovi v obeh obdobjih kar precej visoka. Ker pa deževno obdobje vpliva na delovanje naprave, to na splošno pomeni, da se je učinkovitost odstranjevanja organskih snovi nekoliko zmanjšala.

Tudi pri celotnem vezanem dušiku je bilo odstranjevanje v obdobju povečanih pretokov nekoliko slabše. Pri celotnem fosforju pa je bila učinkovitost odstranjevanja v deževnem obdobju približno za 3 % višja kot v sušnem obdobju.

Po rezultatih lahko sklepamo, da padavine vplivajo predvsem na hidravlično obremenitev naprave; v deževnem obdobju pride do večjega pretoka in redčenja v procesu čiščenja. Kljub temu so bile vrednosti na iztoku nizke, kar kaže na to, da je CČN Rogaška Slatina tudi v deževnem obdobju dosegla visoko učinkovitost čiščenja.

4.4 Izračun bremena

Izračun bremena onesnaženja kaže, da so v deževnem obdobju bremena večine parametrov višja kot v sušnem obdobju, kar je posledica povečanih pretokov, saj se pri izračunu upošteva tudi količina vode.

Tabela 6: Izračun bremena neraztopljenih snovi iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina

NERAZTOPLJENE SNOVI		
DATUM	BREME VTOK (kg/dan)	BREME IZTOK (kg/dan)
29.01.2024	ni podatka	108.21
21.02.2024	ni podatka	15.44
18.03.2024	ni podatka	20.88
11.04.2024	ni podatka	15.87
14.05.2024	ni podatka	17.36
06.06.2024	ni podatka	19.06
17.07.2024	ni podatka	21.51
29.08.2024	ni podatka	12.68
12.09.2024	ni podatka	21.83
14.10.2024	ni podatka	16.34
12.11.2024	ni podatka	16.39

Pri neraztopljenih snoveh in amonijevem dušiku je bilo mogoče izračunati samo breme na iztoku, ker podatki za vtok niso bili podani v obratovalnem monitoringu.

Tabela 7: Izračun bremena KPK iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina

KPK		
DATUM	BREME VTOK (kg/dan)	BREME IZTOK (kg/dan)
29.01.2024	1227.60	164.07
21.02.2024	2102.69	62.16
18.03.2024	1759.91	93.54
11.04.2024	1350.63	51.47
14.05.2024	1769.26	74.62
06.06.2024	6000.92	46.36
17.07.2024	1324.46	38.41
29.08.2024	1177.86	68.74
12.09.2024	1356.44	29.35
14.10.2024	1270.66	61.78
12.11.2024	3817.14	37.78

Tabela 8: Izračun bremena BPK₅ iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina

BPK ₅		
DATUM	BREME VTOK (kg/dan)	BREME IZTOK (kg/dan)
29.01.2024	396.79	54.69
21.02.2024	646.66	21.28
18.03.2024	702.91	24.31
11.04.2024	692.73	15.48
14.05.2024	769.65	18.77
06.06.2024	3028.79	20.60
17.07.2024	768.25	26.74
29.08.2024	797.07	17.59
12.09.2024	801.70	17.90
14.10.2024	657.24	22.57
12.11.2024	1885.10	16.39

Tabela 9: Izračun bremena amonijevega dušika iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina

AMONIJEV DUŠIK		
DATUM	BREME VTOK (kg/dan)	BREME IZTOK (kg/dan)
29.01.2024	ni podatka	9.48
21.02.2024	ni podatka	5.72
18.03.2024	ni podatka	8.24
11.04.2024	ni podatka	6.46
14.05.2024	ni podatka	1.88
06.06.2024	ni podatka	5.15
17.07.2024	ni podatka	2.80
29.08.2024	ni podatka	3.00
12.09.2024	ni podatka	2.33
14.10.2024	ni podatka	7.19
12.11.2024	ni podatka	3.21

Tabela 10: Izračun bremena celotnega dušika iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina

CELOTNI DUŠIK		
DATUM	BREME VTOK (kg/dan)	BREME IZTOK (kg/dan)
29.01.2024	105.31	21.18
21.02.2024	156.87	12.89
18.03.2024	113.10	20.93
11.04.2024	100.23	13.85
14.05.2024	81.19	3.75
06.06.2024	173.07	11.74
17.07.2024	74.06	6.24
29.08.2024	76.16	6.49
12.09.2024	89.12	9.09
14.10.2024	86.76	15.95
12.11.2024	137.28	11.30

Tabela 11: Izračun bremena celotnega fosforja iz obratovalnega monitoringa CČN Rogaška Slatina

CELOTNI FOSFOR		
DATUM	BREME VTOK (kg/dan)	BREME IZTOK (kg/dan)
29.01.2024	18.73	2.97
21.02.2024	29.08	1.75
18.03.2024	16.07	1.37
11.04.2024	14.40	1.63
14.05.2024	18.73	0.75
06.06.2024	41.52	1.65
17.07.2024	12.17	3.01
29.08.2024	11.00	2.36
12.09.2024	11.60	2.36
14.10.2024	12.27	0.92
12.11.2024	37.19	1.76

4.5 Omejitve raziskave

Pri interpretaciji rezultatov je bilo treba upoštevati nekatere omejitve raziskave. Celotna analiza je temeljila na podatkih obratovalnega monitoringa Centralne čistilne naprave Rogaška Slatina za leto 2024. Pridobljeni rezultati tako predstavljajo samo stanje v obdobju enega leta, zato jih ni mogoče neposredno posplošiti na daljše časovno obdobje.

V sušnem obdobju je bilo v analizo vključenih osem posameznih meritev parametrov, v deževnem pa le tri. Ker je število teh meritev dokaj nizko, lahko to vpliva tudi na predstavitev rezultatov in primerjavo med obdobjema. Za deževne dni sem obravnavala samo dneve s pretokom nad $5000 \text{ m}^3/\text{dan}$, zato ta raziskava ne vključuje vseh padavinskih dogodkov. Upoštevala sem namreč samo zelo povišane pretoke. Kljub tem omejitvam pridobljeni rezultati omogočajo dober vpogled v to, kako vremenske razmere vplivajo na hidravlično obremenitev in učinkovitost čiščenja naprave.

1.6. Praktični pomen diplomske naloge

Rezultati imajo uporabno vrednost za upravljalce centralne čistilne naprave, saj jim omogočajo nekoliko boljše razumevanje tega, kako vremenske razmere vplivajo na delovanje celotnega sistema. Za pravočasno zaznavanje hidravličnih obremenitev, ki so posledica močnejših padavin, infiltracije ali vdora meteorne vode, je zelo pomembno spremljanje pretokov. Ti podatki so ključni za načrtovanje obratovanja čistilne naprave in prilagajanje posameznih faz biološkega čiščenja. Poleg spremljanja posameznih parametrov je pomembno upoštevati tudi bremena onesnaževanja, saj izražajo dejansko maso onesnaževal, s katero je bila čistilna naprava obremenjena v določenem obdobju. Ta analiza omogoča celovitejšo oceno delovanja sistema, ker upošteva tako koncentracijo kot količino odpadne vode. Tako lahko dejansko ocenimo obremenitev biološkega procesa in učinkovitost odstranjevanja onesnaževal. Rezultati se približujejo tudi rezultatom drugih raziskav. Pridobljeni rezultati lahko služijo kot podlaga za načrtovanje prihodnjih izboljšav. Zmanjšanje vdora meteorne vode in infiltracije bi lahko zmanjšalo hidravlično obremenitev naprave in s tem izboljšalo pogoje za biološko čiščenje.

Celotna raziskava torej potrjuje, da je spremljanje pretokov, koncentracij in bremena pomemben del upravljanja delovanja čistilnih naprav.

5. SKLEP

V diplomskem delu je bil namen analizirati in razumeti vpliv sušnega in deževnega obdobja na učinkovitost delovanja Centralne čistilne naprave Rogaška Slatina ter na ta način ugotoviti, kako vreme vpliva na posamezne parametre merjenja kakovosti komunalne odpadne vode. Od čistilne naprave sem pridobila podatke obratovalnega monitoringa za leto 2024 in jih analizirala. Pri tem sem obravnavala pretok odpadne vode, pH, temperaturo, kemijsko potrebo po kisiku (KPK), biokemijsko potrebo po kisiku (BPK₅), celotni fosfor, amonijev dušik, celotni dušik in neraztopljene snovi.

Pridobljeni rezultati kažejo, da ima količina padavin kar pomemben vpliv na hidravlično obremenitev čistilne naprave. V sušnem obdobju je bil povprečni dnevni pretok 3738,65 m³/dan, medtem ko se je v deževnem obdobju ta zvišal na 5479,09 m³/dan, kar pa predstavlja približno 47 % večji pretok. Večja količina meteorne vode povzroča redčenje odpadne vode, ta pa spremeni pogoje delovanja biološkega procesa čiščenja, kar se potem odraža v malo nižji učinkovitosti odstranjevanja nekaterih parametrov.

Ko sem primerjala rezultate, sem ugotovila, da je bila učinkovitost odstranjevanja organskih snovi v sušnem in deževnem obdobju zelo visoka. V sušnem obdobju je bil povprečni učinek odstranjevanja KPK 96,53 %, BPK₅ pa 97,48 %. V deževnem obdobju je bila učinkovitost nekoliko nižja: pri KPK je znašala 93,52 %, pri BPK₅ pa 94,03 %. Tudi pri celotnem dušiku je bila učinkovitost odstranjevanja v obdobju večjih padavin nekoliko nižja. Nasprotno pa je bila učinkovitost odstranjevanja fosforja v deževnem obdobju nekoliko višja kot v sušnem.

Izračunana bremena onesnaževanja so pokazala, da se ob večjih pretokih poveča skupna obremenitev čistilne naprave. Kljub vsemu so bile koncentracije parametrov na iztoku dokaj nizke in skladne z veljavnimi mejnimi vrednostmi. S tem potrdimo stabilno in učinkovito delovanje naprave v času povečane obremenitve. Rezultati so pokazali, da uporabljena tehnologija sekvenčnega biološkega reaktorja omogoča učinkovito prilagajanje spremembam in s tem zagotavlja ustrezno stopnjo čiščenja komunalne odpadne vode.

5.2 Ustreznost postavljenih hipotez

- H1: Med sušnim obdobjem je potrebna večja prilagoditev delovanja CČN, kar lahko pripelje do manjše učinkovitosti čiščenja v primerjavi z deževnim obdobjem.

Hipotezo potrdimo. Pridobljeni rezultati so pokazali, da je bila učinkovitost čiščenja v sušnem obdobju pri večini spremljanih parametrov višja kot v deževnem. To kaže, da stabilni pretoki in manjša hidravlična obremenitev omogočajo učinkovitejše delovanje čistilne naprave.

- H2: Količina padavin spremeni koncentracije spremljanih parametrov.

Hipotezo potrdimo, saj so se pretoki povečali za približno 47 %, spremenili pa so se tudi pH, temperatura in koncentracije obravnavanih parametrov, kar je posledica redčenja odpadne vode in povečane hidravlične obremenitve. Povečana količina padavin torej vpliva na pretoke in koncentracije parametrov.

- H3: Padavine imajo vpliv na učinkovitost čiščenja odpadnih voda na centralni čistilni napravi pri parametrih KPK, BPK₅, celotni dušik, fosfor in suspendirane snovi.

Hipotezo delno potrdimo. Padavine so vplivale na učinkovitost čiščenja KPK, BPK₅ in celotnega dušika, medtem ko pri celotnem fosforju in suspendiranih snoveh ni bilo mogoče ugotoviti bistvenega poslabšanja učinkovitosti čiščenja.

6. POVZETEK

Diplomsko delo obravnava primerjavo učinkovitosti čiščenja komunalne odpadne vode na Centralni čistilni napravi Rogaška Slatina v sušnem in deževnem obdobju leta 2024. To temo sem izbrala z namenom, da bi ugotovila, kako vremenske razmere vplivajo na delovanje čistilne naprave ter kako učinkovito odstranjuje organske snovi in hranila.

V nalogi so bili uporabljeni podatki iz obratovalnega monitoringa, na podlagi katerih so bile analizirane vrednosti pretokov, pH, temperature, KPK, BPK₅ in neraztopljenih snovi. Poleg te primerjave koncentracij so bila izračunana tudi bremena posameznih obremenitev, ki omogočajo boljšo oceno obremenitve čistilne naprave v različnih vremenskih razmerah.

Rezultati so pokazali, da padavine pomembno vplivajo na hidravlično obremenitev sistema. V padavinskih razmerah se pretoki bistveno povečajo, zaradi česar se skrajša zadrževalni čas odpadne vode in nekoliko zmanjša učinkovitost odstranjevanja nekaterih onesnaževal. Kljub temu je Centralna čistilna naprava Rogaška Slatina ob povečanih pretokih dosegla visoko učinkovitost čiščenja, s tem pa so bile vrednosti na iztoku skladne z veljavnimi predpisi.

Pri vrednotenju delovanja čistilnih naprav je treba upoštevati tudi bremena onesnaževanja, saj le-ta predstavljajo dejansko količino onesnaževal, ki obremenjujejo sistem. SBR-tehnologija omogoča učinkovito delovanje ob spreminjanju hidravličnih razmer ter prispeva k varovanju kakovosti površinskih voda.

Ugotovitve naloge so uporabne za prihodnje načrtovanje delovanja naprave in optimizacijo procesov čiščenja, hkrati pa poudarjajo pomen rednega obratovalnega monitoringa, dolgoročnega varovanja vodnega okolja in trajnostnega upravljanja odpadnih voda.

7. SUMMARY

This bachelor's thesis presents a comparison of the efficiency of municipal wastewater treatment at the Central Wastewater Treatment Plant Rogaška Slatina during the dry and rainy periods of 2024. The topic was selected to examine the influence of weather conditions on the operation of the treatment plant and its efficiency in removing organic matter and nutrients.

The research was based on operational monitoring data, which were used to analyse flow rates, pH values, temperature, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD₅), and suspended solids. In addition to comparing pollutant concentrations, pollutant loads were also calculated, providing a more comprehensive assessment of the treatment plant's performance under different weather conditions.

The results showed that precipitation significantly affects the hydraulic load of the system, as rainfall considerably increases wastewater flow rates. Higher flows result in shorter hydraulic retention times and consequently a slightly lower removal efficiency for certain parameters. Nevertheless, the Central Wastewater Treatment Plant Rogaška Slatina maintained a high treatment efficiency even under increased hydraulic loads, and the effluent quality remained in compliance with the applicable environmental regulations.

The evaluation of wastewater treatment plant performance should include not only pollutant concentrations but also pollutant loads, as these represent the actual mass of contaminants entering and leaving the system. The Sequencing Batch Reactor (SBR) technology proved to be highly effective under varying hydraulic conditions and contributes significantly to the protection of surface water quality.

The findings of this study can be applied to the future planning and operation of wastewater treatment plants, optimization of treatment processes, and improvement of operational management. Furthermore, they highlight the importance of regular operational monitoring for the long-term protection of the aquatic environment and the sustainable management of wastewater.

8. VIRI

- [1] van der Meer, L. J. P. (2013). *Water and Wastewater Engineering*. 4th Edition. New York, McGraw-Hill.
- [2] Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano. *Odpadne vode*. Medmrežje: <https://www.nlzoh.si/storitve/vode/odpadne-vode/> (10. 3. 2026).
- [3] Svet Evropske unije. *Čiščenje komunalne odpadne vode*. Medmrežje: <https://www.consilium.europa.eu/si/policies/wastewater-treatment/> (10. 3. 2026).
- [4] Republika Slovenija. *Odvajanje in čiščenje komunalne in padavinske odpadne vode*. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/odvajanje-in-ciscenje-komunalne-in-padavinske-odpadne-vode/> (11. 3. 2026).
- [5] Študentski.net. *Odpadne vode*. Medmrežje: https://studentski.net/gradivo/ulj_fkt_tv1_vo1_sno_odpadne_vode_01 (11. 3. 2026).
- [6] China Northwest Water Treatment Plant. *Water Parameters*. Medmrežje: <https://cnwwtp.com/technical-support/water-parameters.html> (22. 3. 2026).
- [7] Visoka šola za gradbeno inženirstvo. *Odvajanje in čiščenje odpadnih voda*. Medmrežje: <https://vsqi.si/wp-content/uploads/2017/01/SKRIPTA-ODVAJANJE-IN-%C4%8CI%C5%A0%C4%8CENJE-ODPADNIH-VODA-.pdf> (22. 3. 2026).
- [8] Sensorex. *What Does pH Stand For?* Medmrežje: <https://sensorex.com/what-does-ph-stand-for/> (22. 3. 2026).
- [9] Pravilnik o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu odpadnih voda. Medmrežje: https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=MP_PRAV338 (2. 4. 2026).
- [10] China Northwest Water Treatment Plant. *Water Parameters*. Medmrežje: <https://cnwwtp.com/technical-support/water-parameters.html> (2. 4. 2026).
- [11] Kostak, d. d. *Čiščenje odpadnih voda*. Medmrežje: <https://www.kostak.si/ciscenje-odpadnih-voda.html> (2. 4. 2026).
- [12] Komunala Slovenska Bistrica. *MKČN – brošura*. Medmrežje: https://www.komunala-slb.si/uploads/1/3/5/4/13544879/mkc_n_brosura_poljane_web-1.pdf (5. 4. 2026).
- [13] Komunala Slovenska Bistrica. *Čiščenje odpadnih voda*. Medmrežje: <https://www.komunala-slb.si/ciscenje-odpadnih-voda.html> (5. 4. 2026).
- [14] ODTOK. *Kako visoke padavine vplivajo na delovanje lokalne kanalizacije in kako se pripraviti*. Medmrežje: <https://www.odtok.si/kako-visoke-padavine-vplivajo-na-delovanje-lokalne-kanalizacije-in-kako-se-pripraviti/> (5. 4. 2026).
- [15] OVD Rogaška Slatina. (2024). *Obratovalni monitoring Centralne čistilne naprave Rogaška Slatina za leto 2024*. Interno poročilo.
- [16] OKP Rogaška Slatina. Medmrežje: <https://www.okp.si/> (5. 4. 2026).
- [17] Ministrstvo za okolje in prostor. (2017). *Okoljevarstveno dovoljenje za Centralno čistilno napravo Rogaška Slatina*, št. 35444-61/2016-8 z dne 2. 2. 2017.

[18] Hach. *Nitrogen Parameters*. Medmrežje: <https://si.hach.com/parameters/nitrogen> (10. 6. 2026).

[19] *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering*. Medmrežje: https://priodeep.weebly.com/uploads/6/5/4/9/65495087/fundamentals_of_wastewater_treatment_and_engineering.pdf (25. 5. 2026).

[20] Irvine, R. L., Wilderer, P. A., Flemming, H. C. (1997). *Sequencing Batch Reactor Technology*. London, IWA Publishing.

[21] Envirolink. *Contaminant Load Calculator*. Medmrežje: <https://www.envirolink.govt.nz/assets/Envirolink/1476-ESRC266-Contaminant-load-calculator-rpt2.pdf> (25. 5. 2026).

