



УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО СКОПЈЕ



МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ - СКОПЈЕ

Иљчо К. ЈОВАНОСКИ

**ПОДОБРУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ НА
ПРЕЧИСТИТЕЛНИ СТАНИЦИ ЗА ОТПАДНИ ВОДИ ПРЕКУ
АНАЛИЗА НА РАБОТАТА И ВОСТАНОВУВАЊЕ НА
РЕФЕРЕНТНИ ЕНЕРГЕТСКИ ПАРАМЕТРИ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Скопје, 2018

Членови на комисијата:

Претседател: проф. д-р Валентино Стојковски
УКИМ – Машински факултет Скопје

Ментор: проф. д-р Зоран Марков
УКИМ – Машински факултет Скопје

Член: проф. д-р Атанаско Тунески
УКИМ – Машински факултет Скопје

Член: Вонр. проф. д-р Дејан Димитровски
УКИМ – Технолошко-металуршки факултет Скопје

Надворешен член: Вонр. проф. д-р Дејан Убавин
Универзитет во Нови Сад, Факултет за технички науки, Србија

Дата на одбрана: 23.11.2018 година

ТЕХНИЧКИ НАУКИ – МАШИНСТВО

Иљчо К. Јованоски

ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ ПРЕКУ АНАЛИЗА НА РАБОТАТА И ОДРЕДУВАЊЕ НА РЕФЕРЕНТНИ ЕНЕРГЕТСКИ ПАРАМЕТРИ КАЈ ПРЕЧИСТИТЕЛНИ СТАНИЦИ ЗА ОТПАДНИ ВОДИ

АПСТРАКТ

Овој труд беше работен во периодот 2015 - 2017 година во пречистителната станица за отпадни води (ПСОВ) Берово, Р.Македонија (14.000 еж). Предмет на истражувањето е енергетската ефикасност на пречистителните станици за отпадни води преку мерење, споредба и анализа на енергетските параметри и одредување насоки за нејзино зголемување.

Цел на дисертацијата е одредување на методолошки пристап за вршење енергетски преглед, анализа и давање препораки преку кои ќе се добие зголемување на енергетската ефикасност на постоечките ПСОВ во Р. Македонија и поставување стандарди, референтни енергетски вредности, за големиот број на нови пречистителни станици што се во план да се изградат заради постигнување на ефикасна работа и одржливост на системите.

При тоа, избрана е ПСОВ Берово како студија на случај врз која е тестирана методологијата на енергетски и технички преглед и беше направена анализа на досегашното работење на станицата, моделирање и анализа на резултатите, и предлог мерки кои ќе ја зголемат енергетската ефикасност на станицата и ќе ја намалат вкупната потрошувачка на електричната енергија.

Биолошкиот дел од постројката, поточно системот за длабинска аерација, е идентификуван како најголем потрошувач на електрична енергија во станицата на кој отпаѓаат 60 – 70% од вкупната потрошувачка. Поради ова, најголемо внимание е посветено на зголемување на енергетската ефикасност на биолошкиот процес на пречистување преку следниве предложени мерки: промена на староста на тињата, промена на режимот на аерација во период на мал доток на инфлуентот и промена на технолошкиот процес на пречистување.

КЛУЧНИ ЗБОРОВИ: *пречистителна станица за отпадни води, енергетска ефикасност, потрошувачка на електрична енергија, бенчмаркинг, перформанс индикатор, енергетски преглед, моделирање*

Iljcho K. Jovanoski

Energy efficiency improvement through operational analysis and establishing reference energetic parameters for the wastewater treatment plants

ABSTRACT

This research was conducted during 2015 - 2017 at the Waste Water Treatment Plant (WWTP) in Berovo, R.Macedonia (14,000 PE). The purpose of the research is achieving energy efficiency of the wastewater treatment plants by measuring, comparing and analysis of the energetic parameters and proposing measures for increasing the efficiency.

The objectives of this paper are presentation of a methodology for energy and technical audit, analysis and introducing measures for increasing energy efficiency of the existing WWTPs in R.Macedonia and setting standards, referent energetic parameters, for the relatively large number of plants that are planned to be constructed in order to provide their sustainability.

Berovo WWTP was selected as a case study for testing the methodology for energy and technical audit with performing analysis of the plant operation, modeling with analysis of the results, and proposal of measures for increasing energy efficiency of the plant and decrease of the total energy consumption.

The biological part of the treatment plant, more precisely the aeration system, was identified as the largest energy consumer in the plant with 60 – 70% of total energy consumption. Therefore, most of the attention was given to the increase of the energy efficiency of the plant by applying the following measures to the biological treatment process: adjusting the sludge age, change of the aeration system regime during low influent flow periods and changing the treatment process.

KEY WORDS: *wastewater treatment plant, energy efficiency, electricity consumption, benchmarking, performance indicators, energy audit, modeling*

*Посветено на
моето семејство*

СОДРЖИНА:

1	ВОВЕД	15
1.1	Мотивација за истражувањето.....	15
1.2	Идентификување и дефинирање на проблемот.....	17
1.3	Предмет и цели на истражувањето.....	19
2	ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА НА ДОСЕГАШНИ РЕЛЕВАНТНИ ИСТРАЖУВАЊА И ДОСТИГНУВАЊА	21
3	ПРЕЧИСТУВАЊЕ НА ОТПАДНИ ВОДИ	24
3.1	Потреба за пречистување на отпадните води.....	24
3.2	Регулатива за пречистување на отпадни води.....	24
3.2.1	Квалитет на ефлуентот.....	24
3.2.2	Квалитет на третираната активна тиња.....	26
3.3	Пречистување на отпадни води.....	26
3.3.1	Содржина на отпадните води.....	26
3.3.2	Растворен кислород.....	28
3.3.3	Потенцијал за оксидација-редукција (ПОР) или редокс потенцијал (ORP)	29
3.3.4	Корелација помеѓу растворениот кислород и потенцијалот за редукција	29
3.3.5	Процеси на пречистување на отпадните води.....	30
3.4	Трошоци при работа на ПСОВ.....	32
3.5	Секундарен или биолошки третман.....	34
3.5.1	Биолошко пречистување - биореактори.....	34
3.5.2	Аерација кај биолошкиот третман.....	35
3.5.3	Секундарни таложници.....	36
3.5.4	Рециркулација на активна тиња.....	36
3.6	Системи за аерација.....	36
3.6.1	Површинска аерација.....	37
3.6.2	Длабинска аерација.....	37
3.6.3	Дувалки.....	37
3.6.4	Аератори.....	41
3.6.5	Автоматско управување.....	41
3.6.6	Одржување на системот за аерација.....	43
3.6.7	Ефикасност на системите за аерација.....	43
4	МЕТОДОЛОГИЈА ЗА АНАЛИЗА И ПОДОБРУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ КАЈ ПСОВ	46
4.1	Цели и обем на енергетскиот преглед.....	46
4.2	Методологија на енергетски преглед.....	46
4.3	Енергетски бенчмаркинг кај ПСОВ.....	49
4.3.1	Перформанс индикатори кај ПСОВ.....	50
4.3.2	Перформанс индикатори за квалитетот на ефлуентот.....	51
4.3.3	Енергетски перформанс индикатори.....	51

4.3.4	Бенчмаркинг студии и определување на перформанс индикатори и нивна споредба со вредности од други држави.....	53
4.3.5	Одредување на референтни и оптимални вредности на ПИ за ПСОВ која е предмет на анализа	56
4.4	Идентификување можности за зголемување на енергетската ефикасност и нивна практична примена	56
4.5	Моделирање на биолошкиот дел од ПСОВ.....	57
4.6	Теоретски основиза моделирање на биолошкиот дел од ПСОВ	58
5	ТЕХНИЧКИ И ЕНЕРГЕТСКИ ПРЕГЛЕД НА ПСОВ БЕРОВО	64
5.1	Вовед.....	64
5.2	Опис на ПСОВ Берово.....	64
5.3	Подготовка и планирање на енергетскиот преглед	66
5.3.1	Иницијална посета на објектот.....	66
5.3.2	Собирање на податоци и нивна прелиминарна анализа.....	66
5.3.3	Одредување на целите и обемот на енергетскиот преглед	66
5.4	Анализа на работата.....	67
5.4.1	Квалитет и квантитет на инфлуентот.....	68
5.4.2	Квалитет на ефлуентот.....	70
5.4.3	Анализа на работата на системот за аерација	73
5.4.4	Потрошувачка на електрична енергија	77
5.5	Одредување бенчмаркови и споредба на перформанс индикатори.....	79
5.6	Моделирање и калибрирање на моделот.....	83
5.7	Анализа на резултатите и заклучоци.....	83
6	ПРЕДЛОГ МЕРКИ ЗА ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕФИКАСНОСТА НА СТАНИЦАТА ...	86
6.1	Промена на староста на тињата	86
6.2	Промена на режимот на аерација во период со мал доток на инфлуентот.....	89
6.3	Воведување на испрекината аерација во секундарните таложници.....	92
6.4	Пренамена на технологијата во SBR (Sequential Batch Rector).....	95
6.5	Останати мерки за подобрување на ефикасноста	97
6.6	Анализа на предложените мерки	98
7	ЗАКЛУЧОЦИ И ПРЕПОРАКИ ЗА ПОНАТАМОШНА РАБОТА.....	99
	АНЕКС 1 –ОСНОВНИ ПОДАТОЦИ ЗА ПСОВ БЕРОВО.....	100
	АНЕКС 1.1 - Проектирани протоци и оптоварувања на отпадна вода.....	100
	АНЕКС 1.2 – Процесна шема	102
	АНЕКС 1.3 – Номограм за дувалка од тип KAESER DB 235c и фреквентен регулатор OMEGA 43 PLUS.....	103
	АНЕКС 2 – МОДЕЛИРАЊЕ НА ПСОВ БЕРОВО	104
	АНЕКС 2.1 – Модел на проектираното решение 14,000 ЕЖ	104
	АНЕКС 2.2 – Калибриран модел за капацитет од 10.000 ЕЖ	111

АНЕКС 2.3 - Модел на СБР за сегашна состојба	118
АНЕКС 3 - ЦИКЛУСИ НА РАБОТА НА БИОЛОШКИОТ ДЕЛ ОД ПОСТРОЈКАТА	124
ЛИТЕРАТУРА.....	126

ЛИСТА НА СЛИКИ

Слика 3.1: Шематски приказ на типична ПСОВ со активна тиња	32
Слика 3.2: Типични трошоци на ПСОВ	33
Слика 3.3: Типична потрошувачка на ел.енергија во ПСОВ со активна тиња [5]	33
Слика 3.4: Површински аератори а) хоризонтален [29], б) вертикален [30]	37
Слика 3.5: Типови на дувалки: а) центрифугална, б) запчеста (roots) волуменска, в) волуменска завојна	38
Слика 3.6: а) P/V дијаграм за запчеста дувалка, б) енергетски загуби во системот [29].	39
Слика 3.7: а) P/V дијаграм за завојна дувалка, б) енергетски загуби во системот [28].	40
Слика 3.8: Дифузери за груби меури: а) тракаст, б) мембрански	41
Слика 3.9: Мембрански дискови за фина длабинска аерација	41
Слика 3.10: Дијаграм на контролниот циклус за подесување на работата на дувалките во релација со концентрацијата на растворен кислород [20]	42
Слика 4.1: Типичен процес на енергетски преглед	48
Слика 4.2: Бенчмаркинг принцип [42]	49
Слика 4.3: Специфична потрошувачка на електрична енергија по kWh/ХПК според: (А) капацитет на станицата, (Б) тип на третман, (С) држава	55
Слика 4.4: Споредба на ефикасноста на два системи на пумпање а) конвенционален систем, б) енергетски ефикасен систем [50]	57
Слика 4.5: Димензионирање и моделирање на биолошкиот процес на пречистување со активна тиња [3]	59
Слика 5.1: Средни годишни вредности на $Q_{av,d}$, БПК ₅ , ХПК, NH ₄ , ЕЖ (БПК ₅ , ХПК) за период 2011 – 2018 г.	68
Слика 5.2: Средни годишни вредности на инфлуент (БПК ₅ , ХПК, ВСМ) (mg/l)	70
Слика 5.3: Средни годишни вредности на ефлуент	71
Слика 5.4: Концентрација на вкупни суспендирани материи во ефлуентот за период од 2011 – 2018 година	71
Слика 5.5: Концентрација на БПК ₅ во ефлуентот за период од 2011 – 2018 г.	72
Слика 5.6: Концентрација на растворен кислород за 2014 г. во а) примарниот реактор, б) секундарен реактор CP1, в) секундарен реактор CP2, температура во примарниот реактор	75
Слика 5.7: Концентрација на растворен кислород за 2015 г. во а) примарниот реактор, б) секундарен реактор CP1, в) секундарен реактор CP2, температура во примарниот реактор	76
Слика 5.8: Споредба на вкупната годишна потрошувачка на електрична енергијана целата станица и системот за аерација на ПСОВ Берово во периодот од 2011-2018 .	77

Слика 5.9: Специфична потрошувачка на електрична енергија по ЕЖ.г за целата ПСОВ за периодот 2011-2018.....	80
Слика 5.10: Специфична потрошувачка на електрична енергија по ЕЖ.г за системот за аерација за периодот 2011-2018	81
Слика 5.11: Потрошувачка на електрична енергија по волумен пречистена вода за периодот 2011-2018	81
Слика 5.12: Потрошувачка на ел. енергија по отстранет БПК ₅ за периодот 2011-2018 .	82
Слика 5.13: Потрошувачка на ел. енергија по отстранет ХПК за периодот 2011-2018 .	82
Слика 6.1: Потреба за кислород при $T = 10 - 20^{\circ}\text{C}$ и $t_{ss}=10 \text{ d}$	89
Слика 6.2: Потрошувачка на електрична енергија во 2015 година	90

ЛИСТА НА ТАБЕЛИ

Табела 1.1: Статус на најголемите и на најрелевантните ПСОВ во Р.Македонија	16
Табела 3.1: Услови за испуштање на води од урбани пречистителни станици според Членовите 4 и 5 од Директивата 91/271/ЕЕС [18]	25
Табела 3.2: Услови за испуштање на води од урбани пречистителни станици во сензитивни подрачја кои се подложни на еутрофикација, според Анекс II.А(а) од Директивата 91/271/ЕЕС [18].....	25
Табела 3.3: Ниво на третман, елементи, оперативни единици и процеси [25].....	31
Табела 3.4: Вредностите за трансфер на кислородот во чиста вода за различни типови на опрема[31]	44
Табела 4.1: Референтни вредности за ПИ за ефикасност на третман – степен на редуција [38].....	51
Табела 4.2: Препораки за употреба на перформанс индикаторите кај ПСОВ [39].....	52
Табела 4.3: Специфична потрошувачка на ел. енергија по ЕЖ (kWh/ЕЖ _{БПК₅} *г).....	53
Табела 4.4: Специфична потрошувачка на ел. енергија по ЕЖ (kWh/ЕЖ _{БПК₅} *г).....	53
Табела 4.5: Специфична потрошувачка на ел. енергија по ЕЖ (kWh/ЕЖ _{БПК₅} *г).....	54
Табела 4.6: Типична потрошувачка на ел. енергија кај ПСОВ.....	54
Табела 4.7: Одредување на референтни ПИ (kWh/m ³) и (kWh/kgБПК) [38].....	54
Табела 4.8: Дефинирање на ПИ за различни технологии на пречистување.....	55
Табела 5.1: Влезни проекти параметри за ПСОВ Берово	64
Табела 5.2: Ниво на третман и процеси во ПСОВ Берово	65
Табела 5.3: Средни годишни вредности на Q _{av,d} , БПК ₅ , ХПК, NH ₄ , ЕЖ (по БПК ₅ , и ХПК) за период 2011 – 2018 г.	68
Табела 5.4: Средни годишни вредности на инфлуент во ПСОВ Берово/ Референтни вредности за инфлуент [52].....	69
Табела 5.5: Ефикасност на третманот изразен според (БПК ₅ , ХПК и ВСМ).....	73
Табела 5.6: Специфична потрошувачка на ел. енергија по (kWh/m ³) и (kWh/ЕЖ) за целата ПСОВ.....	78
Табела 5.7: Специфична потрошувачка на ел. енергија по (kWh/m ³) и (kWh/ЕЖ) за системот за аерација	78
Табела 5.8: Специфична потрошувачка на ел.енергија по (kWh/kgБПК ₅ , kWh/kgХПК). 79	
Табела 5.9: Референтни и оптимални вредности за специфична потрошувачка на електрична енергија во ПСОВ Берово	79
Табела 6.1: Потреба за кислород при различни температури и старост на активната тиња	87
Табела 6.2: Резултати од моделирање на процес со непрекината аерација	93
Табела 6.3: Резултати од моделирање на СБР процес.....	95

Табела 6.4: Споредба на режими на аерација кај постоечкиот систем и СБР 96

Табела 6.5: Анализа на мерките за подобрување на ефикасност на ПСОВ Берово 98

ЛИСТА НА ПОВАЖНИ ОЗНАКИ

Ознака	Ед. мерка	Опис
A	m ²	Површина
T	°C	Температура
БПК ₅	mg O ₂ /l kg/d	Биохемиска потреба за кислород
ХПК	mg O ₂ /l kg/d	Хемиска потреба за кислород
ВСМ	mg O ₂ /l kg/d	Вкупно суспендирани материји
ТН (TN)	mg O ₂ /l kg/d	Вкупен азот
ТП (TP)	mg O ₂ /l kg/d	Вкупен фосфор
OTR	mg/L/h	Трансфер на кислород (Oxygen Transfer Rate) – маса на кислород растворена во течност по единица време
OTS	O ₂ kg/kWh	Трансфер на кислород во чиста вода при стандардна температура и притисок
SOTR	O ₂ kg/kWh	Специфичен трансфер на кислород во чиста вода при стандардна температура и притисок
αF	-	Алфа фактор, однос помеѓу потребите за O ₂ во чиста и отпадна вода
β	-	Бета фактор на сатурација на водата
θ	-	Тета фактор за корекција на температурата
F _T	-	Температурен фактор
f _N	-	Факторот на разложување на азотните соединенија
f _c	-	Соодносот на стапката на консумација на кислород за отстранување на јаглеродните соединенија во клучните
C _s	mg/l	Сатурација на растворен кислород, концентрација при стандарден притисок и температура
C _t	mg/l	Концентрација на резидуален растворен кислород
C _∞	mg/l	Концентрација на растворен кислород (mg/l) коригиран за притисокот од длабочината на базенот
S _{NO3}	mg/l	Концентрација на нитрат
PK (DO)	mg/l	Концентрација на растворен кислород
SS _{AT} MLSS	kg/m ³	концентрација на суспендирана материја во биолошкот базен

$V_{d,BOD,l}$	kg/d	Биолошкото оптеретување
t_{ss}	денови	старост на тиња
$OU_{d,C}$	kgO ₂ /d	Потреба за кислород за отстранување(разградување) на јаглеродните соединенија
$OU_{d,N}$	kgO ₂ /d	Потреба за кислород за килограм оксидиран азот
$OU_h(AOTR)$	kgO ₂ /h	Максимална часовна потреба на кислород
SVI	l/kg	волуменски индекс на тињата
$Q_{WW,h}$	m ³ /h	Максимален проток при врнежи
$Q_{av,d}$	m ³ /d	Среден дневен проток
Q_{RS}	m ³ /d	Проток на повратна тиња
SS_{EAT}	kg/m ³	суспендирана материја на влез во секундарниот саложник
POP-ORP	V/mV	Потенцијал за оксидација-редукција или редокс потенцијал
E_T	%	Степен на редукција на загадувачите во отпадната вода
ЕЖ		Еквивалентни жители
ПИ		Перформанс индикатор
ПСОВ		Пречистителна станица за отпадни води
ЕЖ (PE)		Еквивалентни жители
АБР (ABR)		Технологија со алтернативни биолошки реактори (Alternate Biological Reactor)
СБР (SBR)		Технологија со секвенцијални шаржни ректори (Sequential Batch Reactor)
SCADA		Систем за контрола и собирање податоци (Supervisory Control And Data Acquisition)

1 ВОВЕД

1.1 Мотивација за истражувањето

Сите земји од Западниот Балкан, вклучувајќи ја и Република Македонија, имаат аспирации да станат дел од Европската Унија (ЕУ). Во овие земји усогласувањето на законите со EU AQUIS е од исклучително значење пред доделувањето статус на земји членки на ЕУ. Во нашата земја, прилагодувањето на секторот за животна средина започна со присвојувањето на законите на ЕУ, и продолжи со спроведување на потребните мерки. Изградбата на нови пречистителни станици за комунални отпадни води (ПСОВ) во регионот започна на скромно ниво пред околу 10 години, со прогноза да прерасне во една од водечките инфраструктурни области во кои ќе се инвестира.

Во изминатиот период во нашата држава се изградени и функционираат ПСОВ претставени во Табела 1.1, каде исто така се претставени и оние ПСОВ кои се планираат за градба во наредниот период од 5 – 10 години. Со изградбата на овие ПСОВ ќе се обезбеди пречистување на отпадните води во најголемите агломерации во Р.Македонија. Следниот чекор ќе биде изградба на ПСОВ и за помалите населени места.

ПСОВ вообичаено имаат релативно високи инвестициски и оперативни трошоци, со процеси кои имаат висока потрошувачка на електрична енергија. ПСОВ најчесто се управувани од Јавните комунални претпријатија (ЈКП), кои немаат доволен буџет за управување и одржување на вакви станици, а во исто време имаат и проблеми со процентот на наплата на услугите од корисниците. Сето ова ја доведува во прашање одржливоста на една ваква инвестиција. Одбирањето на најсоодветна технологија за третман од аспект на инвестициски и оптимални оперативни трошоци, има големо значење при планирањето на вакви долгорочни инвестиции [1], [2].

Процесите и технологијата на пречистување во ПСОВ не можат да се унифицираат, бидејќи секоја пречистителна станица би требало да биде во согласност со посебните локални социо-економски, технички, просторни и климатски услови како: инвестициски и оперативни трошоци, капацитет, загадувачи и ниво на загадување, квалитет на ефлуентот, расположлива технологија, нивото на стручност на ракувачите, расположивост на градежно земјиште и уште многу други индикатори кои ќе бидат идентификувани и претставени во оваа докторска дисертација. За правилен избор на најсоодветна технологија на пречистување во една ПСОВ, потребно е да се земат предвид сите локални услови.

По изборот на најсоодветната технологија, изградбата и пуштањето во работа на ПСОВ, потребно е да се направи анализа и оптимизација на работата со цел постигнување што поголема енергетска ефикасност на целиот систем.

Табела 1.1: Статус на најголемите и на најрелевантните ПСОВ во Р.Македонија

Пречистит. Станица	ЕЖ	Третман на отпадна вода	Третман на тиња	Проектиран а потрош. на ЕЕ (kWh/год.)	Статус
Враништа	120.000	Терцијален третман со активна тиња, со симултанаденитрификација	Аеробна стабилизација на тињата	2.000.000	Оперативна од 1988, реконструирана 2016
Куманово	90.000	Терцијален третман со активна тиња, со симултанаденитрификација	Анаеробна дигестија. Повраток на енергија	1.800.000	Оперативна од 2006 г.
М.Брод	3.000	Секундарен третман со активна тиња	Аеробна стабилизација на тињата	65.000	Оперативна од 2000 г.
Берово	14.000	Секундарен третман со АБР реактори	Стабилизација на тињата на сушни полиња	200.000	Оперативна од 2010 г.
Ресен	10.000	Секундарен третман со активна тиња		135.000	Оперативна и реконструирана во 2005 г.
Прилеп	95.000	Терцијален третман со активна тиња, нитрификација, денитрификација	Анаеробна дигестија. Повраток на енергија	4.420.000	Пробна работа
Гевгелија	30.000	Терцијален третман со активна тиња, нитрификација, денитрификација	Стабилизација на сушни полиња	3.400.000	Пробна работа
Струмица	56,000	Терцијален третман со активна тиња, со симултана, денитрификација	Аеробна стабилизација на тињата	/	Оперативна од 2017 г.
Радовиш	25,000	Терцијален третман со СБР	Аеробна стабилизација на тињата	/	Оперативна од 2017 г.
Кичево	32,000	Терцијален третман со активна тиња, со симултана, денитрификација	Аеробна стабилизација на тињата	/	Оперативна од 2018 г.
Кочани	65,000	Терцијален третман со СБР	Анаеробна дигестија. Повраток на енергија	/	Во изградба
Тетово	100,000	Терцијален третман со активна тиња, со симултана, денитрификација	Анаеробна дигестија. Повраток на енергија	/	Во подготовка
Битола	110,000	Терцијален третман со активна тиња, со симултана, денитрификација	Анаеробна дигестија. Повраток на енергија	/	Во подготовка

Во нашата држава постојат неколку ПСОВ во функција и скоро секоја од нив се соочува со некакви оперативни проблеми кои предизвикуваат неоптимална работа на системите. Таквите проблеми најчесто настануваат поради несоодветните анализи и планирање на инвестицијата, неостварување на прогнозите за достигнување на максималниот капацитет со тек на времето, несоодветно одржување и недостиг на средства за одржување, недоволен кадровски капацитет и недоволна обученост на постоечките кадри. Како резултат на горенаведените недостатоци, процесите не се одвиваат во оптималните граници со што се зголемуваат оперативните трошоци за еден ваков систем.

Зголемената потрошувачка на електрична енергија заедно со континуираниот раст на цената на електрична енергија бара програми и мерки за заштеди. Тргувајќи од заклучокот дека одржувањето на ваквите постројки претставува пред сè финансиски проблем за ЈКП кои ги оперираат, потребно е да се направи анализа на енергетската ефикасност на овие постројки, да се направи споредба на работата со слични и исти постројки во повеќе држави, да се изведе заклучок за сегашната состојба, да се постават референтни вредности кои сакаме да ги достигнеме и да се дефинираат можностите за зголемување на енергетската ефикасност.

Подигнувањето на енергетската ефикасност кај постројките за пречистување на отпадна вода може да доведе до широк спектар на финансиски, економски и еколошки бенефиции:

- Намалување на трошоци за електрична енергија што е нашата примарна цел во овој труд;
- Намалување на загадувањето на воздухот и емисија на стакленички гасови GHG;
- Зголемување на економскиот раст преку креирање на работни места и пазарен развој;
- Продолжување на животниот век на опремата и постројката;
- Заштита и подобрување на јавното здравје

1.2 Идентификување и дефинирање на проблемот

Идентификувањето на проблемот е направено преку поставување на следниве прашања:

i) Зошто е потребно да градиме ПСОВ?

Отпадната вода се создава од домаќинствата, човечкиот и животинскиот отпад, индустријата, делумно од атмосферските води и подземната вода која се инфилтрира. Отпадната вода носи составни делови (загадувачи) кои мора да се отстранат или соодветно да се намалат пред испуштање на ефлуентот.

Според постоечкото законодавство, собраната комунална отпадна вода треба соодветно да се третира пред испуштањето во реципиентот, испуштање на тло или при повторно користење.

При проектирање на технолошкиот процес, се поставуваат следните прашања: Кое ниво на третман треба да се воспостави за да се обезбеди соодветно ниво на заштита на животната средина? Каков тип на процеси и уреди треба да се применат за да се постигне оваа цел?

За да се одговори на овие прашања, ќе биде направена анализа на локалните услови и потреби, примена на научните сознанија и инженерска практика, земајќи ги во предвид актуелната национална регулатива и законодавство. Исто така ќе биде направен преглед на денешните најдобри техники и технологии за пречистување на отпадните води со акцент на процесот на биолошко пречистување со активна тиња.

ii) *Дали изградените ПСОВ во Р.Македонија оперираат ефикасно? Кои се вообичаените проблеми при работата и одржувањето на ПСОВ од кои зависи нејзината енергетска ефикасност и одржливост? Дали можеме да дефинираме референтни вредности за енергетските перформанс индикатори?*

Потребно е да се направи анализа на работата на оперативните ПСОВ во Македонија кои се со различен капацитет, технологии и временски период од почетокот на работа. Оваа анализа треба да ни даде увид во енергетската ефикасност на работата на системот која ќе биде евалуирана преку перформанс индикатори. Ќе се одберат најповолните перформанс индикатори кои ќе ги споредуваме. Ќе се направи споредба со истите перформанс индикатори од останатите држави каде ќе бидат земен предвид и локалните услови.

Анализа на работата на постоечките ПСОВ во Р.Македонија ќе се направи преку аналитички пристап со:

- а) собирање податоци од терен преку мониторинг на работата на станицата, и
- б) набавка на база на архивирани историски податоци за работата на станицата.

Врз основа на собраните податоци, ќе биде извршена обработка, анализата и графичката презентација на податоците и ќе се одреди ефикасноста во однос на оптималните перформанс индикатори.

Сознанијата од извршените анализи ќе ни помогнат во дефинирање на енергетските референтни вредности кои ќе треба да се достигнат за одреден временски период.

Ќе биде презентирани методолошки пристап при дефинирањето на референтни вредности за енергетските перформанс индикатори кој ќе биде апликативен за секоја постоечка ПСОВ, земајќи ги во предвид сите локални услови.

iii) Како можеме да ја подобриме енергетската ефикасност на ПСОВ?

Ќе биде извршена идентификација на можностите за зголемување на енергетската ефикасност и нивна практична примена со презентирање на конкретни идеи и стратегии, можноста за нивна имплементација и давање практични примери, со акцент на системите за аерација кои веќе се дефинирани како најголеми потрошувачи на електрична енергија во ПСОВ со активна тиња.

Ќе биде извршено софтверско моделирање на биолошкиот процес од типична ПСОВ со активна тиња со помош на “ATV-DWVK_A131E Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plant” [3] стандардот за димензионирање на биолошкиот дел од пречистителна станица со активна тиња. Моделот ќе ни служи да го анализираме системот за биолошко пречистување (биолошки резервоари + секундарно таложење), оптимизација на системот преку промена на варијабилно процесот на биолошко пречистување со цел да се намали потребата за аерација и оптимизација на системот за аерација, што ќе доведе до помала потрошувачка на електрична енергија.

Од досегашните сознанија, ПСОВ во Р.Македонија не се целосно автоматизирани, т.е. управувањето со системите за аерација не е целосно автоматизирано, а оттука и внесувањето на воздухот во биолошките базени не е најефикасно, односно се троши повеќе енергија отколку што е потребно.

Подесувањето на работата на системите за аерација се базира на резултати од лабораториски анализи на отпадната вода на влезво ПСОВ, кои се прават периодично, а не континуирано. Системите за аерација се најчесто подесени да одржуваат одредена концентрација на растворен кислород во биолошките базени (1,5 – 2,0 mgO₂/l). Но, стварната побарувачка за кислород варира во текот на еден ден, во зависност од различни влезни параметри (проток во текот на денот, загадувањето на влез, годишното време, надворешната температура, итн).

Во оваа Докторска дисертација, примарна цел е да се дефинира оптимален режим на работа на биолошкиот дел од пречистувањето во една ПСОВ кој би го оптимирал работењето на системот за аерација, преку серија од експерименти и анализи на квалитетот на отпадната вода во реално време и подесување на параметрите на биолошкиот третман. Оптимизацијата е тестирана брз работата на ПСОВ Берово, а резултатите ќе ги потврдат претходно зададените хипотези.

1.3 Предмет и цели на истражувањето

Предмет на истражувањето е енергетската ефикасност на пречистителни станици за отпадни води преку мерење, споредба и анализа на енергетските параметри и одредување насоки за нејзино зголемување.

Цел на дисертацијата е одредување на методолошки пристап за вршење енергетски преглед, анализа и давање препораки преку кои ќе се добие зголемување на енергетската ефикасност на постоечките ПСОВ во Р.Македонија и поставување стандарди, референтни енергетски вредности, за големиот број на нови пречистителни

станции што се во план да се изградат заради постигнување на ефикасна работа и одржливост на системите. Исто така, ќе биде ставен акцент на системите за аерација и нивна оптимизација како најголеми потрошувачи на електрична енергија.

Методот кој ќе го користиме е базиран на енергетска анализа (energy audit) на работата на ПСОВ. Во зависност од расположливоста на податоците, ќе биде анализирана работата на поединечни процеси и на целата постројка заедно. Резултатите од анализата на базата на податоци ќе помогне да се предложат модификации во режимот на работа на опремата, кој треба да доведе до зголемена енергетска ефикасност без да ги нарушиме излезните параметри на пречистената отпадна вода.

Првенствено целта е да се зголеми енергетската ефикасност без дополнителни инвестиции, туку само преку оперативни модификации на процесот на пречистување. Најголемо влијание можеме да извршиме врз системите за аерација, кои како што знаеме се и најголеми потрошувачи, а не се целосно автоматизирани и не работат енергетски ефикасно.

Оваа Докторска дисертација има три цели:

- Да презентира метод на анализа на постоечките системи, и даде оценка на нивната работа споредено преку перформанс индикатори и изведување на заклучоци кои ќе се користат при дефинирањето на референтни енергетски вредности за ПСОВ во Р.Македонија;
- Да ги идентификува можностите за заштеда на електрична енергија и нивна практична примена со презентирање на конкретни идеи, можноста за нивна имплементација и практични примери за подобрување на енергетската ефикасност. Акцентот ќе биде задржан на системите за аерација;
- Изработка на софтверски модел за анализа на биолошкиот дел од постројката, оптимизација на системот за аерација и тестирање на моделот врз студија на случај и анализа на резултатите.

2 ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА НА ДОСЕГАШНИ РЕЛЕВАНТНИ ИСТРАЖУВАЊА И ДОСТИГНУВАЊА

При изработката на оваа теза користена е стручна литература која е поврзана со темата на истражување. Користени се учебници, релевантни научни истражувања, магистерски и докторски тези и други научни трудови, како и актуелната легислатива за третман на отпадни води. Од особено значење се и информациите и податоците добиени од вербални комуникации за време на теренските посети. Во прилог ќе биде даден осврт на најзначајните трудови од листата на користена литература за изработката на оваа Докторска дисертација.

Идејата за истражувањето на оваа тема започна уште при изработката на магистерскиот труд *“Енергетска ефикасност на пречистителните станици за отпадни води”*[4]. При изработката на овој труд користени се научни трудови и публикации кои обработуваат и презентираат методологија за анализа на енергетската ефикасност во пречистителна станица за отпадни води, давајќи насоки и мерки за подобрување на ефикасноста според направени студии на случај: *“Energy efficiency in wastewater treatment plants”*, Lawrence J. Pakenas [5], и *“Municipal wastewater treatment plant energy baseline study”*, M/J Industrial Solutions [6], и *“Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy”* [7].

Во насока на изработка на енергетска анализа за една постројка, потребно е да се воспостави соодветна методологија според ЕУ стандардите (EN 16247-1_2012 [8]; EN 16247-3_2014 [9]). Дополнително, за истражувањето, потребно е да се изработи бенчмаркинг анализа со која се анализираат различни процеси, врз база на определени параметри преку т.н. перформанс индикатори. Како основа за бенчмаркинг анализата е користена публикацијата на IWA (*International Water Agency*) со наслов *“Mass flow and energy efficiency of Wastewater Treatment Plants”* [10]. Овој труд дава јасни препораки околу изработката на бенчмаркинг анализа за различни типови на ПСОВ, методологијата на споредба на ефикасноста преку дефинирање на перформанс индикатори, како и поставувањена референтни вредности за енергетска ефикасност во однос на капацитетот и нивото на третман за анализираната ПСОВ.

Во развиените држави одамна е воочена потребата од енергетска анализа на ПСОВ, како енергетски интензивни објекти, при што е преземено воспоставување на реални референтни енергетски вредности, временски интервали и мерки за нивно достигнување. Важни за ова истражување се и двете публикации од Германија и Швајцарија кои се изработени на истата тематика и поставуваат референтни вредности за енергетската ефикасност кај ПСОВ: *“Energie in ARA Musteranalysen”*, Swiss Ministry for Environment, Forest and Landscape, BUWAL, [11] и *“Energie in Kläranlagen: Handbuch”*, MURL, Germany [12]. Во овој контекст, важна студија на случај е *“Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach”*, F. Hernández-Sancho [13], која дава информации за измерени енергетски параметри за одреден број на ПСОВ во Шпанија.

Голем дел корисни информации за споредување на работата на ПСОВ во Р. Македонија ќе бидат користени од магистерскиот труд *“Energy Benchmark for Wastewater Treatment”*

Processes - a comparison between Sweden and Austria”, Malin Jonasson, Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University[14]. Главен фокус на оваа бенчмаркинг студија помеѓу Шведска и Австрија енергетската потрошувачка во двете земји и предлози за зголемување на истата.

Познавањето на стварната оперативна енергетска ефикасност е појдовна точка за било каква иницијатива за зголемување на ефикасноста. Перформанс индикаторите се добра алатка во процесот на анализа и евалуација на еден систем. Потребно е правилно да се изберат и анализираат перформанс индикаторите, а методологијата за овој процес е претставена во Магистерскиот труд: “*Performance Indicator Analysis as a Basis for Process Optimization and Energy Efficiency in Municipal Wastewater Treatment Plants*”, Elin Wennerholm, Uppsala University [15].

Дефинирањето на перформанс индикаторите е исто така објаснето и во прирачникот на IWA “*Performance indicators for water supply services*”[16], кој објаснува како се дефинираат клучните параметри за една бенчмаркинг студија.

За вториот дел од оваа теза, кој се однесува на оптимизација на процесот на аерација исто така се обработени поголем број на трудови од кои значаене “*Optimization of Aeration Schemes and Motor and Blower Usage for Wastewater Treatment*”, Katy Dickherber, Faculty of the Graduate School at the University of Missouri, Columbia, (2010)[17], кој разгледува методологија за одредување на оптимална стратегија за системот за аерација преку мониторинг и управување на параметрите како што е растворениот кислород (DO – dissolved oxygen). Студијата на случај на Wilen и Nilsson дава особен осврт на дефинирањето на клучните параметри кои влијаат на потребата од кислород, преку варијации во концентрацијата на растворен кислород и влијанието врз карактеристиките на активната тиња [18].

Преку софтверско моделирање на постоечкиот систем за аерација на биолошкиот дел од постројката на ПСОВ со активна тиња и анализа и подесување на работните параметри, можно е да се направи значајна заштеда на електрична енергија. Ваква анализа е покажана во трудот “*Optimization of aeration profiles in the activated sludge process*”, Mustafa Cagdas Ozturk, Department of Chemical and Biological Engineering, Illinois Institute of Technology[19].

За анализа на работата на постоечките ПСОВ во Р.Македонија направени се повеќе посети на терен при што се добиени вербални информации од вработените и добиени се податоци од базата на податоци каде се запишуваат сите измерени параметри во текот на работата.

Анализирана е и законската регулатива во Р.Македонија која е се поблиска до ЕУ регулативата, и која ги дефинира излезните параметри на една ПСОВ за комуналниотпадни води.

Во Р.Македонија нема дефинирани референтни енергетски вредности кои би се користеле при проектирањето на вакви постројки. Досега се користени вредности од литературата или од претходни искуства кои се валидни за некои други држави и региони. Трудовите и публикациите претставени во овој елаборат ни прикажуваат различни начини на анализа на енергетската ефикасност кај ПСОВ и дефинирање на референтните енергетски параметри.

ПСОВ се карактеристични системи кои зависат од многу надворешни параметри и влијанија кои секоја ПСОВ ја прават уникатна. Поради тоа, оваа теза има за цел да изработи методологија за анализа на енергетската ефикасност на ПСОВ во Р.Македонија, да постави реални стандарди за референтните енергетски параметри што треба да се достигнат и да се дадат насоки за зголемување на енергетската ефикасност земајќи ги предвид сите локални услови.

3 ПРЕЧИСТУВАЊЕ НА ОТПАДНИ ВОДИ

3.1 Потреба за пречистување на отпадните води

Системите за водоснабдување и канализација се еден од инфраструктурните столбови на модерното општество. Тоа е еден заокружен систем кој содржи третман на водата за пиење и дистрибуција до корисниците, нејзино искористување, собирање на искористената отпадна вода, нејзин транспорт, третман и повторно враќање во природата.

Системите за водоснабдувањето и одведувањето на отпадните води постојат пред повеќе од 2000 години, уште од времето на Римската империја. Но изучувањето на третманот на отпадните води може да се каже дека е релативно нова дисциплина бидејќи почнува да се развива пред нешто повеќе од 100 години. Интензивирањето на проблематиката на пречистување на отпадни води настанува во 18-ти век кога поради нехигиенски услови се појавуваат и шират различни епидемии. Во тој поглед, почнуваат да се градат канализациони системи кои ги одведуваат отпадните води вон населените подрачја кон природните водотеци, но како последица на ова настанува проблемот со еутрофикација на водотеците.

Заради се поголемото загадување на водотеците со отпадни води, кое ја надминува способноста за нивно самопречистување, уште на почетокот на минатиот век се поставуваат критериуми за намерно пречистување на отпадните води.

Едноставното одведување и понирање на отпадните води на земјишни површини наишло брзо на граници заради потреба од големи површини. Се барале можности за зголемување на оптоварувањето по единица површина, а со тоа и смалувањето на потребата од соодветна земјишна површина. Извесно подобрување е постигнато преку претходно механичко пречистување на отпадната вода, но и тоа набрзо се покажало како недоволно.

Дури кога е осознаено и сфатено значењето на кислородот и ефектот на бактериите за распад на материите содржани во отпадните води, овозможено е изнаоѓање на нови начини за третман кои доведуваат до денешните технологии за пречистување на отпадните води.

3.2 Регулатива за пречистување на отпадни води

3.2.1 Квалитет на ефлуентот

Р.Македонија како држава кандидат за влез во Европската Унија се обврзува да ја почитува европската регулатива за заштита на животната средина (EU Environmental Acquis). Критериумот за квалитетот на пречистената отпадна вода или ефлуентот мора да биде во согласност со Директивата на Европската комисија 91/271/ЕЕС (Urban Wastewater Directive)[20]. Главна цел на оваа регулатива е заштита на животната средина од горе споменатите ефекти при испуштање на недоволно пречистени комунални и индустриски отпадни води.

Оваа регулатива дава препораки и го регулира квалитетот на пречистувањето на отпадните води преку дозволените концентрации презентирани во следнаве табели.

Табела 3.1: Услови за испуштање на води од урбани пречистителни станици според Членовите 4 и 5 од Директивата 91/271/ЕЕС[20]

Параметри	Концентрација во mg/l	Минимум процент на редуција
Биохемиска потреба за кислород (БПК ₅), на 20°C, без нитрификација	25 mg/l O ₂	70 – 90%
Хемиска потреба за кислород (ХПК)	125 mg/l O ₂	75%
Вкупно суспендирани материји (ВСМ)	35 mg/l	70 - 90%

Табела 3.2: Услови за испуштање на води од урбани пречистителни станици во сензитивни подрачја кои се подложни на еутрофикација, според Анекс II.А(а) од Директивата 91/271/ЕЕС[20]

Параметри	Концентрација во mg/l	Минимум процент на редуција
Вкупно фосфати (ТР)	2 mg/l (10.000 – 100.000 е.ж.) 1 mg/l (>100.000 е.ж.)	80%
Вкупно нитрати (ТН)	15 mg/l (10.000 – 100.000 е.ж.) 10 mg/l (>100.000 е.ж.)	70 - 80%

Во последниве неколку години сеповеќе се посветува внимание на оваа проблематика во нашата држава. Изменети се закони и донесени се нови правилници со кои нашата легислатива се адаптира кон европската. Освен Законот за води, (Службен весник на Р.Македонија 87/2008 со сите измени) [21] кој е примарен документ со кој генерално се уредуваат сите прашања околу водите на сила, постојат иголем број на правилници кои дополнително ја регулираат оваа проблематика. Ги набројуваме само оние кои се најрелевантни во контекст на овој труд:

- Правилник за поблиските услови за собирање, одведување и прочистување, начинот и условите за проектирање, изградба и експлоатација на системите и станици за прочистување на урбани отпадни води, како и техничките стандарди, параметрите, стандарди на емисијата и нормите за квалитет на предтретман, отстранување и пречистување на отпадни води, имајќи го предвид оптоварувањето и методот на прочистување на урбаните отпадни води коишто

се испуштаат во подрачја чувствителни на испуштање на урбани отпадни води (Службен весник на Р.Македонија 73/2011) [22]

- Правилник за условите, начинот и граничните вредности на емисија за испуштањето на отпадните води по нивното прочистување, начинот на нивно пресметување, имајќи ги предвид посебните барања за заштита на заштитните зони (Службен весник на Р.Македонија 81/2011) [23]
- Правилник за поблиските услови, начинот и максимално дозволените вредности и концентрации на параметрите на прочистените отпадни води за нивно повторно користење (Службен весник на Р.Македонија 73/2011) [24]

3.2.2 Квалитет на третираната активна тиња

Во поглед на квалитетот на третираната тиња при нејзино депонирање донесен е следниов правилник:

- Правилник за начинот и постапката за користење на тињата, максималните вредности на концентрациите на тешки метали во почвата во која се користи тињата, вредности на концентрациите на тешки метали во почвата во која се користи тињата, вредности на концентрациите на тешките метали во тињата, согласно нејзината намена и максималните годишни количини на тешки метали што може да се внесат во почвата (Службен весник на Р.Македонија 73/2011) [25]

3.3 Пречистување на отпадни води

3.3.1 Содржина на отпадните води

Отпадната вода е флуид кој настанува при користење на чиста вода од страна на домаќинствата, јавни установи, мали и големи комерцијални објекти итн. и нивно испуштање во канализационите системи. Отпадните води содржат комплексна мешавина од органски и неоргански материјали присутни во разни форми, од крупен песок, преку суспендирани материјали колоидни и растворливи материји. Составот на отпадните води во поголемиот дел е вода 99.94% по маса и останатиот дел од 0.06% е материја која е растворена или измешана во водата [26], како: растворени и суспендирани органски и неоргански материји, суспендирани материји, патогени и заразни организми, нутриенти како нитрати и фосфати, минерали и метали.

Иако процентуалната застапеност на отпадните материји е мала, испуштањето на непречистена отпадна вода во реципиентите ги предизвикува следниве ефекти:

- I. Зголемување на потребата за растворен кислород во реципиентот што може да доведе до еутрофикација на водата;
- II. Зголемување на концентрацијата на нутриенти (амониум, нитрати, фосфати) со што се зголемува растот на алгите и повторно доведува до зголемување на потребата за растворен кислород;
- III. Заматување на водите со зголемување на концентрацијата на седименти и суспендирани материји.

Загадувачите на отпадната вода можат да се поделат на физички, хемиски и биолошки [27]. Од особен интерес за процесот на пречистување се:

- органските соединенија;
- патогените, и
- соединенијата што содржат азот и фосфор (нутриенти).

Квалитетот или загадувањето на отпадната вода го дефинираме преку следниве параметри:

Концентрацијата на органската материја во отпадната вода се одредува преку следниведвапараметри:

Биохемиската потреба од кислород (БПК)- Biochemical Oxygen Demand –(BOD). БПКја покажува количината на кислород која е потребна за биолошка оксидација на материите во отпадната вода. Определувањето на БПК₅ е значаен параметар и дава важна основа при определувањето на оптоварувањето на постројката, како и при самото нејзино проектирање,

Хемиска потреба од кислород (ХПК) - Chemical Oxygen Demand (COD). ХПКја покажува количината на кислород која е потребна за хемиска оксидација на материите во отпадната вода. ХПК резултатите се секогаш повисоки од оние за БПК заради оксидацијата на сите органски материји.

Вкупни цврсти материји се сите цврсти материји во отпадната вода. Можат да се групираат врз основа на тоа што „прават“ во водата: материји кои се таложат (тонат), материји кои не се таложат (лебдат или пливаат низ водата) или материји кои се раствораат во неа.

$$\text{Вкупни ЦМ} = \text{Таложливи ЦМ} + \text{Неталожливи ЦМ} + \text{Растворени ЦМ}$$

Нерастворените ЦМ се нарекуваат Измешани (Суспендирани) ЦМ, па така:

$$\text{Измешани ЦМ} = \text{Таложливи ЦМ} + \text{Неталожливи ЦМ}$$

Азотот во отпадните води се сретнува во четири основни форми: **органски азот**, **амониум** (NH_4 во јонизирана и слободна форма), **нитрит** (NO_2) и **нитрат** (NO_3). Формата во која се наоѓа азотот во отпадната вода го покажува нивото на органска стабилизација. Непречистената отпадна вода има повисоки нивоа на концентрација на органскиот азот и амониумот, а скоро и да не содржи нитрити и нитрати. При метаболизацијата на органскиот азот, тој се менува прво во амониум и потоа, доколку се поволни условите, во нитрит и нитрат. Покрај тоа, биолошката маса консумира азот за раст на клетките и на тој начин отстранува дел од азотот.

Фосфорот, како и азотот, има различни форми во отпадната вода и служи како основен елемент за биолошки раст и репродукција. Фосфорот може да биде присутен како фосфат(PO_4) (орто – фосфат, поли-фосфат и органски фосфат). Често се мери нивната

вкупна концентracија, како вкупни фосфати. Ортофосфатот, како форма која е најмногу на располагање на биолошките организми, понекогаш е потребно да се контролира.

3.3.2 Растворен кислород

Растворен кислород е едноставно молекуларниот кислород кој е присутен во водата или отпадната вода. Максималното можно количество на кислород во овие води е зависно од температурата. Постудена вода може да содржи повеќе растворен кислород отколку потоплата. Сепак, студената вода може всушност да содржи помалку растворен кислород отколку потоплата, во зависност од останатите услови во водата.

Растворениот кислород во некоја точка од системот за пречистување претставува една од детерминантите за тоа кои типови организми можат таму да живеат и да се развиваат. Со намалувањето на концентрациите на растворениот кислород, аеробните организми ја забавуваат својата активност. Таквите пониски концентрации им одат во прилог на т.н. пловечки тињи, кои се посебно проблематични и лошо седиментираат, групирајќи се во поголеми целини. Превисоки концентрации на растворен кислород, пак, можат да резултираат со флокули тиња кои не се згрутчуваат и не седиментираат. Оттука, јасно е дека концентрацијата на растворениот кислород е суштински управувачки (контролен) фактор при пречистувањето на отпадните води и тој мора се одржува во граници кои им одговараат на потребните организми.

Два особени фактори кои влијаат на концентрацијата на растворен кислород во биобазените се:

- Температурата на водата. Растворливоста на кислородот е обратнопропорционално од температурата т.е. со зголемување на температурата таа опаѓа а со намалување на температурата таа се зголемува. Со ова може да се објасни фактот дека содржина на кислородот во биобазените во лето е секогаш помала од онаа во зима при ист режим на аерација на биобазените. Исто така оваа зависност може да го објасни фактот дека содржината на кислород наутро е секогаш поголема од содржина на кислород попладне. Поради ова потрошувачката на електрична енергија е релативно поголема во летните месеци од годината што се должи на помалата растворливост на кислородот во тој период.
- Степенот на загаденост на отпадната вода. Концентрација на кислород во биобазените во голема мера е во зависност од степенот на загадување на инфлуентот со органски и неоргански материи. Колку е поголемо загадувањето на инфлуентот со отпадни материи толку побрзо кислородот ќе биде искористен, затоа што во такви услови кои се оптимални за бактериите доаѓа до нагло зголемување на бактериската биомаса. Обратно, при помало загадување на отпадната вода со отпадни бактерии на инфлуентот количината на кислородот ќе биде поголема затоа што активноста на бактериите е сведена на минимум поради отсуство на хранливи материи.

3.3.3 Потенцијал за оксидација-редукција (ПОР) или редокс потенцијал (ORP)

Одредени супстанции ослободуваат или примаат електрони кога супстанциите се растворени во раствор. Интензитетот или склоноста за ослободување електрони (оксидација) или примање на електрони (редукција) се нарекува **Потенцијал за оксидација-редукција или редокс потенцијал (ПОР-ORP)**.

ПОР е значаен параметар за мерење на квалитетот на отпадната вода што треба да се пречистува, а со тоа и на целиот систем на пречистување. Преку мониторинг на редокс потенцијалот може да се идентификуваат тековните услови на работа во системот со што би се овозможило моментна реакција врз критичните контролни уреди со цел на промена на оперативните услови за да се поттикне или спречи даден процес. Може да се користи за мониторинг на влезната отпадна вода, примарниот ефлуент, како и за автоматско управување на системите за аерација и друго.

ПОР во ПСОВ начесто се мери во биолошките базени преку сонда која обезбедува податоци во реално време, единица мерка му е волти (V) или милivolти (mV). Суровата отпадна вода има вообичаено ПОР од -200 mV. Силно оптоварен инфлуент би имал околу - 400 mV, додека слабо оптоварен инфлуент (како на пример вода што содржи надворешни приливи) би имал околу - 50 mV.

Отстранувањето или редукцијата на сBOD со слободен молекуларен кислород (O_2) се случува во услови кога ПОР во аерациониот базен е со вредност во опсег од +50 до +250 mV.

Зголемената биоразградливост и апсорпција на субстратот од активната тиња може значително да ја зголеми вредноста на ПОР на отпадната вода, укажувајќи на подобрување на статусот на редокс потенцијалот.

3.3.4 Корелација помеѓу растворениот кислород и потенцијалот за редукција

Додека растворениот кислород е мерка за концентрација на кислородот во водата изразен во [mg/l], ПОР е мерка која ја објаснува тенденцијата (потенцијалот) на ефлуентот да ослободи електрони изразен во [mV]. Ова се две различни мерки кои на различен начин го објаснуваат статусот на отпадната вода. Кога се користат заедно се добива покомплетен увид во процесите на пречистување.

На ПОР скалата, присуството на оксиданс (оксидирачко средство), како што е кислородот ја зголемува вредноста на редокс потенцијалот, додека присуството на редуктант (редуирачко средство) како што е биомасата или други органски загадувачија намалува вредноста на ПОР.

Концентрацијата на растворен кислород во аерациониот басен е во тесна корелација со вредноста на ПОР. Концентрацијата на кислород поголема од 1 mg/L е неопходна за соодветна разградливост и подобрување на ПОР. Истражувањата покажале дека вредностите на ПОР се пониски при повисока температура на водата ($T = 20-26^{\circ}C$),

отколку вредностите на ПОР на пониска температура ($T=14-19^{\circ}\text{C}$), што се јавува како последица на помалиот капацитет на заситеност со кислород на отпадната вода и поинтензивната консумација на кислород од микроорганизмите во потопли услови. Меѓутоа, важно е да се напомене дека висока концентрација на растворен кислород (6-8 mg/L) не придонесува за подобрување на статусот на редокс потенцијалот[28].

Корелацијата помеѓу ПОР и растворениот кислород е висока, поради ова се препорачува употреба на двата параметри при мониторингот и управувањето на процесот на аерација. На овој начин се оптимизира внесувањето на кислородот во отпадната вода во случаи кога ПОР е на доволно високо ниво.

3.3.5 Процеси на пречистување на отпадните води

Вообичаените загадувачи во отпадната вода во пречистителните станици се одвојуваат или редуцираат преку употреба на физички, хемиски и биолошки процеси. Денес постојат голем број на методи на третман на отпадните води кои се поделени на индивидуални единици и процеси. Во зависност од потребите можат да се изведат различни нивоа на третман.

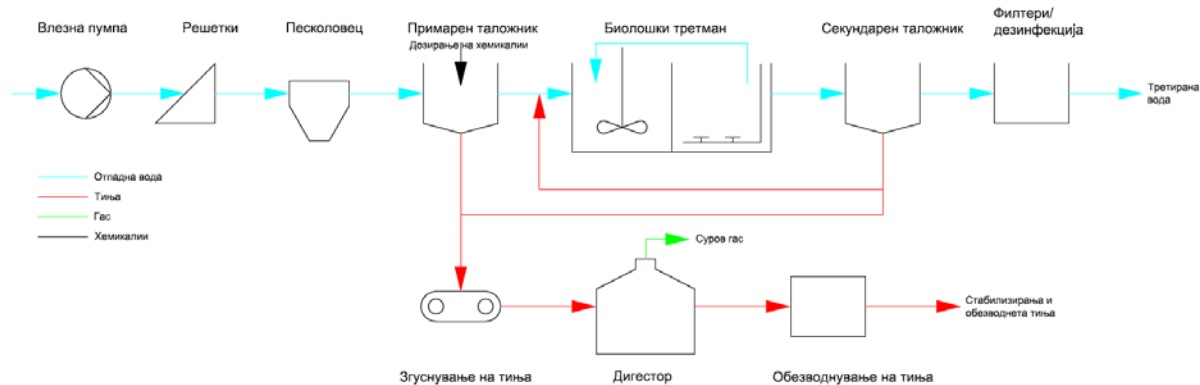
Најголем интерес за овој труд претставуваат пречистителните станици каде биолошкиот третман се одвива со процесот на активна тиња. Во една пречистителна станица што работи со процесот на активна тиња се одвиваат следниве типични процеси на третман на отпадната вода:

- Прелиминарен третман – најчесто во овој дел влегува влезната пумпна станица, како и механичко одвојување на крупните отпади со помош на крупни и фини решетки, одвојувачи на песок и масло,
- Примарен третман - примарни таложници и опремата за пумпање и одводнување на примарната тиња, како и дозирање на хемикалии (железо заради отстранување на фосфор или пак коагуланти заради зголемено таложење на цврстите материји),
- Секундарен третман – биолошки третман на отпадната вода најчесто преку процесот со активна тиња во аерирани резервоари. Редукција на органските материји и нутриентите преку соодветни хемиски или биолошки процеси преку користење на микроорганизми. Биоразградливиот дел од материјата се разградува од страна на микроорганизмите во присуство на кислород. Отстранувањето на биолошкиот дел од азотните соединенија е двостепен процес кој вклучува нитрификација и денитрификација. Микроорганизмите се сепарираат во секундарен таложник од каде дел се враќаат во процесот, преку рециркулирање на тињата, а дел се отстрануваат и водат кон линијата на третман на тињата. Опремата која е потребна за работата на оваа фаза од третманот вклучува пумпање (рецикулација на активната тиња), мешалки, дувалки, опрема за отстранување на наталожената тиња,

Табела 3.3: Ниво на третман, елементи, оперативни единици и процеси [27]

Ниво	Елементи	Оперативни единици и процеси
Прелиминарно	Цврст отпад, масти, масла, суспендирани материји	Решетки
		Отстранување на песокот
		Таложее
Примарно	Суспендирани честичи и органски материји	Висок степен на кларификација
Примарен Напредно	Забрзано отстранување на суспендираните цврсти материји и органски материји	Флотација
		Хемиска пресипитација
		Длабинска филтрација
		Површинска филтрација
Секундарно	Отстранување на органските биолошки (во раствор или суспензија) суспендирани материји	Варијации во растењето на аеробните суспендирани материји
		Варијации во растењето на прикачените аеробни суспендирани материји
		Варијации во растењето на анаеробните суспендирани материји
		Варијации во растењето на прикачените анаеробни суспендирани материји
		Варијации во лагуна
		Физичко-хемиски систем
		Хемиска оксидација
		Напредна оксидација
		Мембранска филтрација
		Секундарно со отстранување на нутриенти
Варијации на нитрификацијата и денитрификацијата		
Стрипинг со воздух		
Јонска размена		
(Терциерно)	Фосфор	Хемиски третман Биолошко отстранување на фосфор
	Азот и фосфор	Варијации во биолошкото отстранување на нутриентите
Терциерно	Патогени материји	Хлорни соединенија
		Хлор диоксид
		Озон
		Ултравioletово зрачење (UV)
Напредно	Остаток од цврсти материји	Филтрација на грануларен медиум
		Сито
		Мембрани
Напредно	Колоидални и растворени цврсти материји	Хемиски третман
		Јаглеродна апсорпција
		Јонска размена
		Стрипинг со воздух
	Испарливи органски соединенија	Јаглеродна апсорпција
		Напредна оксидација
		Хемиски прочистувачи
		Јаглеродна апсорпција
Третман на тиња	Мириси	Био филтери
		Филтери за компостирање
		Гравитациско згуснување
		Хемиско забрзано згуснување
		Лагуни за дигестирање на тињата
Третман на тиња		Аеробно дигестирање на тиња
		Анаеробно дигестирање на тиња
		Механичко обезводнување
		Сушење на тиња на сушни полиња

- Терцијален третман – Додатна филтрација или полирање на ефлуентот (додатна нитрификација). Дезинфекција на пречистената вода пред испуштањето во реципиентот со цел намалување на бројот на микроорганизмите. Дезинфекцијата може да се врши со помош на хлорирање, УВ зрачење или озонирање.
- Третман на вишокот тиња – Згуснување и обезводнување на тињата. Стабилизација на тињата со анаеробни или аеробни процеси. Повраток на енергија со добивање на биогаз од анаеробна дигестија или добивање топлинска енергија со инценерација на исушена тиња.
- Третман на воздух – вклучува опрема која служи за екстракција на воздухот од затворени простории во кои се одвиваат механичкиот третман на отпадната вода и третманот на тињата и негово пречистување т.е. ослободување од непријатната миризба.



Слика 3.1: Шематски приказ на типична ПСОВ со активна тиња

3.4 Трошоци при работа на ПСОВ

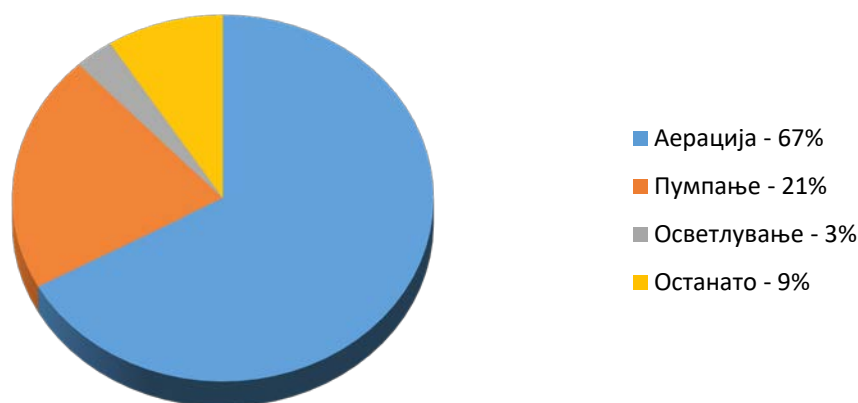
На следниов графикон се прикажани типичните работни трошоци во една пречистителна станица која работи на принципот на активна тиња.

Пречистителните станици за отпадни води се големи потрошувачи на електрична енергија што претставува еден од најголемите трошоци со кои јавните комунални претпријатија се соочуваат во текот на работата. Потрошената електрична енергија е 35 – 45 % од вкупните трошоци од оперативните трошоци на една пречистителна станица. Поделбата на типичните трошоци во една ПСОВ со активна тиња е претставена на слика 3.2.



Слика 3.2: Типични трошоци на ПСОВ

Делот на процесите на третман на отпадната вода во вкупната порошувачка на електрична енергија е претставена на слика 3.3. Секундарниот или биолошкиот третман е најголем потрошувач на енергија со 30 – 60 % учество од вкупната потрошувачка, која во најголем дел отпаѓа на процесот на аерацијата, а потоа и на пумпањето на отпадната вода и третманот на тињата.



Слика 3.3: Типична потрошувачка на ел.енергија во ПСОВ со активна тиња[5]

Сите пречистителни станици кои се изградени или е планирано да се изградат во Р.Македонија го користат процесот на активна тиња кој и воопшто е најчесто користен насекаде во светот. Овој процес, со активна тиња, не е енергетски најефикасен во споредба со аерирани лагуни, песочни филтри или биодискови. Но, иако споменатите типови на пречистување се значително енергетски поефикасни, нивното користење не е така распространето од повеќе причини: аерираните лагуни побаруваат голема градежна површина, а пак филтрите и биодисковите повеќе се наменети за помали капацитети.

3.5 Секундарен или биолошки третман

3.5.1 Биолошко пречистување - биореактори

Конвенционалниот секундарен третман се постигнува со биолошки процес кој се нарекува аеробен третман со активна тиња. После прелиминарниот и примарниот третман, ефлуентот најчесто се одведува во големи аерациони базени или биореактори.

Биолошкиот дел на пречистувањето на комуналната отпадна вода се одвива во големи т.н. аерациони базени, каде аеробните бактериски култури (активна тиња) ги разградуваат органските материи со помош на растворениот кислород присутен во отпадната вода. Како производ од процесот на разградување на органските соединенија се добива јаглероден диоксид, азотни соединенија и биолошка тиња. Целта на процесите во аерационите базени е да се намали оптоварувањето на отпадната вода со органски материјали, т.е. да се изврши редукација на БПК₅ од 70 – 85% и парцијална редукација на нутриентите (азотни и фосфатни соединенија). Значајното отстранување на нутриентите според некои литератури веќе се класифицира како терциерен третман.

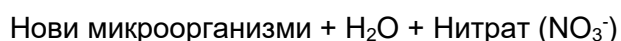
Значи, принципот на разградување на органската материја, поедноставено може да се прикаже на следниот начин:



при што органска материја претставуваат растворените, биолошки разградливи органски материи содржани во отпадната вода како хранливи материи за бактериите, O₂ е кислородот кој е суштински фактор за аеробното дејство на бактериите и новите микроорганизми се т.н. вишок на тиња, кој треба да се отстрани од системот.

Доколку во текот на овој процес се одвива и разградување на амониумот, тој процес се одвива во два чекори на следниот начин. Секундарниот третман со активна тиња може да се комбинира со една аноксична зона која ќе овозможи отстранување на азотот од отпадната вода. Аноксичната зона е место во кое нема аерација и има отсуство на елементарен кислород. Целта на аноксичната зона е да се направи средина во која може да се одвива процесот на нитрификација – денитрификација.

Нитрификација е разградување на амониумот (NH₄⁺) во нитрат со помош на бактериско дејство во аеробна средина или во присуство на воздух.



Денитрификација е редуцирање на нитратот (NO₃⁻) во молекуларен азот (N₂) во отсуство на растворен кислород (O₂), аноксична средина. Отсуството на растворен кислород е важно бидејќи додека има растворен кислород, кој е достапен за бактериите, нема да се троши врзаниот кислород во нитратот.

Нитрат (NO_3^-) + Органски материи + Јаглеродна киселина (H_2CO_3) + Микроорганизми =
Нови микроорганизми + Азот (N_2) + H_2O + Биокарбонат (HCO_3^-)

Кога ќе се формира азотот тој се искачува низ отпадната вода и се испушта во атмосферата. Целта на нитрификацијата и денитрификацијата е да се намали количината на азотните соединенија во ефлуентот, кои воглавно се содржани во отпадните води во вид на амониум (NH_4^+).

Отстранувањето на нитратот во процесот на денитрификација има потреба од додатна количина на кислород, во споредба со самиот секундарен третман. Консеквентно, отстранувањето на нитратите повлекува поголема потрошувачка на електрична енергија која може да достигне и зголемувања до 40-50%.

Фосфорните соединенија во отпадните води се јавуваат најчесто како орто-фосфат (PO_4^{3-}), полифосфат и фосфорна киселина (H_3PO_4). Елиминирањето на овие соединенија се прави со следниве постапки:

- Хемиски, со употреба на пресипитативни и флокулативни средства;
- Биолошки, со комбинирање на аеробни, анаеробни и аноксични средини

3.5.2 Аерација кај биолошкиот третман

Аерацијата кај ПСОВ има повеќе намени: кај песколовците се користи да ја зголеми ефикасноста на таложењето на цврстите материи, кај флотацијата да ја зголеми ефикасноста на одвојувањето на материите, но најголема примена има кај биолошкиот дел од постројката.

Од формулите може да се заклучи дека процесите на биолошко разградување на органските материи и процесот на нитрификација имаат потреба од кислород O_2 . Кислородот во отпадната вода се внесува преку системите за аерација.

Примарна компонента во процесот на биолошки третман на отпадната вода е аерацијата. Процесот на аерација внесува воздух или кислород во отпадната вода со што ја интензивира биолошката активност на бактериите, разградувајќи ја органската материја присутна во неа. При постоење на доволно количество на бактериска маса и на супстрати способни за разградба (хранливи материи и ензими), концентрацијата на растворен кислород во водата е најважниот параметар за одвивање на правилен процес. Типична концентрација на растворен кислород која е потребна во аерационите базени изнесува помеѓу 1.5 - 2 mgO_2/l . Внесувањето на кислородот во базените најчесто се одвива континуирано но и во испрекинати интервали во зависност од потребите. Аерацијата може да се одвива на повеќе начини од кои најчесто се користат:

- Површински со ротациони четки;
- Длабински со воздушни аератори кои можат да произведат груба или фина аерација, во зависност од големината на меурите.

Аерацијата е најинтензивен машински процес од сите останати процеси во една пречистителна станица. Па така, процесот со активна тиња е најголемиот потрошувач на енергија само заради аерацијата, којсе движи во интервалот од 30 - 60% од вкупната потрошувачка на енергија во една пречистителна станица за отпадна вода. Во зависност од типот и капацитетот на станицата потрошувачката на електрична енергија која отпаѓа на аерација се движи во интервалот од 0.2 – 0.8 kWh/m³. Тоа ја прави аерацијата процес каде би можеле да се направат најголеми заштеди при имплементирањето на стратегиите за енергетска ефикасност. За да се оптимизира процесот на аерација потребна е детална евалуација на целиот систем како: геометрија на базенот, метод на трансфер на воздухот, карактеристики на отпадната вода, биолошкиот товар, големина и тип на опремата, управување со аерацијата итн.

3.5.3 Секундарни таложници

Биолошкиот материјал е дисперзиран (лебди) во аерационите базени и од таму неизбежно се одведува во секундарни таложници каде истиот се сепарира од ефлуентот со помош на седиментација. Поради ова, секундарните таложници се вбројуваат во биолошкиот дел од постројката иако принципот на работа им е ист како и кај примарните таложници.

3.5.4 Рециркулација на активна тиња

Бидејќи количината на изнесување на бактериите е поголема од истовремениот пораст на бактериите во аерационите базени, дел од материјалот или тињата што ќе се наталожи во секундарните таложници се циркулира и се враќа назад на влезот во аерационите базени, со цел да се обезбеди и одржи потребната концентрација на активна бактериска маса за правилно функционирање на процесот. Биологијата на самиот систем може да се подеси на различни оптоварувања со органска материја (субстрат) преку варијација на количеството на рециркулирана повратна тиња.

Рециркулирањето на активната тиња од секундарниот таложник во аерационите базени е еден релативно голем потрошувач на енергија. Тоа подразбира континуирано пумпање на 50 - 100% од протокот на отпадна воданиз станицата.

Останатиот дел од активната тиња, вишокот активна тиња, се одведува на понатамошни третмани на згуснување, стабилизација и обезводнување, пред да се изврши депонирање на обезводнетата тиња или се искористи за некоја друга намена.

3.6 Системи за аерација

Аерација е механички процес кој обезбедува контакт помеѓу воздухот и водата. При третманот на отпадната вода, аерацијата има улога да ги пренесе молекулите на воздухот (гасна фаза) во водата (течна фаза) со крајна цел растворање на кислородот во водата.

Кислородот се доведува во измешаната течност од аерационите базени на два основни начини: а) длабинска аерација, б) површинска аерација.

3.6.1 Површинска аерација

Површинските механички аератори најчесто се во вид на хоризонтални четкасти ваљаци во форма на мамут ротори или вертикални турбини, а поретко и како водени или воздушни млазеви насочени кон површината. Мамут роторите се парцијално потопени во течноста од аерациониот базен и при ротационо движење на четкастите ваљаци се внесува воздух и се врши мешање на течноста.

Вертикалните турбини може да бидат инсталирани површински или потполно потопени со довод на компримиран воздух под перките на турбината.



Слика 3.4: Површински аератори а) хоризонтален[29], б) вертикален[30]

3.6.2 Длабинска аерација

Длабинска аерација претставува систем за внесување на компримиран воздух на дното од аерациониот базен и дисперзирање на воздушни меурчиња преку потопени дифузери или аератори. Основните компоненти на системот се:

- Различни видови на дувалки, вклучително со сопствен систем за управување
- Систем од цевки и фитинг за дистрибуција на компримираниот воздух
- Вентили, сензори, инструментација и останата опрема за управување на системот
- Аератори / дифузери

3.6.3 Дувалки

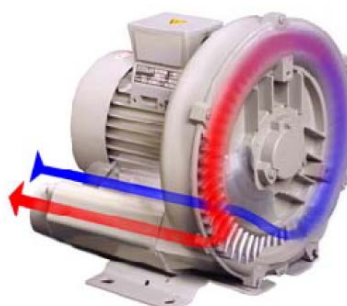
Најчесто се користат три типа на дувалки за обезбедување воздух во процесот на аерација на биолошки базени и тоа: волуменски, центрифугални турбо дувалки. Ефикасноста на сите типови на дувалки е приближно иста кога се правилно димензионирани и работат оптимално. Сепак, при изборот на дувалки не треба да се разгледува само ефикасноста туку и како дувалката ќе работи за време на животниот век, т.е. можноста за адаптација во новонастанати процесни услови и трошоците за нејзино одржување[31]. Во нареднава табела е направена споредба на најчесто користените типови на дувалки во пречистителните станици.

Table 3.1: Споредба на типови дувалки

Тип на дувалка	Ефикасност	Работен опсег	Трошоци за одржување
Волуменска (roots)	2	5	3
Волуменска завојна	3	5	3
Центрифугална - едностепена	3	3	4
Центрифугална -турбо	4	4	3

(*) – оценување 1) лошо, 2) ниско, 3) средно, 4) добро, 5) одлично

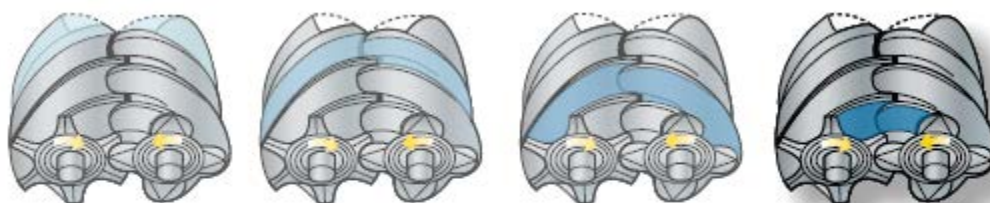
Центрифугалните дувалки начесто се користат кога има потреба од поголеми протоци. Нивото на компресија што го постигнуваат е задоволително но негативна страна кај овој тип на дувалки е што оперираат со фиксен број на вртежи и поради тоа се осетливи на промените кои се случуваат во инсталацијата во тек на работниот век. Постигнуваат добра ефикасност и релативно пониски инвестициски трошоци отколку волуменските.



(a)



(б)



(в)

Слика 3.5: Типови на дувалки: а) центрифугална, б) запчеста (roots) волуменска, в) волуменска завојна

Турбо дувалките работат многу ефикасно при помали протоци и притисоци до 1,5 bar. Се одликуваат со одлична ефикасност поради намалените загуби на пренос, затоа што работното коло е директно поврзано на работното вратило. Но, така имаат помал работен опсег споредено со волуменските. Имаат релативно најголема инвестициска вредност.

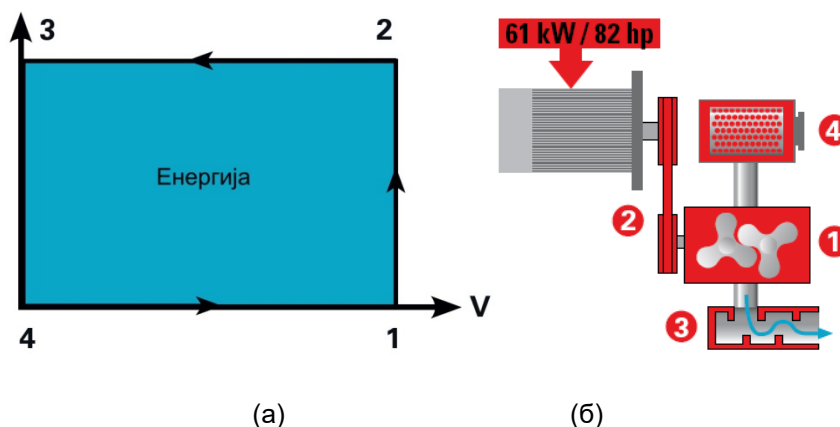
Волуменските дувалки се најмногу користен тип на дувалки и тоа најчесто кај ПСОВ со мал и среден капацитет. Нивната ефикасност е најниска поради ниската внатрешна компресија на флуидот. Кај овие дувалки се регистрираат и други загуби како: загуби на влезот и загуби при каишниот или запчест пренос и загуби на моторот. Но поради ниските инвестициски трошоци и нивниот голем опсег на работа при промена на работните услови тие се едни од најпогодните и начесто користените за системите за аерација во ПСОВ.

Во последно време, завојните дувалки се покажуваат како енергетски поефикасни во споредба со рутсовите запчести дувалки. Тоа се должи на прогресивната компресија подолжина на завојните лопатки како и намалување на вкупните загуби. За да го појасниме ова тврдење во продолжение е презентирана споредба на работата на двата типа на дувалки од ист производител [32].

На слика 3.6.а, е прикажан P/V дијаграмот на запчеста дувалка од слика 3.5.б која работи во следниов циклус:

- 4 до 1 – Всисување. Воздухот влегува во комората за компримирање. Волуменот на воздухот останува ист при вртењето на работното коло.
- 1 до 2 – Надворешна компресија. Воздухот е компримиран екстерно поради отпорите во инсталацијата
- 2 до 3 – Испуштање. Воздухот се испушта во инсталацијата.

Како што е прикажано на P/V дијаграмот, извршената работа за компримирање на воздухот е претставена со сината површина и е пропорционална на потрошената енергија. При тоа најголемите отпори во внатрешниот ситем, и при тоа зголемена потрошувачка, настануваат во: 1) надворешната компресија, 2) ремениот пренос, 3) пригушувач, 4) влезниот филтер за воздух, како што е прикажано на слика 3.6.б.



Слика 3.6:а) P/V дијаграм за запчеста дувалка,б) енергетски загуби во системот[29]

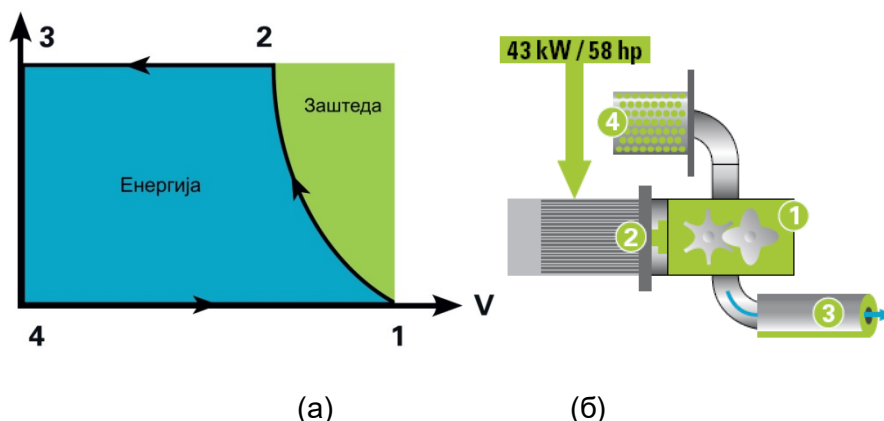
На слика 3.7.а, е прикажан P/V дијаграмот на завојна дувалка од слика 3.5.в која работи во следниов циклус:

- 4 до 1 – Всисување. Воздухот влегува во комората за компримирање. Волуменот на воздухот останува ист при вртењето на работното коло.
- 1 до 2 – Внатрешна компресија. При вртењето на роторите еден кон друг, волуменот на воздухот се намалува.
- 2 до 3 – Испуштање. Воздухот се испушта во инсталацијата.

Кај завојните дувалки, како што е прикажано на P/V дијаграмот исто така извршената работа за компримирање на воздухот е претставена со сината површина и е пропорционална на потрошената енергија. Зелената површина ја означува заштедата на енергија кај завојните дувалки во однос на запчестите. Ова се должи на внатрешната компресија која ја обезбедува завојната дувалка. За да се испорача ист проток при ист притисок како во случајот со рутсовата дувалка, завојната дувалка консумира и до 30% помалку електрична енергија. При тоа заштедите на енергија се постигнуваат на следниве места: 1) внатрешна компресија, 2) интегриран пренос со запчаници, 3) помек пригушувач, 4) влезен филтер за воздух, како на слика 3.7.б.

Преносот на компримираниот воздух од компресорите до аерационите базени се врши преку дистрибутивен систем од цевки, фитинг, вентили и останата мерно регулациона опрема. Цевководите кои се користат за дистрибуција на компримираниот воздух се поделени во две групи:

- метални цевки – најчесто се користат цевки од нерѓосувачки челик за главните дистрибутивни цевководи од компресорската станица до аерационите базени, а поретко и за разводниот систем во самите базени.
- пластични цевки – ПЕ или ПВЦ цевки се поефтини и полесни за монтажа но бидејќи не се отпорни на релативно високи температури на компримираниот воздух најчесто се користат како дистрибутивни цевки во аерационите базени каде има природно ладење од самата отпадна вода.

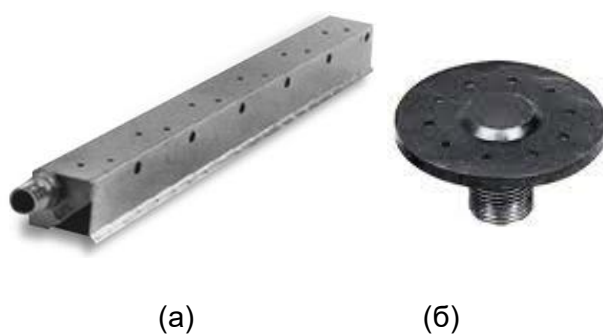


Слика 3.7: а) P/V дијаграм за завојна дувалка, б) енергетски загуби во системот[28]

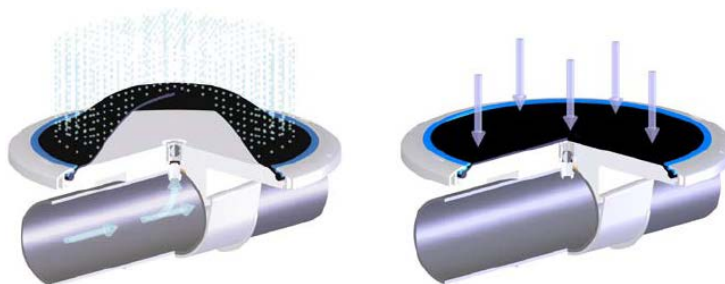
3.6.4 Аератори

Дифузерите за воздух можат да бидат порозни плочи, порозни цевки или дизни прикачени на дистрибутивни цевки инсталирани на дното од аерационите базени. Компримиран воздух за дифузерите се обезбедува преку дувалки.

Потопените дифузери според намената најчесто се делат на дифузери за фини (мали) или груби (крупни) меури. Дифузери со груби меури се направи со дупки или дизни дизајнирани на таков начин воздухот да го испуштаат во вид на меури кои диспрезираат во течноста. Најчесто се користат кај физичките процеси на сепарација. Дифузерите со фини меури се направени од порозни материјали кои го ослободуваат воздухот во вид на фини меури, најчесто се користат во аерационите базени. Иако сите дифузери имаат свои посебни карактеристики, тие со груби меури поретко се затнуваат и се полесни за одржување а дифузерите со фини меури се поефикасни во трансфер на кислородот во течноста.



Слика 3.8: Дифузери за груби меури: а) тракаст, б) мембрански



Слика 3.9: Мембрански дискови за фина длабинска аерација

3.6.5 Автоматско управување

Иако типот на аерациониот систем е важен за ефикасен довод на воздух, еден од најважните фактори за најисплатливи заштеди на енергија за еден систем е примена на автоматски систем за управување. Кај процесот со активна тиња, системот за аерација континуирано дисперзира воздух во аерационите базени со цел да го помогне одржувањето на биомасата и да обезбеди мешање на течноста. Поради предимензионирана опрема, неефикасно работење или недостаток на автоматско

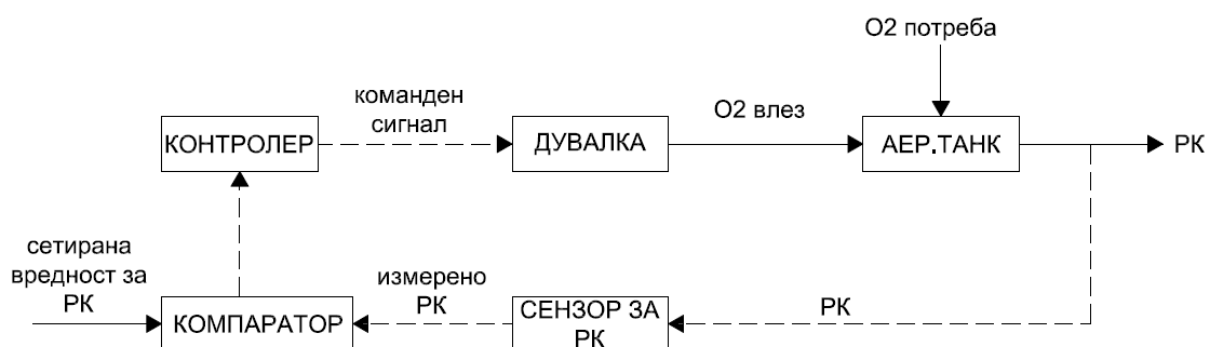
управување, количеството на внесен кислород во аерационите базени најчесто е многу поголемо од потребното. Вишокот на внесен кислород претставува непотребно потрошена енергија, а може и да доведе до проблеми со таложење на тињата.

Инструментите кои најчесто се користат за мерење на нивото на растворен кислород во отпадната вода и обезбедување на варијабилен сигнал за прилагодување на протокот на воздух и нивото во резервоарот се сондите за растворен кислород и анализаторите.

Сигурноста, проблемите со одржувањето и барањата за калибрација претставуваат едни од недостатоците на сондите за растворен кислород. Иако сигурноста на сондите за растворен кислород значително се подобрила последните 10 години, потребно е нивно периодично чистење за да се обезбедат точни отчитувања. И покрај овие недостатоци за одржување, способноста за автоматско управување на високо-енергетската аерациона опрема е еден од најефикасните методи за намалување на употребата на аерација.

Поради ова, фундаментално за енергетската ефикасност на секој систем за аерација е можноста за контрола на внесувањето на кислородот во аерационите базени при различни протоци и товари на БПК.

Третманот со активна тиња најчесто побарува концентрации на растворен кислород од 1,5 до 2 mg/L за стабилна аеробна работа на процесот. За да се обезбеди ефикасна работа и контрола потребно е да се дознае вистинската концентрација на кислород во аерационите базени. Ова мерење и контрола може да се изведе на два начини. Првиот, кој би се применувал кај помалите пречистителни станици, е да операторите ја проверат мануелно концентрацијата на кислород и потоа мануелно ја подесат работата на дувалките. На овој начин управувањето на системот зависи од вниманието на операторот. Вториот и многу поефикасен систем е да се инсталира сензор за континуирано мерење на концентрација на растворен кислород. На овој начин отчитувањата се во реално време па така и подесувањето на влезот на кислородот ќе се изврши побрзо. Понатаму, преку инсталирање фреквентен регулатор и со користење на сигналот од овој сензор, преку автоматско управување на системот се постигнува енергетски најефикасен систем за аерација.



Слика 3.10: Дијаграм на контролниот циклус за подесување на работата на дувалките во релација со концентрацијата на растворен кислород[20]

Кога еден мануелно контролиран систем за аерација би се надоградил во автоматски, можни се заштеди на енергија до 30%.

Најновите системи за автоматско управување користат мерење на поголем број параметри во аерационите базени во комбинација со растворениот кислород кои што придонесуваат за многу поефикасна аерација. Како пример ќе ги наведеме следниве стратегии за автоматско управување со системот за аерација:

- Линиско мерење на растворен O_2 и ПОР
- Линиско мерење на растворен O_2 , амониум NH_4-N , и нитрат NO_3-N

3.6.6 Одржување на системот за аерација

Правилно одржување на опремата за аерација е многу важно за правилна работа на инсталацијата. Аерационите системи со фини меури имаат зголемени трошоци за одржување во споредба со останатите, бидејќи запушувањето на дифузерите претставува голем проблем. Прашината и нечистотијата која доаѓа од воздушната страна може да ги блокира порите на дифузерите. Поради ова, употреба на воздушни филтри кај дувалките и нивно редовно чистење се задолжителни.

На водената страна, ситните честички кои се наоѓаат во отпадната вода можат да се наталожат на дифузерите кога системот за аерација не работи. Талогот и затварањето на порите го намаливаат протокот на воздух и со тоа и ефикасноста на аерацијата. Поради ова, системот за аерација периодично оперира со поголем притисок од работниот, со цел продувување и чистење на мембраните. Но секако, со тек на времето потребно е менување на дифузерите.

Исто така, правилната работа и локацијата на инсталирање на сензорите во базенот имаат голема улога во ефикасното работење на аерациониот систем. Операторите мора правилно да ги одржуваат и калибрираат сензорите за да се спречат несакани грешки во управувањето со системот.

3.6.7 Ефикасност на системите за аерација

Енергетската ефикасност кај системите за аерација зависи од следниве фактори:

- Флуksот на дифузерот – тоа е однос помеѓу протокот и површината на дифузерот [$m^3/m^2/s$]. Потребно е да се знае минималната вредност потребна за униформна дистрибуција на воздухот во дифузерите
- Трансфер на кислород (Oxygen Transfer Rate – OTR) – маса на кислород растворена во течност по единица време [$mg/L/h$]
- Ефикасност на трансфер на кислород (Oxygen Transfer Efficiency – OTE) – маса на кислород пренесена во течноста во однос на вкупно испорачана маса на кислород изразена во [%]
- Алфа фактор (α) однос на ефикасноста на трансфер на кислород помеѓу чиста и отпадна вода

- Концентрација на растворен кислород во аерациониот базен (O_2) – иако овој параметар не се користи при димензионирање на системот од особена важност е контрола на процесот на аерација

Целта е OTR да има што поголема вредност за да се добие поефикасен систем. Овој параметар зависи од голем број надворешни фактори како што се температурата на водата и надморската висина. OTR се намалува кога е зголемена концентрацијата на цврсти материи, се зголемува при намалувањето на флуксот кај аераторите и има генерално поголема вредност кај подлабоките базени[30].

Вредностите за трансфер на кислородот кај опремата за аерација се добива од производителите на опремата и претставува вредност при употреба во чиста вода, при стандардна температура и притисок. Вредностите за трансфер на кислородот во чиста вода за различни типови на опрема се претставени во табела. 3.4.

Табела 3.4: Вредностите за трансфер на кислородот во чиста вода за различни типови на опрема[35]

Тип на опрема за аерација	Ефикасност на трансфер на кислород (%)	Специфичен трансфер на кислород (O_2 kg/kWh)
Мембрански дифузери за фини меури	20 – 39	2,4 – 4,7
Дифузери за груби меури	10 – 15	1,2 – 1,8
Млазни дифузери	22 – 27	2,4 – 3,1
Фиксни механички аератори	10 – 18	1,2 – 2,1
Површински аератори	10 – 18	1,2 – 2,2
Ваљаци со четки	10 - 18	1,2 – 2,1

Вредностите во табелата не ги вклучуваат карактеристиките на отпадната вода, концентрацијата на резидуален кислород и зголемувањето на притисокот со зголемување на длабочината на инсталација.

Енергијата потребна за да се задоволат потребите за кислород е:

$$kWh = \frac{\text{потреба } O_2 \left(\frac{kg}{\text{ден}} \right)}{\text{довод } O_2 \left(\frac{kg}{kWh} \cdot h \right) \cdot 24}$$

Многу од постарите пречистителни станици користат дифузери кои произведуваат груби или средна големина на меури затоа што се поефтини и помали се шансите да дојде до запушување на протокотот на воздух кога се инсталирани во отпадна вода. Типични вредности за ефикасноста на трансфер на кислород кај дифузерите со груби меури (kg искористен кислород за отстранување на БПК/kg доведен кислород x 100) се движи помеѓу 10 и 15%.

Дифузерите со фини меури се значително поскапи, побаруваат многу почист воздух и мора периодично да се одржуваат. Но иако инвестициските трошоци се поголеми, нивната ефикасност на трансфер на кислород се движи помеѓу 20 и 39 % и споредено со денешните цени за електрична енергија овој систем е енергетски поефикасен. При

надградување на старите системи и промена на аератори со груби во аератори со фини меури се добиваат енергетски заштеди од 20 до 40% и враќање на инвестицијата за 2 до 4 години.

4 МЕТОДОЛОГИЈА ЗА АНАЛИЗА И ПОДОБРУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ КАЈ ПСОВ

4.1 Цели и обем на енергетскиот преглед

Целта на енергетскиот преглед е зголемување на енергетската ефикасност преку анализа на работата и одредување на референтни енергетски параметри во пречистителните станици за отпадни води и одредување на мерки за подигање на ефикасноста.

Енергетски преглед на еден систем или индивидуален процес е важен чекор кон редуцирање на потрошувачката на енергија и подигање на енергетската ефикасност. Оваа алатка служи да им помогне на заинтересираните страни, компаниите или институциите, подобро да разберат како се троши енергијата во системот и да се идентификуваат местата каде што може да се подобри работата на системите.

Во овој случај, кај пречистителните станици фокусот на анализата ќе биде ставен на оптимизација на процесите на пречистување, а преку тоа и намалување на потрошувачката на електрична енергија којашто има најголем удел во потрошувачката на ресурси.

Карактеристични чекори при вршење енергетски преглед кај ПСОВ се:

- Подготовка и планирање
- Собирање на податоци и преглед на работата
- Анализа и обработка на добиените податоци
- Извештај од извршениот енергетски преглед
- Препораки за подобрување на енергетската ефикасност.

При истражувањето на енергетска ефикасност кај ПСОВ ќе се користи аналитички пристап преку собирање на информации од терен како и податоци од базата каде се запишани сите измерени параметри од текот на работата и нивна обработка.

4.2 Методологија на енергетски преглед

Методологијата што ќе се користи е базирана врз европските стандарди EN 16247-1 (Општи барања)[8] и EN 16247-3 (Процеси)[9]. Овие стандарди ги дефинираат атрибутите, методологијата на извршување на квалитетен енергетски преглед и резултатите кои треба да произлезат од овој процес.

Покрај тоа што овој енергетски преглед се повикува на гореспоменатите стандарди, дополнителни информации се земени и искористени од прирачници во кои се дадени упатства за тоа како се извршува енергетски преглед во индустрија. Прирачниците кои се искористени при изработката на овој енергетски преглед се: “*A guidebook for performing walk-through energy audits of industrial facilities*”[36] и “*Industrial Energy Audit Guidebook: Guidelines for Conducting an Energy Audit in Industrial Facilities*”[37].

Како примери за извршени енергетски прегледи искористени се научни трудови и публикации кои обработуваат и презентираат методологија за анализа на енергетската ефикасност во пречистителни станици за отпадни води, давајќи инструкции и мерки за подобрување на ефикасноста: “*Municipal WWTP Energy evaluation for town of Tonawanda WWTP*” [38] претставува пример со кој се дава детален опис на потрошувачката на електрична енергија преку мерење на параметрите на поединечни процесни потрошувачи како и одредување и идентификација на мерките за подобрување на енергетската ефикасност. Научната студија “*Municipal wastewater treatment plant energy baseline study S. Francisco*” [6] дава компарација помеѓу различните видови процеси и можностите за примена и подобрување на енергетска ефикасност кај различни видови пречистителни станици за отпадни води. Уште еден релевантен пример е и студијата “*Municipal wastewater treatment plant energy evaluation for Ithaca area wastewater treatment facility*” [39].

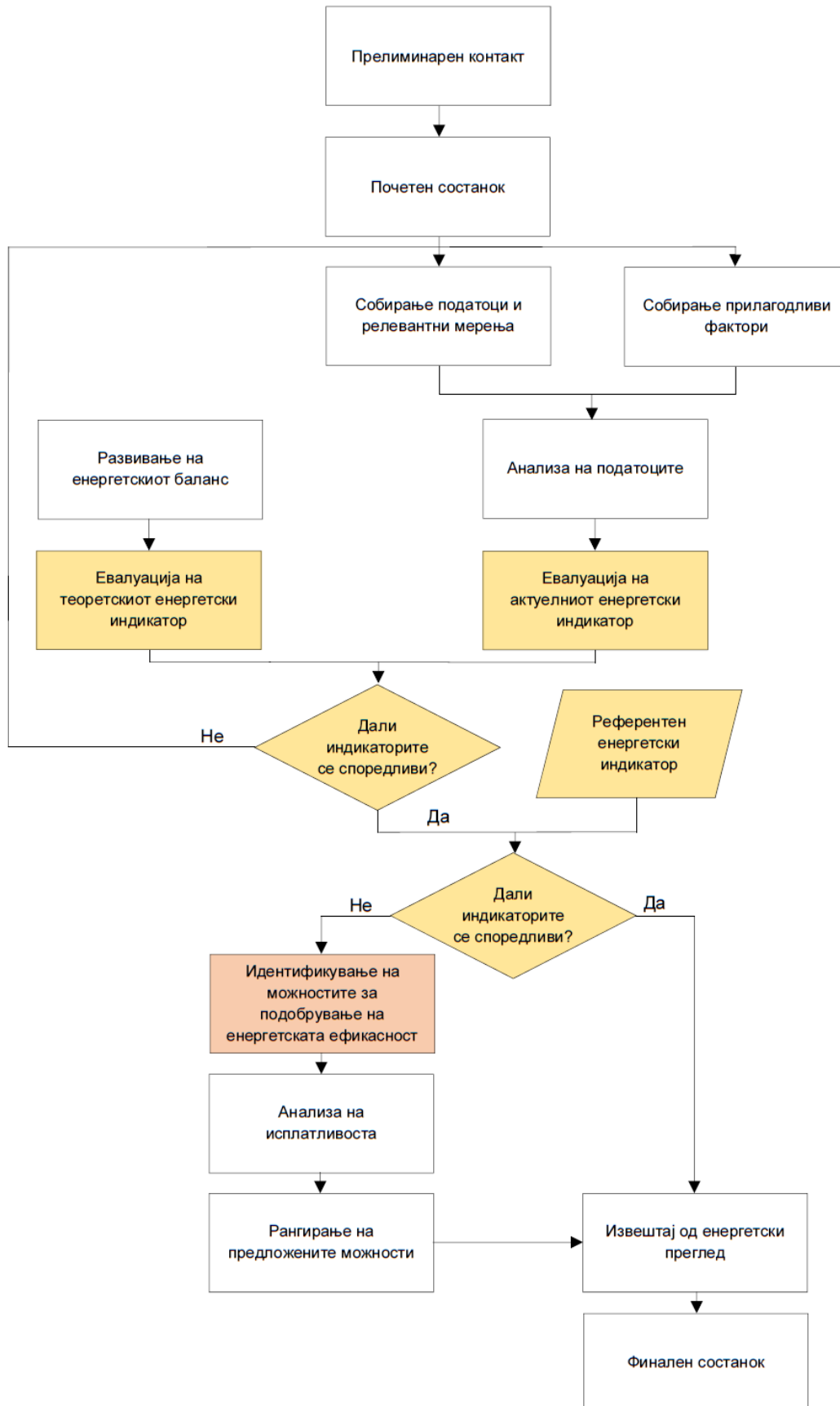
Согласно сите горенаведени стандарди и литература, процесот на енергетски преглед се одвива според следниве чекори:

- I. Подготовка и планирање на енергетскиот преглед
 - Одредување на целите и обемот на енергетскиот преглед
 - Иницијална посета на објектот
 - Собирање на податоци и нивна прелиминарна анализа
- II. Извршување на енергетскиот преглед
 - Теренска посета и системски мерења
 - Анализа на податоците
 - Одредување бенчмаркови и споредба на перформанс индикатори
 - Идентификација на можностите за подигање на енергетска ефикасност
 - Техно-економска анализа на предложените мерки и нивно рангирање
- III. Подготовка на извештај за енергетскиот преглед

Алгоритмот за вршење на енергетскиот преглед е претставен на слика 4.1. Сите горенаведени чекори подетално ќе бидат објаснети преку примерот за енергетски преглед на ПСОВ Берово претставен во поглавјата 5 и 6.

Она што е од посебен интерес за овој труд се два аспекти на енергетскиот преглед кои се специфични за пречистителни станици за отпадни води. Првиот аспект е одредување бенчмаркови и компаративна анализа преку споредба на перформанс индикатори кои се специфични само за оваа област. Заради комплексноста на процесите во ПСОВ и заради тоа што не може да се стандардизира процесот на пречистување не постои стандарден пристап на евалуирање на енергетскиот перформанс на една ПСОВ. Затоа, една од целите на овој труд е да даде преглед на литературата и научните трудови кои ја обработуваат оваа тематика што ќе биде од голема помош на инженерите, операторите на ПСОВ или истражувачите да го одберат најдобриот пристап во зависност од случајот кој го обработуваат.

Вториот аспект е идентификација на можности на подигање на енергетската ефикасност преку модификација и оптимизација на процесите на пречистување со помош на моделирање на процесот на биолошко пречистување.



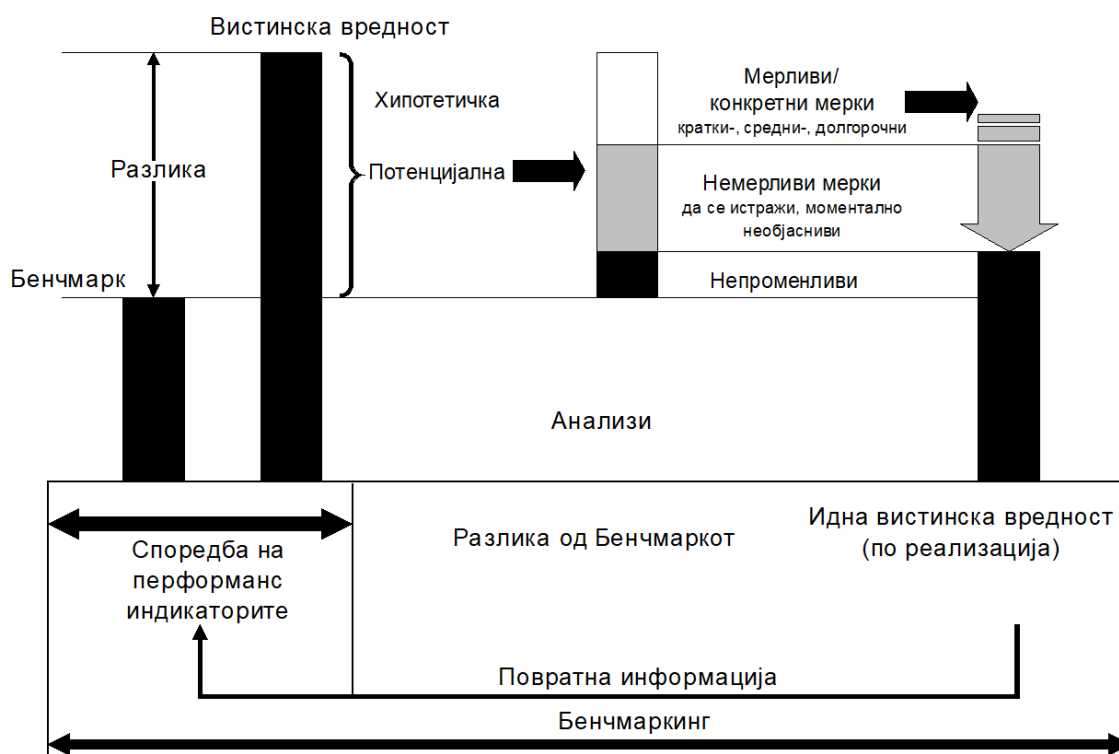
Слика 4.1: Типичен процес на енергетски преглед

4.3 Енергетски бенчмаркинг кај ПСОВ

Бенчмаркинг процесот во голема мера се одвива по истиот редослед и методологија како и енергетскиот преглед и има иста цел а тоа е да го одреди потенцијалот за подобрување на процесите во еден систем или компанија. Бенчмаркингот процесот може да се користи за анализа и споредба на голем број параметри но начесто споредувани параметри се квалитет, време и трошок. Кај ПСОВ освен трошоците од особена важност е и квалитетот изразен преку квалитетот на ефлуентот и степенот на пречистување.

Енергетскиот бенчмаркинг треба да обезбеди стандардизиран пристап на мерење, мониторинг и подобрување на перформансите на процесите. Енергетскиот бенчмаркинг е релативно нов пристап во секторот на водоснабдување и отпадни води, а е составен дел од интернационалниот стандард ISO50001:2011 Energy Management Systems (ISO, 2011)[40]. Во стандардот, бенчмаркингот се дефинира како: „процес на собирање, анализа и споредба на податоци за енергетски перформанси на споредливи активности со цел евалуирање и споредба на перформансите помеѓу ентитетите” [41]

Главна цел на енергетскиот бенчмаркинг е да се направи иницијален енергетски преглед со цел да се воспостави базна линија на моменталните перформанси на одреден процес или систем, којшто понатаму ќе се користи за мониторинг и подобрување на неговите енергетски перформанси.



Слика 4.2: Бенчмаркинг принцип [42]

Кај ПСОВ, бенчмаркингот е одлична алатка за споредување на перформансите помеѓу две или повеќе ПСОВ, или пак со најдобрите примери во праксата, преку енергетски перформанс индикатори кои се карактеристични за истиот тип на процеси на пречистување. Принципот позади бенчмаркингот според DWA-M 1100E [42] е прикажан на слика 4.2.

4.3.1 Перформанс индикатори кај ПСОВ

За да се изврши споредба на процесите потребно е да се воспостават споредливи перформанс индикатори (ПИ) кои се алатка со која се врши проценка на перформансите, употребата на ресурсите и трошокот при работа на еден систем и неговата ефикасност [43]. Воспоставувањето на ПИ и нивната споредба се елементарна компонента на бенчмаркинг процесот.

Воспоставените ПИ треба да бидат:

- Јасно дефинирани;
- Лесно мерливи;
- Да може да се верификуваат;
- Лесни за разбирање и за оние кои не се експерти;
- Се препорачува употреба на што е можно помалку индикатори.

ПИ најчесто се користат за анализа и евалуација на историски податоци за работата на одреден систем. Ги покажуваат трендовите на подобрување или влошување на процесите со тек на времето. Исто така, можат да се користат и за предвидување на перформансот на одреден процес во иднина, следење и подобрување на неговата ефикасност.

Воспоставување на систем на Перформанс индикатори кај ПСОВ е од особена важност за да може да се одреди и споредува ефикасноста на пречистувањето и енергетската ефикасност на системот. ПИ е однос помеѓу одреден квантитет (најчесто квалитет, потрошувачка или трошок) спореден со перформанс фактор.

Кај ПСОВ, ПИ треба да ги анализираат:

- **Квалитетот на ефлуентот;**
- Квалитетот на активната тиња;
- Потрошувачката на ресурси;
- **Потрошувачката и производството на електрична енергија;**
- Работните трошоци.

Овој труд примарно ја обработува оптимизацијата на работата на ПСОВ и подигнување на енергетската ефикасност. Од особен интерес е оптимизација на процесите на пречистување притоа задржувајќи го квалитетот на ефлуентот во согласност со

постоечката законска регулатива, а во исто време и намалување на потрошувачката на електрична енергија, како елемент со најголем удел во потрошувачката на ресурси.

4.3.2 Перформанс индикатори за квалитетот на ефлуентот

Примарната функција на една ПСОВ е пречистување на отпадната вода и доведување на ефлуентот до ниво пропишано со одредени прописи. Поради ова хиерархиски, перформанс индикаторите за квалитетот на ефлуентот се најважни, бидејќи преку нивната споредба утврдуваме колку процесот на пречистување е ефикасен. А потоа следува споредбата на енергетските перформанс индикатори.

Ефикасноста на пречистувањето најчесто се евалуира преку степенот на редукција на загадувачите во отпадната вода којшто се одредува преку следнава формула.

$$E_T = \left(1 - \frac{C_{in}}{C_{out}}\right) \times 100 [\%]$$

Степенот на редукција може да се користи за споредба на само еден или група на параметри со цел утврдување на ефикасноста на третманот. Најчесто споредувани параметри се оние кои се наведени во табела 3.1 и 3.2 (БПК₅, ХПК, ВСМ, ТН и ТР)

Во следната табела се прикажани референтните вредности за степенот на редукција при третман на урбани отпадни води со конвенционални методи на пречистување.

Табела 4.1: Референтни вредности за ПИ за ефикасност на третман – степен на редукција[44]

ПИ	Добро [%]	Прифатливо [%]	Неприфатливо [%]
БПК ₅	100 – 90	90 – 70	70 – 0
ХПК	100 – 90	90 – 75	75 – 0
ВСМ	100 – 90	90 – 70	70 – 0
ТР	100 – 90	90 – 80	80 – 0
ТН	100 – 80	80 – 70	70 – 0

4.3.3 Енергетски перформанс индикатори

За да се направи анализа на ефикасноста на потрошувачката на електрична енергија кај ПСОВ најчесто се користат индикатори кои ја покажуваат специфичната потрошувачката на електрична енергија во однос на еквивалентни жители (kWh/ЕЖ.г), волумен на пречистена отпадна вода (kWh/m³) или отстранети загадувачи (kWh/kgБПК₅, kWh/kgХПК).

При правењето споредба помеѓу ПСОВ од различни држави потребно е да се користат споредливи ПИ, со воспоставување на однос помеѓу клучните параметри. При користење на индикаторот kWh/m³, треба да се земе предвид и разликата на квалитетот на инфлуентот т.е. разликите во концентрациите на ХПК, ВСМ, вкупен азот и вкупен

фосфор. Исто така треба да се земе предвид и ефектот кој го има комплексноста на третманот врз потрошувачката на електрична енергија.

Изборот на перформанс индикаторот треба да биде соодветен на процесот што го евалуираме и споредуваме. Најчесто специфичната потрошувачка кај пречистителните станици се изразува преку волуменот на пречистена отпадна вода (kWh/m^3) или пак преку еквивалентни жители (kWh/ЕЖ.г). Иако овој начин на споредба е едноставен, истиот во голема мерка зависи од концентрациите на загадувачите во инфлуентот.

Доколку водата е разредена, што е чест случај кај комбинираниите канализациони системи, специфичната потрошувачка на електрична енергија изразена по (kWh/m^3) покажува дека системот за пречистување работи поефикасно заради намалените концентрации на загадувачите. Но секако овој параметар е корисен за споредување на индивидуални процеси кои се проектирани на хидраулично оптоварување како: пумпи, решетки, скрејпери.

Споредбата на работата на една станица преку еквивалентни жители (kWh/ЕЖ.г) дава поточни резултати, но пресметката на ЕЖ би требало да се направи според N, а не според БПК и ХПК заради тоа што кај комбинираниите канализациони системи постои можност од редукција на концентрациите но зголемување на оптоварувањето со БПК и ХПК за време на врнежи.

Најдобар начин за проценка на потрошувачката на електрична енергија во една ПСОВ и споредбата на потрошувачка на електрична енергија во однос на редукција на одреден загадувач (БПК, ХПК, ВСМ, вкупен фосфор, вкупен азот). Споредбата може да се прави за секој параметар посебно или пак да се формира единствен индикатор како комбинација од сите параметри[45].

Следнава табела дава преглед на вообичаените перформанс индикатори и препораки за нивна употреба.

Табела 4.2: Препораки за употреба на перформанс индикаторите кај ПСОВ[46]

ПИ	Целиот процес	Прелимин. третман	Примарен третман	Секундарен третман	Терциерен третман	Третман на тиња	Коментари
kWh/m^3	X	√√	X	X	√	X	Не зема предвид резреденост на инфлуентот и редукција на загадувачите
kWh/ЕЖ.г	√	X	X	X	X	X	Не зема предвид редукција на загадувачите
kWh/kgXПК	√	X	√	√	X	X	Лимитиран за споредба на исти процеси
kWh/kgBCM	X	X	√√	X	X	√√	Лимитиран само за примарен и третман на тиња
kWh/kgTN	√	X	X	√	X	X	Лимитиран само за ПСОВ со редукција на азот
kWh/kgTP	√√	X	X	√√	√√	X	Овозможува споредба при различен интензитет на третман

Легенда: √√ универзален, √ погоден, X непогоден

Заклучокот од горната анализа е одредено рангирање на употребливоста на одредени ПИ во одредени случаи. Сепак, при изборот на ПИ треба да се има предвид со кои податоци располагаме при анализа на одредена ПСОВ.

4.3.4 Бенчмаркинг студии и определување на перформанс индикатори и нивна споредба со вредности од други држави

Во развиените држави одамна е воочена потребата од енергетска анализа на ПСОВ, воспоставувањето на реални референтни енергетски вредности, како и воспоставувањето на временски интервали за кои би се спровеле конкретни мерки за нивно достигнување. Поради тоа во овие држави, изработени се голем број на бенчмаркинг студии.

Важни за истражувањето се и двете публикации од Германија и Швајцарија кои се изработени на истата тематика и поставуваат референтни енергетски вредности за ПИ кај ПСОВ, [11] и [12]. Во следната табела се претставени таргет вредностите за ПСОВ за параметарот kWh/еж.г, за ПСОВ со различен капацитет и ниво на третман.

Табела 4.3: Специфична потрошувачка на ел.енергија по ЕЖ (kWh/ЕЖ.БПК5*г)

Тип на процес	Капацитет на ПСОВ (ЕЖ _{БПК5})									
	2.000 – 5.000		5.000 – 10.000		10.000 – 30.000		30.000 – 100.000		> 100.000	
	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.
С (старост на тињата >5 дена) со анаеробна дигестија на тињата	/	/	30	23	27	21	24	18	/	/
С + N (старост на тињата 13 дена) со анаеробна дигестија на тињата	/	/	39	30	34	26	30	23	26	20
С + N (старост на тињата >25 дена) со продолжена аерација	54	41	46	35	40	31	/	/	/	/

С – ниво на третман: отстранување на органска материја

N – ниво на третман: отстранување на азотни соединенија

Референтни вредности за специфичната потрошувачка на електрична енергија на вкупната ППОВ а на системот за аерација се дадени и во [47].

Табела 4.4: Специфична потрошувачка на ел. енергија по ЕЖ (kWh/ЕЖ.БПК5*г)

Тип на процес	5.000 – 10.000		>10.000	
	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.
Вкупна потрошувачка на ППОВ	35	18	30	18
Систем за аерација	18	10	16	10

Во следнава табела е даден преглед на специфична потрошувачка на електрична енергија по ЕЖ, но за поголем број на технологии за пречистување[47].

Табела 4.5: Специфична потрошувачка на ел. енергија по ЕЖ (кWh/ЕЖ·БПК₅*г)

Тип на процес	Капацитет на ПСОВ (ЕЖ _{БПК₅})									
	2.000 – 5.000		5.000 – 10.000		10.000 – 30.000		30.000 – 100.000		> 100.000	
	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.	Реф.	Опт.
Аерирани лагуни	40	30	35	25	/	/	/	/	/	/
Ротациони биолошки контактор	23	18	18	15	/	/	/	/	/	/
Филтер прокапник	25	17	20	15	25	18	25	18	25	18
Продолжена аерација	45	28	38	23	34	20	34	20	/	/
Активна тиња со анаеробна дигестија	40	24	34	20	30	18	30	18	27	18
Активна тиња и филтер прокапник	/	/	/	/	30	18	30	18	26	18

Во наредната табела е даден преглед на типични вредности на два ПИ за повеќе држави во светот, а податоците се преземени од повеќе бенчмаркинг студии[10]. Но овие податоци се само индикативни за одредени држави. Податоците не се поделени по технологии и капацитети на пречистување и затоа треба да се земат со резерва.

Табела 4.6: Типична потрошувачка на ел. енергија кај ПСОВ

Потрошувачка на ел.енергија	Австрија	Шведска	Германија	Франција	ОК	Холандија	Јапонија	УСА
kWh/ежCOD/y	23	42	23					44
kWh/m ³	0,3	0,63		0,68	0,63	0,36	0,45	0,45

Во овој контекст како важна публикација е: „*Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach*”[13] која дава информации за измерени енергетски параметри за одреден број на ПСОВ во Шпанија. Трудот “*Energy performance indicators of wastewater treatment: a field study with 17 Portuguese plants*”[45] дава преглед на специфичната потрошувачка кај разгледуваните ПСОВ и презентира референтни вредности за некои ПИ.

Табела 4.7: Одредување на референтни ПИ (kWh/m³) и (kWh/kgБПК)[45]

	Добро	Прифатливо	Лошо
kWh/m ³			
Активна тиња	≤0,280+1192/ m ³ /d	[0,280+1192/m ³ /d; 0,350+1490/ m ³ /d]	≥0,350+1490/m ³ /d
Активна тиња + коагулација / филтрација (К/Ф)	≤0,325+1384/m ³ /d	[0,325+1384/m ³ /d; 0,406+1730/m ³ /d]	≥0,406+1730/m ³ /d
Активна тиња со нитрификација + К/Ф	≤0,424+1362/m ³ /d	[0,424+1362/m ³ /d; 0,530+1703/m ³ /d]	≥0,530+1703/m ³ /d
kWh/kgБПК	≤2	2-10	≥10

Трудот “Energy audit in small wastewater treatment plants: methodology, energy consumption indicators, and lessons learned”[49], исто така дава преглед на специфичната потрошувачка кај мали ПСОВ (2.000 – 10.000 ЕЖ) што е од особен интерес за студијата на случај за ПСОВ Берово.

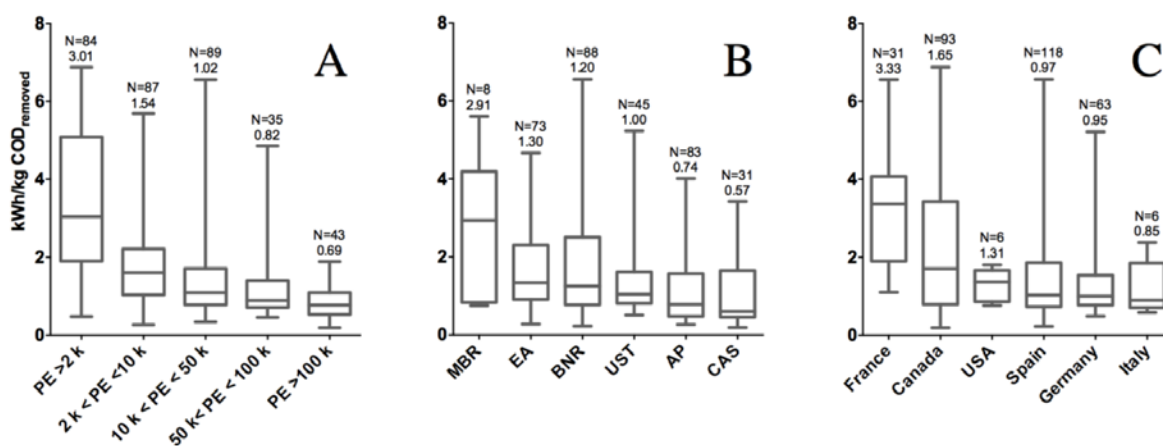
Во следната табела се прикажани бенчмаркови за најразлични процеси со помош на кои е пресметана потрошувачката на електрична енергија во однос на волумен на пречистена отпадна вода (kWh/m^3) и отстранети загадувачи (kWh/kgBPK_5).

Табела 4.8: ПИ за различни технологии на пречистување

Тип на третман	kWh/m^3	kWh/kg BOD
Продолжена аерација	<1	<6,38
Конвенционална активна тиња	<0,26	<1,54
SBR	<0,46	<3,52
Оксидационен ров	<0,53	<3,52
Филтер прокапник	<0,13	<0,88
Лагуна (3ПСОВ)	0,18 - 4,28	4,62 - 26,62
Контактна стабилизација (4ПСОВ)	0,79 - 0,95	5,06 - 14,3
Ротирачки биолошки контактор (2ПСОВ)	0,16 - 2,22	1,32 - 11

Агрегираните резултати од сите тие студии се обработени и претставени во трудот “Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants”[46], кој е соработка на експерти од најразвиените европски држави. Во овој труд се претставени резултати за специфичната потрошувачка по редуциран ХПК (kWh/XPK).

Бидејќи во нашата држава, а и во регионот, бројот на ПСОВ е релативно мал, ефикасноста на постоечките ПСОВ ќе се споредува во однос на резултатите од бенчмаркинг студиите изработени во други држави, земајќи ги предвид специфичните климатски и географски карактеристики на нашата држава.



Слика 4.3: Специфична потрошувачка на електрична енергија по kWh/XPK според: (А) капацитет на станицата, (Б) тип на третман, (С) држава.

Забелешка: броевите на графиконот означуваат број на примерокот и средна вредност. (MBR) Membrane Biological Reactor – Мембрански биолошки реактор, (EA) Extended Aeration – Продолжена аерација, (BNR) Biological Nutrient Removal – Биолошко одстранување на нутриенти, (CAS) Conventional Activated Alusge – Конвенционален третман со активна тиња, AP (Aerated Ponds – Аерирани езерца, (UST) Unspecified Secondary Treatment – Останати технологии за секундарно пречистување

Од горниот текст може да се заклучи дека изворот на информации за специфична потрошувачка на електрична енергија кај ПСОВ е голем но сепак не е лесно да се изберат вистинските ПИ за споредба бидејќи информациите не се систематизирани и стандардизирани.

4.3.5 Одредување на референтни и оптимални вредности на ПИ за ПСОВ која е предмет на анализа

Целта на горниот преглед е да ни обезбеди база на информации преку која ќе се одредат референтните и оптималните вредности на перформанс индикаторите за било кој случај кој ќе биде предмет на анализа.

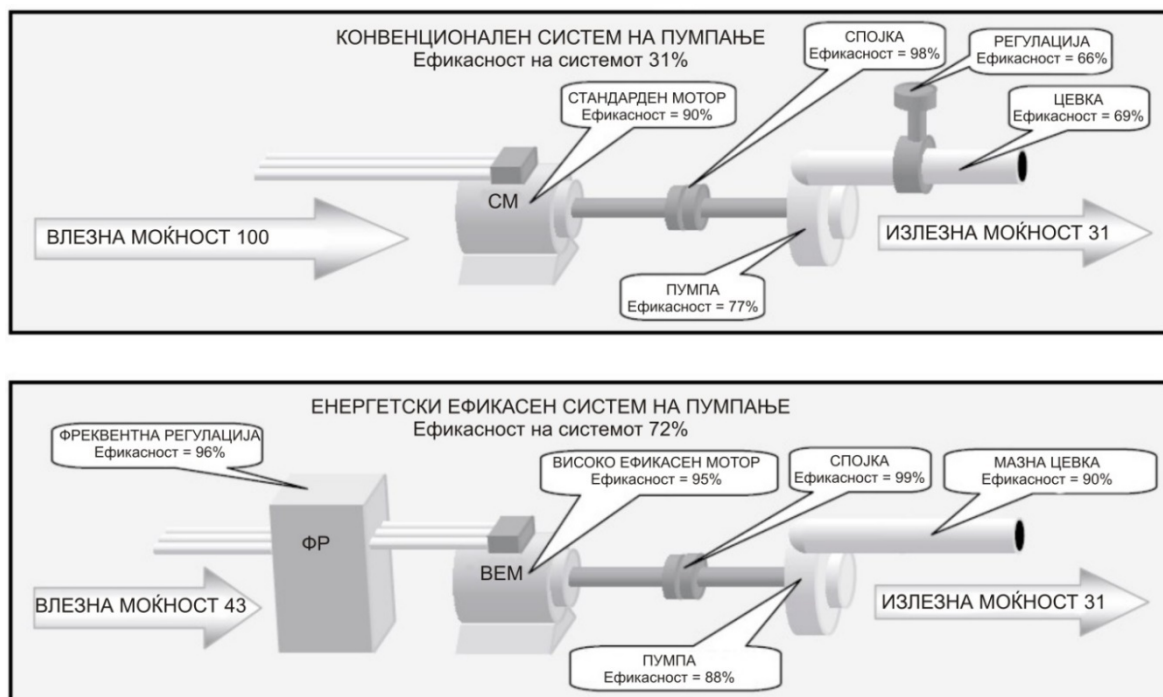
Конкретно во овој труд, определени се референтните и оптималните вредности за повеќе ПИ, преку кои ќе се споредува ефикасноста на работата на ПСОВ Берово[47].

4.4 Идентификување можности за зголемување на енергетската ефикасност и нивна практична примена

После одредувањето на ефикасноста на процесот на пречистување а воедно и енергетската ефикасност на одредена ПСОВ, доколку се утврди дека истата не оперира ефикасно, потребно е да се идентификуваат мерки за зголемување на нејзината ефикасност. Во продолжение ќе бидат наведени повеќе можности за заштеда на енергија во пречистителните станици:

- Употреба на фреквентна регулација на електричните мотори
- Употреба на енергетски ефикасни мотори
- Проектирање и избор на поефикасен систем за аерација
- Автоматско управување со системот
- Когенерација или производство на електрична енергија
- Менаџирање со оптоварувањето на станицата
- Употреба на обновливи извори на енергија
- Оптимизација на работата на станицата

Како воведен пример за можностите за зголемување на ефикасноста на еден систем ќе биде искористен примерот од слика 4.4 на кој е направена споредба помеѓу два системи на пумпање. Едниот е конвенционален систем на пумпање, кој користи стандарден мотор, пумпа со намалена ефикасност, мануелна регулација на протокот со креирање загуби во инсталацијата и рапава цевка.



Слика 4.4: Споредба на ефикасноста на два системи на пумпање а) конвенционален систем, б) енергетски ефикасен систем [50]

Ефикасноста на овој систем, споредувајќи ја излезната со влезната моќност, е само 31%. Во вториот случај на енергетски ефикасен систем, се користи високо ефикасен мотор, пумпа со релативно висока ефикасност, регулација на протокот со фреквентен регулатор и мазна цевка со која ќе се намалат линиските загуби. Ефикасноста на овој систем е 72%, што е двојно повеќе отколку во првиот пример.

Од особен интерес во овој труд е оптимизација на работата на процесот за биолошко пречистување на отпадната вода, односно поконкретно системите за аерација. Поради тоа моделирањето и симулацијата на работата на тој дел од постројката треба да ни овозможи анализа на работата и идентификација на можности за подобрување на работата.

4.5 Моделирање на биолошкиот дел од ПСОВ

Анализата и моделирањето на биолошкиот дел од постројката ќе биде направено според германскиот ATV-DVWK стандард за димензионирање на ПСОВ со активна тиња. ATV-DVWK е германски стандард за димензионирање и изработка на симулациони модели за канализациони и дренажни системи, објекти за третман на отпадна и атмосферска вода и пречистителни станици за отпадни води.

Димензионирањето и изработката на модели за ПСОВ според ATV стандардот се постигнува преку користење на серија равенки базирани на масен баланс на даден систем во стандардни услови и користење на упатства и дефинирани правила кои се базираат на повеќегодишно искуство во проектирање, изградба и оперирање на вакви системи.

За потребите на оваа докторска дисертација се користени следниве ATV стандарди:

- ATV-DVWK-A 131E Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants ќе се користи како основа за анализа и оптимизација на работењето на биолошкиот дел од постројката а воедно и на системите за аерација. Главна цел на моделирањето е намалување на потребата од кислород во биолошкиот реактор, преку модификација на влезните параметри, притоа задржувајќи го истиот или подобрувајќи го квалитет на ефлуентот. Со тоа, би се постигнала оптимизација на работата на системот за аерација, со крајна цел на зголемување на енергетската ефикасност на станицата.[3]
- ATV-DVA 229 Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagenе основен стандард користен за планирање, проектирање и анализа на системите за аерација кар ПСОВ со активна тиња. [51]
- ATV-DVWK-M265E Regulation of oxigen transferwith the Activated sludge proces. Овој стандард е користен при анализата на потребите за кислород при биолошкиот третмен на отпадните води, во однос на загаденоста, температурата, концентрацијата на активна тиња и останати параметри.[52]
- ATV-DVWK-M368E Biological Stabilisation of Sewage Sludge. Овој стандард ја обработува проблематиката околу стабилизација на тињата, кој претставува стандарден дел од една ПСОВ со активна тиња.[53]
- ATW-DWA -M210 Sequencing batch reactors activated sludge plants (SBR plants) кој ќе се користи за анализа и оптимизација на работењето во случај на пренамена на ПСОВ Берово од АБР во СБР технологија. [54]

4.6 Теоретски основиза моделирање на биолошкиот дел од ПСОВ

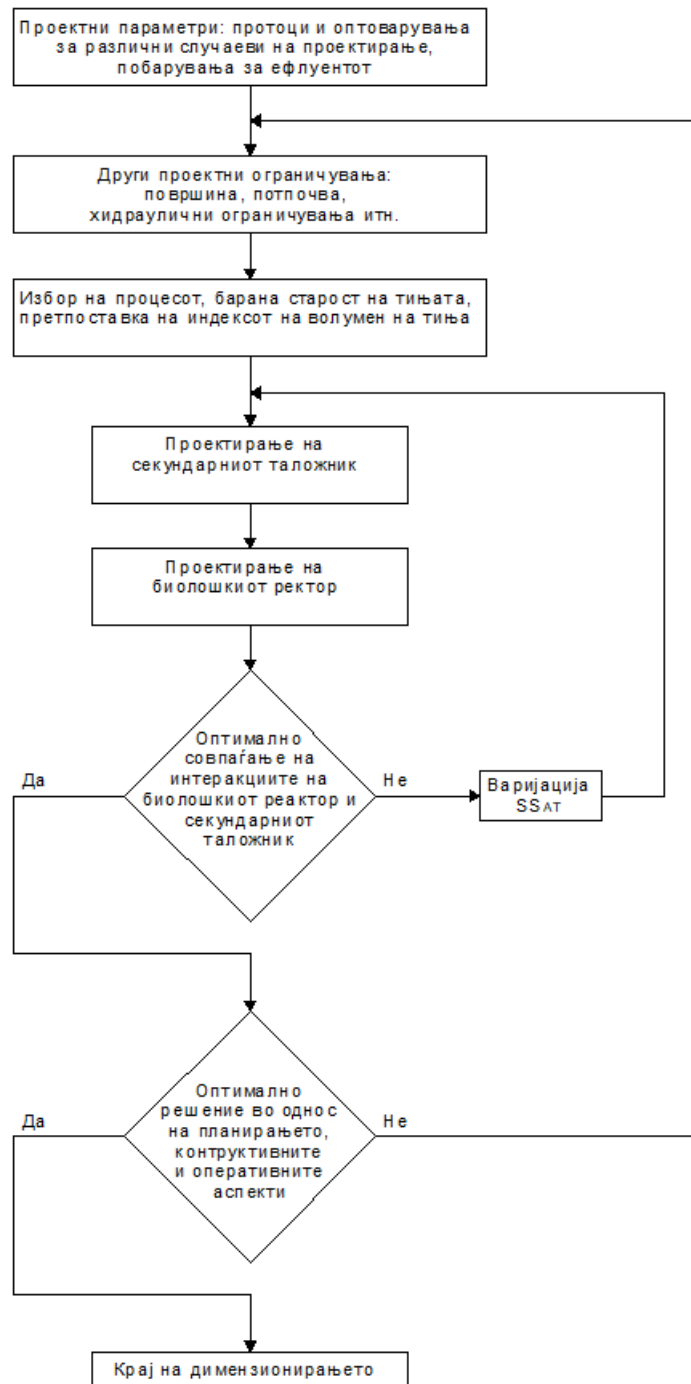
Процесот на пречистување со активна тиња се состои од биолошки реактор (резервоар со активна тиња) во којшто е инсталирана опрема за аерација и секундарен таложник од кој наталожената активна тиња повторно се рециркулира во биолошкиот базен.

Димензионирањето и моделирањето на процес на пречистување со активна тиња е итеративен процес каде голем број на фактори влијаат едне на друг. На следнава слика е прикажан алгоритам кој дава насоки за планирање и димензионирање.

Како најважни параметри при димензионирање на процесот со активна тиња ги издвојуваме следниве параметри:

- Влезните параметри за квалитет и квантитет на отпадната вода (карактеристични протоци и концентрации на загадувачите)
- Староста на тињата (t_{ss}) која претставува време на престој на тињата во биолошкиот реактор е релевантен параметар за димензионирање на биолошкиотреактор.
- Температурата на отпадната вода која е во директна корелација со староста на тињата

- Таложливоста на активната тиња се одредува преку параметарот волуменски индекс на тињата (sludge volume index SVI (l/kg)).
- Овој параметар во комбинација со концентрација на суспендирана материја во билошкот базен (mixed liquor suspended solids concentration SS_{AT} (kg/m³)) влијаат на големината на секундарните таложници и биолошките реактори



Слика 4.5: Димензионирање и моделирање на биолошкиот процесна пречистување со активна тиња[3]

Биолошки реактор

Третманот на активна тиња, ги поставува следните барања од биолошкиот реактор:

- зголемување и одржување на количеството на активна биомаса;
- соодветна концентрација на растворен кислород којби ја задоволил потребата во самиот реактор, како и соодветна контрола на концентрацијата со цел да се задоволат зададените оперативни услови;
- соодветно мешање со цел да се оневозможи седиментација на тињата на дното од реакторот

Прв чекор во изработката на модел за биолошкиот реактор според ATV стандардот е определување на староста на тиња. Димензионирањето на староста на тиња изразено во денови е во зависност од нивото на третманот, температурата, како и големината на ПСОВ. При димензионирање на биолошкиот реактор се земаат средни вредности (температура, големина на постројка), со цел да се добијат релевантни вредности.

Во зависност од големината на станицата, средната температура и типот на пречистување во постројката (со/без нитрификација/остранување на азотот во процесот на стабилизација на тиња), се определува староста на тињата. Во станица без нитрификација, каде биолошкото оптеретување $V_{d,BOD,I}$ е до 1200 kg/d, потребна е староста на тињата од 5 дена, додека во станица со оптеретување над 6.000 kg/d, доволна е старост на тињата од 4 дена.

Table 4.1: Препорачани вредности на староста на тињата во однос на големината на станицата, нивото на третман и температурата[3]

Ниво на третман	Големина на станицата $V_{d,BOD,I}$			
	до 1.200 kg/d		Преку 6.000 kg/d	
Температура	10°C	12°C	10°C	12°C
Без нитрификација	5		5	
Со нитрификација	10	8,2	8	6,6
Со отстранување на вкупен азот				
$V_D/V_{AT} =$				
0.2	12.5	10.3	10.0	8.3
0.3	14.3	11.7	11.4	9.4
0.4	16.7	13.7	13.3	11.0
0.5	20.0	16.4	16.0	13.2
Стабилизација на тињата	25		Не се препорачува	

За изработка на модел во постројка со нитрификација, задржувањето на тиња за потребите на процесот на нитрификација се определува според равенката:

$$t_{ss,aerob,dim} = SF \cdot 1,103^{(15-T)} \text{ (денови)}$$

Вредноста 3.4 се добива како реципрочна вредност од максималната стапка на (нето) раст на амониум оксидантите (*Nitrosomonas*) на 15°C (2.13 дена) и фактор од 1.6.

Користењето на фактор на сигурност (SF) вклучува:

- варијации на максималната стапка на раст предизвикана од дадени супстанции во отпадната вода, варијации во температурата за краток временски период и/или промени во рН вредноста.
- Средната излезна концентрација на амониум.
- Ефектот од варијации на оптеретувањето со азот на влез од станицата, на варијации на азот на излез.

Во постројка со нитрификација и денитрификација, потребната старост на тињата може се одредува преку следнава формула:

$$t_{ss,aerob,dim} = SF \cdot 1,103^{(15-T)} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right)}$$

Потребата од растворен кислород е пресметана според потребата од кислород за отстранување на органското загадување (јаглеродните соединенија) и, доколку е потребно, потребата од нитрификација, како и добивањето на кислород од процесот на денитрификација.

За пресметка на концентрацијата на кислород потребен за отстранување(разградување) на јаглеродните соединенија, со употреба на Хардвиговите коефициенти, се следи следната постапка:

$$OU_{d,c} = B_{d,BOD} \cdot \left(0,56 + \frac{0,15 \cdot t_{ss} \cdot F_T}{1 + 0,17 \cdot t_{ss} \cdot F_T}\right) \quad [kgO_2/d]$$

Во горната равенка, F_T означува температурен фактор. Неговата вредност се пресметува според равенката:

$$F_T = 1,072^{(T-15)}$$

Каде T ($^{\circ}C$) ја означува температурата во биолошкиот реактор/базен за аерација. Од горните формули може да се заклучи дека температурата на отпадната вода во биолошкиот реактор има големо влијание на самиот процес и на потребата за кислород.

За процесот на нитрификација, потребата за кислород е дефинирана како вредност од 4.3 kgO_2 за килограм оксидиран азот, земајќи го предвид метаболизмот на нитрификантите. За процесот на денитрификација се земаат 2.9 kgO_2 за kg денитрифициран азот:

$$OU_{d,N} = Q_d \cdot 4,3 \cdot \frac{S_{NO3,D} - S_{NO3,IAT} + S_{NO3,EST}}{1000} \quad [kgO_2/d]$$

$$OU_{d,D} = Q_d \cdot 2,3 \cdot \frac{S_{NO3,D}}{100} \quad [kgO_2/d]$$

Потребата за кислород за дневни пикови (OU_h) се добива преку:

$$OU_h = \frac{f_c \cdot (OU_{d,c} - OU_{d,D}) + f_N \cdot OU_{d,N}}{24} \left[\frac{kgO_2}{h} \right]$$

Факторот на разложување на јаглеродните соединенија f_c го означува соодносот на стапката на консумација на кислород за отстранување на јаглеродните соединенија во клучните часови на највисока консумација и просечната дневна консумација на кислород. Факторот на разложување на азотните соединенија f_N е еквивалентно на стапката на оптеретувањето со азотни соединенија во двата часа на најголемо оптеретување во текот на 24 часа. Двата коефициенти се определуваат табеларно.

Според степенот на консумација на кислород во процесот на нитрификација кој по правило се случува пред појавата на највисоки вредности за консумација на кислород за разложување на јаглеродните соединенија, потребно е да се извршат две пресметки користејќи на формулата за OU_h : една пресметка во која $f_c = 1$ и определената/земената вредност за f_N , и една во која се вметнуваат вредностите за $f_N = 1$ и определената вредност за f_c . Како конечна вредност се усвојува највисоката вредност за OU_h . За нормални вредности на протокот, f_c и f_N се усвојуваат од зададена табела според ATV стандардот, во однос на времето на задржување на тињата во биолошкиот реактор.

Секундарен таложник

Основни параметри за димензионирање на секундарните таложници се:

- Максимален проток при врнежи $Q_{WW,h}$ (m^3/h),
- Таложливоста на активната тиња се одредува преку параметарот волуменски индекс на тињата (sludge volume index SVI (l/kg)).
- концентрација на суспендирана материја на влез во секундарниот таложник SS_{EAT} (kg/m^3)

Следниве параметри треба да се земат предвид пред димензионирањето на секундарните таложници:

- обликот и димензиите на таложникот
- волумен на просторот за таложење и времето на таложење
- односот на повратна тиња
- начинот на отстранување на наталожената тиња

Следниве правила за димензионирање на секундарните таложници треба да се земат во обзир:

- таложниците да бидат со должини или дијаметри не поголеми од 60 m
- $50 L/kg \leq SVI \leq 200 L/kg$
- $DSV \leq 600 L/m^3$,
- Односот на повратна тиња
 - $Q_{RS} \leq 0.75 \cdot Q_{WW,h}$ (хоризонтални таложници), или
 - $Q_{RS} \leq 1.0 \cdot Q_{WW,h}$ (вертикални таложници),

- Концентрација на суспендирана материја во секундарните таложници како и во биолошките реактори да е SS_{EAT} resp. $SS_{AT} > 1.0 \text{ kg/m}^3$.

Трансфер на кислородот

Вистинското количество на трансфер на кислород во отпадната вода се пресметува со следнава формула[27]:

$$SOTR = \frac{C_{s,20}}{\alpha * \beta * f * \left(C_{s,t} * \frac{p_{atm}}{1013} - C_x \right) * \theta^{T_w-20}} * OU_h$$

5 ТЕХНИЧКИ И ЕНЕРГЕТСКИ ПРЕГЛЕД НА ПСОВ БЕРОВО

5.1 Вовед

Изборот на ПСОВ како студија на случај за овој труд е направена поради:

- Поседување на квалитетна техничка документација за станицата
- Поседување на SCADA преку која се добиваат голем број податоци кои ќе послужат за анализа на работата на станицата
- Работа на станицата подолг временски период (поголем од 5 години) за кој се поседуваат квалитетни податоци
- Зголемување на капацитетот на станицата во 2017 година со приклучување на Пехчево со што се менуваат влезните параметри
- Стручност на операторите на станицата и спремност да бидат инволвирани во процесот на технички и енергетски преглед и имплементација на предложените мерки

5.2 Опис на ПСОВ Берово

ПСОВ Берово е дел од проектот Урбан водоснабдителен и санитарен систем – Берово, кој има за цел проширување на регионалната инфраструктура за водоснабдување во Берово и заштита на течението на реката Брегалница од неконтролирано испуштање на комунални и индустриски отпадни води од агломерациите на Берово и Пехчево.

ПСОВ Берово е сместена во непосредна близина на реката Брегалница во близина на с. Мачево, до вливот на Владимирска река. Отпадната вода од Берово и Пехчево се транспортира по гравитационен пат до ПСОВ, преку главниот колектор кој ги собира отпадните води од општина Берово и Пехчево. После пречистувањето, ефлуентот се испушта во реката Брегалница.

ПСОВ Берово е изградена во периодот 2009-2010 година додека со работа започнува во септември 2010 година. Квалитетот на ефлуентот е во согласност со ЕУ директивата 91/171ЕЕС[20]. Во следната табела се прикажани влезните параметри кои се користени за проектирање на станицата.

Табела 5.1: Влезни проекти параметри за ПСОВ Берово

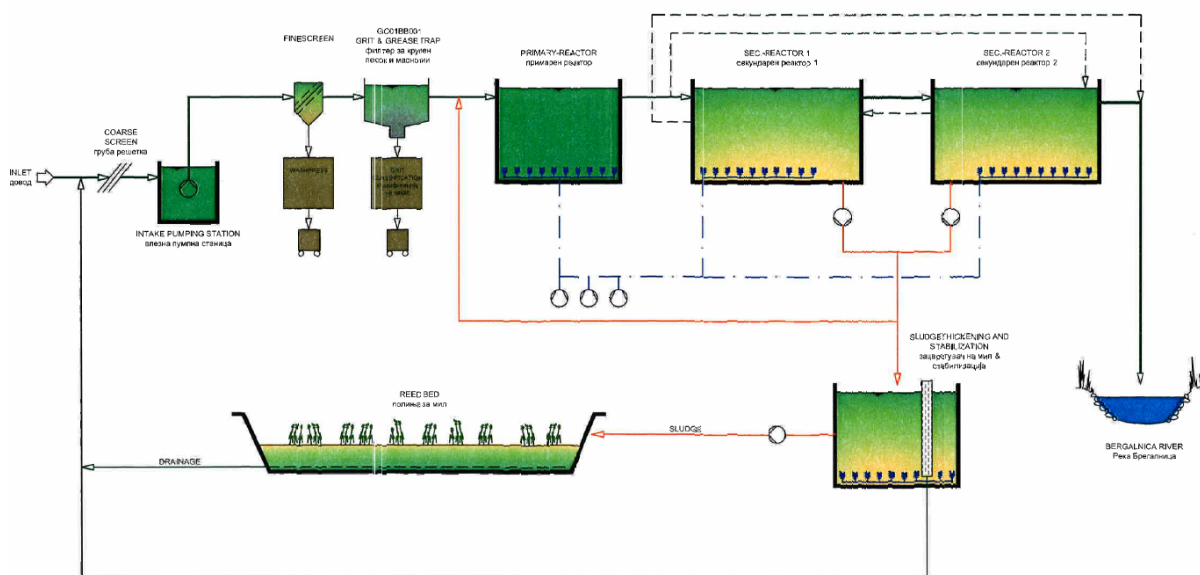
Параметар	Ед. мерка	Вредност / коментар
Проектен хоризонт	Година	2015
Еквивалентни жители	ЕЖ	14.000
Среден дневен проток	m ³ /d	2.860
Ниво на третман		Отстранување на органска материја + нитрификација / делумна денитрификација
ХПК	kg/d	1.680
БПК ₅	kg/d	840

Проектираните влезни протоци и оптоварувањето со загадување се претставени во Анекс 1 од овој труд. Процесите на пречистување што се застапени во ПСОВ Берово се прикажани во следнава табла.

Табела 5.2: Ниво на третман и процеси во ПСОВ Берово

Ниво на третман	Елементи	Оперативни единици и процеси
Прелиминарно	Цврст отпад, масти, масла, суспендирани материи	Груба решетка пред влезна пумпна станица
		Влезна пумпна станица (2 + 1)
		Фина решетка
Секундарно	Отстранување на органските биолошки материи + нитрификација	Аериран песколлов и отстранување на масло
		АБР реактори со 1 примарен и 2 секундарни реактори
		Систем за аерација со фини меури
		Пумпи за рецикулација на тиња (1 +1)
Третман на тиња	Стабилизација на тињата	Резервоар за аеробна стабилизација на тиња Минерализација на тињата на полиња за сушење на тиња

Во ПСОВ Берово се врши секундарен третман со АБР (Alternative Biological Reactor) реактори. Овој процес претставува варијација на процесот SBR (Sequential Batch Reactor) кој оригинално бил предложен за оваа пречистителна станица.



Слика 5.2: Процесна шема на ПСОВ Берово

АБР процесот во оваа станица се состои од три реактори: еден примарен и два секундарни реактори. Системот функционира такашто најпрво во примарниот и во еден од секундарните реактори се врши аерација, додека истовремено во вториот секундарен реактор се врши таложеење. Третманот на отпадни води во постројката следи дефиниран циклус на последователни процеси, поделени во 3 фази. Кога еден циклус на третман ќе биде комплетиран, се врши промена на режимот на работа во секундарните реактори; аерациониот базен станува таложник и обратно. Фазите од третманот се детално објаснети во Анекс 3.

5.3 Подготовка и планирање на енергетскиот преглед

5.3.1 Иницијална посета на објектот

Првата посета на ПСОВ Берово беше направена во 2013 година кога за потребите за изработка на трудот *Quality of the excess sewage sludge from municipal wastewater treatment plants, possibilities for use and disposal in R.Macedonia*[51], беа земени примероци од вишокот активна тиња од сушните полиња. При таа посета на објектот беа добиени иницијални податоци од страна на операторите за процесите на пречистување и работата на станицата. Податоците за работата на станицата беа преземени во табеларна форма.

Во периодот од првата посета до завршетокот на овој труд, беа направени голем број посети на терен со цел што подобро запознавање, мониторинг и анализа на процесите на пречистување.

5.3.2 Собирање на податоци и нивна прелиминарна анализа

Откако беше одлучено дека ПСОВ ќе биде обработена како студија на случај, подготвен е прашалник кој беше доставен до операторите на ПСОВ Берово. Прашалникот е основен алат за собирање на систематски подредени податоци кои се предмет на анализа.

Но во овој случај, операторите ја ставија на располагање целата проектно-техничка документација за станицата и целата база на податоци од SCADA за периодот 2011 – 2018 година. Проектната документација се состои од:

- Студија на изводливост и Идеен проект за водоснабдителен и санитарен систем Берово, ЕВ+Р, 2008 г.[56]
- Основен проект за ПСОВ Берово, Fela и Holinger, 2009 [57]
- Документација на изведена состојба, цртежи, каталози на инсталираната опрема.

5.3.3 Одредување на целите и обемот на енергетскиот преглед

Прелиминарната анализа на добиените податоци и сознанијата од иницијалната посета покажаа дека:

- Квалитетот на ефлуентот е на задоволително ниво но со воочени проблеми кои ќе бидат предмет на анализа;
- На прв поглед не може да се одреди дали целата станица работи енергетски ефикасно поради тоа што се направени одредени модификации во однос на оригинално предвидената технологија на пречистување на вишокот активна тиња;
- Биолошкиот дел од постројката е најголемиот потрошувач на електрична енергија во станицата. Тука се идентификувани два процеси кои се релативно големи потрошувачи: системот за аерација кој во зависност од периодот може за учествува со 55 – 80% од вкупната потрошувачка на електрична енергија и пумпите за повратна тиња кои се помал потрошувач но секако не треба да се занемарат.

Согласно горенаведеното, одредени се целите и обемот на енергетскиот преглед:

- i. Преглед на ефикасноста на процесот од аспект на пречистување на отпадната вода
- ii. Енергетски преглед на ПСОВ Берово со акцент на биолошкиот дел од пречистувањето т.е. системот за аерација
- iii. Одредување мерки за подобрување на ефикасноста на пречистувањето и зголемување на енергетската ефикасност преку модификација на работата на биолошкиот дел од постројката.

5.4 Анализа на работата

Анализа на работењето на ПСОВ Берово ќе биденаправена преку обработка на податоците запишани во базата на податоци на SCADA системот. Анализата на податоци го опфаќа периодот 2011-2018 година. Базата на податоци содржи информации за:

- Квалитет и квантитет на инфлуентот;
- Работа на биолошкиот процес во постројката;
- Квалитет и квантитет на ефлуентот;
- Квантитет на вишок активна тиња;
- Потрошувачка на електрична енергија (вкупна потрошувачка и потрошувачка на енергија за процесот на аерација, како најголем потрошувач)

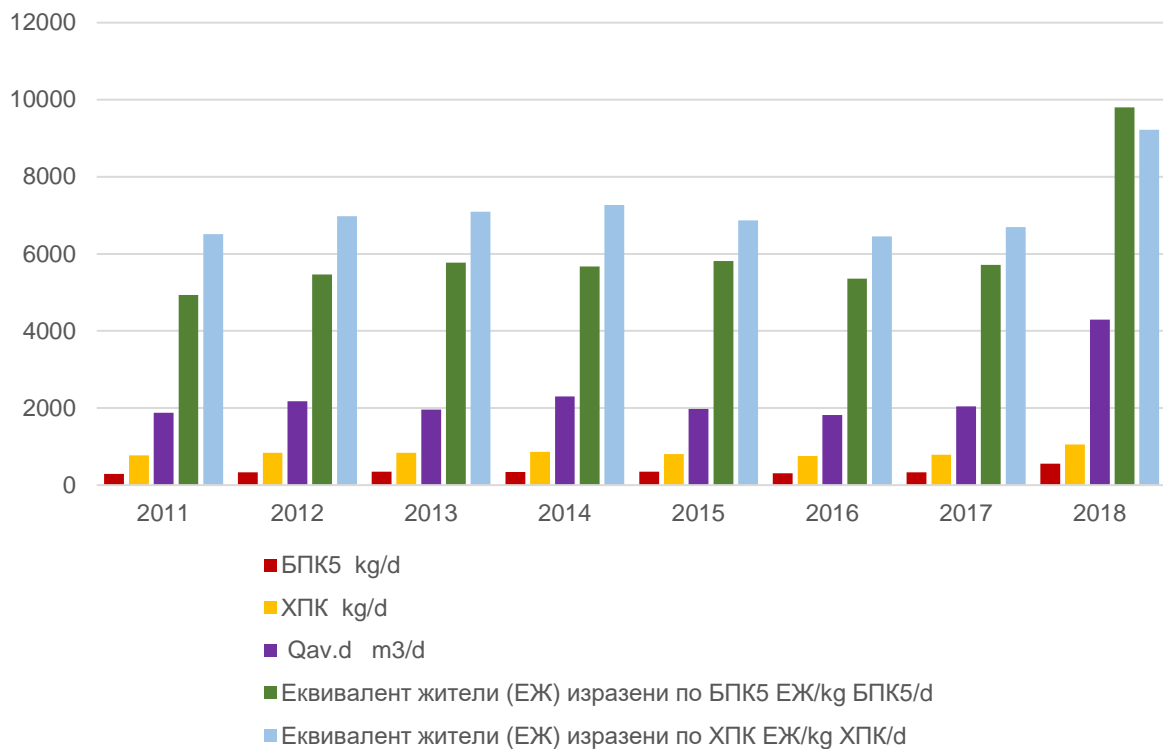
Во прилог ќе биде анализирана работата на станицата преку анализа на низа параметри кои се од примарен интерес при тестирањето на моделот. Дополнително, ќе бидат презентирани недостатоците и проблемите со кои се соочува станицата со цел истите да се надминат.

5.4.1 Квалитет и квантитет на инфлуентот

ПСОВ Берово е проектирана за биолошко оптоварување еквивалентно на 14.000 ЕЖ и за хидраулично оптоварување од 2.860 м³/ден при суво време. Во следната табела се прикажани средните годишни вредности за биолошкото и хидраулично оптоварување во последните 8 години.

Табела 5.3: Средни годишни вредности на $Q_{av,d}$, БПК₅, ХПК, NH₄, ЕЖ(по БПК₅, иХПК) за период 2011 – 2018 г.

Параметри	единица мерка	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
$Q_{av,d}$	m ³ /d	1877	2177	1963	2300	1975	1815	2042	4295
БПК ₅	kg/d	292	330	345	341	348	310	331	560
ХПК	kg/d	776	839	843	865	806	756	789	1059
ЕЖпо БПК ₅	ЕЖ/kg БПК ₅ /d	4934	5469	5772	5677	5817	5361	5714	9801
ЕЖ по ХПК	ЕЖ/kg ХПК/d	6512	6973	7097	7270	6873	6456	6693	9219



Слика 5.1: Средни годишни вредности на $Q_{av,d}$, БПК₅, ХПК, NH₄, ЕЖ(БПК₅, ХПК) за период 2011 – 2018 г.

Веднаш се забележува дека ПСОВ Берово откако е пуштена во употреба, работи со значително помал капацитет отколку проектираниот. Главната причина за

неискористениот проектиран капацитет на станицата е непроширената канализациона мрежа во Берово, како и невклучувањето на отпадните води од општина Пехчево, што како проблем се јавува се до крајот на 2017 година. Поради овој проблем, преземени се мерки за проширување на постоечките канализациони мрежи во двете агломерации. Проширувањето на канализациониот систем и вклучувањето на општина Пехчево е завршено кон крајот на 2017 година, со што ПСОВ Берово го зголемува капацитетот на околу 50%, или на вкупно 9.000 е.ж до максимум 10.000 е.ж.

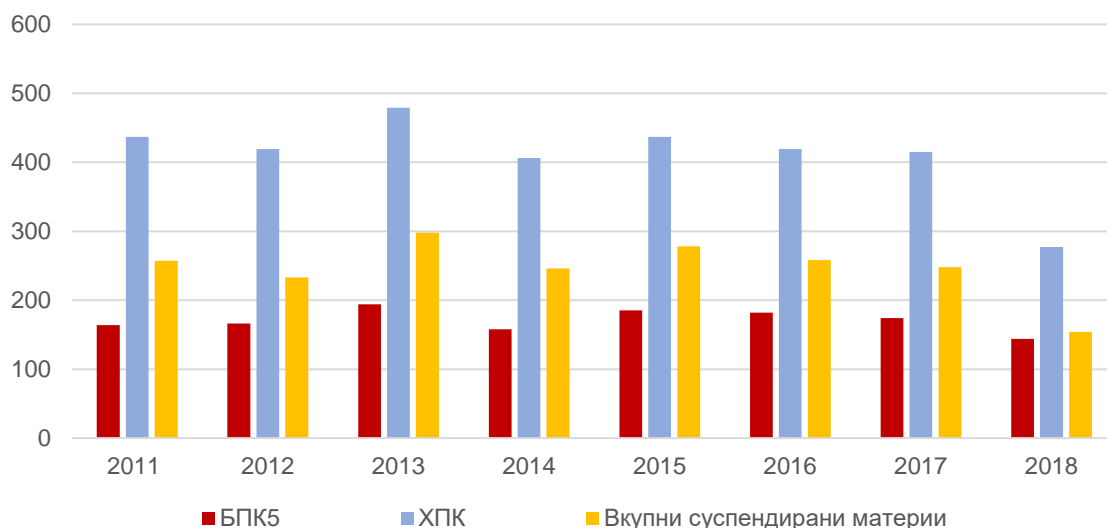
Според средните годишни вредности за концентрација на БПК₅ и ХПК на влезната отпадна вода во ПСОВ Берово за периодот 2011-2018 година, може да се забележи дека истите се значително пониски од референтните вредности согласно литературата. На ова укажува фактот што уште на самиот влез на отпадната вода во станицата, се јавува проблем на разредена ниско оптоварена отпадна вода. При посета и разговор со персоналот на станицата утврдено е дека појавата на разредена вода на влез на станицата е последица на инфилтрација на подземни води, што се јавува како проблем уште од самиот старт на работа на постројката, а станува поизразен со приклучувањето на Пехчево кон крајот на 2017 година.

Табела 5.4: Средни годишни вредности на инфлуент во ПСОВ Берово/ Референтни вредности за инфлуент [58]

Параметар/Година	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Висок	Средн	Ниск
БПК ₅ [mg O ₂ /l]	164	166	194	158	185	182	174	144	560	350	230
ХПК [mg O ₂ /l]	437	419	479	406	437	419	415	277	1200	750	500
N _{tot} [mg/l]	40	-	-	51	-	-	43	-	100	60	30
P _{tot} [mg/l]	7	-	-	-	-	-	5	3	25	15	6
BCM [mg/l]	257	233	298	246	278	258	248	154	600	400	250

Според средните годишни вредности за вкупни суспендирани материи на влезната отпадна вода во ПСОВ Берово, како и за измерените вредности на азот и фосфор за некои од годините во периодот 2011-2018, отпадната вода на влез исто така се класифицира како разредена и ниско оптоварена. Во таа насока, проблемот на разреден инфлуент е делумно воочлив и при анализа на податоците за овие три параметри.

Температурата на инфлуентот е уште еден важен параметар од кој зависи ефикасноста на пречистувањето и тоа најмногу во зимски услови. Од измерените вредности за целиот период од 8 години, температурата се движи во интервал помеѓу 5 – 20°C. Најниските температури се регистрирани во зимскиот период, а исто така во тој период се забележуваат и концентрации на БПК₅ над дозволените граници. Ова покажува дека температурата право пропорционално влијае на ефикасноста на третманот.



Слика 5.2: Средни годишни вредности на инфлуент (БПК₅, ХПК, ВСКМ) (mg/l)

Треба да се забележи дека протокот во пречистителната станица се мери во реално време преку електромагнетен мерач на проток поставен низводно од влезната пумпна станица. Мерачот е од типот PROMAG 50W 2H од фирмата Endress+Hauser.

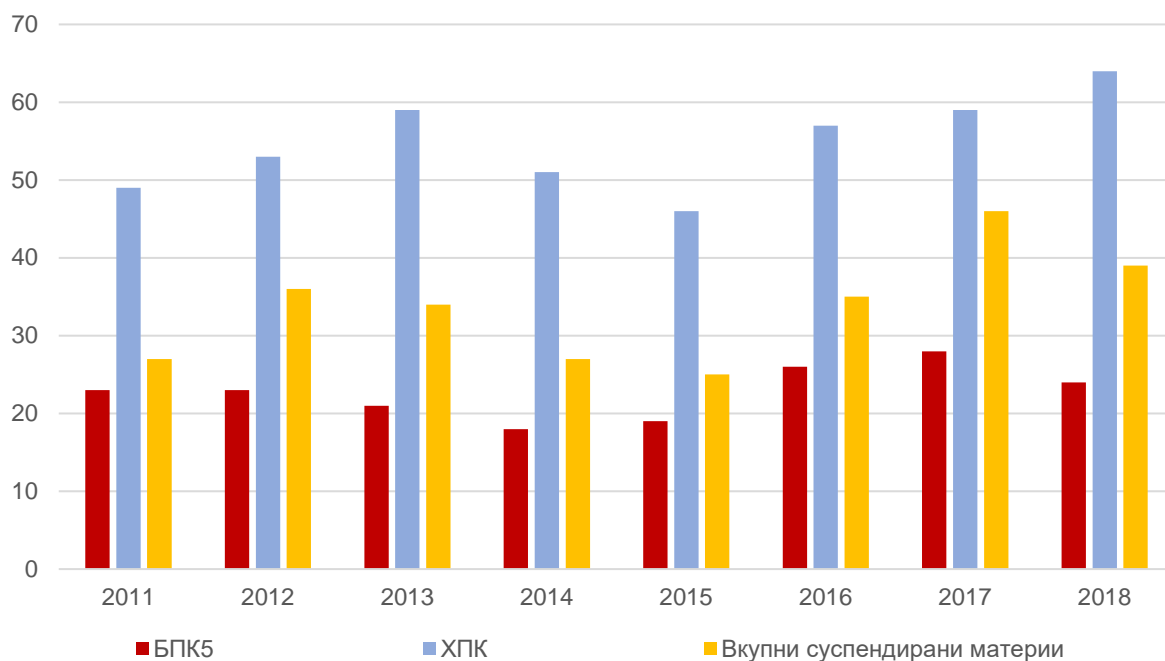
Температурата исто така се мери во реално време во примарниот реактор, преку сонда, производство на фирмата Endress+Hauser.

Одредувањето пак на параметрите за квалитетот на инфлуентот се врши лабораториски врз композитен 24-часовен примерок на отпадната вода.

Методите според кои се вршат лабораториските анализи се стандардизирани. Лабораториските анализи се вршат на неправилни интервали, но најчесто еднаш неделно, во зависност од ресурсите со кои располага лабораторијата.

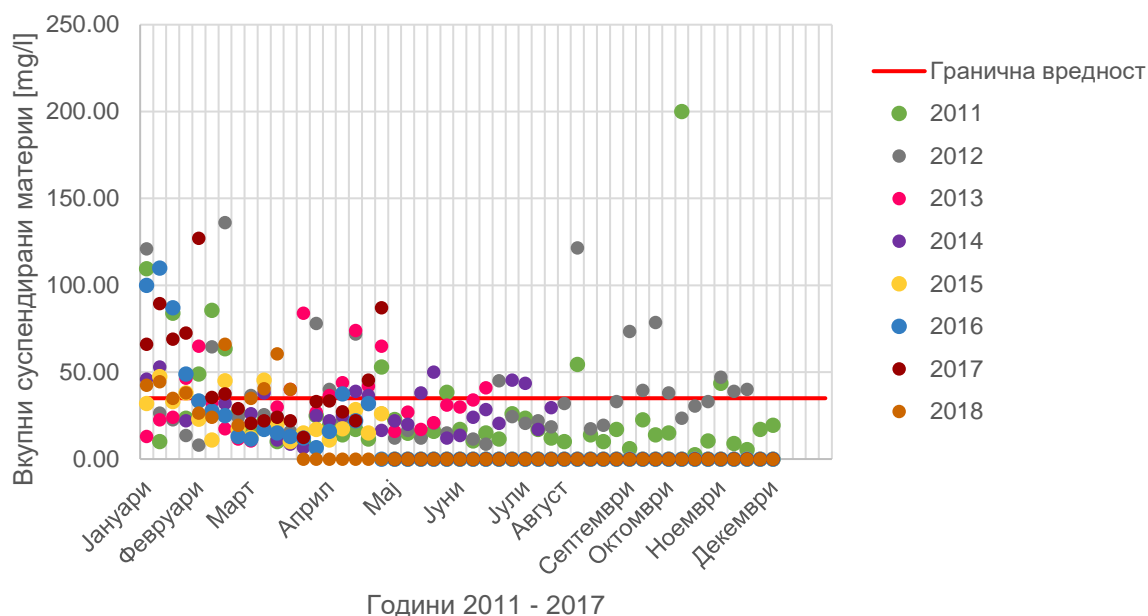
5.4.2 Квалитет на ефлуентот

Квалитетот на ефлуентот не секогаш ги задоволува пропишаните стандарди за испуст на пречистена отпадна вода. Според измерените податоци, средните годишни вредности за БПК₅ се во граница на дозволените вредности, со исклучок на 2016 и 2017 година, каде БПК₅ е за 1 mg/l и 3 mg/l, соодветно, над дозволената вредност за квалитет на ефлуент. Во рамките на ХПК, вкупен азот и фосфор, не се јавуваат отстапувања од опсегот на дозволени вредности според Европската директива 91/271/ЕЕС[20]. Меѓутоа, анализирајќи ги средните годишни вредности за вкупно суспендирани материји во ефлуентот, може да се забележи зголемена концентрација во 2012 и 2017 година. Во 2012 отстапувањето е минимално и изнесува 1 mg/l, но во 2017 тоа изнесува 11 mg/l над дозволената вредност.



Слика 5.3: Средни годишни вредности на ефлуент

Горниот графикон ги претставува само средните годишни вредности за концентрациите на загадувачите во отпадната вода. Сепак, кога податоците ќе се анализираат подетално, се доаѓа до заклучок дека во голем број случаи параметрите се над дозволените граници.

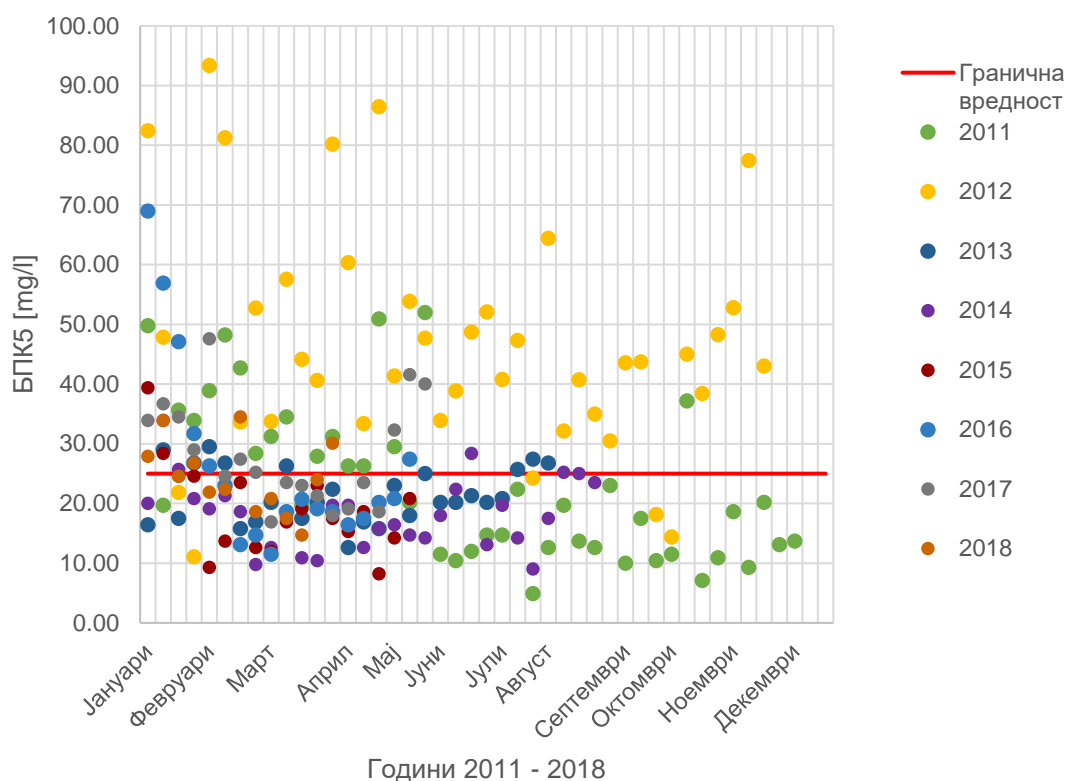


Слика 5.4: Концентрација на вкупни суспендирани материји во ефлуентот за период од 2011 – 2018 година

Најголем проблем се јавува кај концентрацијата на вкупни суспендирани материи, каде 69 анализи од вкупно 227 се над дозволената гранична вредност од 35 mg/l. Ова укажува дека таложливоста на тињата во секундарните таложници не е на задоволително ниво. Овој случај беше забележан и при посетите на ПСОВ Берово.

При анализите на БПК₅, 83 од 200 анализи се над дозволената вредност на ефлуентот од 25 mg/l. Додека ХПК е секогаш под пропишаната гранична вредност. Исто така, очигледен е и проблемот на зголемена концентрација на амониум (NH₄) во зимскиот период.

Проблемите на зголемени концентрации на суспендирана материја, БПК₅ и (NH₄) се јавуваат во исто време, најчесто во зимскиот период кога дотекува релативно поладна вода на влез во станицата, и под 5°C, што укажува на поврзаност помеѓу ефикасноста на пречистувањето и температурата на инфлуентот. Во зимскиот период ефикасноста на редукција на БПК и ВСМ паѓа од 90% на 60%.



Слика 5.5: Концентрација на БПК₅ во ефлуентот за период од 2011 – 2018 г.

Ако ја анализираме ефикасноста на третманот може да се заклучи дека е во границите на прифатливо изразено преку средна годишна вредност. Сепак, од горната анализа останува заклучокот дека многу често концентрациите на БПК₅ и ВСМ се над максимално дозволените концентрации за овие параметри. Исто така, се забележува тенденцијата на опаѓање на ефикасноста на третманот со зголемување на дотокот на отпадна вода во 2018 година. Може да се заклучи дека е потребно подигање на ефикасноста на процесите на третман на отпадните води до оптимално ниво, преку кое

треба да се дефинира и оптималното енергетско ниво кое понатаму ќе се користи за споредување на параметрите.

Табела 5.5: Ефикасност на третманот изразен според (БПК₅, ХПК и ВСМ)

Параметар/ Година	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
БПК₅	86%	86%	89%	89%	90%	86%	84%	83%
ХПК	89%	87%	88%	87%	89%	86%	86%	77%
ВСМ	89%	85%	89%	89%	91%	86%	81%	75%

5.4.3 Анализа на работата на системот за аерација

Како што веќе беше кажано, биолошкиот дел од една пречистителна станица со активна тиња е енергетски најинтензивен дел од процесот. Тука од најголем интерес е мониторингот на процесот на аерација.

Системот за аерација во ПСОВ Берово се состои од следниве елементи:

- 3 дувалки од типот KAESER DB 235с секоја опремена со фреквентен регулатор OMEGA 43 PLUS. Капацитетот на секоја дувалка е $Q_{AIR}=1000 \text{ m}^3/\text{h}=16,7 \text{ m}^3/\text{min}$. Сите дувалки се активни, секоја назначена за секој од трите реактори (еден примарен и два секундарни ректори),
- Дистрибутивен систем изработен од цевки од нерѓосувачки челик
- Мембрански аератори од типот Aerostrip Type Q4 со димензии 200 x 4000 mm и максимален проток од $Q_{aerator}=88 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Аерацијата се одвива во претходно дефинирани интервали - циклуси - а контролата на внесување на кислород се одвива преку мерење на концентрација на растворен кислород во реакторите. Циклусите на работа на биолошкиот дел се претставени во Анекс 3 од овој труд.

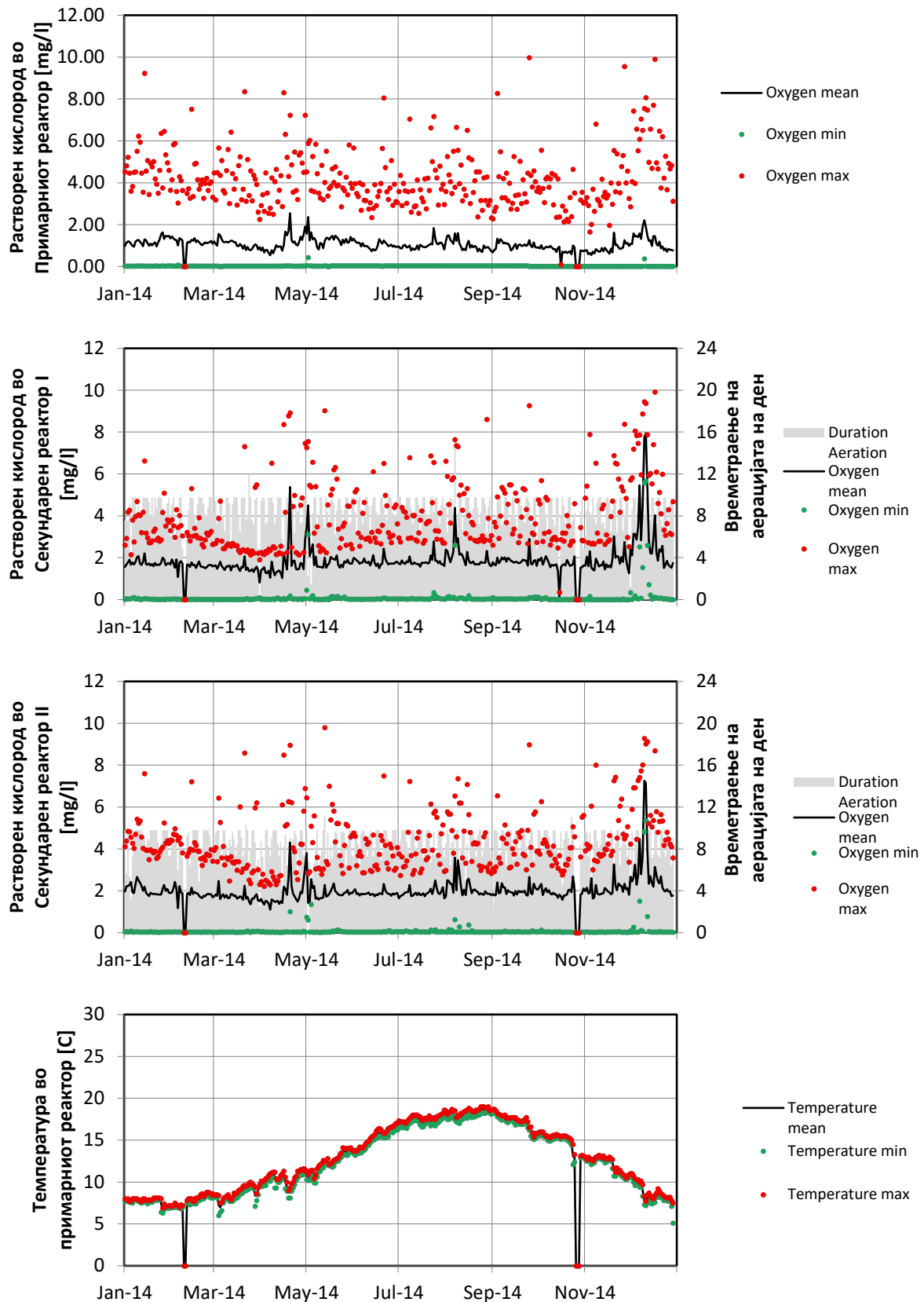
Од графиконите претставени на слика 5.6, кои се за 2014 година, се забележува дека иако средната дневна концентрација на растворен кислород е околу 2 mg/l, сепак се случува да се појават екстремни вредности на дневно ниво кои достигнуваат максимални концентрации и до 10 mg/l во сите три реактори. Ова се должи на предимензионираната опрема за аерација во услови кога ПСОВ работи со мал капацитет и неефикасниот систем за автоматско управување.

Во однос на температурата во примарниот реактор не се забележуваат некои поголеми осцилации во концентрацијата на растворен кислород во реакторите.

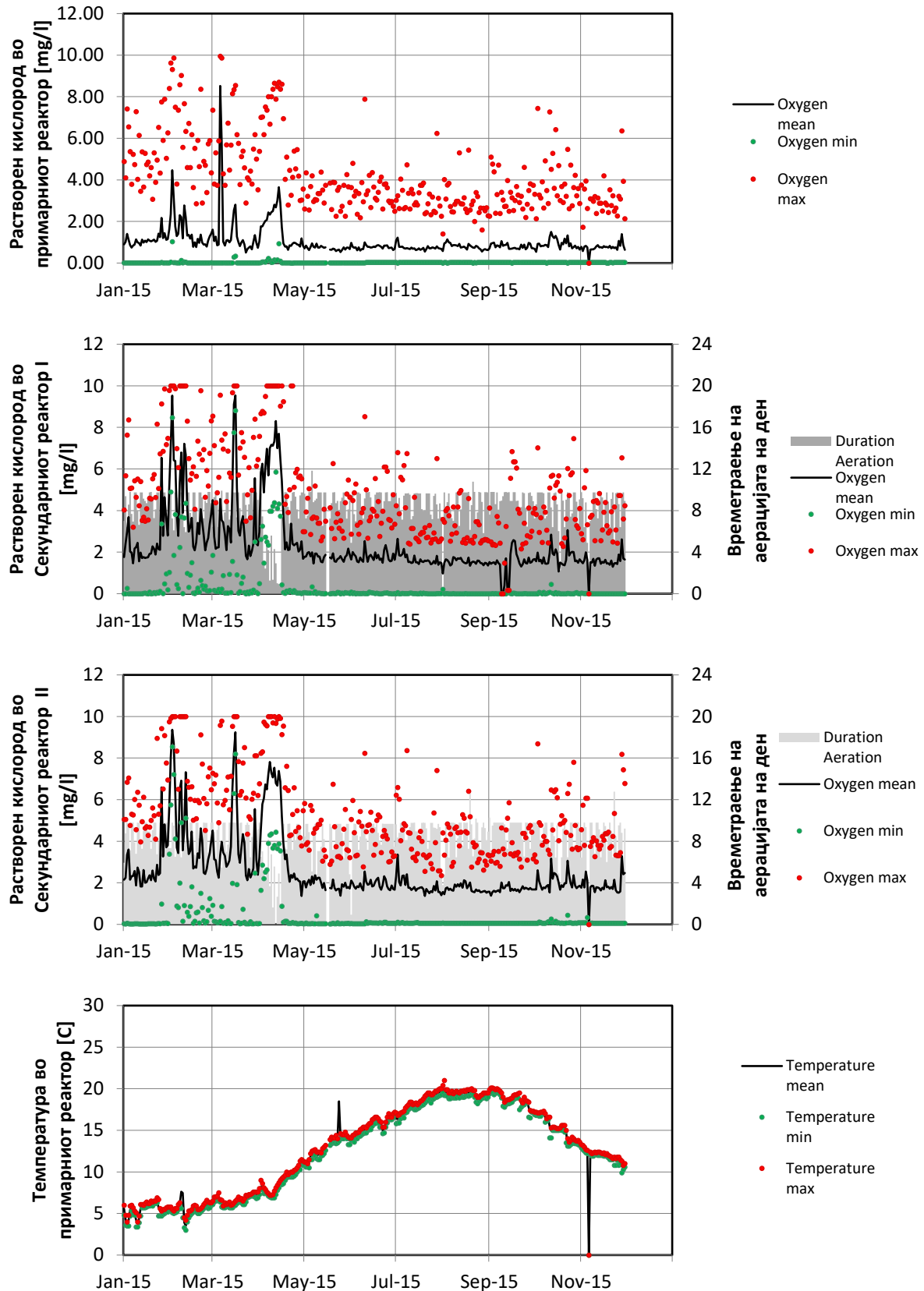
Но сепак темепатурата на водата во зимскиот период е невообичаено ниска што придонесува за намалена ефикасност на третманот.

На слика 5.7 се претставени истите графикони за 2015 година. Оваа година е карактеристична поради тоа што во периодот помеѓу 19.05.2015 до 31.11.2018 е извршено тестирање на случајот кога во биолошкиот третман е намалена концентрацијата на растворен кислород до 1,7 mg/l. Веднаш може да се забележи дека во тој период средната дневна концентрација на растворен кислород е постабилна т.е. нема големи осцилации и екстреми. Резултатите од ова тестирање ќе бидат подетално разгледани во точка 6.2.

Температурата на водата и во овај случај го прати истиот модел.



Слика 5.6: Концентрација на растворен кислород за 2014 г. во а) примарниот реактор, б) секундарен реактор CP1, в) секундарен реактор CP2, температура во примарниот реактор



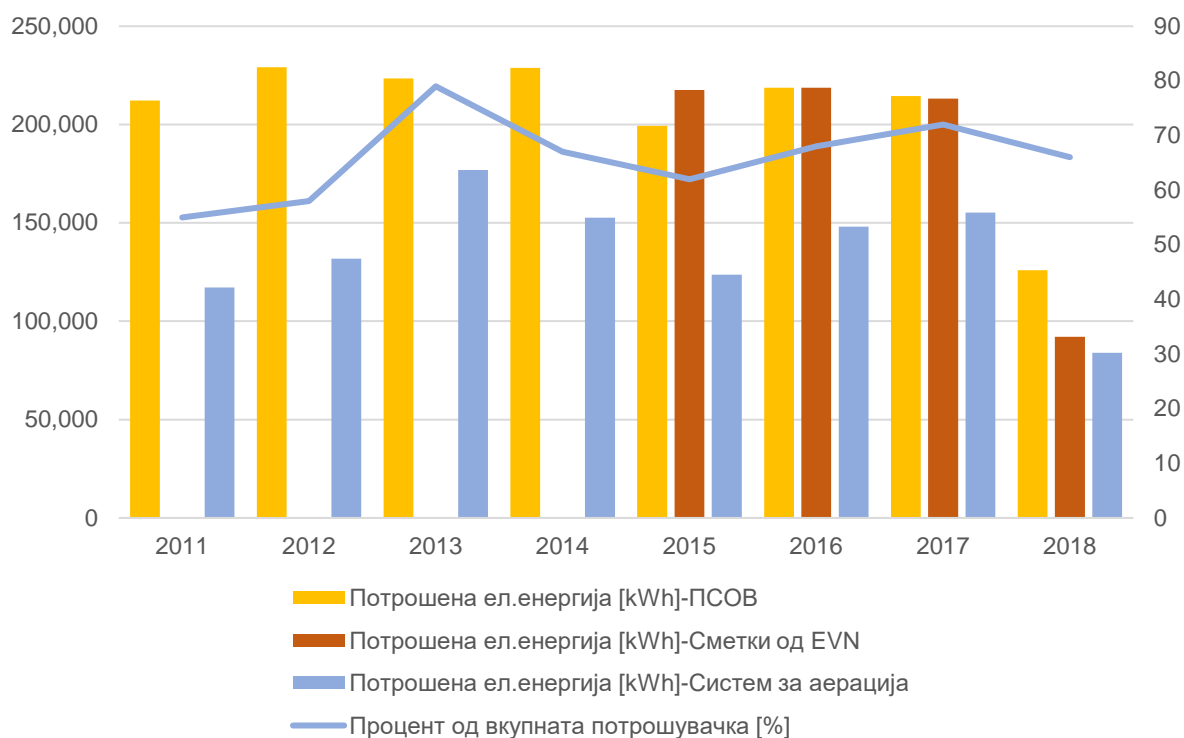
Слика 5.7: Концентрација на растворен кислород за 2015 г. во а) примарниот реактор, б) секундарен реактор CP1, в) секундарен реактор CP2, температура во примарниот реактор

5.4.4 Потрошувачка на електрична енергија

Податоците за потрошувачка на електрична енергија се добиени од SCADA системот што ја регистрира потрошувачката на електрична енергија на целата станица и дополнителноодвоено регистрира потрошувачка на системот за аерација како најголем потрошувач во станицата.

Исто така направена е споредба меѓу добиените сметки за потрошена електрична енергија од ЕВНМакедонијаза 2015, 2016, 2017 и 2018 година и вкупната потрошена електрична енергија за целата ПСОВ отчитана од SCADA, пришто може да се забележи дека се појавува разликаод околу 2 % што е прифатливо ниво на грешка.Поради ова, за овој енергетски преглед е одлучено да не се вршат дополнителни мерења на терен и во понатамошната анализа ќе бидат користени податоците од SCADA поради споредливоста со останатите параметри.

Во овој енергетски преглед ќе се задржиме на процесот на биолошко пречистување со активна тиња. Акцентот ќе биде ставен на системот за аерација како најголем потрошувач на електрична енергија, а тоа може да се види и од табелите во кои се прикажани податоците за потрошената електрична енергија за дадени години.



Слика 5.8: Споредба на вкупната годишна потрошувачка на електрична енергија на целата станица и системот за аерација на ПСОВ Берово во периодот од 2011-2018

Како што е прикажано на графиконот на Слика 5.8, околу 55-80% од вкупната потрошувачка на електрична енергија во ПСОВ Берово отпаѓа на системот за аерација. Во првите три години има тенденција на зголемување на уделот на системот за аерација во вкупната потрошувачка на станицата. Во наредните години уделот на

аерацијата во вкупната потрошувачка има стабилно ниво од околу 65%, освен во 2015 година кога е извршено тестирањето со намалена концентрација на растворен кислород во биолошките базени, што е директна последица. Но во 2015 година има недостаток на податоци во SCADA во период од еден месец шти исто така директно влијае на вкупната потрошувачка за таа година.

Доколку се анализираат добиените податоци за 2013 година може да се види дека системот за аерација потрошил дури 79%, или изразено преку перформанс индикаторите средната потрошувачка на електрична енергија изнесува 0,32 kWh/m³ или 38.7 kWh/ЕЖ. Во 2015 година системот за аерација потрошил 62% од вкупната потрошувачка на системот, или изразено преку перформанс индикаторите средната потрошувачка на електрична енергија изнесува 0,32 kWh/m³ или 34,7kWh/ЕЖ. Во однос на протокот резултатите се исти но во однос на еквивалентните жители перформансите на станицата во 2015 година се подобри. Од тука може да се заклучи дека различни перформанс индикатори даваат различен приказ за ефикасноста на работата на станицата.

Табела 5.6: Специфична потрошувачка на ел.енергија по (kWh/m³) и (kWh/ЕЖ) за целата ПСОВ

Год.	Потрошувачка на ел. енергија (kWh/год)	Вкупен годишен проток (m ³ /год)	Спец. потрошувачка на ел. енергија по (kWh/m ³)	Средна вредност за еквивалентни жители	Спец. потрошувачка по ЕЖ (kWh/ЕЖ)
2011	212.199	684.962	0,315	4934	43.0
2012	229.152	796.702	0,301	5469	41.9
2013	223.430	716.396	0,322	5772	38.7
2014	228.787	839.564	0,279	5677	40.3
2015	199.341	659.735	0,325	5817	34.3
2016	218.720	664.402	0,340	5361	40.8
2017	214.444	745.347	0,298	5714	37.5
2018	126.031	648.554 ^(*)	0.198	9801	31.8

(*) Вредноста е апроксимирана за цела 2018 година

Табела 5.7: Специфична потрошувачка на ел.енергија по (kWh/m³) и (kWh/ЕЖ) за системот за аерација

Год.	Потрошувачка на ел. енергија (kWh/год)	Вкупен годишен проток (m ³ /год)	Спец. потрошувачка на ел. енергија по (kWh/m ³)	Средна вредност за еквивалентни жители	Спец. потрошувачка по ЕЖ (kWh/ЕЖ)
2011	117,214	684,962	0.171	4934	23.756
2012	131,849	796,702	0.165	5469	24.108
2013	176,939	716,396	0.247	5772	30.655
2014	152,719	839,564	0.182	5677	26.901
2015	123,685	659,735	0.187	5817	21.263
2016	148,173	664,402	0.223	5361	27.639
2017	155,256	745,347	0.208	5714	27.171
2018	201,648	648,554 ^(*)	0.311	9801	20.574

(*) Вредноста е апроксимирана за цела 2018 година

Табела 5.8: Специфична потрошувачка на ел.енергија по (kWh/kgБПК₅, kWh/kgХПК)

Год.	Потрошувачка на ел. енергија (kWh/год)	Среден годишен БПК ₅ инфлуент (kg/год.)	Среден годишен БПК ₅ ефлуент (kg/год.)	Потрошувачка на ел. енергија по отстранет БПК ₅ (kWh/kg БПК ₅)	Среден годишен ХПКинфлуент (kg/год.)	Среден годишен ХПКефлуент (kg/год.)	Потрошувачка на ел. енергија по отстранет ХПК (kWh/kg ХПК)
2011	212.199	292	43	2,374	776	91	0,875
2012	229.152	330	46	2,247	839	110	0,890
2013	223.430	345	38	2,071	843	105	0,864
2014	228.787	341	41	2,167	865	113	0,860
2015	199.341	348	39	2,141	806	99	0,894
2016	218.720	310	48	2,617	756	107	0,970
2017	214.444	331	54	2,164	789	114	0,898
2018	126.031	560	114	2,255	1059	289	1,024

5.5 Одредување бенчмаркови и споредба на перформанс индикатори

За да ги споредиме параметрите за специфична потрошувачка на ПСОВ Берово потребно е да одредиме базна т.е. референтна линија на потрошувачка т.е. да одредиме бенчмарк. По дефиниција, поимот бенчмаркинг претставува споредба на процеси и нивни перформанси во однос на најдобрите примери од праксата.

Перформанс индикаторите за специфична потрошувачка на електрична енергија во однос на волумен на пречистена отпадна вода (kWh/m³), по еквивалент жители (kWh/PE) и отстранети загадувачи (kWh/kgБПК₅, kWh/kgХПК) ќе бидат предмет на разгледување за ПСОВ Берово. Сите овие индикатори можат да бидат предмет на анализа поради добриот квалитет на добиените податоци од SCADA системот во ПСОВ Берово.

Преку користената литература за бенчмаркинг студии изработени во другите држави, презентирани во точка 4.3.4 одредени се референтни и оптимални вредности за перформанс индикаторите за ПСОВ Берово.

Табела 5.9: Референтни и оптимални вредности за специфична потрошувачка на електрична енергија во ПСОВ Берово.

	kWh/m ³	kWh/ЕЖ _{ПСОВ} *Г	kWh/ЕЖ _{АЕР} *Г	kWh/БПК ₅	kWh/ХПК
Референтна	0,50	35	18	2 - 10	1,8
Оптимална	0,25	20	10	1,5	1

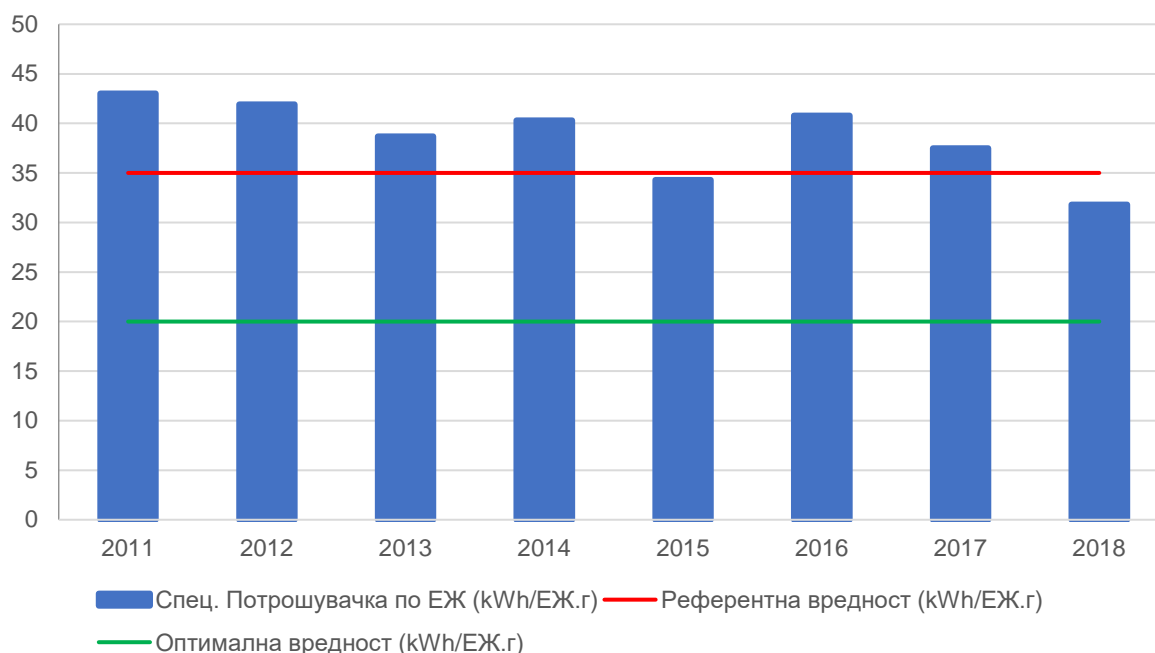
Одредувањето на специфичната потрошувачка на ПСОВ Берово е направена на следниов начин:

- Извршена е анализа на проектнo-техничката документација која предвидува одредена базна потрошувачка
- Извршена е анализа на работата на потрошувачката на електрична енергија во вистински оперативни услови

Согласно основниот проект за изградба на ПСОВ Берово потребната годишна количина на електрична енергија изнесува 720.000 kWh/годишно. Оваа пресметка се базира на проектните податоци за конечниот капацитет на станицата од 14.000 ЕЖ, како што се претставени во Анекс 1. Предвидувањата на изведувачот е дека ПСОВ Берово треба да има специфична потрошувачка од 51.5 kWh/ЕЖгодишно. Тука треба да се нагласи дека во пресметката се влезени и трошоците за аеробна стабилизација на тињата, но тој дел од постројката не е изведен и поради тоа специфичната потрошувачка на станицата е помала.

Сличен ваков податок се добива од Идејниот проект за ПСОВ Берово во кој се предвидува изградба на станицата со SBR технологија, исто така со аеробна стабилизација на тињата, каде вкупната потрошувачка е проценета на 420.000 kWh/годишно, а специфичната потрошувачка е проценета на 30 kWh/ЕЖ.г.

Специфичната потрошувачка на електрична енергија по ЕЖ пресметана како количник од вкупната годишна потрошувачка и средната вредност на ЕЖ во текот на годината изнесува околу 40 kWh/ЕЖ.г, освен за 2015 година поради прекин во отчитувањето на податоците и извршеното тестирање со намалување на концентрацијата на растворен кислород во биолошките реактори Оваа вредност е помеѓу двете горни вредности предвидени преку проектната документација. Споредено со најдобрите примери од праксата, има простор за зголемување на ефикасноста.



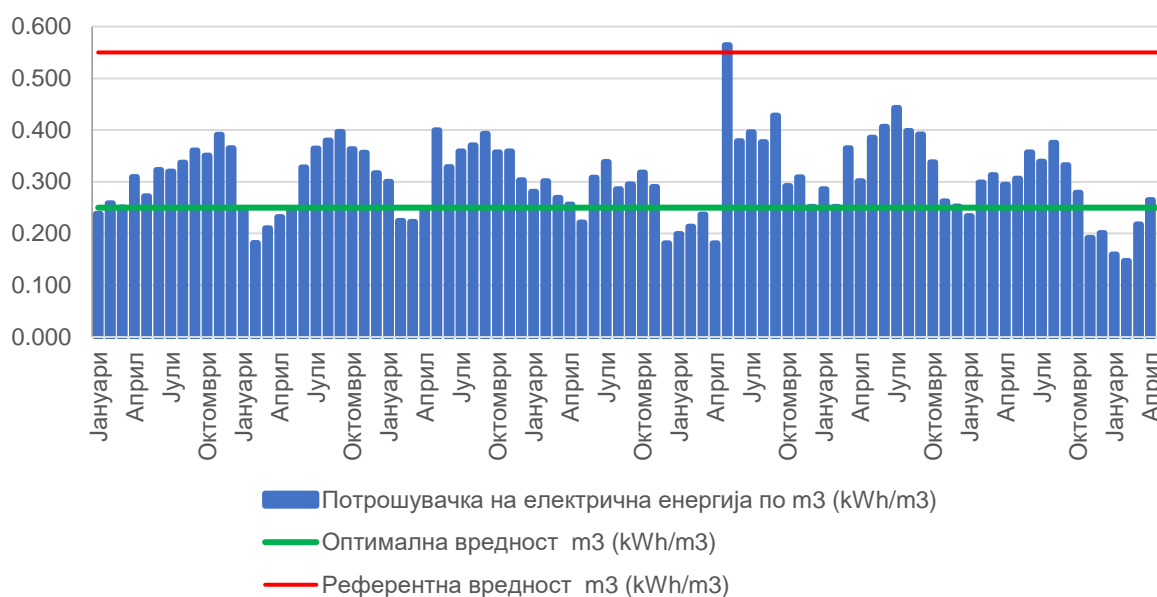
Слика 5.9: Специфична потрошувачка на електрична енергија по ЕЖ.г за целата ПСОВза периодот 2011-2018

Истиот заклучок може да се извлече преку споредбата на специфичната потрошувачка на електрична енергија само за системот за аерација изразен преку $\text{kWh}_{\text{АЕР}}/\text{ЕЖ.г}$. Исто така 2015 година покажува најдобри резултати од истите причини објаснети погоре.

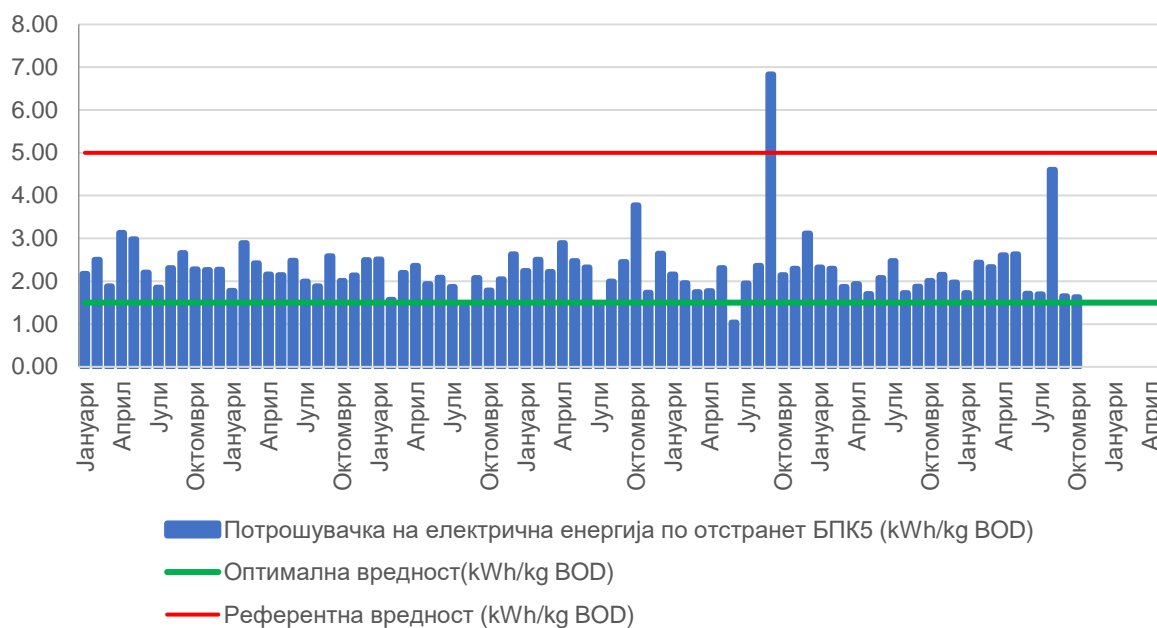


Слика 5.10: Специфична потрошувачка на електрична енергија по ЕЖ.г за системот за аерација за периодот 2011-2018

Како што може да се забележи од сликата 5.11 потрошувачката на електрична енергија по волумен пречистена вода за ПСОВ Берово е во интервалот помеѓу референтната и оптималната вредност.

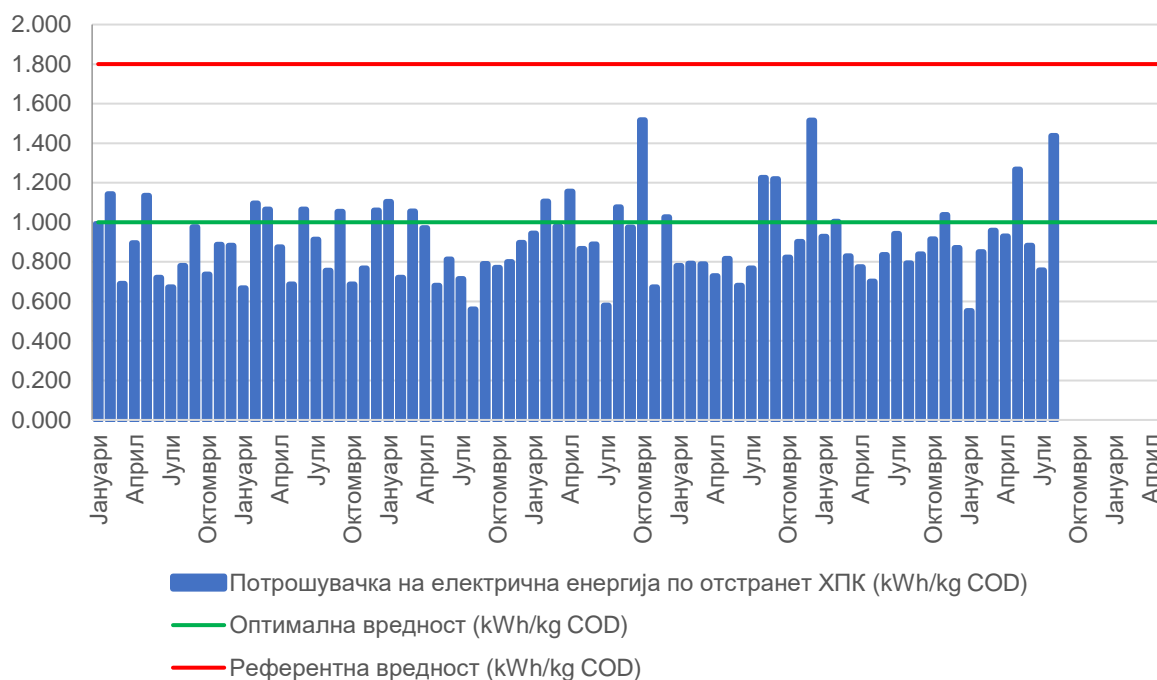


Слика 5.11: Потрошувачка на електрична енергија по волумен пречистена вода за периодот 2011-2018



Слика 5.12: Потрошувачка на ел. енергија по отстранет БПК₅ за периодот 2011-2018

Исто така, потрошувачката на електрична енергија по отстранет БПК и по отстранет ХПК се наоѓаат во интервалот помеѓу референтната и оптималната вредност на перформанс индикаторите.



Слика 5.13: Потрошувачка на ел. енергија по отстранет ХПК за периодот 2011-2018

5.6 Моделирање и калибрирање на моделот

Направено е статичко моделирање (steady state model) на ПСОВ Берово во однос на проектните параметри т.е. за максималниот капацитет на станицата. Резултатите од моделот се презентирани во Анекс 2.

Ова се следните карактеристики на моделот во однос на применетата технологија на пречистување во ПСОВ Берово:

- Со изработката на моделот потврдени се волумените на резервоарите од биолошкиот третман во споредба на проектните вредности – Анекс 2.1.
- Избраната технологија АБР екомбинација на процес со активна тиња со пред-аноксична зона наменета за денитрификација и SBR технологија. Големината на резервоарите е таква да може да овозможи и биолошко отстранување на нутриентите, но не и фосфорот кој и не е доволно застапен во инфлуентот
- Моделот е изработен за проектна температура од $t = 12^{\circ}\text{C}$, што не е случај кај ПСОВ Берово во зимскиот период. Ќе биде потребно калибрирање на процесот за пониски температури, но нема доволно искуство во литературата кое дава насоки за димензионирање за температури под $t = 10^{\circ}\text{C}$
- Моделот е изработен за случај каде вишокот активна тиња е потребно дополнително аеробно да се стабилизира во резервоарот за третман на тиња. Иако системот за аерација во тој резервоар не е инсталиран, на овој начин се поставува базичното сценариоза кое треба да ја споредиме специфичната потрошувачка на електрична енергија.
- Нема дезинфекција на ефлуентот во ПСОВ Берово, што е уште еден процес кој недостасува во билансот на потрошена енергија.

Истиот модел е калибриран во однос на работните услови на станицата и тоа за два случаи – Анекс 2.2:

- При работни услови на станицата во зимски услови кога температурата на инфлуентот е значително намалена $t = 10^{\circ}\text{C}$ и е под проектната температура, но и при работни услови во летен период $t = 20^{\circ}\text{C}$.
- При зголемен доток во станицата и намалени концентрации на загадувачите

5.7 Анализа на резултатите и заклучоци

Од анализа на мерените параметри за периодот 2011-2018 година, како и од разговорите со персоналот за време на посетите на ПСОВ Берово, идентификувани се одредени проблеми поврзани со процесот на пречистување. Овие сознанија поткрепени со анализата направена преку споредба на перформанс индикаторите помогнаа да се изведат следните заклучоци.

Од анализата на ефикасноста на третманот и споредба на перформанс индикаторите може да се изведат следниве заклучоци:

- На влез во ПСОВ Берово дотекува разредена отпадна вода;
- Недоволна ефикасност на третманот и недоволен квалитет на ефлуентот (БПК, ВСМ и вкупен азот над дозволемиот максимум) во зимските периоди од годината што е последица од намалената температура и зголемениот проток;
- Нецелосна седиментација во секундарните реакторикако последица на зголемена концентрација на активна тиња во биолошките реактории периодична појава на пливачка тиња;
- Сегашниот капацитетот на станицата е околу 10.000 ЕЖ и тој капацитет на станицата се очекува да биде и оптимален во наредниот период. Не се очекува ПСОВ Берово да го достигне својот проектиран капацитет од 14.000 ЕЖ поради трендот на депопулација во Р.Македонија.

Споредбата на специфичната потрошувачка на електрична енергија е направена според 4 перформанс индикатори. Изборот на ПИ е направен врз база на податоците кои се мерат и регистрираат во ПСОВ Берово т.е. податоците кои се расположиви. ПИ (kWh/m^3) може да се пресмета на дневно ниво и поради тоа дава прецизни податоци при споредување на ПИ. Но од друга страна, негативна страна на овој ПИ што во себе не го содржи факторот на ефикасноста на третманот. Преку ПИ (kWh/ЕЖ) се добива целосна слика за работата на станицата, но пресметката на овој ПИ се одвива со одредена доза на грешка. Прво, бројот на ЕЖ може да се пресмета преку БПК₅, ХПК, ТН или ТР и во сите случаи да се добијат различни вредности. Второ, пресметката на ЕЖ се одвива само за оние денови во кои се правени анализи на инфлуентот и ефлуентот, кои во ПСОВ Берово се прават периодично.

ПИ (kWh/kgБПК) и (kWh/kgХПК) даваат слика за ефикасноста на третманот но исто како и кај пресметката на ЕЖ можат да се воспостават само за оние денови во кои се правени анализи на инфлуентот и ефлуентот, а во периодот помеѓу 2011 – 2017 година направени се само околу 200 анализи или во просек на секои 10 дена.

Воведувањето на универзален параметар или комбинација на неколку параметри во еден беше предмет на разгледување, но идејата не е усвоена бидејќи не постојат вредности, бенчмаркови, со кои би можело да се изврши споредување.

Од анализа на потрошувачката на електрична енергија и споредбата на перформанс индикаторите може да се изведат следниве заклучоци:

- Специфичната потрошувачка по параметрот kWh/m^3 се движи во интервалот 0.2 - 0.4 kWh/m^3 т.е. помеѓу референтната и оптималната вредност. Она што е важно да се напомене е дека потрошувачката осцилира во зависност од периодот во годината. Во зимскиот период кога температурата е пониска и дотокот е релативно поголем, специфичната потрошувачка по m^3 е најниска, и обратно во летниот сув период. Намалувањето на специфичната потрошувачка станува поизразена во 2018 година кога е приклучено и Пехчево, зголемен е дотокот но и нивото на инфилтрација.

- Специфичната потрошувачка по индикаторот kWh/ЕЖ.годишно се движи помеѓу 35 – 45 kWh/ЕЖ.г. Тоа е очекувана потрошувачка кога системот би имал и аеробна стабилизација на тињата, што во моментов не е случај. Според индикаторот kWh/ЕЖ.г постои голем простор за зголемување на енергетската ефикасност на станицата и тоа директно преку оптимизирање на системот за аерација.
- Средната специфична потрошувачка од 2 kWh/kgБПКе забележана низ периодот на работа на станицата со екстрими кои достигнуваат 4 kWh/kgБПК, а во ретки случаи и до 7 kWh/kgБПК. Земајќи предвид дека во ПСОВ нема инсталиран систем за аеробна стабилизација на тињата ова е прифатлива потрошувачка каде има место за значајно намалување
- Средната специфична потрошувачка од 1kWh/kgХПКе забележана низ периодот на работа на станицата со екстрими кои достигнуваат 1.6kWh/kgХПК. Земајќи предвид дека во ПСОВ нема инсталиран систем за аеробна стабилизација на тињата ова е прифатлива потрошувачка каде има место за значајно намалување
- 55-80% од вкупната потрошувачка на електрична енергија во ПСОВ Берово отпаѓа на системот за аерација. Уделот на системот за аерација во вкупната потрошувачка на станицата во текот на годините е стабилизан на ниво од околу 65%.
- Една од главните забелешки кај ПСОВ Берово е тоа што системот за аеробна стабилизација на вишокот активна тиња никогаш не бил инсталиран. Според калибрираниот модел (Анекс 2.2) потребата за кислород за аеробна стабилизација на тињата е $OU_{h,Ass} = 22,9[\text{kgO}_2/\text{h}]$, или потреба за воздух од $Q_{\text{дувалка}} = 508\text{Nm}^3/\text{h}$. Според избраната опрема, дувалката која го опслужува примарниот реактор би требало во исто време да обезбеди воздух и за аеробна стабилизација. При континуирана аерација за стабилизација на тињата во времетраење од 20h/d, системот за аерација е проценето дека ќе троши околу 90 kWh повеќе од сегашната потрошувачка на дневно ниво или зголемување на вкупната потрошувачка помеѓу 10-20%. На овој начин се поставува базичното енергетско сценарио на станицата а со тоа би се зголемиле и вредностите на сите енергетски перформанс индикатори и ситуацијата станува уште понеповолна посматрана од енергетски аспект.

Генералниот заклучок е дека првенствено е потребно да се зголеми ефикасноста на третманот на отпадната вода во зимскиот период, а потоа да се зголеми и енергетската ефикасност на постројката. Во следното поглавје ќе бидат презентирани мерки за постигнување на овие цели.

6 ПРЕДЛОГ МЕРКИ ЗА ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕФИКАСНОСТА НА СТАНИЦАТА

Ова поглавје содржи опис на предвидените мерки за зголемување на ефикасноста на третманот и енергетската ефикасност на ПСОВ Берово. Мерките се предложени како резултат на анализата на работата на ПСОВ Берово и утврдување на тековните недостатоци и проблеми, и преку извршеното моделирање и модификација на технолошкиот процес. Разгледувани се следниве мерки:

- i. Промена на староста на тињата во услови на ниска температура на отпадната вода и воведување на систем за аеробна стабилизација на тињата
- ii. Промена на режимот на аерација во периоди со низок доток на инфлуентот, т.е. во интервалот помеѓу 22.00 – 06.00 h
- iii. Воведување на испрекината аерација и миксери во аерационите базени
- iv. Пренамена на технологијата во СБР (Sequential Batch Rector)
- v. Предлог за останати можни мерки.

6.1 Промена на староста на тињата

Староста на тињата (t_{ss}) е еден од најважните параметри при димензионирањето, работата и контролата на процесите на пречистување на отпадна вода со активна тиња. Генерално правило е дека со зголемување на староста на тињата се зголемува и квалитетот на ефлуентот. Во таков случај, потребно е да се зголеми концентрацијата на суспендирана материја ($MLSS$ или SS_{AT}) т.е. на активна тиња во реакторите. Но, при зголемување на концентрацијата на суспендирана материја се зголемува и специфичната потрошувачка на електрична енергија заради зголемената потреба за кислород.

Во зимските периоди кога во ПСОВ Берово температурата на водата паѓа под $10^{\circ}C$ потребно е да се зголеми староста на тињата за да може да се постигне саканиот квалитет на ефлуентот. Оваа мерка е тестирана во ПСОВ Берово каде во зимскиот период староста на тињата се одржува околу и над $t_{ss}=25$ дена, што претставува услов за аеробна стабилизација на тињата, додека во летните месеци тенденцијата е староста на тињата да се одржува околу $t_{ss}=10$ дена, што е доволен услов за отстранување на органска материја и нитрификација. Зголемувањето на староста на тињата се регулира преку отстранувањето на уделот на вишок тиња во реакторите. Овој процес не е автоматизиран туку е управуван од операторите на станицата.

Но сепак, ваквиот начин на работа покажува дека ефектите не се постигнати бидејќи, како што се гледа од анализата на параметрите, многу често се случува BOD_5 , BPK_5 и вкупниот азот да се над дозволените вредности. Од друга страна, не се отчитува зголемена потрошувачка на електрична енергија кај системот за аерација во истиот период. Туку напротив, може да се изведе заклучок дека потрошувачката на електрична енергија повеќе зависи од температурата на флуидот отколку од процесните услови.

Една од причините за неефикасноста на третманот е неусогласеност на концентрација на суспендирана материја во биолошките реактори и во секундарните таложници (кои во ПСОВ Берово во одреден период се истите објекти) со потребите на процесот. Според калибрираниот модел за 10.000 ЕЖ, за потребите на процесот со продолжена аерација и старост на тињата од $t_{ss}=25d$, сегашниот волумен на биолошкиот базен е доволен за да се постигне бараната концентрација на суспендирана материја, која зависи од температурата, треба да е во опсегот помеѓу $MLSS= 7.000 - 8.000 \text{ mg/l}$. Преку SCADA се отчитуваат вредности на истиот параметар од околу $MLSS= 4.000 - 5.000 \text{ mg/l}$ што е недоволно за комплетирање на процесот на продолжена аерација во услови кога процесот работи со $tss = 25 d$.

Вториот регистриран проблем при работа на процесот на $MLSS > 4.000 \text{ mg/l}$ е проблеми со таложењето во секундарниот таложник. Според дизајнот на секундарните таложници кои имаат површина од 300 m^2 , ПСОВ Берово е направена да работи со $MLSS = 2.000 - 4.000 \text{ g/l}$. За поголеми вредности на $MLSS$ ќе биде потребно и пропорционално зголемување на површината на таложниците. Од тука произлегуваат проблемите со таложење во зимски услови кога се појавува зголемена концентрација на ВСМ во ефлуентот, а очекувано и зголемена концентрација на БПК₅. Заклучок е дека во овие услови со лимитиран волумен на биолошките базени, многу е тешко да се воспостави процес на продолжена аерација со аеробна стабилизација на тињата.

Согласно калибрираниот модел, потребите за кислород се следни:

Табела 6.1: Потребна за кислород при различни температури и старост на активната тиња

	$OU_{h,AT} [\text{kgO}_2/\text{h}]$ @ $T=10^\circ\text{C}$	$OU_{h,AT} [\text{kgO}_2/\text{h}]$ @ $T=12^\circ\text{C}$	$OU_{h,AT} [\text{kgO}_2/\text{h}]$ @ $T=20^\circ\text{C}$	$OU_{h,ASS} [\text{kgO}_2/\text{h}]$ @ $T=12^\circ\text{C}$
Tss=5 d	28.1	29.1	32.8	22.9
Tss=10 d	39.9	40.7	44.0	20.8
Tss=25 d	45.1	45.7	48.1	/

Предложената мерка Бр.1 е:

Контролирано управување на староста на тињата и обезбедување на процесни услови за нитрификација со $tss = 10 d$ и воведување на систем за аеробна стабилизација на тињата. Потребно е да се направат следните модификации:

- i. Инсталирање на дистрибутивен систем за аерација во резервоарот за стабилизација на тињата. Дистрибутивниот систем ќе биде поврзан на дувалката која е дизајнирана за примарниот таложник. Овој систем е претходно предвиден со проектната документација, но не е изведен. Аеробната стабилизација на тињата ќе се одвива 20 часови на ден, а останатите 2 часа тињата ќе се меша преку потопниот миксер кој е веќе инсталиран во резервоарот. Преку континуираната работа на дувалката ќе се зголеми потрошувачката на електрична енергија за проценета вредност од 90 kWh на ден.

- ii. Во зимски услови, сегашниот примарен таложник е потребно да стане дел од биолошкиот базен и треба да биде континуирано аериран, за што ќе биде потребна додатна енергија од 45 kWh на ден. Во летниот период, во зависност од оптоварувањето, примарниот таложник би требало да биде аноксичен реактор наменет за денитрификација, а за да се постигне такво нешто потребна е инсталација на миксер кој ќе врши комплетно промешување на течноста и суспендираната материја во отсуство на аерација. Избран е миксер од фирмата WIL0 тип TRE 90-2.14-6/16-E4 со инсталирана моќност од 1.7 kW. Енергијата потребна за целосно промешување на флуидот изнесува 2.7 W/m³ или 1,5 kW. При континуирана работа миксерот ќе има потрошувачка од 36 kWh на ден.

Вкупнот волумен на биолошкиот дел ќе биде:

$$V_{AT} = V_{D,PR} + V_{N,SR} = 540 + 1.360 = 1.900 \text{ m}^3$$

- iii. Модификација на автоматското управување во однос на регулација на растворениот кислород во биолошките реактори и управување на миксерите
- iv. Модификација на автоматското управување во делот на поврат и пумпање на вишокот активна тиња со што ќе се регулира концентрацијата на MLSS во биолошките базени.

Очекувани резултати:

- Оваа мерка ќе предизвика зголемување на ефикасноста на третманот ама и зголемување на потрошувачка на електрична енергија на дневно ниво помеѓу 120 – 150 kWh на ден во зависност од условите. Но, ова претставува базично енергетско сценарио при кое станицата треба да испорача ефлуент со бараниот квалитет.
- Се очекува да се намали потрошувачката на електрична енергија за биолошкиот процес во летниот период поради тоа што ќе се укине потрошувачката на кислород во примарниот реактор која претходно беше користена исклучиво за промешување на течноста и е проценета на средна вредност од 90 kWh на ден. Промешувањето ќе се врши со миксер кој има помала потрошувачка за истата функција и изнесува 36 kWh на ден.
- Во зимски услови се очекува зголемување на ефикасноста на третманот но не се очекува напалување на потрошувачката на електрична енергија, во однос на базичното сценарио.

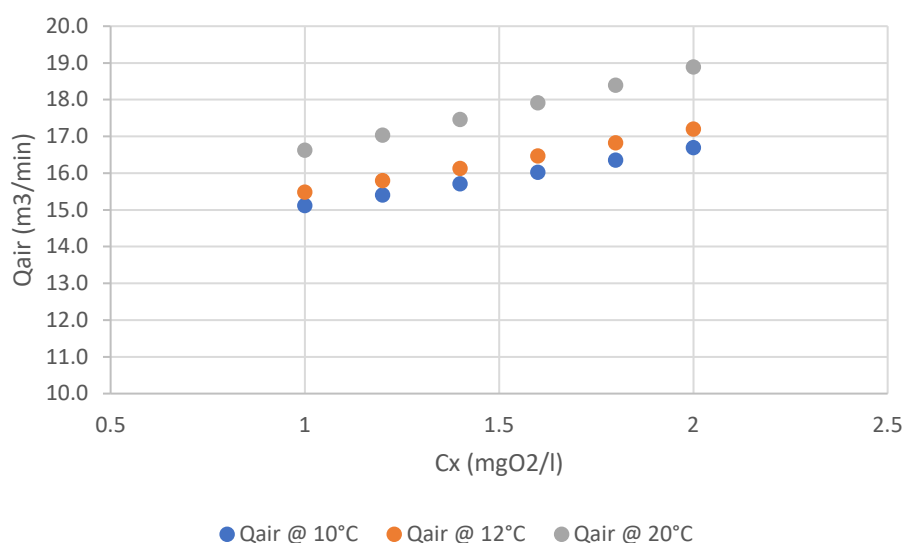
6.2 Промена на режимот на аерација во период со мал доток на инфлуентот

Во ноќните часови дотокот на отпадна вода е на минимум. Но работата на биолошкиот третман е сетиран да работи во претходно дефинирани интервали. Системот за аерација е управуван само од мерењето на концентрацијата на растворен кислород во биореакторите. На овој начин се управува работата на дувалките кои се фреквентно регулирани. Капацитетот на секоја дувалка е $Q_{AIR}=1000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ($16.7 \text{ Nm}^3/\text{min}$), а може да работи во распон од 28 – 53 Hz при што испорачува воздух во распон од $Q_{AIR}=500 – 1000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Преку калибрираниот модел за сегашната состојба, може да се пресмета потребата за воздух при различни концентрации на резидуален растворен кислород во биолошките базени. На следниов графикон се претставени потребите за компримиран воздух при променлива температура и $t_{ss}=10 \text{ d}$.

Очекувано, потребата за воздух се намалува правопрпорционално со намалувањето на концентрацијата на резидуален растворен кислород. При намалување на DO од 2 mg/l до 1 mg/l, потребата за испорачан воздух се намалува од 16,7 на 15,1 m³/min при T=10°C т.е. се намалува за 10% или тоа би придонело за намалување на потрошувачката до максимални 2,0kWh. Намалувањето при T=20°C изнесува 12%или тоа би придонело за намалување на потрошувачката до максимални 2,5kWh.

Оваа мерка ќе се одрази на квалитетот на ефлуентот и поради ова се препорачува само во услови на намалено оптоварување на инфлуентот или во летниот период кога ПСОВ Берово испорачува ефлуент со добар квалитет.



Слика 6.1: Потребата за кислород при T = 10 – 20°C и $t_{ss}=10 \text{ d}$

Предложена мерка Бр.2.

- Намалување на концентрацијата на растворен кислород во биолошкиот реактор на вредност до најмалку 1 mg/l во ноќните часови во периодот помеѓу 22.00h – 06.00h. На овој начин ризикуваме да се намали ефикасноста на третманот во тој период од денот но тоа нема да го загрози билансот на загадувачите во ефлуентот во период од 24 часови за кој се зема 24 часовен композитен примерок од отпадната вода кој е предмет на анализа. За оваа мерка не се потребни инвестиции. Потребно е да се направат модификации во SCADA каде би се сетирале овие вредности.

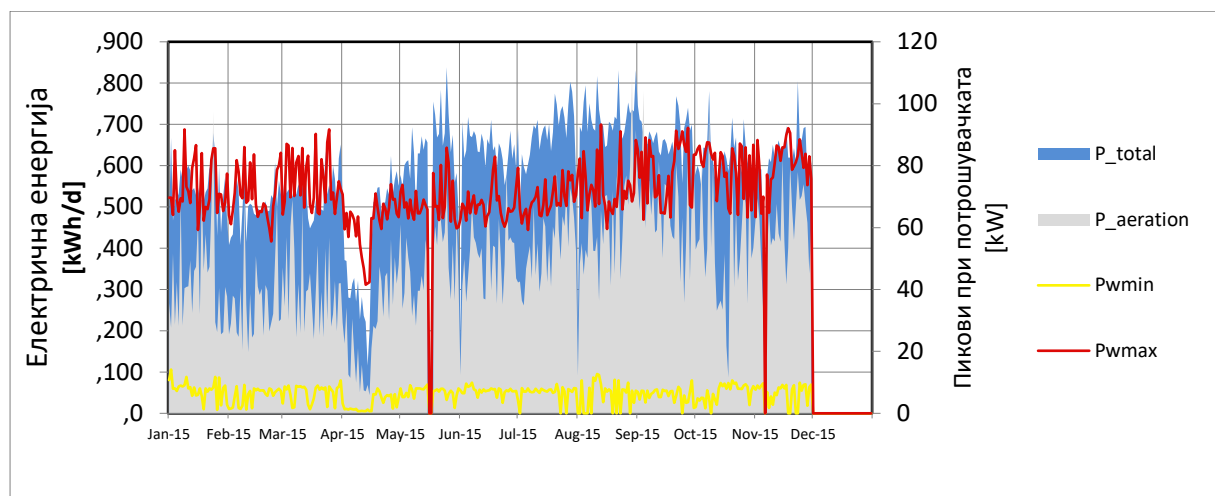
Преку моделирање на процесот може да се заклучи дека преку имплементација на оваа мерка можат да се остварат заштеди од околу 10% на потрошувачката на електрична енергија кај системот за аерација, во однос на времетраењето на употребата на оваа мерка.

Оваа мерка е тестирана во ПСОВ Берово во 2015 година при што се воспоставени следниве процесни услови во секундарните биолошки реактори (слика 5.7):

- Од периодот 19.05.2015 до 28.07.2015 концентрација на растворен кислород е одржувана на ниво од 1.8 mg/l
- Од 29.07.2015 до 30.11.2015 концентрација на растворен кислород е одржувана на ниво од 1.7 mg/l

Во овој период ефикасноста на третманот е на задоволително ниво и сите анализи на ефлуентот се позитивни. Изведен е заклучок дека намалувањето на концентрацијата на растворениот кислород во летниот период не влијае на ефикасноста на третманот.

Но спротивно на теоретските заклучоци во тој период не е забележана некоја особена промена при потрошувачката на електричната енергија т.е. не се регистрирани заштеди што може да се види и од следниов графикон за 2015.



Слика 6.2: Потрошувачка на електрична енергија во 2015 година

Иститот заклучок може да се изведе и при споредба на перформанс индикаторите за тој период (слики 5.9 – 5.13). Кај ПИ (kWh/m^3) доаѓа до зголемување на вредностите поради тоа што во летниот период се намалува приливот во станицата а потрошувачката на електрична енергија останува на исто ниво. Кај остантите ПИ исто така не се забележува особена промена во вредностите.

Предложено е додатно тестирање во летниот период каде концентрациите на кислород би се спуштиле и до концентрација од 1 mg/l во ноќниот режим на работа.

6.3 Воведување на испрекината аерација во секундарните таложници

Процесот на пречистување на отпадна вода со испрекината аерација е се поактуелен, а најчесто кај процесите за отстранување на азотните соединенија. При употребата на испрекината аерација во биолошките базени се зголемува ефикасноста на третманот во однос на редукција на вкупниот азот [59].

Испрекината аерација е процес на циклично оперирање на биолошките реактори во аеробни (во присуство на аерација) и аноксични фази (во отсуство на кислород и потребно мешање на флуидот). На овој начин во самиот биолошки реактор наизменично се одвиваат процесите нитрификација и денитрификација.

Предложена мерка Бр.3:

Преку оваа мерка може да се зголеми ефикасноста на третманот. Поради ова, се предлага мерка на воведување на режим на испрекината аерација во биолошките резервоари, со која ќе се обезбеди следново:

- Внесување на истата количина на воздух но во помал временски период
- Во периодите кога нема аерација, ќе се врши мешање на течноста со помош на мискери заради обезбедување на подобар контакт помеѓу активната тиња и супстратот кој треба да се разгради. На овој начин поефективно се искористува резидуалниот кислород во отпадната вода. Потребна е додатна инвестиција за набавка и инсталирање на мискери во биолошките реактори. Избрани се мискери од фирмата WIL0 тип TRE 90-2.15-6/16-E4, по 3 во секој биолошки реактор. Мискерите се со инсталирана моќност од 1.7 kW. Енергијата потребна за целосно промешување на флуидот изнесува 3,64 W/m³ или 5 kW.

За да се моделира процесот на испрекината аерација потребно е да се внесат во употреба следниве параметри:

T_A (h) – време на аерација во биолошкиот реактор во еден циклус

T_D (h) – време на денитрификација во биолошкиот реактор (отсуство на аерација и потребно мешање на флуидот)

T_C (h) – време на еден циклус ($T_A + T_D$)

AF – фактор на аерација кој го дава односот на времето на аерација врз времето на еден циклус

CRT – Однос на времето на еден циклус врз хидрауличкото време на задржување на отпадната вода во биолошкиот реактор (HRT пресметано врз база на hDWF).

Извршено е моделирање на испрекината аерација на биолошките базени во ПСОВ Берово при услови на сегашно оптоварување при $t_{SS}=10$ d и $T=12^{\circ}\text{C}$. При моделирањето

усвоеное дека потребата за кислород за редукција на органската материја и за постигнување на нитрификација е константна и изнесува $Q_{air}=21.600$ (Nm³/d). Потребата за кислород е распределена на различни интервали на аерација.

Најдобри резултати во однос на ефикасноста на третманот се добиваат при CRT = 0,2 – 0,3[53]. Ефектите од испрекинатата аерација се евалуирани во однос на CRT (1, 0,67 и 0,33) и AF (0,67 и 0,5).

Исто така треба да се напомене, дека поради тоа што истата количина на воздух треба да се испорача во пократок временски период, се зголемува вкупниот проток кој треба да се испорача низ системот. Ова придонесува конзголемување на отпорите во постоечката инсталација. Заради ова, при моделирањето земена е предвид и промената на притисокот во дистрибутивната мрежа. Резултатите се прикажани во следната табела.

Табела 6.2: Резултати од моделирање на процес со испрекинатата аерација

Б р	T _A (h)	T _D (h)	T _C (h)	AF	CRT @ hDWF	HRT at hDWF (h)	T _{C,d}	Q _{air} (Nm ³ /d)	Q _{air} (Nm ³ /min)
1	5	1	6	0.83	1	6	4	21600	18.0
2	4	2	6	0.67	1	6	4	21600	22.5
4	3	3	6	0.50	1	6	4	21600	30.0
4	2.66	1.34	4	0.67	0.67	6	6	21600	22.6
5	2	2	4	0.50	0.67	6	6	21600	30.0
6	1.33	0.67	2	0.67	0.33	6	12	21600	22.6
7	1	1	2	0.50	0.33	6	12	21600	30.0
	T _{air} (h/d)	Q _{air,b1} (Nm ³ /min)	Q _{air,b2} (Nm ³ /min)	T _{b2} (h/d)	T _{b2} (h/d)	T _{air} Total (h)	Δp (mbar)	Pk2 (kW)	Pk2 (kWh)
1	20	18.0	18.0	10	10	20	500	19	380.0
2	16	11.3	11.3	16	16	32	600	16	512.0
4	12	15.0	15.0	12	12	24	700	19.5	468.0
4	16	11.3	11.3	16	16	32	600	16	510.7
5	12	15.0	15.0	12	12	24	700	19.5	468.0
6	16	11.3	11.3	16	16	32	600	16	510.7
7	12	15.0	15.0	12	12	24	700	19.5	468.0

Веднаш се забележува дека потребната енергија се зголемува со воведувањето на испрекинатата аерација. Треба да се нагласи дека пресметаната моќност P_k е машинската моќност само за аерација (енергијата за мешање не е пресметана), а не електричната која не може да се пресмета со доволна точност поради немање доволно добри податоци за ефикасноста на преносот во спрега со фреквентиот регулатор.

Зголемувањето на потребната енергија за аерација најмногу се должи на тоа што дистрибутивниот систем во ПСОВ Берово е димензиониран за максимален проток од $Q_{air}=1000$ m³/h =16.7 m³/min. При испрекинатата аерација потребни се скоро двојно

поголеми протоци при што се зголемуваат линиските и локалните отпори во инсталацијата.

Заклучок е дека колку и да ја подобри ефикасноста на третманот, за да се реализира оваа мерка ќе биде потребна релативно големо инвестирање во преработка на дистрибутивниот систем за аерација и инсталирање на миксери во биоректорите и секако ревизија на автоматското управување на процесот.

6.4 Пренамена на технологијата во SBR (Sequential Batch Reactor)

Оригинално оваа ПСОВ е замислена да функционира како SBR технологија. За да се релизира оваа мерка потребно е да се извршат значајни промени во процесот и инсталираната опрема што подразбира и значајно инвестирање.

Предложена мерка Бр.3: Потребно е да се направат следниве интервенции:

- Инсталирање на систем за декантирање на пречистената вода од биолошките базени
- Инсталирање на миксери во биолошките базени и примарниот реактор. Избрани се истите миксери како од мерка 6.3.
- Инсталирање на дистрибутивен систем за аерација во резервоарот за додатна стабилизација на тињата
- Надградба на автоматското управување и повторно сетирање на работата на биолошкиот дел од постројката
- Инсталирање на нова мерна опрема во биолошките резервоари

Работата на ПСОВ како SBR постројка е симулирана преку модел изработен според стандардот ATW-DWA -M210, кој е приложен во Анекс 2.3. Моделот е изработен за три случаи: i) нитрификација и $t_{ss}=10d$, ii) нитрификација и денитрификација и $t_{ss}=15d$, iii) аеробна стабилизација на активната тиња и $t_{ss}=25d$.

Табела 6.3: Резултати од моделирање на СБР процес

Параметар	Ознака	Количина (i)	Количина (ii)	Количина (iii)	Ед.мерка
Старост на тињата	t_{ss}	10	15	25	d
Потребен волумен на еден реактор при среден проток при суво време	$V_{R,DWF}$	2.332	2.683	3.425	m^3
Сегашен волумен на еден реактор	$V_{R,DWF}$	1.360	1.360	1.360	m^3
Потребна концентрација на суспендирана материја во реакторот при пресметан волумен за суво време	$SS_{R,DWF}$	2,08	2,57	3,16	kg/m^3
Концентрација на суспендирана материја која треба да се постигне во реакторот при сегашен волумен при суво време	$SS_{R,DWF}$	3,56	5,06	7,97	kg/m^3
Средна часовна потреба за кислород по реактор	$OU_{h,SBR}$	37,22	39,25	41,54	kgO_2/h
Средна часовна потреба за кислород по реактор	$OU_{h,SBR}$	53,4	50,1	47,0	kgO_2/h

Како и кај првата мерка и тука се јавува проблемот со недоволен волумен на биолошките реактори во ПСОВ Берово. Потребата за поголем волумен расте пропорционално со потребата за повисоко ниво на третман и зголемувањето на староста на тињата.

Што се однесува на ефикасноста на третманот, SBR технологијата обезбедува одлични резултати при редукција на азотните соединенија. Сепак, од резултатите прикажани во горната табела можеме да заклучиме дека во сегашни услови на квантитет и квалитет на инфлуентот, не е повољно да се направи пренамена на технологијата од ABR во SBR, дури и за процесот на нитрификација. Потребниот волумен на реакторот е двојно поголем од сегашниот волумен. Кога би ги користеле сегашните волумени на реакторите процесот би требало да се одвива при големи концентрации на суспендирана материја, а веќе е објаснето во поглавје 6.11 зошто таквиот пристап е неповолен.

Што се однесува до аерацијата, потребата за кислород кај SBR технологијата е иста како и кај конвенционалниот процес со активна тиња, бидејќи потребата од кислород зависи директно од степенот на загаденост на отпадната вода.

Аерацијата кај SBR процесот се одвива во испрекинати интервали. Во изработениот модел процесот се одвива во циклуси со времетраење од 8 h, во кои времето на аерација е 3.85 h. Може да се заклучи дека времетраењето на аерацијата во текот на еден ден е поголемо кај СБР процесот споредено со сегашниот процес во ПСОВ Берово.

Во следнава табела се претставени резултатите за проценка на потребите за кислород за нитрификација кај (1) сегашна состојба, (2) SBR процес. Заклучокот е дека специфичната потрошувачка на системот за аерација е поголема кај SBR процесот.

Табела 6.4: Споредба на режими на аерација кај постоечкиот систем и SBR

	T_A (h)	T_D (h)	T_C (h)	$T_{C,d}$	Q_{air} (Nm ³ /min)	$T_{air Total}$ (h/d)	Δp (mbar)	P_{k2} (kW)	P_{k2} (kWh)
1	5	1	6	4	17.1	20	500	18	360.0
2	3.85	1.65	8	3	16.7	23.1	500	18	415.8

6.5 Останати мерки за подобрување на ефикасноста

Целта на овој труд е да покаже методологија за анализа на работата на една ПСОВ и преку моделирање на процесот на пречистување да се предвидат мерки за подобрување на ефикасноста. Во овој труд е направен преглед и на останатите мерки кои произлегуваат како резултат на техничкиот и енергетски преглед на ПСОВ Берово, но не се подетално обработени бидејќе побаруваат значајни инвестициски вложувања и ќе бидат цел на некоја идна анализа на авторот.

Предложени се следниве мерки:

- i. Замена на дувалките и аераторите. Оваа мерка предвидува значајно инвестициско вложување. Како што беше заклучено до сега, инсталираните дувалки се димензионирани за капацитет на ПСОВ Берово од 14.000 ЕЖ, а станицата сега работи со 10.000 ЕЖ.

Потребна е анализата која ќе покаже дека воведување на дувалки со помал капацитет значително ќе ги намали трошоците за електрична енергија.

Исто така од податоците за притисокот во дистрибутивните цевководи за компримиран воздух се забележува зголемување на отпорот. Тоа се должи на постепено запушување на аераторите и пад на нивната ефикасност. Со замена на аераторите ќе се направат додатни заштеди на електрична енергија.

- ii. Надградба на автоматското управување со системот за аерација. Се предлага да се инсталира систем за контрола на аерацијата базиран на линиски мерења на амониум (NH_4) и ХПК. На овој начин е докажано дека се зголемува ефикасноста на системот за аерација и се остваруваат заштеди и до 20%. Потребна е набавка на сензори кои ќе бидат инсталирани во сите три резервоари од биолошкиот третман, PLC контролер и надградба на SCADA системот
- iii. Хемиска пресипитација на тињата. Инсталирање на опрема за дозирање на пресипитант железо хлорид (FeCl). Пресипитантот би се дозирал во примарниот реактор. На овој начин би се зголемила таложливоста на тињата, што и беше дефинирано како проблем при анализата на ПСОВ Берово. Со зголемување на таложливоста на тињата ќе се овозможи подобро отстранување на ВСМ и вкупниот фосфор, но исто така подобра контрола на староста на тињата и отстранување на вишокот тиња, а со тоа и зголемување на ефикасноста на третманот и на енергетската ефикасност
- iv. Надградба на нивото на третман од секундарен во терцијарен. Оваа мерка е надградба на претходната и предвидува инсталирање на систем за дезинфекција на ефлуентот. Предложени се системи со гасен хлор или со UV дезинфекција

6.6 Анализа на предложените мерки

Анализата на предложените мерки е направена врз основа на неколку критериуми и е прикажана во следната табела:

- i. Влијание на квалитетот на третманот
- ii. Влијание на енергетската ефикасност
- iii. Ниво на инвестиции и исплатливост

Мерка Бр.1: Управување со староста на тињатаи воведување на систем за аеробна стабилизација на тињата.

Мерка Бр.2: Промена на режимот на аерација во период со мал доток на инфлуентот

Мерка Бр.3: Воведување на испрекината аерација во секундарните таложници

Мерка Бр.4: Пренамена на технологијата во SBR (Sequential Batch Rector)

Табела 6.5: Анализа на мерките за подобрување на ефикасност на ПСОВ Берово

	Квалитет на третман	Енергетска ефикасност	Инвестиции и исплатливост	Коментар
M1	1	2	4	Мерка која е нужна во ПСОВ Берово заради обезбедување стабилизација на тињата и зголемување на ефикасноста на третманот. Се зголемува енергетската ефикасност. Потребни се одредени инвестиции
M2	4	2	1	Можно е намалување на квалитетот на ефлуентот во дозволени граници на сметка на зголемување на енергетската ефикасност. Не се потребни инвестиции
M3	2	4	4	Неповолна мерка поради релативно големите инвестиции и намалување на енергетската ефикасност, на сметка на ефикасноста на третманот.
M4	2	4	5	Неповолна мерка поради неможноста за адаптација на процесот во СБР

(*) – оценување 1) значително поволно, 2) умерено поволно, 3) неутрално, 4) умерено неповолно, 5) значително неповолно

Конечен заклучок е дека за ПСОВ Берово поволни се само првите две предвидени мерки. Промена на режимот на аерација во период со мал доток на инфлуентот е мерка која може многу лесно и брзо да се имплементира.

Управување со староста на тињатаи обезбедување на процесни услови за нитрификација со $t_{ss} = 10 \text{ d}$ е мерка која веќе е тестирана и се употребува во ПСОВ Берово, но за целосна имплементација на оваа мерка потребни се додатни инвестиции за воведување на систем за аеробна стабилизација на тињата и миксери во примарниот реактор.

7 ЗАКЛУЧОЦИ И ПРЕПОРАКИ ЗА ПОНАТАМОШНА РАБОТА

Во Р.Македонија функционираат само неколку пречистителни станици и тоа секоја со свои проблеми. Досега не е забележано дека е направена анализа на нивната работа од аспект на ефикасност на третманот и енергетската ефикасност.

Овој труд е направен да биде патоказ за стручните лица кои се занимаваат со анализа и оперирање на ПСОВ со процес на активна тиња. Методологијата која е презентирана низ ова истражување ќе претставува алатка за проектантите кои се занимаваат со оваа проблематика преку која ќе добијат информации за референтните енергетски вредности пред почетокот на планирање и проектирање, а операторите ќе добијат метод за мониторинг, анализа и одлучување, а со цел за подобрување на енергетската ефикасност на постројката.

Преку методолошкиот пристап на анализа на работата на една ПСОВ со активна тиња се покажа дека иако навидум одредена станица работи ефикасно, во пракса нејзината работа не е на посакуваното ниво и постои простор за подобрување.

Оценка на работата на ПСОВ Берово е направена преку споредба на перформанс индикатори со чија помош се дефинирани референтните и оптималните вредности за ПСОВ Берово. Преку анализата на резултатите од голем број бенчмаркинг студии, обезбедени се довелен број податоци преку кои се изведени референтни и оптимални енергетски индикатори за ПСОВ Берово, но лесно можат да се изведат и за било која ПСОВ која работи на принципот на активна тиња.

Преку изработка на статичен (steady state) модел за ПСОВ со процес на активна тиња, негово калибрирање и анализа на процесите на пречистување изведени се заклучоци за работата на станицата, а потоа е направена анализа на мерки за зголемување на ефикасноста кои прво се проверени теоретски преку повторна калибрација на моделот, а потоа итестирани на самата станица во зависност од можностите, бидејќи некои мерки предвидуваат инвестиции.

На овој начин, преку модификација на процесите на пречистување, може да се:

- Зголеми ефикасноста на третманот на ПСОВ, како што е прикажано кај предложената мерка 1, а при тоа да се зголеми и енергетската ефикасност споредена со базното енергеско сценарио. Сепак, потребни се дополнителни инвестиции за набавка на миксери за примарниот реактор и дистрибутивен систем за аерација за резервоарот за аеробна стабилизација на тињата,
- Остварат енергетски заштеди а при тоа да не се загрози ефикасноста на процесот на пречистување како што предвидува предложената мерка 2.

Како препорака за понатамошна работа авторот на овој труд ќе ја разгледува и анализира работата на ПСОВ со употреба на динамички модели(GPS-X). На овој начин може да се симулира и предвиди работата на одредена ПСОВ за одреден временски период, а тоа да доведе до уште подобри ефекти при зголемувањето на ефикасноста на ПСОВ.

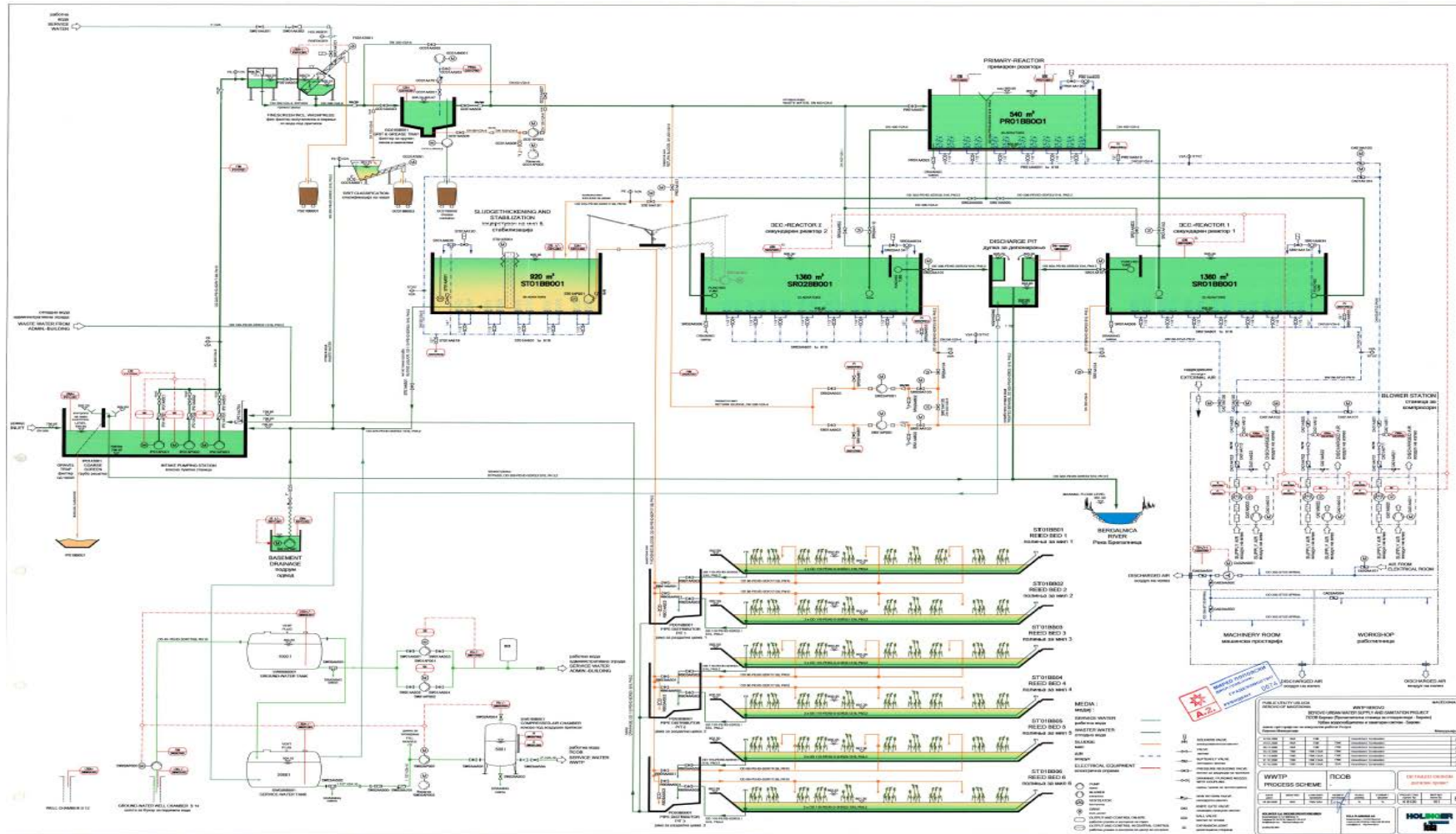
АНЕКС 1 –ОСНОВНИ ПОДАТОЦИ ЗА ПСОВ БЕРОВО

АНЕКС 1.1 - Проектирани протоци и оптоварувања на отпадна вода

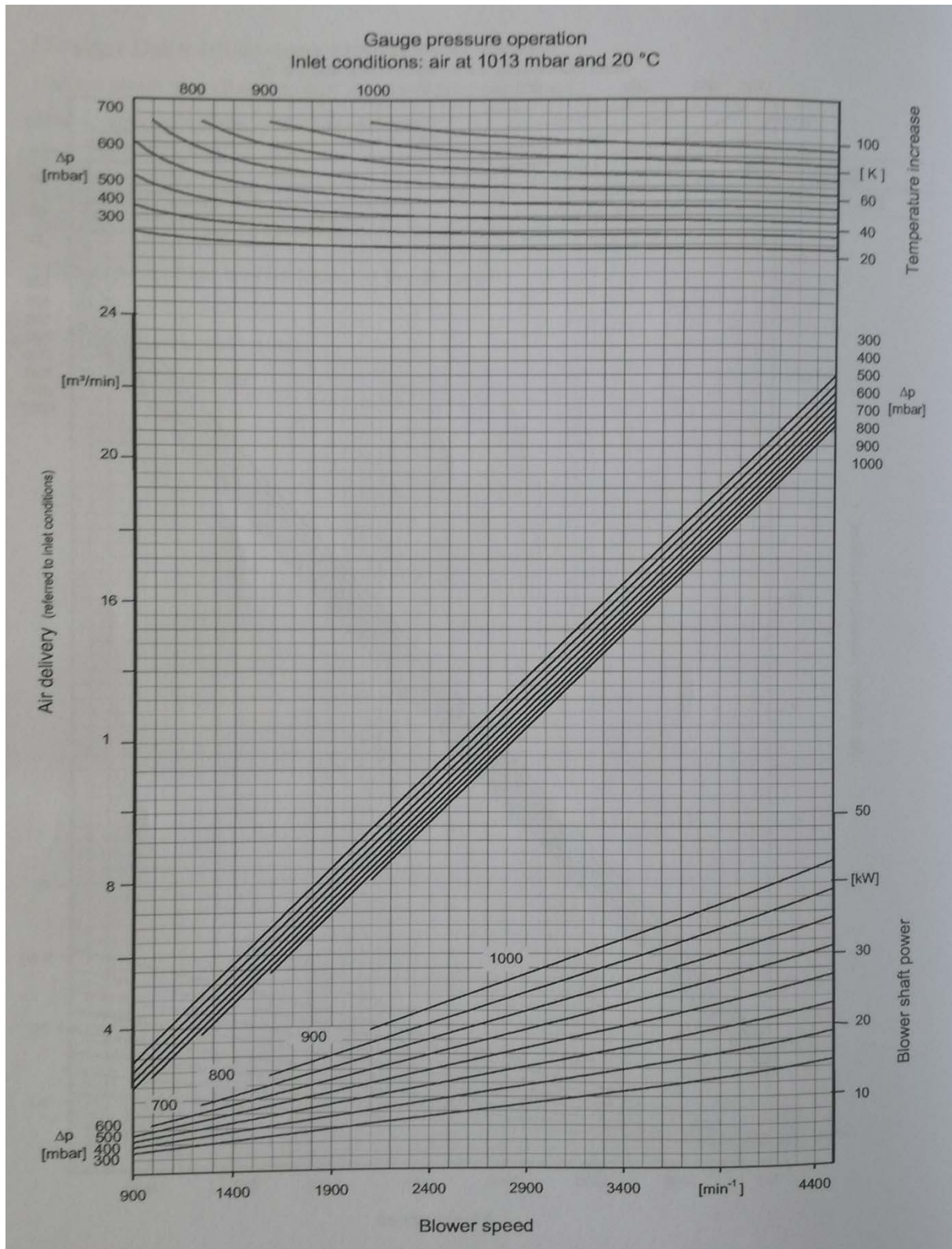
		Состојба 2007 г.		Проектирано 2015 г.	
		Просечно	Проектирано 85%- Вредност	Просечно	Проектирано 85%- Вредност
Хидраулика	Мерка				
Жители приклучени на канализација	Жител	6500	6500	11000	11000
Приклучена индустрија	ЕЖ	2500	2500	3000	3000
Вкупно ЕЖ	ЕЖ	9000	9000	14000	14000
Отпадна вода по жител	l/d	80	100	80	100
Отпадна вода по ЕЖ	l/d	80	100	80	100
Вкупно отпадна вода	m ³ /d	720	900	1120	1540
Не-домашна отпадна вода	m ³ /d	200	250	240	330
Процент на не-домашна отпадна вода	%	28	28	21	21
Коефициент на максимален часовен проток	-	1.0	1.6	1.0	1.0
	h/d	24	15	24	16
Максимален проток на отпадна вода при суво време (Q _{s,max})	m ³ /h	30	60	47	96
	m ³ /d	720	1440	1128	2304
	l/s	8	17	13	27
Инфилтрација при суво време	m ³ /h	39	60	35	55
	l/s	10.8	16.7	9.7	15.3
	m ³ /d	940	1440	840	1320
	%	58	50	43	36
Проектиран проток ПСОВ Q _{RW} (дождливо време)	m ³ /h		180		247
	l/s		50		69

		Сегашна состојба 2007		Проектирано 2015	
		Просечно	Проектирано 85%- Вредност	Просечно	Проектирано 85%- Вредност
Оптоварување со загадувачи	Мерка				
Приклучена популација	Жител	6500	6500	11000	11000
Приклучена индустрија	ЕЖ	2500	2500	3000	3000
Вкупно приклучено ЕЖ	ЕЖ	9000	9000	14000	14000
Сирова отпадна вода (без рециркулација)					
BOD ₅	g/ЕЖ*d	45	60	45	60
COD	g/ЕЖ*d	90	120	90	120
TSS	g/ЕЖ*d	60	70	60	70
TKN	g/ЕЖ*d	10	11	10	11
NK4-N	g/ЕЖ*d	8.0	9.0	8.0	9.0
P _{tot}	g/ЕЖ*d	1.6	1.8	1.6	1.8
BOD ₅	kg/d	405	540	630	840
COD	kg/d	810	1080	1260	1680
TSS	kg/d	540	630	840	980
TKN	kg/d	90	99	140	154
NK4-N	kg/d	72	81	112	126
P _{tot}	kg/d	14	16	22	25
Концентрации					
BOD ₅	mg/l	224	231	292	294
COD	mg/l	488	462	584	587
TSS	mg/l	325	269	429	343
TKN	mg/l	54	42	65	54
NK4-N	mg/l	43	35	52	44
P _{tot}	mg/l	9	7	10.4	8.8

АНЕКС 1.2 – Процесна шема



АНЕКС 1.3 – Номограм за дувалка од тип KAESER DB 235c и фреквентен регулатор OMEGA 43 PLUS



АНЕКС 2 – МОДЕЛИРАЊЕ НА ПСОВ БЕРОВО

АНЕКС 2.1 – Модел на проектираното решение 14,000 ЕЖ

ПСОВ	WWTP:	Берово			
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба			
Модел 2.1	Model 2.1	Проектирано решение			
Влезни податоци	Input Data Sheet		секундарен	терцијален	
Година	Year		2015	2015	
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Ед.мерка
Хидрауличко оптоварување	Hydraulic Loads				
Број на жители	Domestic population connected		11,000	11,000	P
Еквивалентни жители од индустрија	Industrial population equivalent		3,000	3,000	iPE
Вкупно еквивалентни жители	Total Population Equivalent		14,000	14,000	PE
Пресметка на количина на отпадна вода	Wastewater quantity assessment				
Отпадна по жител на ден	Flowrate per capita per day	$W_{ww/d}$	110	110	l/(capita*d)
Отпадна вода од населението	Wastewater flow from population	$Q_{p,ww}$	1,210	1,210	m ³ /d
Отпадна вода од индустрија, годишно	Wastewater flow from industry, yearly	$Q_{ind,ww,year}$	330,000	330,000	m ³ /y
Отпадна вода од индустрија дневно	Wastewater flow from industry	$Q_{ind,ww}$	330	330	m ³ /d
Вкупно отпадна вода	Wastewater flow		1,540	1,540	m ³ /d
		Q_{ww}	64	64	m ³ /h
			18	18	l/s
Инфилтрација	Infiltration water flow	Q_{inf}	1,320	1,320	m ³ /d
			55	55	m ³ /h
			15	15	l/s
Проток при суво време	Dry Weather Flow	Q_{DW}	2,860	2,860	m ³ /d
			119	119	m ³ /h
			33	33	l/s
Максимален проток при суво време	Maximum Dry Weather Flow	$Q_{DW,max}$	151	151	m ³ /h
Максимален часовен проток при суво време	Maximum hourly Dry Weather Flow	$Q_{ww,14}$	165	165	m ³ /h
			46	46	l/s
Максимален проток при врнежи	Maximum Wet Weather Flow	Q_{MWWF}	248	248	m ³ /h
			69	69	l/s
Карактеристики на инфлуентот	Influent Characteristics				
Специфично оптоварување со БПК5	Specific Load of BOD ₅		60	60	g/PE*d
Специфично оптоварување со ХПК	Specific Load of COD		120	120	g/PE*d
Специфично оптоварување со ВЦМ	Specific Load of TSS		70	70	g/PE*d
Специфично оптоварување со ТКН	Specific Load of TKN		11	11	g/PE*d
Специфично оптоварување со Р	Specific Load of P		1.8	1.8	g/PE*d
Дневен товар на БПК5	Daily load of BOD ₅	$B_{d,BOD}$	840	840	kg/d
Дневен товар на ХПК	Daily load of COD	$B_{d,COD}$	1,680	1,680	kg/d
Дневен товар на ВСМ	Daily load of TSS	$B_{d,SS}$	980	980	kg/d
Дневен товар на ТКН	Daily load of TKN	$B_{d,TKN}$	154	154	kg/d
Дневен товар на Р	Daily load of P	$B_{d,P}$	25	25	kg/d
Концентрација на БПК5	Concentration of BOD ₅	C_{BOD}	294	294	mg/l
Концентрација на ХПК	Concentration of COD	C_{COD}	587	587	mg/l
Концентрација на ВЦМ	Concentration of TSS	X_{SS}	343	343	mg/l
Концентрација на ТКН	Concentration of TKN	C_{TKN}	54	54	mg/l
Концентрација на Р	Concentration of P	C_P	9	9	mg/l

ПСОВ	WWTP:	Берово			
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба			
Модел 2.1	Model 2.1	Проектирано решение			
Пресметка на биолошки реактори	Biological reactors calculation sheet		секундарен	терцијален	
Година	Year		2015	2015	
			14000	14000	PE
Параметар	Parameter	Симбол	Количина 12 ^o C	Количина 12 ^o C	Ед. мерка
			секундарен	терцијален	
Квалитет на ефлуентот	Discharge quality criteria				
Биолошка потреба за кислород	Biochemical oxygen demand	BOD ₅	25	25	mg/l
Хемиска потреба за кислород	Chemical oxygen demand	COD	125	125	mg/l
Вкупно суспендирана материја	Total suspended solids	TSS	35	35	mg/l
Вкупен фосфор	Total phosphorus (<100.000 PE)	TP		2	mg/l
Вкупен азот	Total nitrogen (<100.000 PE)	TN _{EFF}		15	mg/l
		org N _{EFF}	2.0	2.0	mg/l
		NH ₄ -N _{EFF}		0.0	mg/l
		NO ₃ -N _{EFF}		12.0	mg/l
		NO ₂ -N _{EFF}		0.0	mg/l
		org N _{BM}	14.7	11.7	mg/l
Проектни параметри	Design Parameter				
Проток при суво време	Dry Weather Flow	DWF	119	119	m ³ /h
Максимален проток при суво време	Maximum Dry Weather Flow	mDWF	151	151	m ³ /h
Максимален часовен проток при суво време	Hourly Dry Weather Flow	hDWF	165	165	m ³ /h
Редукција на БПК ₅ и ХПК во ПТ	BOD and COD reduction in PST		25	25	%
Концентрација на БПК ₅	BOD ₅ Concentration	C _{BOD5}	294	294	mg/l
Маса на БПК ₅ на влез во БР	BOD ₅ load to biological reactor	B _{BOD5}	840	840	kg/d
Маса на ХПК на влез во БР	COD Load	B _{COD}	1,680	1,680	kg/d
Редукција на ВСМ во ПТ	SS reduction in PST				%
Маса на ВСМ на влез во БР	Total suspended solids	B _{d,SS}	980	980	kg/d
Концентрација на ВСМ	Total suspended solids concentration	X _{SS}	343	343	mg/l
TKN редукција во ПТ	TKN reduction in PST				
Маса на TKN на влез во БР	Total Keijldahl Nitrogen load на влез во БР	TKN	154	154	kg/d
Концентрација на TKN	TKN concentration		54	54	mg/l
Концентрација на P	Total phosphates phosphoros concentration	PO4-P	25.2	25.2	mg/l
Алкалност како јагеноводород	Alkalinity as hydrogen carbonate	S _{ALK}			mmol/l
Температура на процесот	Process temperature	T _{DIM}	12	12	°C
Маса на суспендирана материја во БР	Mixed liquor suspended solids (MLSS)	SS _{AT}	4.00	4.40	kg/m ³
Број на линии на биолошко пречистување	Number of biological lines	Nr.	1	1	
Длабочина на водата во БР	Water depth	d _w	4.5	4.5	m
Фактор на сигурност за Bd _{BOD} < 1200 kg/d	Minimum safety Factor for Bd _{BOD} < 1200 kg/d	-	1.80	1.80	
Минимална старост на тињата по ATV	Sludge age minimum required acc. ATV	t _{SS,MN}			d
Старост на тињата	Sludge age aerob required	t _{SS,AEROB}			d
Старост на тињата	Sludge age required	t _{SS,dim}	5.0	8.2	d
Температурен фактор	Temperature faktor for endogenous respiration	F _T	0.81	0.81	
Однос на X _{SS} /C _{BOD,IAT}		X _{SS} /C _{BOD,IAT}	1.17	1.17	
Специфична количина на тиња создадена при отстранување на органска материја	Specific sludge production from carbon removal	SP _{c/BOD}	1.21	1.13	kgSS/kgBOD ₅
Количина на тиња создадена при отстранување на органска материја	Sludge production from carbon removal	SP _{d,C}	1,012	950	kg/d
Вкупно производство на тиња	Sludge production total	SP _d	1,012	950	kg/d

Потребна маса на суспендирана материја во БР	Required mass of SS in aerob reactor	$M_{SS,AT}$	5,061	7,804	kg
Концентрација на нитрат за денитрификација	Nitrate concentration to be denitrified	$S_{NO3,D}$		28.1	mg/l
Концентрација на амониум за нитрификација	Ammonium nitrogen to be nitrified	$S_{NH4,N}$		40.1	mg/l
Потребен капацитет за денитрификација	Required denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD5}$		0.096	-
Однос на волуменот за денитрификација	Required denitrification volume ratio PrdN	V_D/V_{AT}		0.30	
Минимална вредност на нитратот во ефлуентот	Actual nitrate target at effluent	$S_{NO3-N,EFF}$		12.00	mg/l
Оперетивање на масата на тињата	Existing BOD ₅ sludge loading rate	$B_{SS,BOD}$	0.17	0.11	kg/(kg d)
Волуменско оперетивање на тињата	Existing BOD ₅ volume loading rate	$B_{R,BOD}$	0.66	0.47	kg/(m ³ d)
Процент на рецикулација	Total recirculation flow ratio	RC	0.75	1.0	
Проток на интерна рецикулација	Internal recirculation flow	Q_{IR}	0.0	0.0	m ³ /h
Потребен волумен на био-реакторот	Required total volume	V_{AT}	1,265	1,774	m ³
Потребен волумен за денитрификација	Required total volume of anoxic reactor	V_D	0	532	m ³
Потребен волумен за нитрификација	Required total volume of aerob reactor	V_N	1,265	1,242	m ³
Време на престој при DWF	Retention time at DWF		10.6	14.9	h
Време на престој при mDWF	Retention time at mDWF		8.4	11.7	h
Време на престој при hDWF	Retention time at hDWF		7.7	10.8	h
Време на престој при MWWF	Retention time at MWWF		5.1	7.2	h
Димензии на еден реактор	Dimensions of one tank				m ³
Усвоен волумен	Adopted volume		1,360	1,900	m ³
Потреба за кислород	Oxygen demand				
Специфична потрошувачка на кислород	Specific oxygen consumption	$OU_{C,BOD}$	0.93	1.02	kgO ₂ /kgBOD
Потреба за кислород за отстранување на органска материја	Oxygen uptake for carbon removal	$OU_{d,C}$	781.20	856.80	kgO ₂ /d
Потреба за кислород за нитрификација	Oxygen uptake for nitrification	$OU_{d,N}$	-	493.12	kgO ₂ /d
Потреба за кислород за денитрификација	Oxygen for denitrification	$OU_{d,D}$	-	233.04	kgO ₂ /d
Средна дневна потреба за кислород по реактор	Average oxygen uptake per reactor per day	O_{ud}	781.20	1,116.88	kgO ₂ /d
Средна часовна потреба за кислород по реактор	Average hourly oxygen uptake per reactor	O_{ud}	32.55	46.54	kgO ₂ /h
Фактор за потреба на кислород	peak factor for the oxygen uptake rate	f_C	1.275	1.2	/
Фактор за потреба за кислород	peak factor for the oxygen uptake rate	f_N	-	2.5	/
Максимална потреба на кислород при максимално оптоварување	Maximum oxygen uptake at max. carbon load	OU_h	41.50	51.73	kgO ₂ /h
Максимална потреба на кислород при максимално оптоварување	Maximum oxygen uptake at max. nitrogen load	OU_h	-	77.36	kgO ₂ /h
Максимална потреба за кислород по реактор	Maximum oxygen uptake per reactor	$OU_{h,AT}$	-	77.4	kgO ₂ /h

ПСОВ	WWTP:	Берово			
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба			
Модел 2.1	Model 2.1	Проектирано решение			
Пресметка на секундарни таложници	Secondary clarifiers calculation sheet		секундарен	терцијален	
Година	Year		2015	2015	
			14000	14000	PE
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Ед.мерка
			секундарен	терцијален	
Квалитет на ефлуентот	Discharge quality criteria		14000	14000	
Биолошка потреба за кислород	Biochemical oxygen demand	BOD ₅	25	25	mg/l
Хемиска потреба за кислород	Chemical oxygen demand	COD	125	125	mg/l
Вкупно суспендирана материја	Total suspended solids	TSS	35	35	mg/l
Вкупен фосфор	Total phosphorus (<100.000 PE)	TP		2	mg/l
Вкупен азот	Total nitrogen (<100.000 PE)	TN		15	mg/l
Проектни параметри	Design Parameter				
Максимален проток при врнежи	Maximum Wet Weather Flow	Q _{MWWF}	248	248	m ³ /h
Максимален часовен проток при суво време	Maximum hourly Dry Weather Flow	Q _{ww,14}	165	165	m ³ /h
Волуменски индекс на тињата	Sludge Volume Index	SVI	100	100	ml/g
Време на згуснување	Thickening time	t _E	1.5	2	h
Однос на рецикулација на тиња	Return Sludge Ratio (RS)	-	1.00	1.00	
Волуменско оптеретување на тињата	Sludge Volume Loading Rate, q _v	q _v	400	400	l/(m ² *h)
	Diluted sludge volume	DSV	400	440	l/m ³
Површинско оптеретување	Existing Surface Overflow Rate, q _A < 1,20	q _A	1.00	0.91	m ³ /(m ² *h)
Суспендирана материја во наталожената тиња	SS in bottom sludge	SS _{BS}	11.4	12.6	kg/m ³
Суспендирана материја во повратната тиња	SS Content in Return Sludge (SS _{RS})	SS _{RS}	8.0	8.8	kg/m ³
Маса на суспендирана материја	Mixed-Liquor SS	SS _{AT} , SS _{EAT}	4.00	4.40	kg/m ³
Број на таложници	Number of clarifiers		1	1	
Потребна површина на еден таложник	Net req. surface of one clarifier	A _{ST}	248	272	m ²
Должина	Lenght		39.2	39.2	m
Ширина	Width		7.7	7.7	m
Усвоена површина на еден таложник	Adopted Net req. surface of one clarifier		300.0	300.0	m ²
Волуменско оптоварување на тињата	Sludge volume load		1.40	1.54	l/(m ² *h)
Површинско оптоварување	Surface load		0.83	0.83	m ³ /m ² *h
Длабочина на чистата вода	Clean Water depth h ₁		0.50	0.50	m
Зона на сепарација	Separation and Return Flow Zone h ₂		1.38	1.47	m
Зона на згуснување	Density flow and Storage Zone h ₃		0.00	0.00	m
Зона на отстранување на тињата	Thickening and Sludge removal zone h ₄		0.87	1.16	m
Потребна длабочина на таложникот	Calculated total depth at h _m (2/3 d)		2.74	3.13	m
Избрана длабочина на 2/3d (за радијални)	Chosen depth at h _m (2/3 d)		4.50	4.50	m
Волумен на еден таложник	Volume of one secondary settling tank		1,350	1,350	m ³
Време на престој при DWF	Retention time at DWF		5.66	5.66	h
Време на престој при hDWF	Retention time at hDWF		4.09	4.09	h
Време на престој при MWWF	Retention time at MWWF		2.73	2.73	h

ПСОВ	WWTP:	Берово			
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба			
Модел 2.1	Model 2.1	Проектирано решение			
Пресметка на линија на тиња	Sludge line calculation sheet		секундарен	терцијален	
Година	Year		2015	2015	
			14000	14000	PE
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Ед. мерка
			секундарно	терцијално	
Секундарна тиња	Secondary Sludge				
Вишок активна тиња	Waste Activated Sludge production	WAS	1,012	950	kg/d
Вишок активна тиња, разградлив дел	Waste activated sludge, volatile content	σ TSS	709	665	kg/d
Содржина на сува материја	Dry matter content	SS _{WS}	0.80	0.880	%
Дневна количина на вишок активна тиња	Daily waste sludge quantity	Q _{WS,d}	126.5	108.0	m ³ /d
Времетраење на пумпање на вишок активна тиња	Period of sludge wasting				
Вишок активна тиња кон следниот третман	WAS flow to mechanical thickening				
Среден часовен проток на секундарна тиња	Average Hourly secondary sludge quantity	Q _{WS,h}			m ³ /h
Резервоар за стабилизација на тиња	Aerobic sludge stabilization tank				
Потребно време на ретенција	Requering sludge retention time	Tsh	20	20	days
Периоди без аерација	Aeration off periods	h/day	4	4	h/day
Концентрација на тиња во резервоарот	Sludge concentration in tank		2	2	%
Волумен на резервоарот	Requeired volume	V _{SRT}	917.1	860.9	m ³
Број на резервоари	Number of tanks		1.0	1.0	pcs
Избран волумен на резервоарот	Chosen volume of tank	V _{SRT}	900.0	900.0	m ³
Средна дневна температура	Average yearly temperature	T	15.0	15.0	°C
Процент на разградлива материја	Percentage of volatile organics matter destruction		0.35	0.35	
Количина на стабилизирана тиња	Amount of stabilized sludge		764	717	kg/d
Максимална летна температура	Maximal summer temperature	T	28	28	°C
Максимален процент на на разградување на органската материја	Maximal percentage of volatile organics matter destruction		0.43	0.43	%
Количина на разградена материја	Amount of destroyed volatile organics		304.68	286.03	
Потреба за кислород	Oxygen demands		2.3	2.3	kgO ₂ /kgSS
Дневна количина на кислород	Oxygen uptake		700.8	657.9	kg/d
Часовна количина на кислород	Hourly oxygen uptake		35.0	32.9	kg/h

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.1	Model 2.1	Проектирано решение				
Пресметка на системот за аерација при средно оптоварување	Aeration system calculation sheet at average loading		терцијален	секундарен		
Година	Year		2015	2015		
			14000	14000		
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед. мерка
Температура на отпадната вода	Temperature	T	10	12	20	°C
Потреба за кислород	Actual oxygen transfer rate needed, AOTR for the whole plant	AOTR or $OU_{h,AT}$	38.2	46.5	52.1	kg O ₂ /h
Алфа фактор на корекција	α - correction factor	α	0.7	0.7	0.7	/
Бета фактор на корекција	β - salinity correction factor	β	0.95	0.95	0.95	/
Фоулинг фактор на корекција	f - fouling correction factor	f	0.9	0.9	0.9	/
Температурен фактор на корекција	θ - temperature correction factor	θ	1.024	1.024	1.024	/
Надморска висина на аерациониот базен	Altitude of aeration basin (bottom), H	Hm.a.s.l.	800	800	800	m.a.s.l.
Длабочина анаерациониот базен	Aeration basin effective depth	h_{AT}	4.5	4.5	4.5	m
Височина на дифузориите од дното	Diffusers installation height	h_{d1}	0.1	0.1	0.1	m
Висина на полените дифузори	Depth of diffuser immerison	h_{d2}	4.4	4.4	4.4	m
Сатурација на растворен кислород при 0m надморска висина	$C_{s,T}$ (at sea level)	$C_{s,T}$ (at sea level)	11.28	10.77	9.08	mg O ₂ /L
висина	Atmospheric pressure at altitude H	Pa	91,997	92,059	92,300	Pa
Сатурација на растворен кислород коригирана за надморска висина	$C_{s,T,H}$	$C_{s,T,H}$	10.24	9.79	8.27	mg O ₂ /L
Концентрација на кислородот што го напушта аерациониот танк	Oxygen concentration in air leaving aeration tank	% mol	19	19	19	% mol
Хидростатски притисок од воден столб	Additional pressure of water level	p_{hw}	43,164	43,164	43,164	Pa
Средна вредност на сатурација на растворен кислород	Average $C_{s,T,H}$ in aeration tank	$C_{s,T,H}$	12.16	11.61	9.81	mg O ₂ /L
Концентрација на растворен кислород во аерациониот танк	Oxygen set point	Cx	2	2	2	mg O ₂ /L
Стандарден трансфер на кислород	Standard oxygen transfer rate, SOTR	SOTR	90	105	101	kg O ₂ /m ³ xh
Специфичен трансфер на кислород	Specific standard oxygen transfer efficiency, SSOTE	SSOTE	5.5	5.5	5.5	%/m
Стандардна ефикасност на трансфер на кислород	Standard oxygen transfer efficiency	SOTE	0.35	0.35	0.35	%
Масен удел на кислородот во воздухот	Weight % of O ₂ in air	/	23%	23%	23%	%
Густина на воздухот коригиран за надморска висина	Density of air at T and altitude H	ρ_{air}	1.094	1.094	1.097	g/L
Потреба за воздух	Air requirements	Q_{air}	1,013	1,185	1,137	Nm ³ /h
Проток за избор на дувалка	Blower selection flow	Q_{air}	17	20	19	Nm ³ /min

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.1	Model 2.1	Проектирано решение				
Пресметка на системот за аерација за стабилизација на тињата	Aeration system of the sludge stabilization tank calculation sheet		терцијален	секундарен		
Година	Year		2015	2015		
			14000	14000		
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед. мерка
Температура на отпадната вода	Temperature	T	10	20	28	°C
Потреба за кислород	Actual oxygen transfer rate needed, AOTR for the whole plant	AOTR or $OU_{h,AT}$	35.0	35.0	35.0	kg O ₂ /h
Алфа фактор на корекција	α - correction factor	α	0.6	0.6	0.6	/
Бета фактор на корекција	β - salinity correction factor	β	0.95	0.95	0.95	/
Фоулинг фактор на корекција	f - fouling correction factor	f	0.9	0.9	0.9	/
Температурен фактор на корекција	θ - temperature correction factor	θ	1.024	1.024	1.024	/
Надморска висина на аерациониот базен	Altitude of aeration basin (bottom), H	Hm.a.s.l.	800	800	800	m.a.s.l.
Длабочина анаерациониот базен	Aeration basin effective depth	h_{AT}	4.5	4.5	4.5	m
Височина на дифузориите од дното	Diffusers installation height	h_{d1}	0.1	0.1	0.1	m
Висина на полените дифузори	Depth of diffuser immerison	h_{d2}	4.4	4.4	4.4	m
Сатурација на растворен кислород при 0m надморска висина	$C_{s,T}$ (at sea level)	$C_{s,T}$ (at sea level)	11.28	9.08	7.81	mg O ₂ /L
висина	Atmospheric pressure at altitude H	Pa	91,997	92,300	92,529	Pa
Сатурација на растворен кислород коригирана за надморска висина	$C_{s,T,H}$	$C_{s,T,H}$	10.24	8.27	7.13	mg O ₂ /L
Концентрација на кислородот што го напушта аерациониот танк	Oxygen concentration in air leaving aeration tank	% mol	19	19	19	% mol
Хидростатски притисок од воден столб	Additional pressure of water level	p_{hw}	43,164	43,164	43,164	Pa
Средна вредност на сатурација на растворен кислород	Average $C_{s,T,H}$ in aeration tank	$C_{s,T,H}$	12.16	9.81	8.46	mg O ₂ /L
Концентрација на растворен кислород во аерациониот танк	Oxygen set point	Cx	2	2	2	mg O ₂ /L
Стандарден трансфер на кислород	Standard oxygen transfer rate, SOTR	SOTR	96	79	68	kg O ₂ /m ³ xh
Специфичен трансфер на кислород	Specific standard oxygen transfer efficiency, SSOTE	SSOTE	5.5	5.5	5.5	%/m
Стандардна ефикасност на трансфер на кислород	Standard oxygen transfer efficiency	SOTE	0.35	0.35	0.35	%
Масен удел на кислородот во воздухот	Weight % of O ₂ in air	/	23%	23%	23%	%
Густина на воздухот коригиран за надморска висина	Density of air at T and altitude H	ρ_{air}	1.094	1.097	1.100	g/L
Потреба за воздух	Air requirements	Q_{air}	1,083	891	765	Nm ³ /h
Проток за избор на дувалка	Blower selection flow	Q_{air}	18	15	13	Nm ³ /min

АНЕКС 2.2 – Калибриран модел за капацитет од 10.000 ЕЖ

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.2	Model 2.2	Сегашна состојба				
Влезни податоци	Input Data Sheet		секундарен	терцијален	продолжен а аерација	
Година	Year		2018	2018	2018	
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед.мерка
Хидраулично оптоварување	Hydraulic Loads					
Број на жители	Domestic population connected		-	-	-	P
Еквивалентни жители од индустрија	Industrial population equivalent		-	-	-	iPE
Вкупно еквивалентни жители	Total Population Equivalent		10,000	10,000	10,000	PE
Пресметка на количина на отпадна вода	Wastewater quantity assessment					
Отпадна по жител на ден	Flowrate per capita per day	W_{WWd}	110	110	110	l/(capita*d)
Отпадна вода од населението	Wastewater flow from population	Q_{pww}	-	-	-	m ³ /d
Отпадна вода од индустрија, годишно	Wastewater flow from industry, yearly	$Q_{indww,year}$	-	-	-	m ³ /y
Отпадна вода од индустрија дневно	Wastewater flow from industry	Q_{indww}	-	-	-	m ³ /d
Вкупно отпадна вода	Wastewater flow		-	-	-	m ³ /d
		Q_{ww}	-	-	-	m ³ /h
			-	-	-	l/s
Инфилтрација	Infiltration water flow	Q_{inf}	-	-	-	m ³ /d
			-	-	-	m ³ /h
			-	-	-	l/s
Проток при суво време	Dry Weather Flow	Q_{DW}	4,295	4,295	4,295	m ³ /d
			179	179	179	m ³ /h
			50	50	50	l/s
Максимален проток при суво време	Maximum Dry Weather Flow	$Q_{DW,max}$	268	268	268	m ³ /h
Максимален часовен проток при суво време	Maximum hourly Dry Weather Flow	$Q_{ww,14}$	307	307	307	m ³ /h
			85	85	85	l/s
Максимален проток при врнежи	Maximum Wet Weather Flow	Q_{MWWF}	460	460	460	m ³ /h
			128	128	128	l/s
Карактеристики на инфлуентот	Influent Characteristics					
Специфично оптоварување со БПК5	Specific Load of BOD ₅		60	60	60	g/PE*d
Специфично оптоварување со ХПК	Specific Load of COD		120	120	120	g/PE*d
Специфично оптоварување со ВЦМ	Specific Load of TSS		70	70	70	g/PE*d
Специфично оптоварување со ТКН	Specific Load of TKN		11	11	11	g/PE*d
Специфично оптоварување со P	Specific Load of P		1.8	1.8	1.8	g/PE*d
Дневен товар на БПК5	Daily load of BOD ₅	$B_{d,BOD}$	588	588	588	kg/d
Дневен товар на ХПК	Daily load of COD	$B_{d,COD}$	1,106	1,106	1,106	kg/d
Дневен товар на ВСМ	Daily load of TSS	$B_{d,SS}$	607	607	607	kg/d
Дневен товар на ТКН	Daily load of TKN	$B_{d,TKN}$	85	85	85	kg/d
Дневен товар на P	Daily load of P	$B_{d,P}$	15	15	15	kg/d
Концентрација на БПК5	Concentration of BOD ₅	C_{BOD}	137	137	137	mg/l
Концентрација на ХПК	Concentration of COD	C_{COD}	258	258	258	mg/l
Концентрација на ВЦМ	Concentration of TSS	X_{SS}	141	141	141	mg/l
Концентрација на ТКН	Concentration of TKN	C_{TKN}	20	20	20	mg/l
Концентрација на P	Concentration of P	C_P	3	3	3	mg/l

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.2	Model 2.2	Проектирано решение				
Пресметка на биолошки реактори за температура од 12°C	Biological reactors calculation sheet for temperature of 12°C		секундарен 12°C	терцијален 12°C	продолжена аерација 12°C	
Година	Year		2015	2015	2015	PE
			14000	14000	14000	PE
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед.мерка
Квалитет на ефлуентот	Discharge quality criteria					
Биолошка потреба за кислород	Biochemical oxygen demand	BOD ₅	25	25	25	mg/l
Хемиска потреба за кислород	Chemical oxygen demand	COD	125	125	125	mg/l
Вкупно суспендирана материја	Total suspended solids	TSS	35	35	35	mg/l
Вкупен фосфор	Total phosphorus (<100.000 PE)	TP		2	2	mg/l
Вкупен азот	Total nitrogen (<100.000 PE)	TN _{EFF}		15	15	mg/l
		org N _{EFF}	2.0	2.0	2.0	mg/l
		NH ₄ -N _{EFF}		0.0	0.0	mg/l
		NO ₃ -N _{EFF}		12.0	12.0	mg/l
		NO ₂ -N _{EFF}		0.0	0.0	mg/l
		org N _{BM}	6.8	5.5	5.5	mg/l
Проектни параметри	Design Parameter					
Проток при суво време	Dry Weather Flow	DWF	179	179	179	m ³ /h
Максимален проток при суво време	Maximum Dry Weather Flow	mDWF	268	268	268	m ³ /h
Максимален часовен проток при суво време	Hourly Dry Weather Flow	hDWF	307	307	307	m ³ /h
Редуција на БПК ₅ и ХПК во ПТ	BOD and COD reduction in PST		25	25	25	%
Концентрација на БПК ₅	BOD ₅ Concentration	C _{BOD5}	137	137	137	mg/l
Маса на БПК ₅ на влез во БР	BOD ₅ load to biological reactor	B _{BOD5}	588	588	588	kg/d
Маса на ХПК на влез во БР	COD Load	B _{COD}	1,106	1,106	1,106	kg/d
Редуција на ВСМ во ПТ	SS reduction in PST					%
Маса на ВСМ на влез во БР	Total suspended solids	B _{d,SS}	607	607	607	kg/d
Концентрација на ВСМ	Total suspended solids concentration	X _{SS}	141	141	141	mg/l
TKN редуција во ПТ	TKN reduction in PST					%
Маса на ТKN на влез во БР	Total Kejidahi Nitrogen load	TKN	85	85	85	kg/d
Концентрација на ТKN	TKN concentration		20	20	20	mg/l
Концентрација на Р	Total phosphates phosphoros concentration	PO4-P	15.0	15.0	15.0	mg/l
Алкалност како јагеноводород	Alkalinity as hydrogen carbonate	S _{ALK}				mmol/l
Температура на процесот	Process temperature	T _{DIM}	12	12	12	°C
Концентрација на суспендирана материја во секундарен таложник	Mixed liquor suspended solids (MLSS) in the SS	SS _{EST}	2.04	2.86	4.19	kg/m ³
Потребна концентрација на суспендирана материја во БР	Required Mixed liquor suspended solids (MLSS) in the AT	SS _{AT}	2.43	3.16	7.00	kg/m ³
Број на линии на биолошко пречистување	Number of biological lines	N _r	1	1	1	
Длабочина на водата во БР	Water depth	d _w	4.5	4.5	4.5	m
Фактор на сигурност за Bd _{BOD} < 1200 kg/d	Minimum safety Factor for Bd _{BOD} < 1200 kg/d	-	1.80	1.80	1.80	
Минимална старост на тињата по ATV	Sludge age minimum required acc. ATV	t _{SS,MIN}				d
Старост на тињата	Sludge age aerob required	t _{SS,AEROB}				d
Старост на тињата	Sludge age required	t _{SS,dim}	5.0	10.0	25.0	d
Температурен фактор	Temperature factor for endogenous respiration	F _T	0.81	0.81	0.81	
Однос на X _{SS} /C _{BOD,IAT}		X _{SS} /C _{BOD,IAT}	1.03	1.03	1.03	
Специфична количина на тиња создадена при отстранување на органска материја	Specific sludge production from carbon removal	SP _{c/BOD}	1.12	1.02	0.90	kgSS/kgBOD ₅
Количина на тиња создадена при отстранување на органска материја	Sludge production from carbon removal	SP _{d,C}	661	601	532	kg/d
Вкупно производство на тиња	Sludge production total	SP _d	661	601	532	kg/d

Потребна маса на суспендирана материја во БР	Required mass of SS in aerob reactor	$M_{SS,AT}$	3,306	6,006	13,292	kg
Концентрација на нитрат за денитрификација	Nitrate concentration to be denitrified	$S_{NO_3,D}$		0.3	0.3	mg/l
Концентрација на амониум за нитрификација	Ammonium nitrogen to be nitrified	$S_{NH_4,N}$		12.3	12.3	mg/l
Потребен капацитет за денитрификација	Required denitrification capacity	$S_{NO_3,D}/C_{BOD_5}$		0.002	0.002	-
Однос на волуменот за денитрификација	Required denitrification volume ratio PrdN	V_D/V_{AT}		0.30	0.30	
Минимална вредност на нитратот во ефлуентот	Actual nitrate target at effluent	$S_{NO_3-N,EFF}$		12.00	12.00	mg/l
Оптеретување на масата на тињата	Existing BOD ₅ sludge loading rate	$B_{SS,BOD}$	0.18	0.10	0.04	kg/(kg d)
Волуменско оптеретување на тињата	Existing BOD ₅ volume loading rate	$B_{R,BOD}$	0.36	0.28	0.19	kg/(m ³ d)
Процент на рецикулација	Total recirculation flow ratio	RC	0.75	1.0	1.0	
Проток на интерна рецикулација	Internal recirculation flow	Q_{IR}	0.0	0.0	0.0	m ³ /h
Потребен волумен на био-реакторот	Required total volume	V_{AT}	1,619	2,102	3,172	m ³
Потребен волумен за денитрификација	Required total volume of anoxic reactor	V_D	0	630	952	m ³
Потребен волумен за нитрификација	Required total volume of aerob reactor	V_N	1,619	1,471	2,221	m ³
Време на престој при DWF	Retention time at DWF		9.0	11.7	17.7	h
Време на престој при mDWF	Retention time at mDWF		6.0	7.8	11.8	h
Време на престој при hDWF	Retention time at hDWF		5.3	6.9	10.3	h
Време на престој при MWWF	Retention time at MWWF		3.5	4.6	6.9	h
Димензии на еден реактор	Dimensions of one tank					m ³
Усоен волумен аерациониот танк	Adopted volume of the aeration tank	V_N	1,360	1,900	1,900	m ³
Усоен волумен примарниот реактор	Adopted volume of the primary reactor	V_D	540	540	540	m ³
Потреба за кислород	Oxygen demand					
Специфична потрошувачка на кислород	Specific oxygen consumption	$OU_{C,BOD}$	0.93	1.07	1.24	kgO ₂ /kgBOD
Потреба за кислород за отстранување на органска материја	Oxygen uptake for carbon removal	$OU_{d,C}$	546.84	629.16	729.12	kgO ₂ /d
Потреба за кислород за нитрификација	Oxygen uptake for nitrification	$OU_{d,N}$	-	227.43	227.43	kgO ₂ /d
Потреба за кислород за денитрификација	Oxygen for denitrification	$OU_{d,D}$	-	3.92	3.92	kgO ₂ /d
Средна дневна потреба за кислород по реактор	Average oxygen uptake per reactor per day	O_{ud}	546.84	852.67	952.63	kgO ₂ /d
Средна часовна потреба за кислород по реактор	Average hourly oxygen uptake per reactor	O_{ud}	22.79	35.53	39.69	kgO ₂ /h
Фактор за потреба на кислород	peak factor for the oxygen uptake rate	f_C	1.275	1.2	1.2	/
Фактор за потреба за кислород	peak factor for the oxygen uptake rate	f_N	-	2.5	1.5	/
Максимална потреба на кислород при максимално оптоварување	Maximum oxygen uptake at max. carbon load	OU_h	29.05	40.74	45.74	kgO ₂ /h
Максимална потреба на кислород при максимално оптоварување	Maximum oxygen uptake at max. nitrogen load	OU_h	-	49.74	44.43	kgO ₂ /h
Максимална потреба за кислород по реактор	Maximum oxygen uptake per reactor	$OU_{h,AT}$	-	49.7	44.4	kgO ₂ /h

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.2	Model 2.2	Сегашна состојба				
Пресметка на секундарни таложници	Secondary clarifiers calculation sheet		секундарен	терцијален	терцијален	
Година	Year		2018	2018	2018	
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед.мерка
			10000	10000	10000	PE
			секундарен	терцијален	продолжена аерација	
Квалитет на ефлуентот	Discharge quality criteria		14000	14000	14000	
Биолошка потреба за кислород	Biochemical oxygen demand	BOD ₅	25	25	25	mg/l
Хемиска потреба за кислород	Chemical oxygen demand	COD	125	125	125	mg/l
Вкупно суспендирана материја	Total suspended solids	TSS	35	35	35	mg/l
Вкупен фосфор	Total phosphorus (<100.000 PE)	TP		2	2	mg/l
Вкупен азот	Total nitrogen (<100.000 PE)	TN		15	15	mg/l
Проектни параметри	Design Parameter					
Максимален проток при врнежи	Maximum Wet Weather Flow	Q _{MWWF}	460	460	460	m ³ /h
Максимален часовен проток при суво време	Maximum hourly Dry Weather Flow	Q _{ww,14}	307	307	307	m ³ /h
Волуменски индекс на тињата	Sludge Volume Index	SVI	120	100	75	ml/g
Време на згуснување	Thickening time	t _E	1.5	1.5	2	h
Однос на рецикулација на тиња	Return Sludge Ratio (RS)	-	0.75	1.00	1.00	
Волуменско оптеретување на тињата	Sludge Volume Loading Rate, q _v	q _v	400	400	400	l/(m ² ·h)
	Diluted sludge volume	DSV	245	286	314	l/m ³
Површинско оптеретување	Existing Surface Overflow Rate, q _A < 1.60	q _A	1.63	1.40	1.27	m ³ /(m ² ·h)
Суспендирана материја во наталожената тиња	SS in bottom sludge	SS _{BS}	9.5	11.4	16.8	kg/m ³
Суспендирана материја во повратната тиња	SS Content in Return Sludge (SS _{RS})	SS _{RS}	4.8	5.7	8.4	kg/m ³
Маса на суспендирана материја	Mixed-Liquor SS	SS _{AT} , SS _{EAT}	2.04	2.86	4.19	kg/m ³
Број на таложници	Number of clarifiers		1	1	1	
Потребна површина на еден таложник	Net req. surface of one clarifier	A _{ST}	282	329	362	m ²
Должина	Length		39.2	39.2	39.2	m
Ширина	Width		7.7	7.7	7.7	m
Усвоена површина на еден таложник	Adopted Net req. surface of one clarifier		300.0	300.0	300.0	m ²
Волуменско оптоварување на тињата	Sludge volume load		1.60	1.86	2.05	l/(m ² ·h)
Површинско оптоварување	Surface load		1.53	1.53	1.53	m ³ /m ² ·h
Длабочина на чистата вода	Clean Water depth h ₁		0.50	0.50	0.50	m
Зона на сепарација	Separation and Return Flow Zone h ₂		1.78	2.15	2.24	m
Зона на згуснување	Density flow and Storage Zone h ₃		0.00	0.00	0.00	m
Зона на отстранување на тињата	Thickening and Sludge removal zone h ₄		0.86	1.15	1.53	m
Потребна длабочина на таложникот	Calculated total depth at h _m (2/3 d)		3.14	3.80	4.27	m
Избрана длабочина на 2/3d (за радијални)	Chosen depth at h _m (2/3 d)		4.50	4.50	4.50	m
Волумен на еден таложник	Volume of one secondary settling tank		1,350	1,350	1,350	m ³
Време на престој при DWF	Retention time at DWF		4.31	3.77	3.77	h
Време на престој при hDWF	Retention time at hDWF		2.51	2.20	2.20	h
Време на престој при MWWF	Retention time at MWWF		1.68	1.47	1.47	h

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.2	Model 2.2	Сегашна состојба				
Пресметка на линија на тиња	Sludge line calculation sheet		секундарен	терцијален	продолжен	
Година	Year		2015	2015	2015	
			14000	14000	14000	PE
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед. мерка
			секундарно	терцијално	продолжена	
				аерација		
Секундарна тиња	Secondary Sludge					
Вишок активна тиња	Waste Activated Sludge production	WAS	661	601	532	kg/d
Вишок активна тиња, разградлив дел	Waste activated sludge, volatile content	oTSS	463	420	372	kg/d
Содржина на сува материја	Dry matter content	SS _{ws}	0.48	0.572	0.838	%
Дневна количина на вишок активна тиња	Daily waste sludge quantity	Q _{WS,d}	138.8	105.1	63.4	m ³ /d
Времетраење на пумпање на вишок активна тиња	Period of sludge wasting					
Вишок активна тиња кон следниот третман	WAS flow to next level of treatment					
Среден часовен проток на секундарна тиња	Average Hourly secondary sludge quantity	Q _{WS,h}				m ³ /h
Резервоар за стабилизација на тиња	Aerobic sludge stabilization tank					
Потребно време на ретенција	Requering sludge retention time	T _{sh}	20	20	20	days
Периоди без аерација	Aeration off periods	h/day	4	4	4	h/day
Концентрација на тиња во резервоарот	Sludge concentration in tank		2	2	2	%
Волумен на резервоарот	Requeired volume	V _{SRT}	599.0	544.2	481.7	m ³
Број на резервоари	Number of tanks		1.0	1.0	1.0	pcs
Избран волумен на резервоарот	Chosen volume of tank	V _{SRT}	900.0	900.0	900.0	m ³
Средна дневна температура	Average yearly temperature	T	15.0	15.0	15.0	°C
Процент на разградлива материја	Percentage of volatile organics matter destruction		0.35	0.35	0.35	
Количина на стабилизирана тиња	Amount of stabilized sludge		499	453	401	kg/d
Максимална летна температура	Maximal summer temperature	T	28	28	28	°C
Максимален процент на на разградување на органската материја	Maximal percentage of volatile organics matter destruction		0.43	0.43	0.43	%
Количина на разградена материја	Amount of destroyed volatile organics		199.01	180.79	160.04	
Потреба за кислород	Oxygen demands		2.3	2.3	2.3	kgO ₂ /kgSS
Дневна количина на кислород	Oxygen uptake		457.7	415.8	368.1	kg/d
Часовна количина на кислород	Hourly oxygen uptake		22.9	20.8	18.4	kg/h

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.2	Model 2.2	Проектирано решение				
Пресметка на системот за аерација при средно оптоварување	Aeration system calculation sheet at average loading		терцијален	секундарен		
Година	Year		2015	2015		
			14000	14000		
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед. мерка
Температура на отпадната вода	Temperature	T	10	12	20	°C
Потреба за кислород	Actual oxygen transfer rate needed, AOTR for the whole plant	AOTR or $OU_{h,AT}$	39.9	40.7	44.0	kg O ₂ /h
Алфа фактор на корекција	α - correction factor	α	0.6	0.6	0.6	/
Бета фактор на корекција	β - salinity correction factor	β	0.95	0.95	0.95	/
Фоулинг фактор на корекција	f - fouling correction factor	f	0.9	0.9	0.9	/
Температурен фактор на корекција	θ - temperature correction factor	θ	1.024	1.024	1.024	/
Надморска висина на аерациониот базен	Altitude of aeration basin (bottom), H	Hm.a.s.l.	800	800	800	m.a.s.l.
Длабочина анаерациониот базен	Aeration basin effective depth	h_{AT}	4.5	4.5	4.5	m
Височина на дифузориите од дното	Diffusers installation height	h_{d1}	0.1	0.1	0.1	m
Висина на потопените дифузори	Depth of diffuser immerison	h_{d2}	4.4	4.4	4.4	m
Сатурација на растворен кислород при 0m надморска висина	$C_{s,T}$ (at sea level)	$C_{s,T}$ (at sea level)	11.28	10.77	9.08	mg O ₂ /L
Атмосферски притисок на надморска висина	Atmospheric pressure at altitude H	Pa	91,997	92,059	92,300	Pa
Сатурација на растворен кислород коригирана за надморска висина	$C_{s,T,H}$	$C_{s,T,H}$	10.24	9.79	8.27	mg O ₂ /L
Концентрација на кислородот што го напушта аерациониот танк	Oxygen concentration in air leaving aeration tank	% mol	19	19	19	% mol
Хидростатски притисок од воден столб	Additional pressure of water level	p_{hw}	43,164	43,164	43,164	Pa
Средна вредност на сатурација на растворен кислород	Average $C_{s,T,H}$ in aeration tank	$C_{s,T,H}$	12.16	11.61	9.81	mg O ₂ /L
Концентрација на растворен кислород во аерациониот танк	Oxygen set point	Cx	2	2	2	mg O ₂ /L
Стандарден трансфер на кислород	Standard oxygen transfer rate, SOTR	SOTR	89	92	101	kg O ₂ /m ³ xh
Специфичен трансфер на кислород	Specific standard oxygen transfer efficiency, SSOTE	SSOTE	5.5	5.5	5.5	%/m
Стандардна ефикасност на трансфер на кислород	Standard oxygen transfer efficiency	SOTE	0.35	0.35	0.35	%
Масен удел на кислородот во воздухот	Weight % of O ₂ in air	/	23%	23%	23%	%
Густина на воздухот коригиран за надморска висина	Density of air at T and altitude H	ρ_{air}	1.094	1.094	1.097	g/L
Потреба за воздух	Air requirements	Q_{air}	1,002	1,032	1,134	Nm ³ /h
Проток за избор на дувалка	Blower selection flow	Q_{air}	16.7	17.2	18.9	Nm ³ /min

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во АБР изведба				
Модел 2.2	Model 2.2	Проектирано решение				
Пресметка на системот за аерација за стабилизација на тињата	Aeration system of the sludge stabilization tank calculation sheet		терцијален	секундарен		
Година	Year		2015	2015		
			14000	14000		
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед. мерка
Температура на отпадната вода	Temperature	T	10	20	28	°C
Потреба за кислород	Actual oxygen transfer rate needed, AOTR for the whole plant	AOTR or $OU_{h,AT}$	22.9	22.9	22.9	kg O ₂ /h
Алфа фактор на корекција	α - correction factor	α	0.6	0.6	0.6	/
Бета фактор на корекција	β - salinity correction factor	β	0.95	0.95	0.95	/
Фоулинг фактор на корекција	f - fouling correction factor	f	0.9	0.9	0.9	/
Температурен фактор на корекција	θ - temperature correction factor	θ	1.024	1.024	1.024	/
Надморска висина на аерациониот базен	Altitude of aeration basin (bottom), H	Hm.a.s.l.	800	800	800	m.a.s.l.
Длабочина анаерациониот базен	Aeration basin effective depth	h_{AT}	4.5	4.5	4.5	m
Височина на дифузориите од дното	Diffusers installation height	h_{d1}	0.1	0.1	0.1	m
Висина на полените дифузори	Depth of diffuser immerison	h_{d2}	4.4	4.4	4.4	m
Сатурација на растворен кислород при 0m надморска висина	$C_{s,T}$ (at sea level)	$C_{s,T}$ (at sea level)	11.28	9.08	7.81	mg O ₂ /L
висина	Atmospheric pressure at altitude H	Pa	91,997	92,300	92,529	Pa
Сатурација на растворен кислород коригирана за надморска висина	$C_{s,T,H}$	$C_{s,T,H}$	10.24	8.27	7.13	mg O ₂ /L
Концентрација на кислородот што го напушта аерациониот танк	Oxygen concentration in air leaving aeration tank	% mol	19	19	19	% mol
Хидростатски притисок од воден столб	Additional pressure of water level	p_{hw}	43,164	43,164	43,164	Pa
Средна вредност на сатурација на растворен кислород	Average $C_{s,T,H}$ in aeration tank	$C_{s,T,H}$	12.16	9.81	8.46	mg O ₂ /L
Концентрација на растворен кислород во аерациониот танк	Oxygen set point	Cx	2	2	2	mg O ₂ /L
Стандарден трансфер на кислород	Standard oxygen transfer rate, SOTR	SOTR	44	45	45	kg O ₂ /m ³ xh
Специфичен трансфер на кислород	Specific standard oxygen transfer efficiency, SSOTE	SSOTE	5.5	5.5	5.5	%/m
Стандардна ефикасност на трансфер на кислород	Standard oxygen transfer efficiency	SOTE	0.35	0.35	0.35	%
Масен удел на кислородот во воздухот	Weight % of O ₂ in air	/	23%	23%	23%	%
Густина на воздухот коригиран за надморска висина	Density of air at T and altitude H	ρ_{air}	1.094	1.097	1.100	g/L
Потреба за воздух	Air requirements	Q_{air}	495	508	508	Nm ³ /h
Проток за избор на дувалка	Blower selection flow	Q_{air}	8	8	8	Nm ³ /min

АНЕКС 2.3 - Модел на СБР за сегашна состојба

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во СБР изведба				
Модел 2.3	Model 2.3	Сегашна состојба				
Влезни податоци	Input Data Sheet		нитрификација	отстранување азот	продолжена аерација	
Година	Year		2018	2018	2018	
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед.мерка
Хидраулично оптоварување	Hydraulic Loads					
Број на жители	Domestic population					P
Еквивалентни жители од индустрија	Industrial population equivalent					PE
Вкупно еквивалентни жители	Total Population Equivalent		10,000			PE
Пресметка на количина на отпадна вода	Wastewater quantity assessment					
Отпадна по жител на ден	Flowrate per capita per day	$W_{ww/d}$				$l/(capita \cdot d)$
Вкупно отпадна вода	Wastewater flow	Q_{ww}				m^3/d
						m^3/h
Инфилтрација	Infiltration water flow	Q_{inf}				m^3/d
						m^3/h
						l/s
Проток при суво време	Dry Weather Flow	Q_{DW}	4,295	4,295	4,295	m^3/d
			179	179	179	m^3/h
			50	50	50	l/s
Максимален проток при суво време	Maximum Dry Weather Flow	$Q_{DW,max}$	268	268	268	m^3/h
Максимален часовен проток при суво време	Maximum hourly Dry Weather Flow	$Q_{ww,14}$	307	307	307	m^3/h
			85	85	85	l/s
Максимален проток при врнежи	Maximum Wet Weather Flow	Q_{MWWF}	460	460	460	m^3/h
			128	128	128	l/s
Карактеристики на инфлуентот	Influent Characteristics					
Специфично оптоварување со БПК5	Specific Load of BOD ₅		60	60	60	$g/PE \cdot d$
Специфично оптоварување со ХПК	Specific Load of COD		120	120	120	$g/PE \cdot d$
Специфично оптоварување со ВЦМ	Specific Load of TSS		70	70	70	$g/PE \cdot d$
Специфично оптоварување со ТКН	Specific Load of TKN		9	9	9	$g/PE \cdot d$
Специфично оптоварување со Р	Specific Load of P		1.6	1.6	1.6	$g/PE \cdot d$
Дневен товар на БПК5	Daily load of BOD ₅	$B_{d,BOD}$	588	588	588	kg/d
Дневен товар на ХПК	Daily load of COD	$B_{d,COD}$	1,106	1,106	1,106	kg/d
Дневен товар на ВСМ	Daily load of TSS	$B_{d,SS}$	607	607	607	kg/d
Дневен товар на ТКН	Daily load of TKN	$B_{d,TKN}$	90	90	90	kg/d
Дневен товар на Р	Daily load of P	$B_{d,P}$	25	25	25	kg/d
Концентрација на БПК5	Concentration of BOD ₅	C_{BOD}	137	137	137	mg/l
Концентрација на ХПК	Concentration of COD	C_{COD}	258	258	258	mg/l
Концентрација на ВЦМ	Concentration of TSS	X_{SS}	141	141	141	mg/l
Концентрација на ТКН	Concentration of TKN	C_{TKN}	21	21	21	mg/l
Концентрација на Р	Concentration of P	C_P	6	6	6	mg/l

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во СБР изведба				
Модел 2.3	Model 2.3	Проектирано решение				
Пресметка на биолошки реактори за температура од 12°C	Biological reactors calculation sheet for temperature of 12°C		нитрификација	отстранување азот	продолжена аерација	
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед.мерка
1. Pollution Loads and effluent requirements						
	Daily load of BOD ₅	B _{d,BOD}	588	588	588	kg/d
	Daily load of COD	B _{d,COD}	1,106	1,106	1,106	kg/d
	Daily load of TSS	B _{d,SS}	607	607	607	kg/d
	Concentration of BOD ₅	C _{BOD,infSBR}	137	137	137	mg/l
	Concentration of COD	C _{COD,infSBR}	258	258	258	mg/l
	Concentration of TSS	X _{SS,infSBR}	141	141	141	mg/l
		X _{SS} /C _{BOD,SBR}	1.03	1.03	1.03	/
	Design temperature	T	12	12	12	°C
Effluent requirements						
	Concentration of BOD ₅	C _{BOD}	25	25	25	mg/l
	Concentration of COD	C _{COD}	125	125	125	mg/l
	Concentration of TSS	X _{SS}	35	35	35	mg/l
	Concentration of TN	S _N	15	15	15	mg/l
	Concentration of NO ₃	S _{NO₃}	12	12	12	mg/l
	Concentration of orgN	S _{orgN}	2	2	2	mg/l
	Concentration of P	C _P	2	2	2	mg/l
2. Nitrogen balance and denitrification capacity and sludge production						
	Nitrogen that has to be nitrified	S _{NH₄,N}	13	13	13	mg/l
	Concentration of nitrate that has to be denitrified	S _{NO₃,D}	1	1	1	mg/l
		S _{NO₃,D} /C _{BOD}	0.011	0.011	0.011	/
	Sludge age	t _{ss/dim}	10.0	15.0	25.0	days
	Specific sludge production	SP _{c/BOD}	1.02	0.96	0.90	kgSS/kgBOD ₅
	Sludge production from carbon removal	SP _{d,C}	600	564	529	kg/d
	Phosphorus elimination will be partially biological and partially with chemical					
	Concentration of phosphorus in the influent	C _{P,inf}	6	6	6	mg/l
	Concentration of phosphorus in the effluent	C _{P,eff}	1.4	1.4	1.4	mg/l
	Concentration of excess biological phosphorus	X _{P,BioP}	1.4	1.4	1.4	mg/l
	Concentration of phosphorus embedded in the biomass	X _{P,BM}	1.4	1.4	1.4	mg/l
	Concentration of phosphorus removed by simultaneous precipitation	X _{P,Pre}	1.7	1.7	1.7	mg/l
	Sludge production from phosphorus removal	SP _{d,P}	67	67	67	kg/d
	Total sludge production	SP _d	667	631	596	kg/d
	Required Mass of suspended solids	M _{SS/BB}	6,665	9,469	14,900	kg
3. Selection of type of process						
	Number of reactors	n	2	2	2	pieces
	Discontinued, sequential loading in charges					
	Without balance tank					
4. Cycle strategy						
	The following cycle intervals were selected:					
	Duration of the whole cycle	t _Z	8.0	8.0	8.0	h
	Duration of filling phase	t _F	3.0	3.0	3.0	h
	growth of the phosphorus biological removal bacteria	t _{BioP}	0.5	0.5	0.5	h
	Duration of sedimentation phase	t _{Sed}	1.0	1.0	1.0	h
	Duration of clean water discharge	t _{Ab}	1.0	1.0	1.0	h
	Duration of reaction time	t _R	5.5	5.5	5.5	h
	Sludge Volume Index	SVI	120	100	75	l/kg
	Proportion of the reactors volume for denitrification	V _D /V _{SBR}	0.30	0.30	0.30	/
	Duration of denitrification interval	t _D	1.65	1.65	1.65	h
	Duration of nitrification interval	t _N	3.85	3.85	3.85	h
	Required suspended solids mass in SRB	M _{SS-SRB}	9,695	13,773	21,672	kg
	Concentration of suspended solids at minimum volume	SS _{min}	2.5	3	4	kg/m ³

5. Calculation of volumes and heights						
Calculations for maximum inflow						
Minimum volume of single reactor or volume after discharge	V_{min}	1,939	2,296	2,709	m^3	
Maximum inflow volume per cycle in single reactor	ΔV_{max}	1,227	1,227	1,227	m^3	
Maximum volume of single reactor	V_R	3,166	3,523	3,936	m^3	
Actual volume of single reactor	V_R	1,360	1,360	1,360	m^3	
Volume exchange ratio	f_A	0.39	0.35	0.31	/	
Concentration of suspended solids at the reactor	SS_R	1.53	1.95	2.75	kg/m^3	
Required concentration of suspended solids at the actual reactor	SS_R	3.56	5.06	7.97		
Water level of the mixed sludge at the beginning of the settling	$H_{W,O}$	4.50	4.50	4.50	m	
Water level at the end of decanting	$H_{W,e}$	2.76	2.93	3.10	m	
Water surface at single reactor	A_{SBR}	703.60	782.81	874.70	m^2	
Dimensions of single reactor	L_{SBR}	26.60	28.00	29.60	m	
Dimensions of single reactor	W_{SBR}	26.60	28.00	29.60	m	
Corrected value for the surface of the single reactor	A_{SBR}	300.00	300.00	300.00	m^2	
No of Decanters per reactor	N_d	2.00	2.00	2.00		
Capacity of the decanter in the single reactor	Q_{ab}	614	614	614	m^3/h	
Calculations for dry weather inflow						
Inflow volume per cycle in single reactor at dry weather	ΔV_{DWF}	716	716	716	m^3	
Maximum volume of single reactor at dry weather	$V_{R,DWF}$	2,655	3,011	3,425	m^3	
Maximum volume of single reactor at dry weather	$V_{R,DWF}$	1,360	1,360	1,360	m^3	
Volume exchange ratio at dry weather	$f_{A,DWF}$	0.27	0.24	0.21	/	
Concentration of suspended solids in the reactor at dry weather	$SS_{R,DWF}$	1.83	2.29	3.16	kg/m^3	
Concentration of suspended solids in the reactor at dry weather	$SS_{R,DWF}$	3.56	5.06	7.97	kg/m^3	
Water level of the mixed sludge at the beginning of the settling at dry weather	$H_{W,O,DWF}$	3.77	3.85	3.92	m	
Water level at the end of decanting at dry weather	$H_{W,e,DWF}$	2.76	2.93	3.10	m	
Duration of decanting at dry weather flow	$t_{Ab,DWF}$	0.58	0.58	0.58	h	
6. Calculation of the clear water height						
Calculations for maximum inflow						
Relative height of the sludge level at the end, relative to $H_{W,O}$	$h_{S,e}$	0.43	0.20	0.21	m	
Starting settlement velocity	$V_{S,O}$	8.66	7.59	6.81	m/h	
Parameter for description of e-function of settling process	a	3.36	2.10	1.91	h^{-1}	
It is necessary to determine the height of clear water for two intervals: $t=1h$ (beginning of decantation) and $t=2h$ (end of decantation)						
Beginning of decantation	t	1.00	1.00	1.00	h	
End of decantation	t	2.00	2.00	2.00	h	
time of flocculation	t_{Floc}	0.17	0.17	0.17	h	
Sludge level at the beginning of decantation	$H_{S,(1h)}$	2.08	1.51	1.66	m	
Sludge level at the end of decantation	$H_{S,(2h)}$	1.93	0.96	1.04	m	
Clear water height at the beginning of decantation	$H_{KW,(1h)}$	2.42	2.99	2.84	m	
Clear water height at the end of decantation	$H_{KW,(2h)}$	0.83	1.97	2.06	m	
Calculation for dry weather flow						
Relative height of the sludge level at the end, relative to $H_{W,O}$	$h_{S,e,DWF}$	0.22	0.23	0.24	m	
Starting settlement velocity	$V_{S,O,DWF}$	6.09	5.63	5.28	m/h	
Parameter for description of e-function of settling process	a_{DWF}	2.07	1.90	1.77	h^{-1}	
It is necessary to determine the height of clear water for two intervals: $t=1h$ (beginning of decantation) and $t=2h$ (end of decantation)						
Beginning of decantation	t	1.00	1.00	1.00	h	
End of decantation	t_{DWF}	1.58	1.58	1.58	h	
time of flocculation	t_{Floc}	0.17	0.17	0.17	h	
Sludge level at the beginning of decantation	$H_{S,DWF,(1h)}$	1.36	1.49	1.62	m	
Sludge level at the end of decantation	$H_{S,DWF,(2h)}$	0.99	1.08	1.17	m	
Clear water height at the beginning of decantation	$H_{KW,DWF,(1h)}$	2.42	2.35	2.30	m	
Clear water height at the end of decantation	$H_{KW,DWF,(2h)}$	1.77	1.85	1.92	m	

7. Proof of denitrification						
	It has to be checked if nitrate level in the discharge is under set value at dry weather flow					
	Concentration of nitrate NO ₃ in the effluent	S _{NO₃,Eff}	3.63	3.20	2.82	
	Number of nitrification-denitrification phased in one cycle	Z	1.00	1.00	1.00	
8. Proof of increased biological phosphorus elimination						
	Corrected value for Proportion of the reactors volume for denitrification	V _D /V _{SBR}	0.36	0.36	0.36	
	Correction for concentration of nitrate that has to be denitrified	S _{NO₃,D}	13.69	13.69	13.69	
	calculated at S _{NH₄,N} =38 mg/l, according S _{NO₃,Eff} =8.2 mg/l, for denitrification goes only S _{NO₃,D} =29.8 mg/l. This concentration is lower than calculated of 36.5 mg/l, and therefore there are conditions for biological phosphorus elimination at the end of phase					
9. Calculation of balance tank						
		t	1	1	1	
	Volume of the Balance Tank	V _{BT}	460	460	460	
	discharged effluent					
	No equalising reservoir for the effluent is foreseen in this process					
11. Oxygen demand						
	Specific oxygen consumption	OU _{C,BOD}	1.07	1.15	1.24	kgO ₂ /kgBOD
	Oxygen uptake for carbon removal	OU _{d,C}	629.16	676.20	729.12	kg/d
	Oxygen uptake for nitrification	OU _{d,N}	248.93	248.93	248.93	kg/d
	Oxygen for denitrification	OU _{d,D}	18.42	18.42	18.42	kg/d
Средна дневна потреба за кислород по реактор	Average oxygen uptake per reactor per day	O _{ud}	859.67	906.71	959.63	kgO ₂ /d
Средна часовна потреба за кислород по реактор	Average hourly oxygen uptake per reactor	O _{uh}	35.82	37.78	39.98	kgO ₂ /h
	peak factor for the oxygen uptake rate	f _C	1.2	1.15	1.1	/
	peak factor for the oxygen uptake rate	f _N	2.5	2	1.5	/
	number of cycles per day	m _z	3	3	3	/
	Average oxygen uptake	OU _h	74.43	78.50	83.09	kgO ₂ /h
	Average oxygen uptake per reactor	OU _{h,SBR}	37.22	39.25	41.54	
	Maximum oxygen uptake at max. carbon load	OU _h	85.01	87.05	89.24	kgO ₂ /h
	Maximum oxygen uptake at max. nitrogen load	OU _h	106.76	100.06	93.86	kgO ₂ /h
	Maximum oxygen uptake per reactor	OU _{h,SBR}	53.4	50.1	47.0	kgO ₂ /h

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во СБР изведба				
Модел 2.3	Model 2.3	Проектирано решение				
Пресметка на системот за третман на вишок тиња	Calculation of the excess sludge line		нитрификација	отстранување азот	продолжена аерација	
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед. мерка
Secondary Sludge						
Total daily Waste Activated Sludge production	SP _{d,WAS}		667	631	596	kg/d
Waste activated sludge, volatile content	oTSS		467	442	417	kg/d
Dry matter content in the sedimented sludge	SS _{WS}		8.50	10.00	13.00	kg/m ³
			0.85	1.00	1.30	%
Volume of one reactor	V _{SBR,R}		3,166	3,523	3,936	m ³
Average concentration of the mixed liquor	SS _R		1.7	2.1	3.0	kg/m ³
Sludge age	t _{ss/dim}		10.0	15.0	25.0	days
Number of reactors	n		2.0	2.0	2.0	
React time	t _R		5.5	5.5	5.5	h
Total cycle time	t _Z		8.0	8.0	8.0	h
Number of cycles per day	m _Z		3.0	3.0	3.0	c/d
Required purging mass per day	SP _{d,WAS}		731	685	640	kg/d
Required purging mass per cycle/reactor	SP _{d,WAS,R}		122	114	107	kg/c/r
Required purging volume per cycle/reactor	Q _{WAS,cycle}		14.3	11.4	8.2	m ³ /c/r
Pumping purging time / cycle/reactor	t _{pump,cycle}		0.5	0.5	0.5	h/c/r
Req. installed pumping capacity/pump	Q _{PUMP,min}		29	23	16	m ³ /h/p
Daily pumping time/reactor			1.5	1.5	1.5	h/d
Number of working pumps	no		1.0	1.0	1.0	
Daily purged/pumped sludge/reactor			43	34	25	m ³ /d
Purging times per cycle and pump	no		1	2	3	1/c
Total daily pumped sludge	Q _{WS,d}		86	68	49	m ³ /d
Hourly flow rate of waste sludge	Q _{WS,h}		29	23	16	m ³ /h
Aerobic sludge stabilization tank						
Requiring sludge retention time	T _{sh}		15	10		days
Required volume			1289.5	684.9		m ³
Number of tanks			1.0	1.0		pcs
Chosen volume of tank			1500.0	1500.0		m ³
Средна дневна температура	Average yearly temperature	T	15.0	15.0		°C
Процент на разградлива материја	Percentage of volatile organics matter destruction		0.35	0.35		
Количина на стабилизирани тиња	Amount of stabilized sludge		503	477		kg/d
Максимална летна температура	Maximal summer temperature	T	28	28		°C
Максимален процент на на разградување на органската материја	Maximal percentage of volatile organics matter destruction		0.43	0.43		%
Количина на разградена материја	Amount of destroyed volatile organics		200.63	190.01		
	Oxygen demands		2.3	2.3		kgO ₂ /kgSS
Дневна количина на кислород	Oxygen uptake		461.4	437.0		kg/d
Часовна количина на кислород	Hourly oxygen uptake		20.1	19.0		kg/h

ПСОВ	WWTP:	Берово				
Тип на третман:	Treatment process:	Процес на активна тиња во СБР изведба				
Модел 2.3	Model 2.3	Проектирано решение				
Пресметка на системот за аерација при средно оптоварување	Aeration system calculation sheet at average loading		нитрификација	отстранување азот	продолжена аерација	
Параметар	Parameter	Симбол	Количина	Количина	Количина	Ед. мерка
Температура на отпадната вода	Temperature	T	12	12	12	°C
Потреба за кислород при испрекината аерација	Actual oxygen transfer rate needed, AOTR for the whole plant in intermittent aeration	AOTR or $OU_{h,AT}$	37.2	39.3	41.5	kg O ₂ /h
Алфа фактор на корекција	α - correction factor	α	0.6	0.65	0.7	/
Бета фактор на корекција	β - salinity correction factor	β	0.95	0.95	0.95	/
Фоулинг фактор на корекција	f - fouling correction factor	f	0.9	0.9	0.9	/
Температурен фактор на корекција	θ - temperature correction factor	θ	1.024	1.024	1.024	/
Надморска висина на аерациониот базен	Altitude of aeration basin (bottom), H	Hm.a.s.l.	800	800	800	m.a.s.l.
Длабочина анаерациониот базен	Aeration basin effective depth	h_{AT}	4.5	4.5	4.5	m
Височина на дифузориите од дното	Diffusers installation height	h_{d1}	0.1	0.1	0.1	m
Висина на пополените дифузори	Depth of diffuser immersion	h_{d2}	4.4	4.4	4.4	m
Сатурација на растворен кислород при 0m надморска висина	$C_{s,T}$ (at sea level)	$C_{s,T}$ (at sea level)	10.77	10.77	10.77	mg O ₂ /L
Атмосферски притисок на надморска висина	Atmospheric pressure at altitude H	Pa	92,059	92,059	92,059	Pa
Сатурација на растворен кислород коригирана за надморска висина	$C_{s,T,H}$	$C_{s,T,H}$	9.79	9.79	9.79	mg O ₂ /L
Концентрација на кислородот што го напушта аерациониот танк	Oxygen concentration in air leaving aeration tank	% mol	19	19	19	% mol
Хидростатски притисок од воден столб	Additional pressure of water level	p_{hw}	43,164	43,164	43,164	Pa
Средна вредност на сатурација на растворен кислород	Average $C_{s,T,H}$ in aeration tank	$C_{s,T,H}$	11.61	11.61	11.61	mg O ₂ /L
Концентрација на растворен кислород во аерациониот танк	Oxygen set point	Cx	2	2	2	mg O ₂ /L
Стандарден трансфер на кислород	Standard oxygen transfer rate, SOTR	SOTR	99	97	95	kg O ₂ /m ³ xh
Специфичен трансфер на кислород	Specific standard oxygen transfer efficiency, SSOTE	SSOTE	5.5	5.5	5.5	%/m
Стандардна ефикасност на трансфер на кислород	Standard oxygen transfer efficiency	SOTE	0.35	0.35	0.35	%
Масен удел на кислородот во воздухот	Weight % of O ₂ in air	/	23%	23%	23%	%
Густина на воздухот коригиран за надморска висина	Density of air at T and altitude H	ρ_{air}	1.094	1.094	1.094	g/L
Потреба за воздух	Air requirements	Q_{air}	1,118	1,089	1,070	Nm ³ /h
Проток за избор на дувалка	Blower selection flow	Q_{air}	18.6	18.1	17.8	Nm ³ /min

АНЕКС 3 - ЦИКЛУСИ НА РАБОТА НА БИОЛОШКИОТ ДЕЛ ОД ПОСТРОЈКАТА

Циклусот на третман се содржи од следните 6 фази:

Фаза 1:

Влезната отпадна вода заедно со рециркулираната тиња навлегува во примарниот реактор PR01, а потоа преку потопни цевки во првиот секундарен реактор SR01. Во двата реактори, отпадната вода се аерира со цел да се изврши процесот на нитрификација. По нејзиното завршување, водата, заедно со активната тиња, истекува во вториот секундарен реактор SR02, каде започнува процесот на таложеење. Активната тиња се таложува на дното од секундарниот реактор SR02, додека пречистената вода излегува од реакторот преку перфорирана цевка. По определено време, откако активната тиња е целосно таложена на дното од реакторот, се изведува со помош на вшмукувачки цевки инсталирани на целата површина од дното на реакторот кон цевките на повратна тиња, кои ја враќаат таложената тиња во примарниот реактор. Пречистената вода од секундарниот реактор SR02 се изведува преку перфорирана цевка кон контролната единица, одкаде преку излезна цевка се испушта во реципиентот (р. Брегалница).

За време на работата на пумпата, вишокот на тиња периодично се испушта во резервоарот за стабилизација и згуснување на тињата.

Првата фаза автоматски започнува по завршување на последната, шеста фаза, во регуларен режим на работа на станицата. Времетраењето на првата фаза е 300 минути.

Фаза 2:

Во фаза 2, нивото на таложена активна тиња е во континуиран раст и покрај делумно отстранетата концентрација на вишок тиња. Поради тој факт, од исклучителна важност е подесувањето на протокот на отпадна вода, кој треба да биде определен во зависност од концентрацијата на активна тиња во секундарниот SR02 реактор.

Времетраењето на фаза 2 варира помеѓу 10 и 50 минути и се определува за да се овозможи целосно таложеење на суспендираните честици, со цел да не дојде до испуштање во перфорираната цевка заедно со пречистената вода, при промена на режимот на работа.

Фаза 3:

Во третата фаза, двата секундарни реактори имаат улога на таложници. Времетраењето на оваа фаза е дефинирано во зависност од бројот на влезни пумпи кои работат. Во случај на голем проток на вода, капацитетот на таложеење се зголемува. Времетраењето на третата фаза е 60 минути.

Фаза 4:

Во четвртата фаза од циклусот на третман, се повторува процесот од првата фаза, меѓутоа со обратен проток:

Влезната отпадна вода заедно со рециркулираната тиња навлегува во примарниот реактор PR01, а потоа преку потопни цевки во вториот секундарен реактор SR02. Во двата реактори (PR01 и SR02) се извршува процесот на нитрификација. По неговото завршување, водата заедно со активната тиња, истекува во првиот секундарен реактор SR01, каде започнува процесот на таложее. Активната тиња се таложии на дното од првиот секундарен реактор SR01, додека пречистената вода излегува од реакторот преку перфорирана цевка. По определено време, откако активната тиња е целосно сталожена на дното од реакторот (SR01), се изведува со помош на вшмукувачки цевки кон цевките на повратна тиња. Пречистената вода од првиот секундарен реактор SR01 се изведува преку перфорирана цевка кон контролната единица, одкаде преку излезната цевка се испушта во р.Брегалница.

Фаза 5:

Слично како во втората фаза, во петтата фаза се случува следниот тек на третман:

Отпадната вода се задржува во примарниот реактор PR01 се до прелевање во двата секундарни реактори (SR01 и SR02). Во вториот секундарен реактор SR02, нивото на вода се искачува на иста висина како во првиот секундарен реактор SR01. Од реакторот SR01, кој веќе е во функција на таложник во фаза 1, водата истекува низ цевката за испуст на пречистена вода. Транспортот на тиња се стопира по одредено време.

Времетраењето на петтата фаза е помеѓу 10 и 50 минути.

Фаза 6:

Слично како во третата фаза, следната секвенца од процеси се проследува во шестата фаза:

Отпадната вода го следи процесот на таложее во SR01 и SR02. По завршување на времетраењето на процесот (60 минути), пречистената вода се испушта низ излезната цевка и повторно започнува првата фаза од циклусот.

Во тек на 24 часа, станицата прави четири последователни циклуси.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jovanoski I., "Methodology for selection of the most appropriate technology for municipal wastewater treatment using multi-criteria analysis," во%1 *SDEWES.SEE p.0119*, 2014.
- [2] Jovanoski I., "Multi-criteria analysis approach for selection of the most appropriate technology for municipal wastewater treatment," *Journal of Environmental Protection and Ecology* , Томови %1 од %218-1, p. 289–303, 2017.
- [3] A 131E Dimensioning of Single-stage activated sludge plants, ATW-DVWK Rules and standards, 2000.
- [4] Јованоски И., "Енергетска ефикасност на Пречистителните станици за отпадни води," Машински Факултет, Скопје, 2011 (магистерска теза).
- [5] Pakenas L. J., Energy efficiency in wastewater treatment plants, The New York State Energy Research and Development Authority, 1995.
- [6] "Municipal wastewater treatment plant energy baseline study," M/J Industrial Solutions, San Francisco, 2002.
- [7] Panepinto D., "Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy," *Elsevier*, 2015.
- [8] EN 16247-1_2012, Energy audits - Part 1: General requirements.
- [9] "EN 16247-3, Energy audits - Part 3: Processes".
- [10] Shi C. Y., *Mass flow and energy efficiency of Wastewater Treatment Plants*, IWA (Internation Water Agency), 2011.
- [11] Baumgarthner A., "Energie in ARA Bundesamt fur Energie," Schweiz 2008.
- [12] "Energie in Klaranlagen Handbuch," MURL (heute MUNLV) NRW, 1999.
- [13] Hernandez-Sancho, "Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach," Elsevier, 2011.
- [14] Jonasson M., "Energy Benchmark for Wastewater Treatment Processes-a comparison between Sweden and Austria," Depr. of Electrical Engineering and Automation, Lund University, 2007.
- [15] Wannerholm E., "Performance Indicator Analysis as a Basis for Process Optimization and Energy Efficiency in Municipal Wastewater Treatment Plants, Master thesis," Uppsala University, 2014.
- [16] "Performance indicators for water supplu services, Alegre at al.," IWA, 2006.
- [17] Dickherber K., "Optimization of aeration schemes and motor and blower usage for WWTP," Faculty of the Graduate School at the University of Missouri, Columbia, 2010.
- [18] Wiellen N., "Variation in dissolved oxigen concentration and its effects".
- [19] Ozturk M. C., "Optimization of aeration profiles in the eactivated sludge process," Department of Chemical and Biological Engineering, Illinois Institute of Technology, 2015.
- [20] European Council Directive 91/271/EEC concerning urban wastewater treatment, 21st of May, 1991.

- [21] Закон за води и измени и дополнувања на законот за води, (Службен весник на Р. Македонија 87/2008, 6/2009, 161/2009, 83/2010, 51/2011).
- [22] Правилник за поблиските услови за собирање, одведување и прочистување, начинот и условите за проектирање, изградба и експлоатација на системите и станици за прочистување на урбани отпадни води, (Службен весник на Р. Македонија 73/2011).
- [23] Правилник за условите, начинот и граничните вредности на емисија за испуштањето на отпадните води по нивното прочистување, начинот на нивно пресметување, имајќи ги во предвид посебните барања за заштита на заштитните зони, (Службен весник на Р. Македонија 73/2011).
- [24] Правилник за поблиските услови, начинот и максимално дозволените вредности и концентрации на параметрите на прочистените отпадни води за нивно повторно користење, (Службен весник на Р. Македонија 73/2011).
- [25] Правилник за начинот и постапката за користење на тињата, максималните вредности на концентрациите на тешки метали во почвата во која се користи тињата, вредности на концентрациите на тешки метали во почвата во која се користи тињата, вредности на концент, (Службен весник на Р. Македонија 73/2011).
- [26] Златановски Т., Отпадни флуиди и пречистителни станици, Машински факултет - Скопје.
- [27] Tchobanoglous G., Wastewater Engineering, treatment and reuse, Metcalf & Eddy, 2003.
- [28] Baikun Li P. L. B., "Oxidation-Reduction Potential Changes in Aeration Tanks and Microprofiles of Activated Sludge Floc in Medium and Low-Strength Wastewaters," Water Environment Research, Volume 76. Number 51, 2004.
- [29] AAF Envirotec, [Мрежен]. Available: <http://www.aaf-envirotec.com/en/surface-aerators.html>.
- [30] "Dutch Water Sector," [Мрежен]. Available: <https://www.dutchwatersector.com/news-events/news/28596-landustrie-to-supply-surface-aerators-for-wwtp-jebel-ali-in-dubai.html>.
- [31] Xylem, Guide to blowers, 2018.
- [32] Compressed Air Manual, Atlas Copco, 2011.
- [33] Degremont G., Water treatment Handbook, 7th Edition, 2007.
- [34] Spellman F. R., Water & Wastewater Infrastructure Energy Efficiency and Sustainability, 2013.
- [35] Hammer M. J., Water and wastewater technology, Parsons, 2008.
- [36] Bonneville C. B., A guidebook for performing walk-through energy audits of industrial facilities, (Power Administration, Energy Efficiency Department, 905 N.E. 11th Avenue, Portland, Oregon 97208).
- [37] Hasanbeigi A., Industrial Energy Audit Guidebook: Guidelines for Conducting an Energy Audit in Industrial Facilities, China Energy Group, Energy Analysis Department Environmental Energy Technologies Division, October 2010.
- [38] Municipal WWTP Energy evaluation for town of Tonawanda WWTP.
- [39] Pirnie M., "Municipal wastewater treatment plant energy evaluation for Ithaca area wastewater treatment facility," Inc. Buffalo, NY, 2005.

- [40] ISO50001:2011 Energy Management Systems (ISO, 2011).
- [41] Benchmarking The Energyhealth Nexus For More Efficient Water Recycling Operations.
- [42] DWA-M 1100E - Benchmarking in Water Supply and Wastewater Disposal, DWA, 2008.
- [43] Hellström P. B. a. D., "Performance indicators for wastewater treatment plants," *Water Science and Technology*, том 65.7, 2012.
- [44] Silva C., "Translating removal efficiencies into operational performance indices of wastewater treatment plants," *Science direct*, том 57, pp. 202-214, 2014.
- [45] Silva C., Energy performance indicators of wastewater treatment: a field study with 17 Portuguese plants, *Water Science & Technology* 72.4, 2015.
- [46] Longo S., Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement, *Applied energy* Volume 179, 2016.
- [47] Krampe J., "Energy benchmarking of South Australian WWTPs," *Water Science and Technology*, том 67.9, 2013.
- [48] Leitfaden, Senkung des Stromverbrauchs auf Klarungen (DWA Landesverband Baden Wurttemberg 2008, 1999.
- [49] Foladori P., "Energy audit in small wastewater treatment plants: methodology, energy consumption indicators, and lessons learned," *Water Science & Technology* 72.6, 2015.
- [50] "Energy efficient motor driven systems," European copper institute , Brussels, Belgium, 2006.
- [51] ATV-DWA 229 Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen.
- [52] ATV-DVWK-M265E Regulation of oxigen transferwith the Activated sludge proces..
- [53] ATV-DVWK-M368E Biological Stabilisation of Sewage Sludge.
- [54] ATW-DWA -M210 Sequencing batch reactors activated sludge plants (SBR plants).
- [55] Jovanoski I., "Quality of the excess sewage sludge from municipal wastewater treatment plants, possibilities for use and disposal in R.Macedonia," International BENA Conference, SPHAMEER, Constanta, Romania, 2013.
- [56] *Студија на изводливост и Идеен Проект за водоснабдителен и санитарен систем во Берово*, Ernst Bastler + Partners, 2008.
- [57] *Основен проект за ПСОВ Берово*, Fela and Holinger, 2009.
- [58] Henze M E. G. D., Biological wastewater treatment - Priciples, modelling and design, IWA Publishing, 2008.
- [59] Hanhan O., "Mechanism and design of intermittent aeration," *Environmental Science and Health*,, 2013.
- [60] Марков З., Системи за пречистување на отпадни флуиди, Машински факултет - Скопје, 2011.