

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

**Școala Doctorală "Inginerie Mecanică și Civilă"**

**Cu titlu de manuscris**

**C.Z.U: 628.35:004.9 (478) (043.3)**

**CIOBANU NATALIA**

**APLICAREA SISTEMELOR INFORMAȚIONALE ÎN  
DIRIJAREA ȘI OPTIMIZAREA STAȚIILOR DE EPURARE  
BIOLOGICĂ A APELOR UZATE (SCADA)**

**Specialitatea 211.03 – Rețele ingineresti în construcții**

**Teză de doctor în științe ingineresti**

**Conducător științific:**

**Ungureanu Dumitru**  
Doctor în științe tehnice,  
Profesor universitar

**Consultant științific:**

**Secrieru Nicolae**  
Doctor în științe tehnice,  
conferențiar universitar

**Autor:**

**Ciobanu Natalia**

**CHIȘINĂU, 2021**

**© CIOBANU NATALIA, 2021**

## CUPRINS

<b>ADNOTARE</b> (limba română, limba rusă, limba engleză).....	5
<b>LISTA ABREVIERILOR</b> .....	8
<b>INTRODUCERE</b> .....	9
<b>1. STADIUL ACTUAL PRIVIND PROCESELE DE EPURARE BIOLOGICĂ A APELOR UZATE CU NĂMOL ACTIV</b> .....	15
1.1. Structura și funcțiile stațiilor de epurare a apelor uzate .....	15
1.1.1. Criterii de clasificare a proceselor și procedeele de epurare biologică .....	17
1.1.2. Rolul microorganismelor din procesul de epurare a apelor uzate cu nămol activ și eliminarea nutrienților .....	21
1.2. Condiții de deversare a apelor uzate în emisari și starea actuală a stațiilor de epurare pe plan național .....	24
1.3. Starea actuală a stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău .....	25
1.4. Stadiul actual privind modelarea proceselor de epurare biologică cu nămol activ.....	29
1.5. Abordările de automatizare, informatizare și monitorizare a parametrilor proceselor de epurare a apelor uzate.....	30
1.6. Concluzii la Capitolul 1.....	32
<b>2. MODELAREA PROCESELOR DE EPURARE BIOLOGICĂ A APELOR UZATE LA STAȚIILE DE EPURARE</b> .....	34
2.1. Parametrii tehnologici ai procesului de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ.....	34
2.1.1. Modelele matematice ale procesului biologic de epurare a apelor uzate .....	48
2.1.2. Simularea procesului de epurare biologică .....	50
2.2. Modelarea matematică a instalațiilor de reducere a materiei organice (CBO) din apele uzate prin epurare biologică cu nămol activ .....	54
2.3. Metode de pronosticare în scopul optimizării proceselor de epurare a apelor uzate .....	55
2.3.1. Metode de gestionare a recirculării nămolului activ .....	55
2.3.2. Metode de gestionare/control al eliminării nămolului activ în exces... ..	57
2.3.3. Determinarea costului unui proces biologic de epurare: BANA-DS ....	60
2.3.3.1. Schema de calcul a procesului bazin de aerare – decantor secundar ....	60
2.3.3.2. Alegerea modelului pentru calculul bazinului de aerare .....	63
2.3.3.3. Alegerea unui model pentru calculul decantorului secundar .....	64
2.4. Concluzii la Capitolul 2.....	65
<b>3. CONTROLUL AUTOMATIZAT ȘI OPTIMIZAREA PROCESELOR DE EPURARE A APELOR UZATE</b> .....	68
3.1. Strategii de reglare automată și monitorizare a stațiilor de epurare .....	68
3.2. Tehnici de avansare de reglare automată în conducerea proceselor de epurare .....	72
3.2.1. Reglarea predictivă .....	73
3.2.1.1. Reglarea cu predicție bazată pe model .....	74
3.2.1.2. Validarea reglării predictive bazată pe model .....	78
3.3. Conducere și reglare fuzzy al proceselor de epurare .....	78
3.4. Sistem SCADA pentru monitorizarea unui sistem de epurare a apelor uzate .....	86
3.4.1. Proiectarea structurii bazei de date .....	89
3.4.2. Interfața SCADA epurare biologică .....	93
3.5. Concluzii la Capitolul 3.....	94

<b>4. APLICAREA SISTEMELOR INFORMAȚIONALE ȘI DE DIRIJARE PENTRU STAȚIA DE EPURARE A APELOR UZATE DIN MUN. CHIȘINĂU .....</b>	<b>96</b>
4.1. Modernizarea stației de epurare a apelor uzate din municipiul Chișinău ...	96
4.2. Arhitectura sistemului de comandă și informațional al stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău .....	99
4.3. Sistemul SCADA al stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău .....	106
4.3.1. Elaborarea conexiunii bazei de date SCADA cu sistemul informațional GIS .....	107
4.3.2. Elaborarea structurii softului pentru serverul aplicațiilor SCADA .....	108
4.3.3. Elaborarea structurii softului pentru serverul stocare a datelor SCADA .....	109
4.3.4. Elaborarea structurii softului pentru microcontrolerle PLC .....	111
4.3.5. Elaborarea structurii interfețelor grafice SCADA epurare biologică .....	112
4.4. Concluzii la Capitolul 4.....	112
<b>CONCLUZII FINALE ȘI RECOMANDĂRI .....</b>	<b>114</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>116</b>
<b>Anexa 1.1.</b> Indicatori de eficiență a epurării și instalațiilor de epurare, %.....	127
<b>Anexa 1.2.</b> Stații de epurare a apelor uzate comunale din Republica Moldova .....	128
<b>Anexa 1.3.</b> Principalii parametri care caracterizează apele uzate evacuate în sistemul de canalizare public și stația de epurare a apelor uzate .....	129
<b>Anexa 1.4.</b> Deversările limită de poluanți a apelor uzate comunale deversate în emisar (corpuri de apă) .....	132
<b>Anexa 1.5.</b> Construcții și instalații din SEB mun. Chișinău .....	138
<b>Anexa 2.1.</b> Calculul parametrilor / caracteristicilor de funcționare a stației de epurare .....	139
<b>Anexa 2.2.</b> Deficiențe în exploatare .....	147
<b>Anexa 2.3.</b> Raport privind indicii de calitate a apelor uzate recepționate la SE Chișinău pe perioada 01.01.2018 – 31.12.2018 .....	152
<b>Anexa 2.4.</b> Fișa privind funcționarea SE Chișinău pe anul 2018 .....	153
<b>Anexa 2.5.</b> Parametri de intrare și ieșire a procesului biologic cu nămol activ .....	154
<b>Anexa 2.6.</b> Program Matlab&Simulink de modelare a procesului de epurare biologică .....	163
<b>Anexa 2.7.</b> Ecuațiile cinetice utilizate la analiza procesului de epurare biologică cu nămol activ .....	166
<b>Anexa 3.1.</b> Procedura de validare a procesului de reglare cu predictor Smith .....	168
<b>Anexa 3.2.</b> Instrumente de creare a Bazei de Date Fuzzy .....	176
<b>Anexa 3.3.</b> Fuzzificarea și defuzzificarea variabilelor de intrare și ieșire .....	178
<b>Anexa 4.1.</b> Schema generală a nivelului de jos pentru procesul de epurare biologică de la stația de epurare din municipiul Chișinău .....	180
<b>Anexa 4.2.</b> Amplasarea senzorilor pentru monitorizarea parametrilor proceselor de epurare a apei uzate din municipiul Chișinău .....	181
Scrisoare de confirmare .....	186
Declarația privind asumarea răspunderii .....	187
CV – ul .....	188

## ADNOTARE

**CIOBANU Natalia**, *Aplicarea Sistemelor Informaționale în dirijarea și optimizarea stațiilor de epurare biologică a apelor uzate (SCADA)*, teză de doctor în științe inginerești, **Chișinău, 2021**

**Structura tezei:** adnotarea, introducerea, patru capitole, concluzii și recomandări, bibliografia (148 de titluri), 125 pagini text de bază, 56 figuri și 17 anexe. Rezultatele cercetării sunt publicate în 10 lucrări științifice.

**Cuvinte cheie:** ape uzate, nămol activ, epurare biologică, stație de epurare, modelare matematică, control automatizat, optimizare, eficientizare, tehnici de reglare, sistem SCADA, reguli fuzzy.

**Actualitatea temei** este elaborarea unui concept de gestionare automatizată al proceselor de epurare biologică cu nămol activ pentru diferite condiții de epurare, care să fie capabil să ia decizii în timp real.

**Scopul cercetării:** eficientizarea stațiilor de epurare biologică a apelor uzate prin implementarea unui sistem automatizat de dirijare și controlul proceselor de epurare cu nămol activ.

**Obiectivele cercetării:** efectuarea unei analize aprofundată a literaturii științifice disponibile la nivel internațional cu scopul de a implementa modelele matematice deja existente, care descriu procesul de epurare biologică cu nămol activ; analiza parametrilor tehnologici ai procesului de epurare biologică al apelor uzate și parametrilor de funcționare a instalațiilor în Stația de epurare a mun. Chișinău; analiza concepțiilor și structurilor de dirijare automatizată a proceselor de epurare, și recomandarea creării unei baze de date în perspectiva dezvoltării Sistemelor de Supraveghere, Control și Achiziție a Datelor (SCADA); propunerea implementării unui sistem de control și înregistrare a calității apei uzate la intrare și ieșire din proces privind gestionarea operațională, sistemul de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție, în special, a procesului de epurare biologică; elaborarea metodelor de reglare a procesului de epurare biologică conform parametrilor tehnologici din caietul de sarcini, care stau la baza proiectului de renovare a Stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău, ceea ce va reduce impactul negativ generat de procesele de epurare a apelor uzate asupra mediului înconjurător, creșterea gradului de protecție a mediului și sănătății oamenilor în conformitate cu *Strategia de alimentare cu apă și sanitație 2014 – 2030 din Republica Moldova*.

**Noutatea și originalitatea științifică a lucrării** constă în aplicarea modelelor matematice eficiente, care să descrie procesul de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ, cu crearea unei baze de date și dezvoltarea unor strategii de control al funcționării instalațiilor, monitorizând parametrii proceselor de epurare printr-un sistem de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție, care va avea în vedere evaluarea sistematică a dinamicii caracteristicilor calitative ale poluanților (intrare – ieșire) dintr-o stație de epurare.

**Problema științifică importantă** constă în elaborarea unui concept nou de gestionare a proceselor de epurare biologică cu nămol activ pentru protecția mediului înconjurător, îndeosebi a celui acvatic, împotriva evacuărilor de ape uzate comunale provenite de la populație și industrie epurate mecano – biologic.

**Semnificația teoretică și valoarea aplicativă a tezei** constă în propunerea unor soluții tehnice în baza modelelor matematice a proceselor de epurare biologică a apei uzate: monitorizarea parametrilor de calitate ai apei uzate cu transmitere la distanță a datelor; elaborarea modelului de reglare al proceselor de epurare biologică cu utilizarea unei baze de reguli fuzzy; crearea sistemului de gestionare bazat pe optimizarea parametrilor tehnologici ai procesului de epurare biologică cu nămol activ; aplicarea sistemelor informaționale în dirijarea și eficientizare a stațiilor de epurare biologică cu nămol activ – SCADA.

**Implementarea rezultatelor științifice** s-au efectuat în cadrul Stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău, care stau la baza proiectului de renovare și modernizare a stației. Rezultatele obținute sunt un punct de pornire de noi teme de cercetare în domeniu. Diseminarea rezultatelor vor constitui obiectul comunicărilor științifice în conferințe, congrese, precum și expunerea acestora ca material didactic.

## АННОТАЦИЯ

**ЧОБАНУ Наталья**, *Применение информационных систем для управления и оптимизации станций биологической очистки сточных вод*, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, **Кишинев, 2021**

**Структура диссертации:** аннотация, введение, четыре главы, выводы и рекомендации, библиография (148 источника), 125 страниц основного текста, 56 рисунков и 17 приложений. Результаты исследований опубликованы в 10 научных работах.

**Ключевые слова:** сточные воды, активный ил, биологическая очистка, очистные сооружения, математическое моделирование, автоматизированное управление, оптимизация, эффективность, методы регулирования, система SCADA, правила fuzzy.

**Областью исследования** является разработка концепции автоматизированного управления процессами биологической очистки с активным илом для различных условий очистки, которая сможет принимать решения в режиме реального времени.

**Цель исследования:** улучшение эффективности биологических очистных сооружений путем внедрения автоматизированной системы управления и контроля процессов очистки с активным илом.

**Задачи исследования:** проведение анализа международной научной литературы с целью внедрения уже существующих математических моделей, описывающих процесс биологической очистки с активным илом; анализ технологических параметров процесса биологической очистки сточных вод и параметров работы установок на очистной станции мун. Кишинев; анализ концепций и структур автоматического управления процессами очистки, и рекомендации создания базы данных в перспективе развития систем наблюдения, контроля и сбора данных (SCADA); предложение внедрения системы контроля и регистрации качества сточных вод при входе и выходе из процесса оперативного управления, системы измерения, мониторинга, предупреждения и вмешательства, в частности, процесса биологической очистки; разработка методов регулирования процесса биологической очистки в соответствии с техническим заданием параметров, которые лежат в основе проекта по реконструкции биологической очистной станции мун. Кишинев, что позволит снизить негативное влияние, вызванное процессами очистки сточных вод на окружающую среду, повысить степень защиты окружающей среды и здоровья людей в соответствии со *Стратегией водоснабжения и санитарии 2014 – 2030 в Республике Молдова*.

**Научная новизна и оригинальность** работы заключается в применении эффективных математических моделей, описывающих процесс биологической очистки сточных вод с активным илом, с созданием базы данных и разработкой стратегий контроля функционирования сооружений, контролируемых параметров процессов очистки с помощью системы измерения, наблюдения, предупреждения и вмешательства, которая будет учитывать систематическую оценку динамики качественных характеристик загрязняющих веществ (вход - выход) на очистной станции.

**Важность научной проблемы** заключается в разработке новой концепции управления биологическими процессами очистки с активным илом для защиты окружающей среды, особенно водной, от сбросов коммунальных сточных вод, поступающих от населения и промышленности, обрабатываемых механически – биологическим методом.

**Теоретическая значимость исследования** была достигнута путем предложения следующих технических решений на основе математических моделей процессов биологической очистки сточных вод: мониторинг параметров качества сточных вод с дистанционной передачей данных; разработка модели регулирования биологических процессов очистки с использованием нечеткой базы правил; создание системы управления, основанной на оптимизации технологических параметров процесса биологической очистки с активным илом, которая имеет особую важность для создания очистных сооружений с искусственным интеллектом, что создаст возможность принимать решения в режиме реального времени путем внедрения соответствующих математических моделей; применения информационных систем в управлении и эффективности установок биологических очистных станций с активным илом – SCADA.

**Внедрение научных результатов** было проведено в рамках станции биологической очистки сточных вод мун. Кишинев, являющийся основой проекта по реконструкции и модернизации станции. Полученные результаты послужат отправной точкой новых тем исследования в этой области. Распространение результатов будет предметом научных коммуникаций на конференциях, конгрессах, а также их представление в качестве учебного материала.

## ANNOTATION

**CIOBANU Natalia**, *Application of informational systems in the operation and optimization of biological wastewater treatment plants (SCADA)*, PhD thesis in engineering sciences, **Chisinau, 2021**

**Thesis structure:** annotation, introduction, four chapters, conclusions and recommendations, bibliography (148 titles), 125 basic text pages, 56 figures and 17 appendices. The research results are published in 10 scientific papers.

**Key words:** wastewater, active sludge, biological treatment, treatment plant, mathematical modeling, automated control, optimization, adjustment techniques, SCADA system, fuzzy rules.

**Actuality of the research** is the development of a concept for automated control of biological treatment processes with activated sludge in different treatment conditions, which will enable making decisions in real time.

**Aim of the research:** improvement of biological wastewater treatment plants by implementing an automated system to manage and keep under control activated sludge treatment processes.

**Objectives of the research:** to make a comprehensive and thorough analysis of the scientific literature available internationally in order to implement the existing mathematical models that describe the process of biological treatment with activated sludge; to analyse the technological parameters of the biological wastewater treatment process and the operating parameters of the facilities in the Chisinau wastewater treatment plant; to analyse the concept and structures of automatic management of the treatment process, and to provide recommendations on the creation of a database aimed at the development of the Supervision, Control and Acquisition Data Systems (SCADA); to propose the implementation of a system that will control and record the quality of wastewater at the input and output from the process, taking into account the operational management, the system of measurement, the monitoring, warning and intervention, and especially, the process of biological treatment; to develop methods that will regulate the process of biological treatment in compliance with the technological parameters outlined in the specifications that underlie the project aimed at the renovation of the Chisinau Biological Wastewater Treatment Plant, which will reduce the negative impact generated by wastewater treatment process, increasing the degree of environmental protection and human health in accordance with the *Water Supply and Sanitation Strategy of the Republic of Moldova for 2014-2030*;

**Scientific novelty and originality of the research** consists in the application of effective mathematical models, describing the process of biological wastewater treatment with activated sludge, providing for the creation of a database and the development of strategies to control the operation of facilities, monitoring the parameters of the treatment process through a system for measuring, monitoring, warning and intervention, which will take into account the systematic assessment of the dynamics of the qualitative characteristics of the pollutants (input – output) from a wastewater treatment plant.

**The present research provides solutions to the scientific problem** related in the implementing of a new concept for the management of biological treatment processes with activated sludge to protect the environment, especially the aquatic environment, in particular, discharges of consumer and industrial wastewater through mechanical-biological treatment method.

**Theoretical significance and applicative value of the thesis** has been achieved by providing the following technical solutions based on mathematical models of biological wastewater treatment processes: monitoring the quality parameters of wastewater, ensuring remote data transmission; a model regulating the process of biological treatment, using a set of fuzzy rules has been developed; a management system has been created based on the optimization of technological parameters of the process of biological treatment with activated sludge; application of informational systems in the operation and optimization of biological wastewater treatment plants – SCADA.

**The implementation of scientific results** was carried out at the Chisinau Biological Wastewater Treatment Plant, which was at the basis of the project aimed at the renovation and modernization of the station. The results obtained are a starting point for new research in the field. The results of the research will be disseminated in the form of scientific presentations in conferences, congresses, and teaching material.

## LISTA ABREVIERILOR

<b>ASM</b>	Model cu nămol activ	<b>NA</b>	Nămol activ
<b>BD</b>	Baza de date	<b>NAE</b>	Nămol activ în exces
<b>BEI</b>	Banca Europeană de Investiții	<b>NAR</b>	Nămol activ recirculat
<b>BANA</b>	Bazin de aerare cu nămol activ	<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigenul dizolvat
<b>CCO</b>	Consumul chimic de oxigen	<b>ODD</b>	Obiectiv de Dezvoltare Durabilă
<b>CBO</b>	Consum biochimic de oxigen	<b>P</b>	Fosfor
<b>C</b>	Carbon	<b>pH</b>	Concentrația ionilor de hidrogen
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Carbonat de calciu	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Fosfați
<b>DS</b>	Decantor secundar	<b>PT</b>	Fosforul total
<b>F:M</b>	Rata de alimentare pentru microorganisme	<b>PID</b>	Regulator cu acțiune proporțională-integrală-diferențială
<b>SIG</b>	Sisteme Informaționale Geografice	<b>PLC</b>	Microcontroler programabil logic
<b>GUI</b>	Interfața grafică de utilizator	<b>R</b>	Grad de recirculare
<b>GSM</b>	Rețea mobilă	<b>SA</b>	Societate pe Acțiuni
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Hydrogen sulfurat	<b>SE</b>	Stație de epurare
<b>IVN</b>	Indicile volumului de nămol	<b>SEB</b>	Stație de epurare biologică a apelor uzate
<b>IWA</b>	Asociația Internațională a Apelor	<b>SCADA</b>	sistem de Supraveghere – Control și Achiziție de Date
<b>LAD</b>	Limite admisibile de deversare	<b>SGBD</b>	Sistem de gestionare a Bazei de Date
<b>LAN</b>	Rețea locală	<b>SPN</b>	Stație de pompare a nămolului
<b>MS</b>	Materii în suspensie	<b>SPS</b>	Stație de suflante
<b>MSV</b>	Materii în suspensie volatile	<b>STA</b>	Stație de tratare a apei
<b>N</b>	Azot	<b>TN</b>	Azotul total
<b>NaClO</b>	Hipoclorit de sodiu	<b>TRN</b>	Timpul de retentive a nămolului
<b>N<sub>tot</sub></b>	Azot total Kjeldahl	<b>TSS</b>	Total solide in suspensie
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Azot amoniacal (amoniu)	<b>UE</b>	Uniunea Europeană
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniac	<b>WAN</b>	Wide area network



## INTRODUCERE

**Actualitatea și importanța temei** este elaborarea unui concept de gestionare automatizată și optimizare a proceselor de epurare biologică cu nămol activ pentru diferite condiții de operare, care să fie capabil să ia decizii în timp real.

*Mediul înconjurător* devine o preocupare tot mai activă atât a societății cât și a statului, cu atât mai mult că unul din cele 17 obiective de dezvoltare durabilă îl reprezintă **OO6: Apă curată și igienă**. Având în vedere problema încălzirii globale, dar și poluarea, necesarul de apă potabilă de calitate devine din ce în ce mai important. Calitatea apei poate fi îmbunătățită doar prin minimizarea poluării apei cauzate de procesele industriale, sporirea eficienței utilizării apei, reciclarea și reutilizarea sigură, precum și îmbunătățirea protecției mediului înconjurător și restabilirea ecosistemelor legate de apă [117]. Epurarea apelor uzate dintr-o localitate sau din procese industriale este fundamentală pentru a păstra resursele naturale de apă (râuri, lacuri și mări), pe cât posibil, la o calitate înaltă. Nu doar din punct de vedere al mediului, dar, de asemenea, ca urmare a reglementărilor sociale mai restrictive, gestionarea corectă a instalațiilor și proceselor de epurare a apelor uzate au devenit foarte importante în timpul ultimilor 20 de ani. De aceea, astăzi, avem nevoie de sisteme din ce în ce mai avansate, care să producă un efluent de calitate superioară conform **Directivei Europene 91/271/EEC din 21 mai 1991** privind epurarea apelor uzate urbane și **Hotărârii Guvernului din Republica Moldova nr. 950 din 25 noiembrie 2013** privind cerințele de colectare, epurare și deversare a apelor uzate în sistemul de canalizare și în corpurile de apă/emisari pentru localitățile urbane și rurale. Ambele documente au ca scop protejarea mediului împotriva deteriorării datorate evacuărilor de ape uzate fără respectarea normelor de calitate și de securitate.

**Scopul** cercetării constau în eficientizarea proceselor de epurare cu nămol activ și a operării stațiilor de epurare biologică a apelor uzate prin implementarea unui sistem automatizat de gestionare și control pentru diferite condiții de operare.

Astfel, demersul științific are următoarele obiective:

- efectuarea unei analize aprofundată a literaturii științifice disponibile la nivel internațional cu scopul de a implementa modelele matematice deja existente, care descriu procesul de epurare biologică cu nămol activ;
- analiza parametrilor tehnologici ai procesului de epurare biologică al apelor uzate și parametrilor de funcționare a instalațiilor în Stația de epurare a mun. Chișinău;

- analiza concepțiilor și structurilor de dirijare automată a proceselor de epurare, și recomandarea crearea unei baze de date în perspectiva dezvoltării Sistemelor de Supraveghere, Control și Achiziție a Datelor (SCADA);
- propunerea implementării unui sistem de control și înregistrare a calității apei uzate la intrare și ieșire din proces privind gestionarea operațională, sistemul de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție, în special, a procesului de epurare biologică;
- elaborarea metodelor de reglare a procesului de epurare biologică conform parametrilor tehnologici din caietul de sarcini, care stau la baza proiectului de renovare a Stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău, ceea ce va reduce impactul negativ generat de procesele de epurare a apelor uzate asupra mediului înconjurător, creșterea gradului de protecție a mediului și sănătății oamenilor în conformitate cu *Strategia de alimentare cu apă și sanitație 2014 – 2030 din Republica Moldova*.

Stațiile de epurare a apelor uzate reprezintă ansamblul de construcții și instalații, în care apele uzate sunt supuse proceselor tehnologice de epurare, care le modifică în așa mod calitățile, încât să îndeplinească condițiile prescrise, de deversare în emisar.

Tradițional, schemele tehnologice ale stațiilor de epurare a apelor uzate orășenești, provenite din localitățile dotate cu sisteme centralizate de canalizare, conțin două fluxuri distincte: fluxul apelor uzate și fluxul nămolurilor formate în procesele de epurare a apelor uzate.

Procesul de epurare biologică cu nămol activ este printre cele mai folosite procese în epurarea apelor uzate. Acest proces este de fapt o versiune îmbunătățită a procesului natural de epurare a apelor uzate. După descoperirea sa în 1914 [62, 69] a fost adoptat ca treaptă secundară în procesul de epurare. Procesul se bazează pe activitatea diferitor tipuri de bacterii care, în funcție de condițiile de mediu, utilizează poluanții din apele uzate ca substrat de creștere.

Epurarea biologică poate fi aplicată tuturor tipurilor de ape uzate. Din punct de vedere conceptual, epurarea biologică a apelor uzate este foarte simplă. Microorganismele (bacterii, protozoare, rotifere și alți microbi), denumite ”nămol activ”, descompun și asimilează poluanții din apele uzate, rezultați în urma activităților domestice și industriale, folosindu-i drept hrană, în așa mod conducând la depoluarea apei.

Deși, din punct de vedere tehnologic, procesul cu nămol activ este considerat a fi cel mai economic și eficient proces pentru epurarea apelor uzate, o funcționare nesatisfăcătoare a procesului cu nămol activ poate produce efluenți de o calitate scăzută sau poate duce chiar la eșecul procesului cu consecințe devastatoare. Apele uzate, care intră în stațiile de epurare variază ca debit, concentrații, pH, temperatură și acestea pot perturba metabolismul bacterian, pot inactiva sau omorî bacteriile.

Drept bază teoretică pentru o analiză mai profundă a proceselor de epurare biologică cu nămol activ, monitorizare a parametrilor tehnologici și metode de gestionare au servit lucrările științifice, îndrumările metodice și rapoarte științifice ale lui Ungureanu D. și Al Momani [2, 37, 38, 39, 40, 92, 96], Robescu D. [30, 31], echipa de cercetători ai Asociației Internaționale a Apei (IWA) [43, 72], Henze M. [63], rezultatele activității comune a opt universități partenere, participante în proiectul internațional "Armonia apei" [82], Jurminskaia O. [88].

Comportamentul complicat al microorganismelor implicate în proces, cuplat cu variațiile mari ale fluxurilor și a concentrațiilor de intrare, face ca procesul cu nămol activ să fie caracterizat de o complexitate fără precedent în procesul de epurare a apelor uzate. Cu toate acestea, procesul trebuie să funcționeze continuu, să aibă costuri de operare mici și să respecte limitele de încărcare impuse de legislația în vigoare.

Modelarea matematică implică o abstractizare a proceselor, care sunt folosite pentru predicția influentului, pentru estimarea activităților biomasei sau pentru estimarea parametrilor de calitate ai efluentului.

International Water Association (IWA) a dezvoltat mai multe modele pentru epurarea apelor uzate cu nămol activ (ASM), care descriu cineticele proceselor biologice pentru eliminarea carbonului, azotului și fosforului [24, 31, 46, 63, 69, 82, 102], care pot fi considerate ca modele de referință.

Ca rezultat, cu ajutorul modelelor matematice se poate face o analiză a sistemului de epurare a apelor uzate și apoi optimizarea acestuia. Inteligența artificială acoperă un spectru larg al metodelor de modelare și optimizare ce au devenit instrumente importante pentru estimarea comportamentului procesului și pentru dezvoltarea de strategii noi de control, care au menirea de a realiza un oarecare echilibru între calitatea efluenților și costurile de operare.

Procesele de epurare sunt foarte complexe și, de aceea, sunt dificil de controlat și optimizat. Performanțele procesului depind atât de activitatea microorganismelor, cât și de parametrii de control calitativi ai sistemului.

În activitatea de exploatare, operatorii stațiilor de epurare sunt provocați continuu să îmbunătățească indicatorii calitativi și cantitativi ai procesului de epurare. Implementarea unor tehnici avansate de control (algoritmi predictivi după model, logică fuzzy, rețele neuronale, sisteme hibride, etc.) în procesele de dirijare și optimizare din stațiile de epurare vor duce la scăderea costurilor de operare și protecția mediului ambiant.

Conceperea strategiilor de optimizare și dirijare, cât și evaluarea și compararea lor, din punct de vedere practic sau pe baza simulărilor, este foarte dificilă datorită caracteristicile influentului ce

variază ca mărime în perioade diferite și induce la o serie de fenomene diferite până la pierderea nămolului activ din sistem.

**Noutatea și originalitatea științifică a lucrării** a constat în aplicarea modelelor matematice eficiente, care să descrie procesul de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ, cu crearea unei baze de date și dezvoltarea unor strategii de control al funcționării instalațiilor, monitorizând parametrii proceselor de epurare printr-un sistem de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție, care va avea în vedere evaluarea sistematică a dinamicii caracteristicilor calitative ale poluanților (intrare – ieșire) dintr-o stație de epurare.

**Problema generală științifică** este în elaborarea unui concept nou de gestionare a proceselor de epurare biologică cu nămol activ pentru protecția mediului înconjurător, îndeosebi a celui acvatic, împotriva evacuărilor de ape uzate provenite de la populație și industrie epurate mecano – biologic.

**Semnificația teoretică a cercetării** constă în propunerea următoarelor soluții tehnice în baza modelelor matematice a proceselor de epurare biologică a apei uzate:

- monitorizarea parametrilor de calitate ai apei uzate cu transmitere la distanță a datelor;
- elaborarea modelului de reglare a proceselor de epurare biologică cu utilizarea unei baze de reguli fuzzy;
- crearea sistemului de gestionare bazat pe optimizarea parametrilor tehnologici ai procesului de epurare biologică cu nămol activ, care are potențialul deosebit pentru stațiile de epurare de intelect artificial prin faptul că poate fi capabil să ia decizii în timp real prin implementarea modelelor matematice adecvate;
- aplicarea Sistemelor informaționale în dirijarea și optimizarea stațiilor de epurare biologică cu nămol activ – SCADA.

**Validarea rezultatelor științifice** este asigurată în cadrul Stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău, care stau la baza proiectului de renovare și modernizare a stației. Rezultatele obținute sunt puncte forte de pornire de noi teme de cercetare în domeniu. În același timp teza constituie direcții de dezvoltare de noi tehnologii, utilizând ca instrument modelul matematic și algoritmi de optimizare – soluționare. Rezultatele științifice au fost publicate în culegeri de lucrări științifice la conferințe naționale și internaționale. Diseminarea rezultatelor vor fi realizate prin predarea în cadrul disciplinelor de specialitate ca material didactic.

**Sumarul compartimentelor tezei.** În **Introducere** sunt reflectate premisele teoretice și practice, care subliniază actualitatea și importanța problemei cercetate. De asemenea, sunt

formulate scopul și obiectivele cercetării, ipoteza de cercetare, este argumentată valoarea teoretică și aplicativă a tezei, și modul cum vor fi validate rezultatele.

**Capitolul 1. Stadiul actual privind procesele de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ.** Este analizată situația actuală a evoluției proceselor de epurare biologice a apelor uzate cu nămol activ prin examinarea de articole, materiale ale conferințelor științifice, studii și manuale de specialitate. Actual, o stație de epurare a apelor uzate orășenești este constituită din 2 fluxuri tehnologice: al apelor uzate și al nămolurilor provenite din procesele de epurare a apelor uzate. Un efort important a fost făcut de către cercetători pentru a identifica microorganismele care sunt responsabile de degradarea materiilor organice și de a înțelege relațiile lor cu performanța stațiilor de epurare sau condițiile de exploatare. Procesul de epurare biologică este cel mai eficient și economic pentru eliminarea substanțelor organice poluate din apa uzată și utilizează activitatea metabolică a unor grupe de microorganisme capabile să degradeze substanțele organice până la dioxid de carbon și apă. Astfel, se obțin ape convențional curate, cu diferit grad de epurare funcție de tehnologiile, instalațiile și echipamentele, care pot răspunde acestor sarcini.

**Capitolul 2. Modelarea proceselor de epurare biologică a apelor uzate la stațiile de epurare.** Sunt prezentați parametrii și factorii care influențează procesul de epurare biologică. Pentru a evalua corect activitatea unei stații de epurare trebuie luați în considerare următorii parametri cheie: cantitatea de apă uzată epurată, cantitatea de aer ce intră în BANA, consumul de energie pentru alimentarea cu aer și recircularea nămolului activ, și pomparea nămolului activ în exces, cantitatea de nămol activ recirculat și nămol activ în exces, presiunea aerului în sistemul de aerare al BANA. Este cunoscut faptul, că orice gestionare poate fi eficientă, dacă este asigurată cu suport informațional. Deosebit de acută este problema asigurării informaționale în domeniul gestionării celui mai dificil complex de instalații pentru epurarea apelor uzate, în special al procesului de epurare biologică, care rezultă din această lucrare.

**Capitolul 3. Controlul automatizat și de optimizare a proceselor de epurare a apelor uzate.** Sunt analizate strategiile de comandă și monitorizare a procesului de epurare a apelor uzate, atât la nivel integral, cât și fiecare parametru aparte. În aplicațiile actuale de control și automatizare a menținerii proceselor în echilibru este des realizată în baza reguletoarelor tradiționale PID cu acțiune proporțională – integrată – diferențială, pentru că reprezintă o soluție eficientă și ușor de implementat, dar pot genera diferite probleme. Astfel, o strategie de reglare multivariabilă necesită o conducere centralizată, însă apariția unei defecțiuni ar produce căderea întregului sistem. Tehnici avansate de conducere, reglare automată în conducerea proceselor de epurare sunt reguletoarele predictive și reguletoare fuzzy, dedicate atât pentru procese liniare sau neliniare, cât și pentru procesele cu o dinamică dificilă. În privința reguletoarelor fuzzy, s-a arătat că ele sunt cele mai

aplicabile pentru procesele de epurare biologică, deoarece ele pot asigura atât performanță, cât și robustețe în mod deosebit pentru caracterul neliniar al acestor procese.

**Capitolul 4. Aplicarea sistemelor informaționale și de dirijare pentru stația de epurare a apelor uzate din mun. Chișinău.** S-au elaborat structurile softului atât la nivel superior, cât și inferior și au fost recomandate spre implementarea lor pe serverele SCADA în baza caietului de sarcini la proiectarea arhitecturii sistemului informațional de monitorizare pentru stațiile de epurare din mun. Chișinău. S-au identificat soluții de perfectare a interfeței sistemului informațional pentru a eficientiza interacțiunea personalului în procesul de epurare.

**Concluziile finale și recomandările** oferă o sinteză a deducțiilor și rezultatelor obținute în cadrul prezentei cercetări, unde își propun să aducă noi informații utile operatorilor din stațiile de epurare a apelor uzate prin implementarea a unor modele matematice noi, și dezvoltarea unor strategii de control bazate pe control avansat cuplat cu optimizarea, pentru a reduce din costurile de operare și îmbunătățirea calității efluentului.

# 1. STADIUL ACTUAL PRIVIND PROCESELE DE EPURARE BIOLOGICĂ A APELOR UZATE CU NĂMOL ACTIV

## 1.1. Structura și funcțiile stațiilor de epurare a apelor uzate

Actual, o stație de epurare a apelor uzate orășenești este constituită din 2 fluxuri tehnologice: al apelor uzate și al nămolurilor provenite din procesele de epurare a apelor uzate (fig.1.1).

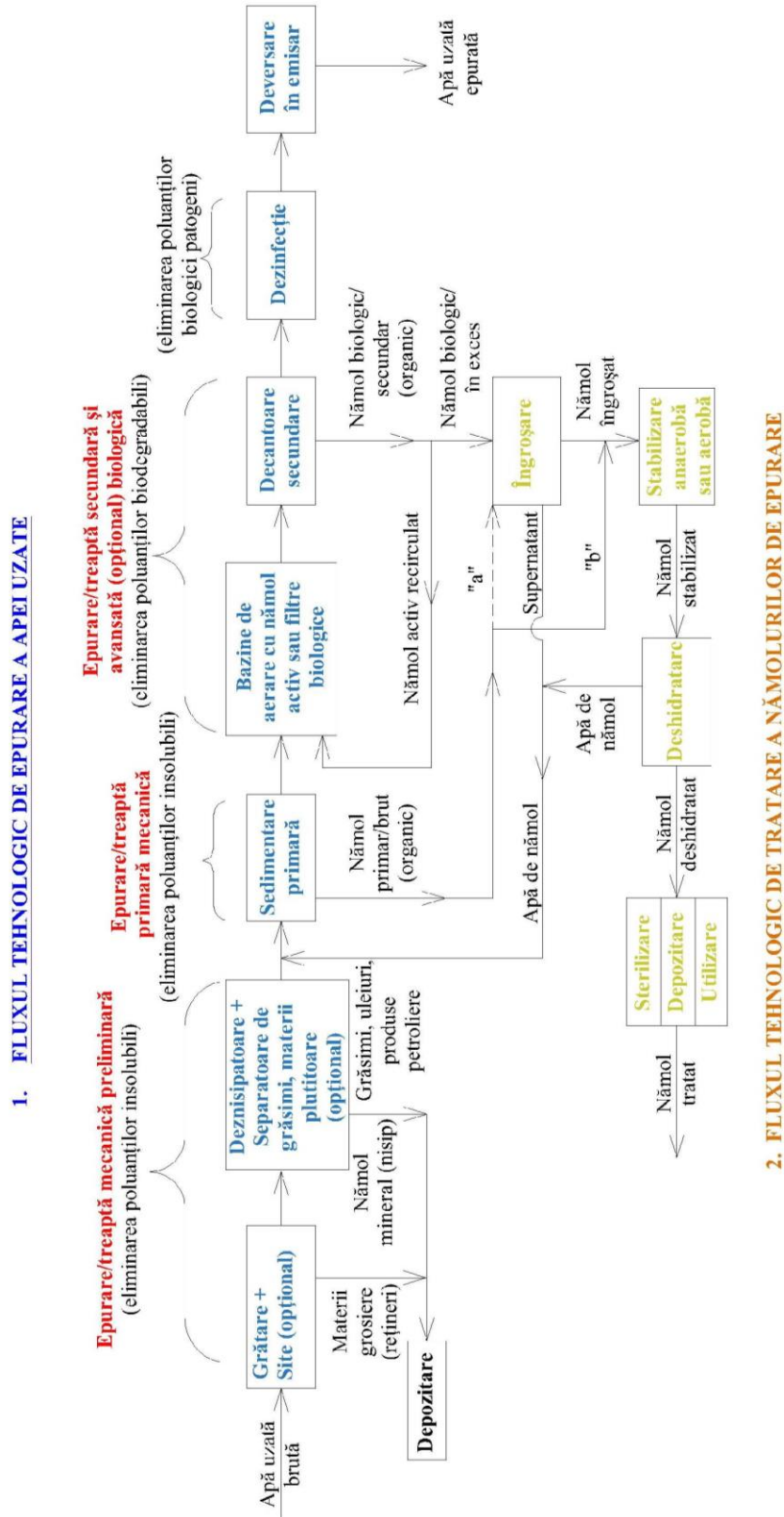
Primele 2 instalații au scopul de a elimina din apele uzate poluanții insolubili grosieri și mai fini prin procedee fizico – mecanice. Pentru aceasta, servesc grătarele sau sitele, care rețin corpurile mai mari de 5...16 mm, și deznisipatoarele, care elimină din apa uzată particulele minerale grele (nisip, argilă, zgură, etc), acestea efectuând o epurare preliminară. După aceasta urmează sedimentarea materiilor în suspensie organice, mai fine, în decantoarele primare. Aici se depune nămolul primar organic predispus proceselor de putrefacție cu emisii de gaze combustibile explozibile și cu mirosuri neplăcute [19, 20, 26, 27, 28, 34, 35, 69, 86].

Treapta de epurare biologică reprezintă etapa responsabilă pentru întregul complex al fluxului tehnologic al apelor uzate din orice stație de epurare. În instalațiile din această treaptă are loc eliminarea prin intermediul microorganismelor a tuturor poluanților predominant de origine organică. Acești poluanți se numesc biodegradabili și reprezintă atât materii insolubile, remanente din treptele precedente (mecanice), cât și coloizii și materiile solubile în apă caracterizate printr-un indice integral – CBO sau CCO – consumul biologic sau chimic de oxigen [30, 62]. Afară de aceasta, la necesitate, în treapta biologică prin procese de nitrifiere – denitrificare mai pot fi eliminate substanțele nutritive – compușii azotului și de defosforizare a fosforului, care pot provoca eutrofizarea apelor de suprafață receptoare ale apelor uzate epurate (emisarilor). Urmează apoi ultima treaptă – dezinfectia, care este menită pentru nimicirea agenților patogeni prezenți mai cu seamă în apele uzate menajere și cele industriale de la prelucrarea cărnii, de exemplu, de la abatoare ș.a., întru prevenirea contaminării apelor de suprafață și răspândirii bolilor infecțioase pe cale hidrică [31, 42, 68, 78, 82, 89, 90].

Fluxul tehnologic al nămolurilor este reprezentat, mai laconic (și aceasta este soarta lui și în cercetare, proiectare și exploatare, fiind expus unei atenții mult mai modeste în raport cu fluxul tehnologic al apelor uzate), prin procedee de [2, 22, 51]:

- stabilizare a componentei organice predispusă putrefacției întru prevenirea răspândirii mirosurilor urâte și emisiei gazelor cu efect de seră;
- separarea fazei solide de cea lichidă prin îngroșare și deshidratare, ceea ce permite reducerea considerabilă a volumului de nămol supus tratării ulterioare;

- sterilizare, proces costisitor sau de lungă durată, menită să prevină impactul nefast asupra mediului prin conținutul foarte înalt al agenților patogeni concentrați în nămolurile provenite din epurarea apelor uzate – peste 99% din totalul lor.



**Fig.1.1** Schema tehnologică clasică a unei stații de epurare a apelor uzate



### 1.1.1. Criterii de clasificare a proceselor și procedeele de epurare biologică

Procesele epurării apelor uzate – fizice, chimice și biologice – constituie baza științifică a procedeele de epurare, respectiv a construcțiilor și instalațiilor de epurare corespunzătoare acestora [21]. În acest fel se obțin ape convențional curate, cu diferit grad de epurare funcție de tehnologiile, instalațiile și echipamentele care pot răspunde sarcinilor impuse de proces și condițiile specifice acestora [20, 21, 26, 27, 30, 32].

Clasificarea procedeele de epurare biologică a apelor uzate poate fi abordată sub 3 aspecte [21, 24, 26, 27, 32, 36, 37, 63, 76]:

**Transformările biochimice.** O aplicație majoră a proceselor biochimice urmărită de epurarea biologică este diminuarea poluanților de carbon organic solubil (CBO/CCO) prin transformarea lor în biomasă nouă, urmare a dezvoltării populației microbiene, în apă și în dioxid de carbon. Culturile aerobe ale microorganismelor pot efectua și se recomandă de obicei pentru eliminarea poluanților organici în concentrații între 50 și 1000 mg/l exprimate în CBO<sub>5</sub>. Culturile anaerobe de microorganisme sunt folosite frecvent pentru apele uzate de mare încărcare, între 1 000 și 5 000 mg/l CCO, însă pentru definitivarea eliminării poluanților organici biodegradabili epurarea anaerobă trebuie urmată de o epurare aerobă (definitivă). Pentru eliminarea materiilor în suspensie și coloidale se utilizează în principal procedee fizice sau chimice cu tratarea ulterioară a acestora sub formă de nămol în mod separat, dar parțial, pentru eliminarea acestor substanțe insolubile, poate fi utilizată și epurarea biologică, chiar și în condițiile lipsei decantării primare, de exemplu aerarea prelungită sau oxidarea totală, care însă necesită durate mari de epurare biologică și respectiv, volume mari ale instalațiilor.

Însă în acest caz se va ține cont de avantajul acestui procedeu care constă în eliminarea poluanților organici (CBO) concomitent cu stabilizarea biomasei în exces și nitrificarea azotului amoniacal.

**Mediul biochimic.** Una din cele mai importante caracteristici ale mediului în care se dezvoltă microorganismele este acceptorul terminal al electronilor care elimină, pe măsură ce el oxidează, substanțele chimice pentru a obține energia necesară. Există trei tipuri principali de acceptori ai electronilor: oxigenul, compușii anorganici și compușii organici. Dacă oxigenul este prezent sau introdus în cantități suficiente, ca să nu fie limitat, mediul/cadrul este considerat aerob. Creșterea microorganismelor este în general mai eficientă în acest mediu și valoarea biomasei formate la o unitate de poluant degradat/distrus este cea mai înaltă. Strict vorbind, orice mediu care nu este aerob este anaerob. În cadrul epurării apelor uzate oricum termenul anaerob este în mod normal considerat în situația în care compușii organici, dioxidul de carbon și sulfații servesc drept principali acceptori terminali ai electronilor și în care potențialul de oxido-reducere este negativ.

Creșterea bacteriilor este puțin eficientă în acest mediu. Când în apa uzată sunt prezenți nitrații și/sau nitriții, care servesc drept acceptorii primari ai electronilor în absența oxigenului, mediul se numește anoxic. Prezența nitraților și/sau nitriților cauzează un potențial de oxido-reducere mai înalt, iar creșterea microorganismelor este mai eficientă decât în condiții anaerobe, însă totuși nu este atât de înaltă sau eficientă ca în prezența oxigenului.

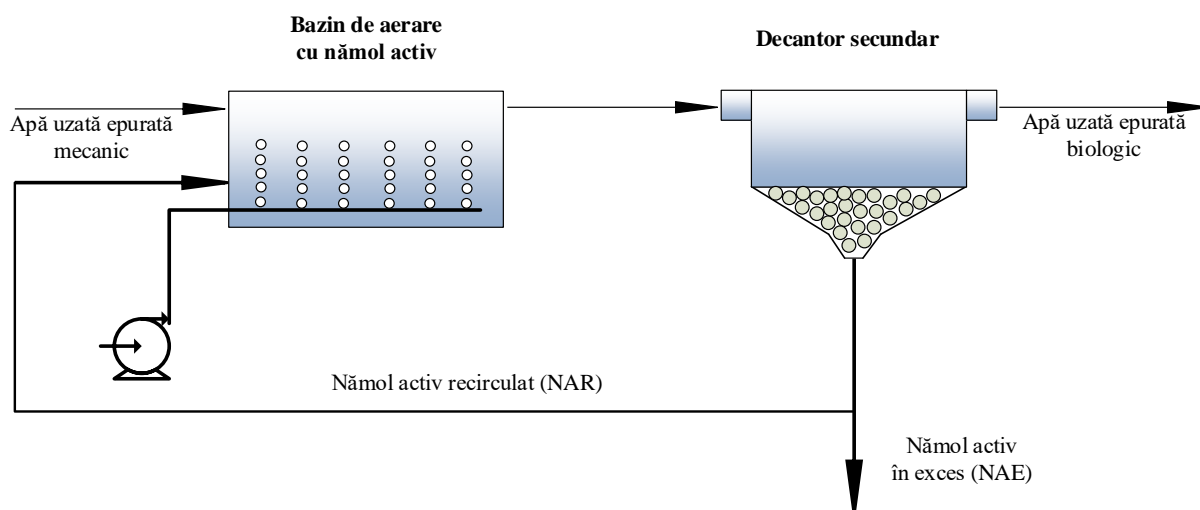
Mediul biochimic are un impact profund asupra ecologiei comunității microbiene. Procesele aerobe tind să susțină/sprijine ciclul trofic complet, de la bacterii, la bază, până la rotifere în vârful piramidei și de aceea sunt mai complexe. Astfel mediul biochimic influențează rezultatul proceselor epurării deoarece microorganismele crescute în aceste medii pot avea căi metabolice foarte diferite.

**Configurația bioreactoarelor.** Bioreactoarele pentru epurarea apelor uzate se divizează în două categorii majore în funcție de modul în care microorganismele cresc/se dezvoltă în ele: suspendate în apa supusă epurării sau fixate/atașate pe suport solid. Când se utilizează microflora suspendată, este necesar amestecul/agitarea pentru a menține biomasa în stare suspendată (în suspensie) iar diferite procese fizice, cum ar fi sedimentarea sau, mai nou, filtrarea prin membrane - pentru separarea/eliminarea biomasei din efluentul epurat, înainte de deversarea în emisar. Microflora fixată/imobilizată crește sub formă de peliculă biologică (biofilm) atașată de un suport solid, iar apa uzată supusă epurării trece prin stratul de umplutură. Deoarece materiile în suspensie pot înfunda/colmata stratul de umplutură, de obicei este nevoie de o limpezire preliminară a apei uzate, înainte de a o introduce în biofiltru, iar pentru separarea peliculei biologice desprinse de pe suportul solid se prevede o decantare secundară a efluentului.

*Bioreactoare cu microfloră suspendată* este cel mai răspândit și este cunoscut ca procedeul cu nămol activ (fig.1.2), și este compus dintr-un bazin de aerare urmat de un decantor secundar. Epurarea are loc în bazinul de aerare în interiorul căruia biomasa epuratoare se află într-un contact strâns/întim cu apa uzată supusă epurării în timp ce separarea fazelor lichid-solid (ale nămolului activ format) se efectuează în decantorul secundar. Este prevăzută o recirculare a nămolului activ care asigură menținerea unei concentrații necesare a biomasei (nămolul activ recirculat NAR), care se mai numește doză de nămol activ, în același timp din sistem se elimină/evacuează (purjare) nămol activ în exces, ceea ce asigură și o reînnoire/întinerire a microorganismelor.

Poluanții carbonorganici (CBO) sunt eliminați datorită metabolismului aerob al microorganismelor, în timp ce pentru eliminarea totală a compușilor azotului este nevoie să se prevadă o etapă de denitrificare compusă dintr-o zonă anoxică asociată cu un bazin de aerare nitrificator printr-o importantă recirculare a lichidului mixt (proces exogen). Există procedee care

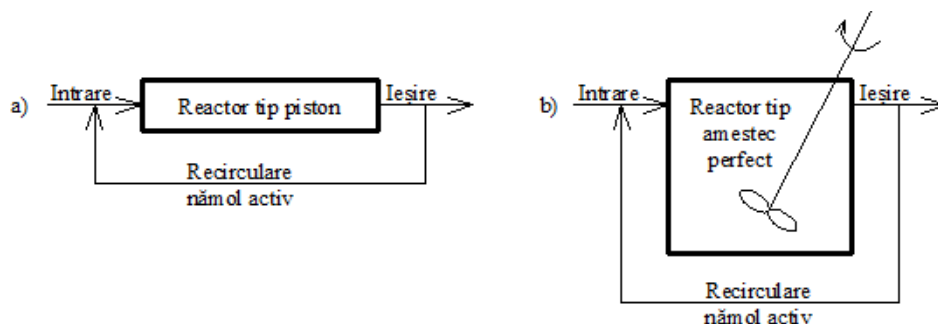
leagă două bazine succesive (aerate sau nu – procedeele Wuhrman, Ludzack-Ettinger modificat) sau procedee cu un singur bazin, dar cu aerare secvențională [36, 39, 42].



**Fig. 1.2. Principiul procedurii de epurare a apelor uzate cu nămol activ**

La epurarea biologică o etapă sedimentară este indispensabilă pentru a separa biomasa epuratoare de apă uzată epurată. Această epurare are loc, de regulă, prin sedimentare/decantare. Eficiența acestei etape este efectiv foarte aleatoare din cauza dependenței sale de buna funcționare biologică. Apariția microorganismelor filamentoase conduce, de exemplu, la “umflarea” nămolului activ, ceea ce îl face incapabil să se sedimenteze. În rezultat separarea biomasei de apă uzată epurată devine mediocră, apa astfel epurată nu poate să satisfacă de o manieră stabilă normele impuse [119, 125] pentru deversarea în emisar.

Referitor la configurarea bioreactoarelor cu biomasa suspendată (nămol activ sub formă de flocoane), trebuie menționat regimul hidrodinamic al mișcării fluxului de apă uzată în comun cu nămolul activ prin bazinele de aerare și anume: curgerea tip piston (bazine neomogene) și cu amestec/complet (bazine omogene, fig.1.3), ambele având diferite avantaje și dezavantaje.



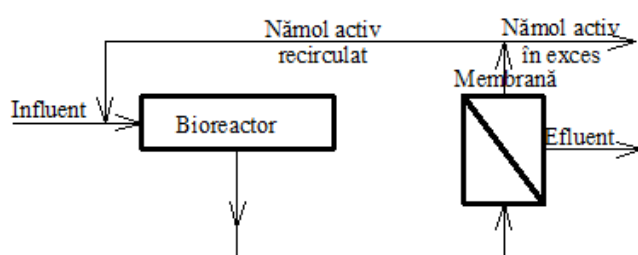
**Fig. 1.3. Exemplu de configurare a bioreactoarelor conform regimului hidrodinamic de curgere a fluxului lichid: a) tip piston (neomogen); b) tip amestec complet;**

Utilizarea culturilor hibride de microorganisme (microflora suspendată + microflora fixată/imobilizată) în bioreactoare sunt propuse și utilizate frecvent la stațiile de epurare de

capacitate mică și medie. Avantajul principal al procedeeului cu microflora mixtă (hibrid) este acela, că el permite creșterea concentrației biomasei la un grad elevat de epurare fără a fi nevoie de majorat volumul bazinelor de aerare (bioreactoarelor). Ceea ce se referă la procedeul cu microflora fixată sau la bioreactoarele hibride este de menționat că încărcare aplicabilă este limitată de transferul de oxigen necesar și/sau suprafața de contact mică. Pentru a majora concentrația microorganismelor active este necesar de a folosi un suport solid cu o suprafață cât mai mare de aderare pentru bacterii și de a asigura un transfer de oxigen continuu și suficient pentru activitatea microflorei. Eterogenitatea structurală a biofilmului îi conferă acestuia posibilitatea de a adăposti diferite genuri de microorganisme în diferite nișe ecologice. Așa, de exemplu, s-a dovedit că bacteriile nitrificatoare se dezvoltă mai în profunzimea biofilmului unde încă oxigenul este prezent (pentru nitrificare), dar unde nu mai există competiția cu bacterii heterotrofe, care posedă o creștere mai rapidă. Vârsta microflorei fixate este evident majorată fără modificări esențiale în operarea sistemului. În așa mod se mai diminuează și producția de biomasă în exces și se ameliorează sedimentabilitatea microflorei în decantoarele secundare. Prezența biomasei fixate în bioreactoare majorează stabilitatea sistemului biologic reducând problemele legate de supraîncărcarea organică și de influența substanțelor toxice sau inhibante, precum favorizează și majorarea vârstei biomasei, ceea ce este favorabil pentru bacteriile nitrificatoare.

Stratul fix/imobil în ultimul timp se folosește și în stare imersată (filtre biologice înecate), direcția mișcării fluxului de apă uzată supusă epurării fiind predominant ascendentă (de jos în sus). Aceste filtre înecate pot fi atât aerobe cât și anaerobe. În primul caz filtrele se dotează cu un sistem de aerare pneumatică, difuzorii cărui pot fi și cu bule medii, care se amplasează sub stratul filtrant, la partea inferioară a filtrelor.

*Bioreactoarele cu membrane* reprezintă un sistem de epurare cu nămol activ, care utilizează membranele microporice pentru separarea fazei solide de cea lichidă în locul decantoarelor secundare (fig.1.4). Datorită eliminării totale a solidelor suspendate prin intermediul membranelor, sedimentabilitatea nămolului activ, care reprezintă o problemă pentru procedeul convențional de epurare biologică, nu mai are absolut nici un efect privind calitatea efluentului epurat. Astfel, sistemul devine ușor de operat și menținut. Pe de altă parte, membranele rețin



bacteriile și virușii și se evită astfel procesele de dezinfecție, care în cazul clorinării au un efect ecologic negativ. Prin eliminarea decantoarelor secundare se mai asigură și o economie de spațiu.

**Fig. 1.4. Principiul bioreactorului cu membrane**

### **1.1.2. Rolul microorganismelor din procesul de epurare a apelor uzate cu nămol activ și eliminarea nutrienților**

Un efort important a fost făcut de către cercetători pentru a identifica microorganismele care sunt responsabile de degradarea materiilor organice și de a înțelege relațiile lor cu performanța stațiilor de epurare sau condițiile de exploatare.

Procesul de epurare biologic este cel mai eficient și economic pentru eliminarea substanțelor organice poluate din apă și utilizează activitatea metabolică a unor grupe de microorganisme capabile să degradeze substanțele organice până la dioxid de carbon și apă. Ele se bazează pe reacțiile biochimice din cadrul metabolismului unei populații mixte de bacterii, ciuperci și alte microorganisme inferioare, în special protozoare. În practica epurării apelor uzate aceste biocenoze (masa microorganismelor active) sunt denumite biomasă [24, 32, 38].

Identificarea microorganismelor filamentoase furnizează informații cu privire la capacitatea de soluționare a nămolului activ și permite identificarea unor posibile defecțiuni [31]. În plus, este cunoscut faptul că cantitatea și diversitatea microorganismelor furnizează informații calitative cu privire la performanța procesului biologic [88]. Ele sunt folosite ca indicatori de calitate a efluentului de procese biologice de epurare aerobe în doar o oră de la prelevarea de probe. Modificări în timp, în componența unor specii poate prezice evoluția stării stației cu suficient timp pentru a efectua acțiunea corespunzătoare. Utilizarea acestor informații este un mijloc excelent de a îmbunătăți managementul stației de epurare, în special atunci când este integrată cu rezultate analitice. Cu toate acestea, uneori aceste informații nu sunt folosite, fie din lipsa de microscop sau dificultatea cu care operatorii mai puțin instruiți o au în identificarea lor.

Microorganismele sunt de asemenea folosite pentru înlăturarea azotului și a fosforului din apele uzate. Bacteriile specifice autotrofe sunt capabile să oxideze amoniacul (nitrificare) în nitriți și nitrați, iar alte tipuri de bacterii heterotrofe sunt capabile să oxideze azotul în azot gazos. Pentru defosforizare, procesele biologice sunt astfel configurate încât să încurajeze creșterea și dezvoltarea bacteriilor capabile să lege și să stocheze o mare cantitate de fosfor anorganic [69].

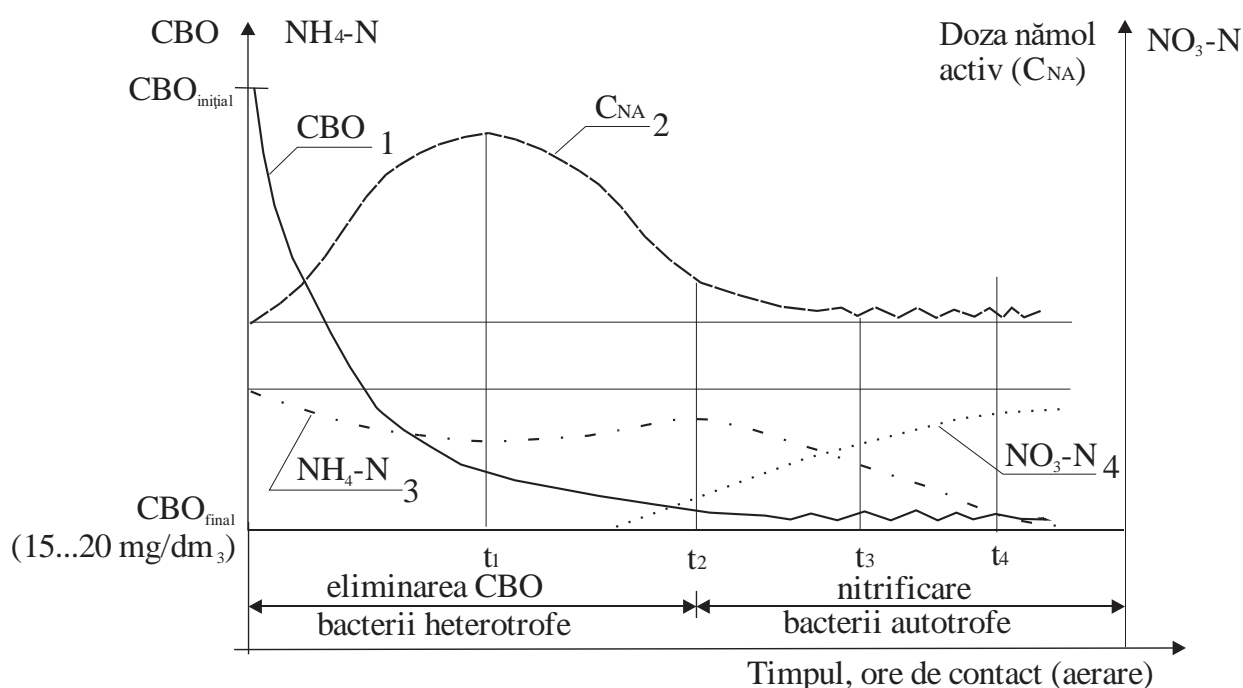
Nămolul activ din decantorul secundar (DS) este separat de faza lichidă și returnat din nou în bazinul de aerare cu nămol activ (BANA) pentru a asigura prezența permanentă a acestuia în procesul de epurare (fig.1.1) în cantitatea necesară, numită doză nămolului activ. Timpul aflării nămolului activ în cuplul BANA+DS, exprimat în zile, poartă denumirea de *vârsta biomasei*. Cu cât mai mare este concentrația de poluanți (CBO) în apa uzată și, deci, cu cât mai multă hrană îi revine nămolului activ în BANA (încărcarea organică), cu atât mai mare este producția de biomasă (nămolul activ în exces-NAE) și mai mult se evacuează din sistem, în consecință cu atât nămolul

activ are o vârstă mai mică (conține mai multe celule tinere, nou formate) și este mai „activ”. Și invers, la încărcări organice mai mici ale nămolului activ se produce mai puțină biomasă, nămolul activ conține predominant celule bătrâne și, deci, are o vârstă mai mare.

Bacteriile autotrofe nitrificatoare, care au o viteză de înmulțire mult mai mică decât a celor heterotrofe, într-un nămol activ cu vârsta mai mare de 3...5 zile pot supraviețui și se mențin în sistem, producând nitrificarea sărurilor de amoniu.

Astfel, nitrificarea poate fi realizată în aceeași instalație (BANA) pentru eliminarea CBO, dacă se asigură o încărcare organică joasă și o vârstă mare a nămolului activ. Așa procedeu de eliminare simultană a CBO și nitrificare poartă denumirea de *aerare prelungită*.

Descrierea grafică a proceselor de eliminare a CBO și nitrificare este prezentată în fig. 1.5.



**Fig.1.5 Evoluția proceselor de eliminare a CBO, producției de biomasă și nitrificare [36]**

Din momentul intrării apelor uzate brute și nămolului activ recirculat în BANA acestea se amestecă și formează o suspensie, în care se produc procesele biologice de asimilare a substratului și producției (dezvoltării) biomasei epuratoare. În rezultatul acestei interacțiuni (hrană-biomasă) are loc consumul și, deci, eliminarea CBO descrisă de curba 1 (CBO); concomitent în prezența substratului nutritiv are loc și dezvoltarea (producția) biomasei care habitează/populează flocoanele nămolului activ, proces descris de curba 2. Dezvoltarea biomasei pe parcursul epurării biologice în BANA trece prin 3 faze: de creștere, de stagnare și de autooxidare. În prezența nutriției suficiente (CBO,  $NH_4$  ș.a.) în faza inițială microorganismele heterotrofe se înmulțesc vertiginos, dar, ulterior, urmare reducerii substratului nutritiv, această creștere se stopează, trece în faza stagnării, ca mai apoi, urmare cantității mari de biomasă, substratul remanent să devină insuficient,

procesul de dezvoltare/creștere nu mai poate fi menținut și în a treia fază are loc dizolvarea celulelor bătrâne și oxidarea substanței organice, eliminate de acestea, de către celulele tinere. Rezultanta acestui proces este o descreștere importantă a microorganismelor heterotrofe viabile. Pe acest fon, defavorabil pentru dezvoltarea microorganismelor heterotrofe, care devin tot mai puține, în lipsa concurenței și în prezența azotului amoniacal, se începe activitatea și dezvoltarea/creșterea microorganismelor autotrofe nitrificatoare, producându-se etapa a doua în BANA – nitrificarea (curba 4).

Curba azotului amoniacal 3 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), pe parcursul aflării suspensiei în BANA, trece prin 3 faze: prima, care coincide cu prima fază a dezvoltării/creșterii biomasei, în care are loc diminuarea concentrației azotului urmare asimilării/încorporării în procesul de sinteză a celulelor bacteriene tinere; a doua – de creștere a concentrației urmare lizei celulelor bacteriene bătrâne a nămolului activ în descreștere, în faza autooxidării acestuia; a treia – descreșterii concentrației urmare procesului de nitrificare, inițiat de bacteriile autotrofe în dezvoltare pe fonul „agoniei” bacteriilor heterotrofe, care nu mai au substanțe organice biodegradabile (CBO) pentru hrană.

Astfel, procesul de nitrificare în aceeași instalație concomitent cu eliminarea CBO este posibil la perioade de aerare foarte mari (aerare prelungită) ceea ce rezultă în volume considerabile ale BANA, consum mare de energie pentru aerare, condiții care necesită încărcări organice minore ale nămolului activ și permit menținerea unui nămol activ de vârstă mare în care poate să se dezvolte microflora nitrificatoare. Afară de aceasta, dacă este necesară o denitrificare ulterioară (reducerea conținutului azotaților produși), va fi nevoie de încă o instalație de denitrificare microbiană – anoxică, cu nămolul său specific.

Acest procedeu este un exemplu de tehnologie nerentabilă, cu investiții capitale și cheltuieli de exploatare mari. El este aplicabil la stații de epurare de capacitate mică (în mediul rural), când eliminarea azotului din apele uzate se poate termina cu faza de nitrificare [36].

Până la începutul anilor 1900, scopul principal al epurării biologice a apelor uzate a fost eliminarea compușilor insolubili, coloidal și solubili, pentru a reduce concentrația de germeni patogeni la deversarea în emisari naturali [62, 63, 68, 69, 78].

După cum se vede în anexa 1.1 privind indicatorii de eficiență a epurării și a instalațiilor în care au loc procesele de epurare, stațiile de epurare asigură un grad suficient de depoluare, în primul rând pentru indicatorii MS și CBO - 95÷97%.

## 1.2. Condiții de deversare a apelor uzate în emisari și starea actuală a stațiilor de epurare pe plan național

Una dintre problemele majore de interes mondial ale secolului nostru este cea a protecției mediului. În aproape toate țările se iau măsuri pentru limitarea poluării prin semnarea convențiilor internaționale, care armonizează aceste măsuri la nivel mondial. În Republica Moldova, problemele legate de protecția mediului se pun, ca urmare, a poluării locale de către industrii, agricultură și centrele populate, fără care au condus la dereglarea unor ecosisteme și înrăutățirea condițiilor de viață ale oamenilor în unele zone.

Actualmente, stațiile de epurare a apelor uzate în R. Moldova, construite prin anii 70 - 90, sec. XX, atât în sate cât și în orașe, sunt distruse și au un grad sporit de uzură a construcțiilor [1, 120], (foto 1.1-1.3 din anexa 1.2). La aceasta a dus și reducerea esențială a debitelor de ape uzate, transmiterea stațiilor de epurare în gestiunea autorităților administrațiilor publice locale, care nu dispun de personal profesional cu experiență și lipsa de investiții necesare. Majoritatea stațiilor de epurare lucrează la indici foarte reduși, necesită reconstrucție cu modernizarea tehnologică a treptelor de epurare, îndeosebi SE Telenești, SE Comrat, SE Tvardița, SE Călărași, SE Șoldănești, SE Ocnița, SE Soroca, etc.

Debitul insuficient de ape uzate și concentrația excesivă de nocivități recepționate afectează decurgerea optimă a proceselor tehnologice ale stațiilor de epurare. Situația din țară la acest capitol denotă lipsa asigurării cu sisteme de canalizare și, respectiv, a epurării apelor uzate, ceea ce determină poluarea apelor subterane și de suprafață, influențând asupra sănătății populației.

Problemele extrem de complexe pe care le implică existența poluanților în efluenții stațiilor de epurare mecano-biologică a apelor uzate și eforturile financiare deosebite pe care le presupune rezolvarea acestor probleme, sunt impuse prin condiții, reglementate pe plan local prin norme și reglementări tehnice [107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123], iar pe plan european, pentru, țările membre, prin Directivele Consiliului Comunității Economice Europene [124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132]. În tabelul 1.1 sunt prezentate limitele maxime admisibile ale indicatorilor de calitate ai apelor uzate pe plan național.

Evacuarea apei uzate în receptorii naturali trebuie să fie efectuată doar după asigurarea gradului de epurare necesar. Gradul necesar de epurare și eficiența instalațiilor de epurare se calculează conform următoarei formule:

$$E = \frac{C_{inf} - C_{efl}}{C_{inf}} \times 100, \% \quad (1.1)$$

unde:  $C_{inf}$  – concentrația de substanțe la intrare în instalație/stație, mg/l;

$C_{efl}$  - concentrația de substanțe la ieșire din instalație/stație, mg/l.



**Tabelul 1.1. Valorile-limită de încărcare cu poluanți a apelor uzate industriale și urbane deversate în corpurile de apă (emisari) [119].**

Indicatori	LAD, mg/l	Indicatori	LAD, mg/l
Temperatura		Produse petroliere	0,5
Concentrația ionilor de hidrogen (pH)	6,5-8,5	Fosfor total	2,0
Materii în suspensie (MS)	35,0	Detergenți sintetici anioni activi biodegradabili	0,5
Consumul biochimic de oxigen în 5 zile (CBO <sub>5</sub> )	25,0	Cianuri totale (CN)	0,4
Consumul chimic de oxigen metoda cu bicromat de potasiu (CCO <sub>Cr</sub> )	125,0	Crom total( Cr <sup>3+</sup> +Cr <sup>6+</sup> )	1,0
Azot amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	2,0	Fier total ionic (Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )	5,0
Azot total Kjeldahl (NTK)	10,0	Cupru (Cu <sup>2+</sup> )	0,1
Azotați (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	25,0	Nichel (Ni <sup>2+</sup> )	0,5
Sulfatați (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	400,0	Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	0,5
Fenoli antrenabili cu vapori de apă (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,3		

Pe plan național pentru o mai bună protecție a calității apelor, au fost impuse o serie de condiții restrictive cu privire la evacuarea apelor uzate în rețelele de canalizare ale localităților (anexa 1.3) și condițiile de calitate a apelor uzate epurare înainte de evacuarea lor în resursele de apă (anexa 1.4).

O altă problemă importantă ce ține de procesele de epurare a apelor uzate și care influențează semnificativ asupra mediului ambiant, este lipsa instalațiilor moderne de tratare a nămolurilor provenite din procesele de epurare a apelor uzate.

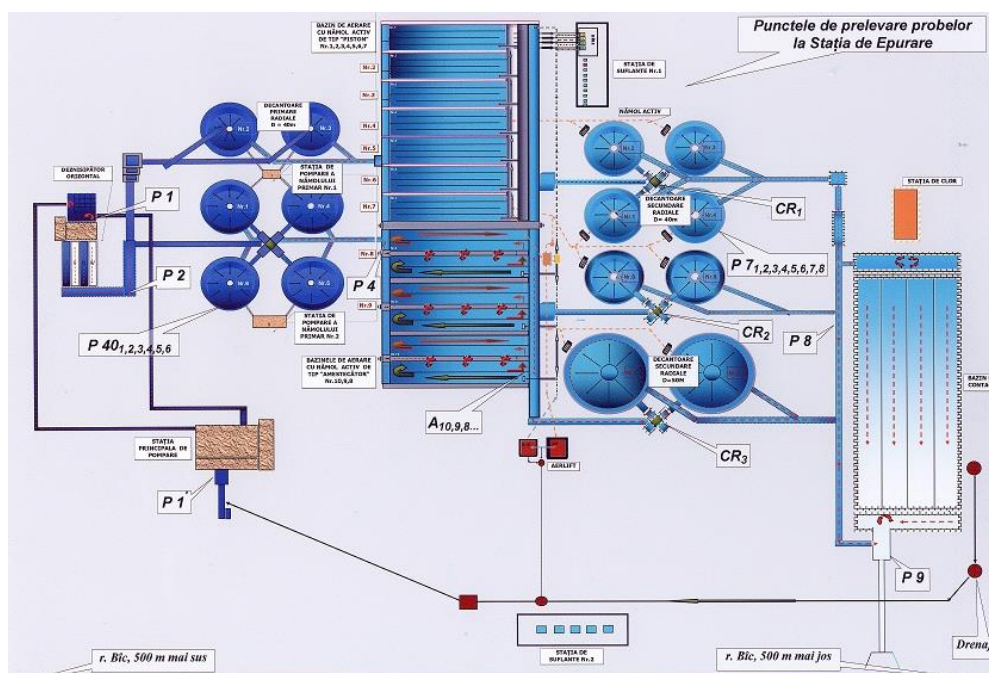
### 1.3. Starea actuală a stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău

Stația de epurare biologică a apelor uzate din Chișinău (SEB) este selectată pentru a dezvolta și aplica prototipul Sistemului de Supraveghere și Control (SCADA). Stația de epurare este situată în sud-estul orașului, la aproximativ 7 km de centrul orașului, lângă râul Bâc, în care este evacuat efluentul final. Având debite mici, fiind situat în zona orașului și ajungând, în cele din urmă, în Marea Neagră, acest râu ar fi considerat, după standardele UE, drept zonă sensibilă pentru eutrofizare.

SEB a municipiului Chișinău a fost construită și dată în exploatare în perioada anilor 1968 – 1984 al secolului trecut în trei etape/tranșe (1968 - 1974 – *tranșa I* fiind dotată cu decantoare primare, BANA, decantoare radiale secundare, platforme de nămol și nisip, stație de clorinare și alte instalații și comunicații; 1975 – construcția celei de *a II tranșă*, care preconiza mărirea

întregului complex până la 325 mii m<sup>3</sup>/zi; 1978 – a început construcția celei de *a III tranșă*, capacitatea instalațiilor atingând cota de proiect de 435/440 m<sup>3</sup>/zi apă uzată epurată și 210 m<sup>3</sup>/zi de nămol neprelucrat; în 2010 a fost implementată tehnologia Geo Tube, micșorând suprafața de la 32,6 ha de platforme la 3,63 ha teren pentru instalarea sacilor Geo Tube.

La moment capacitatea stației este utilizată numai la 30% ce constituie aproximativ 140 mii m<sup>3</sup>/zi. Apele uzate din municipiul Chișinău sunt colectate prin trei colectoarele principale: colectoarele gravitaționale de pe malul drept și stâng al r.Bîc, și colectorul sub presiune Sîngera-Revaca-Chișinău prin care apele uzate sunt transportate în camera de recepție a stației [88, 121]. O schema actuală a Stației de epurare din Chișinău este arătată în figura 1.6.



**Fig.1.6. Schema stației de epurare biologică (SEB) a mun. Chișinău**

Procesul general al Stației de epurare din municipiul Chișinău, este divizat în 2 fluxuri principale de epurare: *fluxul/linia tehnologic(ă) al apei uzate* în care se disting două trepte: tratarea primară (mecanică) și tratarea secundară (biologică), și *fluxul/linia tehnologic(ă) al nămolurilor*.

Actual întregul complex al stației este alcătuit din următoarele instalații:

- *Treapta primară* (epurarea mecanică - are menirea de a reține materiile insolubile): grătare, deznisipatoare, decantoare radiale primare;
- *Treapta secundară* (epurarea biologică - folosește în calitate de agent microorganismele, folosindu-se capacitatea lor de a asimila substanțele organice biodegradabile): bazine de aerare cu nămol activ, decantoare radiale secundare;

- *Dezinfecția apelor*: bazin de contact, stația de clor (care nu funcționează din anii 90 ai secolului trecut).
- *Tratarea/prelucrarea nămolurilor*: platforme de nămol, platforme de nisip, din anul 2009-2010 la stația de epurare din mun. Chișinău pentru intensificarea și eficientizarea procesului de deshidratare a nămolului pe platformele de nămol se utilizează saci Geo Tube;

De asemenea, complexul tehnic este constituit din componentele auxiliare ca: stația principală de pompare, stațiile de suflante 1 și 2, stațiile de pompare a nămolului primar, nămolului activ recirculat și nămolului activ în exces. Pentru fermentarea nămolului au fost proiectate 2 metantancuri, care au fost construite cu încălcarea cerințelor tehnologice. Aceste instalații nu au primit aviz de exploatare și au fost conservate. Punerea în funcțiune a stației de epurare a asigurat în totalitate volumul de apă și epurarea apelor uzate urbane, dar amplasarea nereușită a stației de epurare în limita orașului și lipsa de instalații pentru stabilizarea/fermentarea/tratarea nămolurilor creează probleme populației municipiului și a mediului înconjurător, care se acutizează pe măsură îmbătrânirii fizice a instalațiilor.

Exploatarea Stației de epurare a mun. Chișinău se face de către inginerul-tehnolog și personalul stației conform „Regulamentului tehnologic de funcționare a Stației de epurare” elaborat în baza experienței îndelungate de exploatare a instalațiilor de epurare în conformitate cu ”Regulile de exploatare tehnică a sistemelor de alimentare cu apă și evacuare a apelor uzate din localități”. Controlul calității epurării apelor uzate și evaluării eficienței funcționării instalațiilor de epurare se efectuează de către inginerul-tehnolog în baza datelor elaborate de laborator, executate potrivit graficului aprobat, în scopul asigurării nivelului solicitat de epurare a apelor uzate și de tratare a nămolului [88].

Apele uzate nimeresc în camera de recepție a Stației principale de pompare, unde are loc și disiparea energiei apei (reducerea vitezei apei). Camera de recepție este dotată cu dispozitive de închidere, grătare, care au menirea de a reține corpurile și suspensiile mari (hârtii, cârpe, materiale plastice, etc.), și este combinată cu stația principală de pompare a apei uzate (fig. 1.1 din anexa 1.5), dotată la rândul ei cu pompe verticale, și care, ridică apele uzate venite în stație la nivelul instalațiilor din procesul tehnologic.

După grătare, apa uzată este pompată spre deznisipatorul orizontal longitudinal compus din 4 secții cu lățimea unei secții 5m, înălțimea 1,2 m, lungimea totală a deznisipatorului fiind de 25 m (fig. 1.2 din anexa 1.5). Deznisipatorul are drept menire reținerea materiilor în suspensie de origine minerală, în special a particulelor de nisip având  $d=0,2-0,25mm$  și mai mari. Totodată în deznisipatoare se reține și o parte de materii în suspensie de origine organică, ce au greutate mai mare decât greutatea unei particule de nisip. Durata de aflare a apei în deznisipator este de 2 – 3

minute, viteza de mișcare a apei în deznisipator variază între 0,15 – 0,3 m/s. Cantitatea nisipului reținut pe fundul/radierul deznisipatorului se aduce spre bașa de acumulare hidraulic, de unde se evacuează cu hidroelevatoarele pe platformele de nisip. Eficiența deznisipatorului în variază între 25 – 75%.

După deznisipator, apa uzată epurată de materii anorganice ulterior este transportată gravitațional spre cele 2 camere de distribuție ale decantoarelor primare radiale pentru reținerea materiilor în suspensii organice separabile gravitațional, care ulterior vor fi supuse epurării biologice. La SEB există 2 decantoare radiale (nr.2 și 3) cu aducțiune centrală și colectare periferică a apei uzate având  $d=40\text{m}$ ,  $H=4,3\text{m}$ , volumul de lucru  $4500\text{m}^3$  și 4 decantoare radiale (nr.1, 4, 5, 6) cu aducțiune periferică și colectare centrală a apei uzate  $d=40\text{m}$ ,  $H=4,3\text{m}$ , volumul de lucru  $4500\text{m}^3$ . Au fost date în exploatare în 1977 (fig. 1.3 din anexa 1.5). Actual în funcțiune se află 4 decantoare primare nr.2, 4, 5, 6. Timpul de limpezire în decantoarele primare durează aproximativ 1,5-2 ore în funcție de debitul fluxului apelor uzate. Eficiența procesului de decantare este mai înaltă dacă timpul de decantare este mai îndelungat, oscilează între 50-64 %. Nămolul brut, depus în decantoarele primare, cu ajutorul racletelor se colectează în bașa de nămol, de unde se pompează pe platformele de nămol de 2-3 ori în 24 de ore (conform graficului de regim tehnologic, aprobat de către tehnologul principal al SEB).

Apa limpezită după decantoarele primare, gravitațional este transportată în bazinele de aerare cu nămol activ (BANA) pentru epurare biologică unde are loc reținerea substanțelor organice aflate în stare solubilă (dizolvată) și a celor în stare de suspensie, sau coloidală, ce se găsesc în apele uzate brute sau epurate mecanic [31]. La SEB sunt 10 bazine de aerare cu nămol activ, dintre care 6 bazine (nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) cu mișcarea fluxului de apă tip piston (neomogene) cu lungimea 119,05m, lățimea – 20,3m, adâncimea – 5,21m (în prezent funcționează numai 3 bazine nr.1, 2, 3), și 3 bazine de aerare cu nămol activ tip amestec complet (omogene) (nr. 8, 9, 10) cu lungimea 125m, lățimea – 36m, adâncimea – 5,16m, care funcționează și în prezent, (fig. 1.4 din anexa 1.5).

Asigurarea cu aer a bazinelor de aerare cu nămol activ are loc cu ajutorul suflantelor din Stația de suflante - SPS -1. Debitul specific al aerului și intensitatea aerării depinde de încărcarea organică a bazinului și calitatea nămolului activ. Timpul de aerare constituie 6 – 7 ore.

După BANA amestecul de apă și nămol activ nimereste în decantoarele radiale secundare, care îndeplinesc funcția de separare a nămolului activ din apa uzată. În SEB a mun. Chișinău sunt 8 decantoare secundare, dintre care funcționează 4 (nr.1.6, diametrul 40m și nr.7.8 cu diametrul 50m). Decantoarele secundare sunt de 2 tipuri:

- cu aducțiune centrală a apei uzate și colectare periferică – decantoarele nr. 1, 2, 3, 4 (D=40m, H= 4,3m, V=4500m<sup>3</sup>) și decantoarele nr. 7, 8 (D=50m, H=4,7m V=9000m<sup>3</sup>);
- cu aducțiune periferică a apei uzate și colectare centrală – decantoarele nr. 5, 6 (D=40m, H=4,3m, V=4500m<sup>3</sup>).

Timpul de sedimentare a nămolului este de 2,0 – 2,5 ore. O parte din nămolul activ, care s-a sedimentat în decantoare (nămol activ recirculat) este întors în BANA, o altă parte de nămol este transportat spre platformele de nămol, unde are loc deshidratarea lui în sacii Geo Tube, timp de 2 – 3 luni. Apa epurată din decantoarele secundare tranzitează bazinul de contact, apoi nimereste în r.Bîc deversându-se printr-un deversor cu perete dințat pentru o aerare suplimentară.

*Linia de tratare a nămolului* a inclus inițial în cadrul SEB Chișinău, îngroșătoare și fermentatoare, paturi de uscare înainte de eliminarea finală. Amestecul de nămol primar și biologic a fost depozitat direct pe paturile de uscare pentru deshidratare, ceea ce a generat grave probleme de miros.

La Stația de epurare mun. Chișinău, suprafața platformelor de nămol cu utilizarea „Geo Tube” - lor pentru deshidratarea nămolului, constituie 3,63 ha, parțial pe fundație de beton asfaltic cu drenaj. Sarcina medie a încărcării de nămol este de 11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, parțial fiind drenat cu piatră.

Pe platformele de nămol cu utilizarea metodei „Geo Tube” se prelucrează nămolul primar și nămolul activ în exces pompat din decantoarele primare, secundare și impuritățile plutitoare din căminul substanțelor plutitoare.

În perioada caldă a anului, se observă formarea unei pelicule biologice pe suprafața sacilor, care reduce eficiența de deshidratare a nămolului, majorând umiditatea și durata uscării nămolului. Pelicula respectivă trebuie înlăturată prin spălarea ei cu un jet de apă sub presiune sau prin găurirea materialului filtrant (geotextilului) cu ajutorul unui instrument special cu diametrul 8-10 mm.

La moment pentru intensificarea și eficientizarea procesului de tratare a nămolului, se utilizează metoda centrifugării care este compusă dintr-un bazin de omogenizare cu un volum de 570 m<sup>3</sup> dotat cu mixere, două conducte de aducere a nămolului, două centrifuge tip C5E cu productivitatea de până la 40 m<sup>3</sup>/h, și două stații de pompare și macerare a nămolului. Nămolul evacuat din centrifugă se transportă la depozit.

#### **1.4. Stadiul actual privind modelarea proceselor de epurare biologică cu nămol activ**

Într-o stație de epurare a apelor uzate cel mai important proces este procesul cu nămol activ. După descoperirea lui în 1914 a fost adoptată ca treaptă secundară de epurare [25, 46, 62, 89]. Procesul se bazează pe diferite tipuri de bacterii care, în funcție de mediu, utilizează poluanții din apele uzate ca substrat de creștere [102, 104, 136, 138, 135].

Stațiile de epurare a apelor uzate sunt sisteme supuse la perturbații foarte mari în ceea ce privește debitul influent și cantitatea de poluanți, cu toate acestea, aceste sisteme trebuie să fie gestionate continuu, respectând reglementările din ce în ce mai stricte. Procesele cu nămol activ au scopul de a obține, cu costuri minime, o concentrație suficient de scăzută a materiei biodegradabile în efluent, concomitent cu producerea minimă de nămol. Pentru a realiza aceste performanțe procesul trebuie monitorizat și controlat. În literatură au fost propuse mai multe strategii de control/dirijare, dar evaluarea și compararea lor este dificilă. Aceasta se datorează mai multor motive, printre care: variația influentului și concentrației lui, complexitatea activităților biologice și biochimice.

Este dificil de apreciat influența aplicării unei strategii de control/dirijare în creșterea performanței stației de epurare, deoarece nu există o referință caracterizată în mod corespunzător căruia să ne putem raporta [38, 40, 47, 95].

Deși, din punct de vedere tehnologic, procesul cu nămol activ este considerat a fi cel mai economic și eficient proces pentru epurarea apelor uzate, o funcționare improprie a procesului cu nămol activ poate produce efluenți de o calitate scăzută sau poate duce chiar la eșecul procesului cu consecințe devastatoare [31, 62, 69].

În anul 1983, Asociația Internațională a Apei (International Water Association, IWA) a format un grup de lucru, care urma să promoveze și să faciliteze aplicarea modelelor practice pentru proiectarea și operarea sistemelor de epurare biologică a apelor uzate. Rezultatul final al acestui grup a fost prezentarea, în 1987, a modelului cu nămol activ ASM1 (Activated Sludge Model nr.1). Rezultatul obținut a fost un model care cuprindea eliminarea carbonului organic și a azotului și care utiliza 13 variabile de stare. Modelul a fost ulterior extins, de către același grup de lucru, prin includerea procesului biologic de îndepărtare a fosforului (modelul ASM2). De asemenea, au mai fost propuse două dezvoltări ulterioare ale modelului ASM2, și anume ASM2d care include procese suplimentare ce se referă la denitrificare, și ASM3 [30, 31, 52, 53, 63, 69].

Modelarea procesului de epurare biologică este utilă pentru controlul automatizat al procesului, dar nu poate fi analizat în toată complexitatea sa. Utilizarea modelelor propuse impune determinarea și folosirea parametrilor cinetici ai procesului tehnologic care variază pentru fiecare caz concret al apei uzate menajere supusă procesului de epurare [19, 23].

### **1.5. Abordările de automatizare, informatizare și monitorizare a parametrilor proceselor de epurare a apelor uzate.**

Dificultățile de soluționare a problemelor din stațiile de epurare sunt determinate de complexitatea proceselor fizico-chimice și biochimice, de variația mare a debitelor, de

componența apelor uzate, de cheltuielile considerabile investiționale și de exploatare a instalațiilor. Analiza și experiența mai multor companii arată [143, 145, 146], că stațiile de epurare a apelor uzate depind de funcționarea fiabilă/siguranță a echipamentelor comandate de la distanță pentru a funcționa în mod continuu și în condiții de siguranță.

Elaborarea sistemelor de dirijare a proceselor de epurare a apelor uzate, au devenit posibile numai printr-un studiu judicios al proprietăților statice și dinamice a fiecărui proces de epurare cu prelucrarea rezultatelor prin metodele teoretice ale reglării automate. Sistemele de reglare automată locale sunt proiectate în așa mod ca să fie posibilă schimbarea automată sau la distanță a parametrilor conform datelor din computer [30, 32, 63, 64, 69, 82, 83].

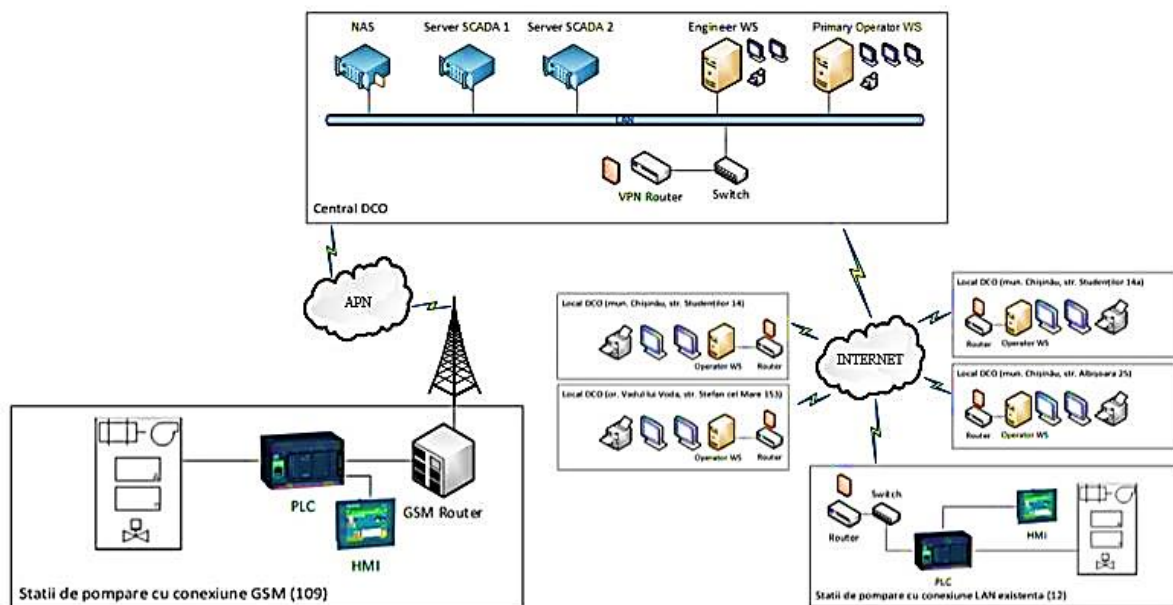
Implementarea unui sistem de Supraveghere, Control și Achiziție de Date (SCADA) în cadrul stațiilor de epurare, trebuie să contribuie la gestionarea eficientă și la creșterea performanțelor de operare a instalațiilor, de exemplu: monitorizarea stării de funcționare ale instalațiilor și echipamentelor; monitorizarea parametrilor în timp real și sub formă grafică a acestora; configurarea și editarea parametrilor sistemului; controlul de la distanță al instalațiilor și echipamentelor; accesarea informațiilor la mai multe niveluri de securitate; gestionarea și arhivarea datelor; crearea automată de rapoarte.

Operatorii pot accesa aplicația software de monitorizare și control a SE de la distanță, de la orice calculator, telefon conectat la internet [82]. Sistemele de automatizare și SCADA propuse pentru stațiile de epurare oferă multe avantaje cum ar fi: reducerea costurilor de exploatare, monitorizarea întregului flux/proces tehnologic, posibilitatea de a interveni și regla parametrii de la distanță, controlul/monitorizarea funcționării instalațiilor/echipamentelor și proceselor de la distanță.

Detectarea imediată a problemelor și afișarea diagnosticului într-o stație de epurare a apelor uzate, va permite o intervenție rapidă pentru soluționarea în timp a defecțiunilor. Monitorizarea proceselor și controlul centralizat vor oferi date relevante pentru modelarea fluxurilor și optimizarea/întreținerea echipamentelor și instalațiilor, și nu în ultimul rând, la reducerea costurilor de operare și de întreținere.

SA „Apă Canal Chișinău” în cadrul Programului de dezvoltare a apei în Chișinău a beneficiat de un grant pentru instalarea și implementarea unui sistem de Supraveghere – Control și Achiziție de Date (SCADA) pentru stația de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău (fig.1.7). În incinta stației de epurare a apelor uzate va fi amplasat centrul de control ce va adăposti echipamentul de Dispecerat și stațiile de lucru ale operatorului. Sistemul SCADA trebuie să se conformează în totalitate cu cerințele respectate pentru lucrările electrice. Dispeceratul central va fi prevăzut cu toate elementele necesare (hardware și software), astfel încât să asigure, în viitor,

transmisia de informații și comenzi spre și dinspre un dispecerat. Sistemul SCADA va prevedea istoricul datelor on-line pentru toate intrările/ieșirile în/din sistem. Toate semnalele de funcționare și de alarmă emise de către sistem vor fi transmise către dispecerat. Defectarea fiecărui echipament va duce la declanșarea unei alarme în sistemul SCADA [140].



**Fig.1.7. Structura sistemului SCADA S.A. "Apă Canal Chișinău" [140,148]**

### 1.6. Concluzii la Capitolul 1

1. În rezultatul analizei retrospective a evoluției proceselor de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ deducem următoarele repere teoretice:

- În exploatarea unei stații de epurare pot apărea evenimente nedorite, ca rezultat al unei succesiuni de disfuncții obținute datorită multitudinii de parametri de natură diferită ce apar în procesele de epurare.
- Prin disfuncții se înțelege orice abatere de la procesul tehnologic ce apare în funcționare și care are drept consecință deteriorarea activității/proceselor de epurare.
- Ca o consecință a evenimentelor nedorite se produce defectarea instalației sau avaria sistemului. Defectarea reprezintă încetarea aptitudinii unui sistem tehnic de a-și îndeplini corect funcțiile impuse, presupunând depășirea unei valori limită a caracteristicilor tehnologice a sistemului.

2. În urma analizei stadiului actual al stației de epurare biologică a mun. Chișinău putem concluziona următoarele:



- SEB a mun. Chișinău, ca și majoritatea stațiilor de epurare din țară sunt date în exploatare în anii 70 – 80 ai secolului trecut, și din punct de vedere tehnic este una învechită. În ciuda acestui fapt SEB continuă să lucreze și îndeplinește o sarcină social-ecologică foarte importantă: de asigurare în totalitate epurarea apelor uzate menajere și industriale a mun. Chișinău;
- În cadrul SEB a mun. Chișinău încă nu este un sistem de gestionare operațională a instalațiilor, în special, a procesului biologic de epurare, pentru care este necesară dotarea instalațiilor cu echipamente de măsurare, control/dirijare și înregistrare a calității apei uzate la intrare și ieșire din proces;
- În gestionarea SEB a mun. Chișinău este necesar să se creeze un sistem de control bazat pe utilizarea calculatoarelor pentru care este necesar să se înceapă programarea și acumularea unei baze de date;
- În SEB a mun. Chișinău nu există un sistem de monitorizare și dirijare a parametrilor de funcționare a instalațiilor.

3. Luând în considerare provocările menționate mai sus, această teză are ca scop implementarea unor modele matematice noi care descriu procesul de epurare a apelor uzate cu nămol activ și dezvoltarea unor strategii de control bazate pe controlul avansat cuplat cu optimizarea, menit să reducă costurile de operare și să îmbunătățească calitatea efluenților din stație.

## 2. MODELAREA PROCESELOR DE EPURARE BIOLOGICĂ A APELOR UZATE LA STAȚIILE DE EPURARE

### 2.1. Parametrii tehnologici ai procesului de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ.

Obiectivul principal al procesului de epurare biologică este degradarea substanțelor organice biodegradabile prin intermediul microorganismelor pentru care poluanții organici prezintă sursă de hrană (substrat). În acest scop se utilizează procesele intensive de epurare în condiții artificiale, acestea folosind biomasa în stare suspendată sau "nămolul activ" în bazinele de aerare, și biomasa fixată pe un suport (umplutură) solid sau "peliculă biologică" în filtrele biologice [31].

**Biomasa** reprezintă populația mixtă de bacterii, ciuperci și alte microorganisme, care își desfășoară activitatea metabolică în instalația de epurare [19, 31, 32]. Alimentarea biomasei cu hrană trebuie să se facă în cantități suficiente pentru a activitate maximă a microorganismelor [21]. **Substratul** reprezintă totalitatea substanțelor și elementelor din apa uzată necesare creșterii biomasei [19, 30].

Factorii care influențează procesul de epurare biologic sunt: timpul de retenție sau timpul de contact a obiectului tehnologic unde se desfășoară procesul de epurare biologic, temperatura, pH-ul, alimentarea cu oxigen, încărcarea organică a apelor uzate, prezența nutrienților în apele uzate, condițiile hidrodinamice ale procesului – omogenizarea și amestecarea.

Pentru a evalua corect activitatea unei stații de epurare trebuie luați în considerare următorii parametrii cheie: cantitatea de apă uzată epurată, cantitatea de aer ce intră în BANA, consumul de energie pentru alimentarea cu aer și recircularea nămolului activ și pomparea nămolului activ în exces, cantitatea de nămol activ recirculat și nămol activ în exces, presiunea aerului în sistemul de aerare al BANA.

Pentru întocmirea rapoartelor tehnologice cu privire la activitatea complexului de instalații dintr-o stație de epurare a apelor uzate sunt utilizate datele din jurnalele de laborator (indicatori de calitate) și datele jurnalelor secțiilor tehnologice (indicatori cantitativi și tehnologici). În anexa 2.1 sunt arătate formulele de calcul după care se calculează parametrii de bază a funcționării instalațiilor de epurare a apelor uzate [137]. Desfășurarea normală a procesului de epurare biologică este împiedicată, uneori, de așa-numita "umflare filamentoasă a nămolului", care este un rezultat al "îmbolnăvirii" lui, datorită unor concentrații mari de ape uzate, unui timp mare de aerare, unor șocuri produse de apele uzate industriale, care conțin substanțe toxice. Deficiențele în exploatarea a bazinului de aerare cu nămol activ și decantorul secundar sunt arătate în anexa 2.2 [23].

În anexele 2.3 și 2.4 sunt prezentate datele din anul 2018 a activității SEB mun. Chișinău cu privire la parametrii tehnologici ai funcționării proceselor de epurare și eficiența epurării biologice a apelor uzate, care ne permit să facem o analiză a funcționării instalațiilor și proceselor de epurare pentru a face concluzii din punct de vedere al optimizării parametrilor tehnologici.

1) **Doza de nămol activ** (Concentrația de materii în suspensie volatile - MSV) este concentrația de materii solide în suspensie uscate în BANA. Cu cât această concentrație este mai mare în raport cu concentrația substratului cu atât rata de oxidare a poluanților organici este mai mare. Cu alte cuvinte, eficiența epurării biologice este controlată de doza de nămol activ. Astfel, eficiența reducerii substanțelor în suspensie în treapta de epurare biologică depinde de caracteristicile fizice ale structurii flocoanelor de nămol activ, fapt determinat de vârsta nămolului și regimul tehnologic de operare a biocomplexului. Cele mai utilizate doze de nămol activ sunt cuprinse între 1500 – 5000 mg/dm<sup>3</sup> [21, 62]. Doza maximă de nămol activ este limitată de legătura dintre bazinul de aerare și decantorul secundar, și de sistemul de aerare/omogenizare. Astfel, în practică, doza de nămol activ poate varia de la 500 la 5000 mg/dm<sup>3</sup>. După cum se poate vedea din datele SEB mun. Chișinău din anexa 2.4, doza de nămol activ în BANA variază într-un interval foarte larg, de la 2730 la 5174 mg/l. Aceasta este stabilită de gradul de recirculare a nămolului activ recirculat, care fluctuează până la 100%. Pentru SEB, în condițiile când nămolul activ este bine adaptat la compoziția apelor uzate, reducerea substanțelor în suspensie la această etapă constituie în medie 94 %.

2) **Gradul de recirculare** caracterizează nămolul activ sedimentat în decantoarele secundare și care trebuie de recirculat sau întors în BANA pentru a menține doza de nămol activ. Această valoare depinde, pe de o parte, de doza necesară de nămol activ în BANA:

$$R = \frac{Q_{rec}}{Q_{a.u.}} = \frac{a_{BANA}}{a_{rec} - a_{BANA}}, \text{ dar, pe de altă parte, este funcție de indicele de nămol}$$

$$R = \frac{a_{BANA}}{\frac{1000}{I_{VN}} - a_{BANA}} \quad (2.1)$$

în care:  $Q_{rec}$  – debitul de nămol recirculat, m<sup>3</sup>/h;

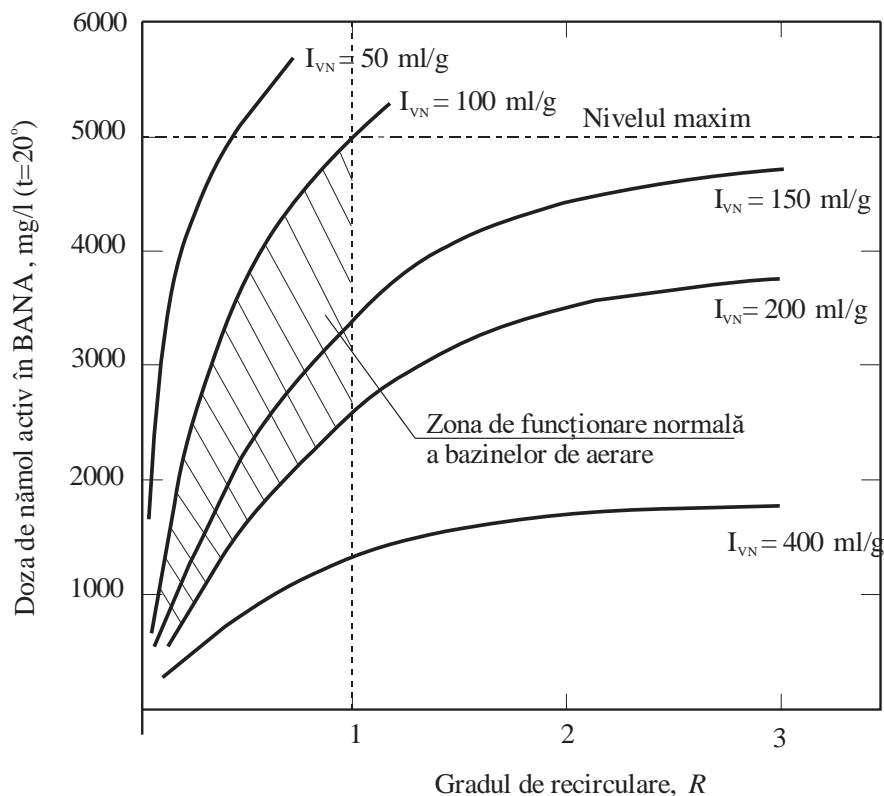
$Q_{a.u.}$  – debitul de apă uzată intrat în SE, m<sup>3</sup>/h;

$a_{BANA}$  – doza de nămol ce trebuie menținută în BANA;

$a_{rec}$  – concentrația de NA în fluxul recirculat al NAR;

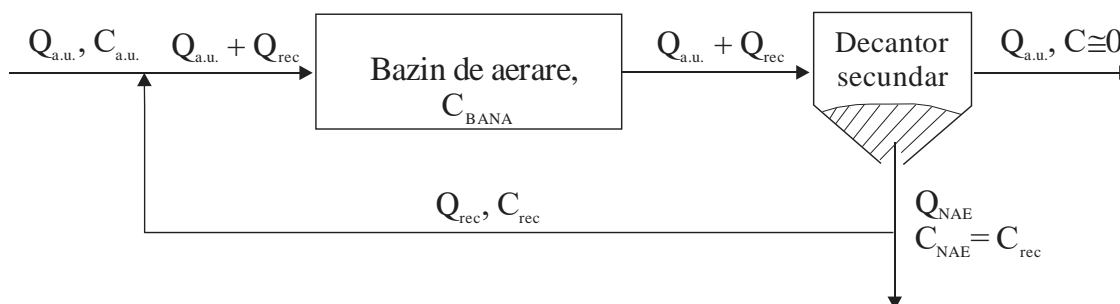
$I_{VN}$  – indicele de nămol.

Dependența dozei de nămol activ menținută în BANA, în funcție de indicele de nămol și gradul de recirculare este ilustrată în fig.2.1.



**Fig. 2.1. Variația dozei de nămol activ (NA) menținută în BANA în funcție de indicele de nămol și gradul de recirculație [92].**

În majoritatea cazurilor, gradul de recirculare  $R$  depinde de gradul de compactare a nămolului activ sedimentat în decantoarele secundare, adică de concentrația fluxului recirculat fig.2.2.



**Fig. 2.2. Schema de principiu al ecuațiilor de bilanț**

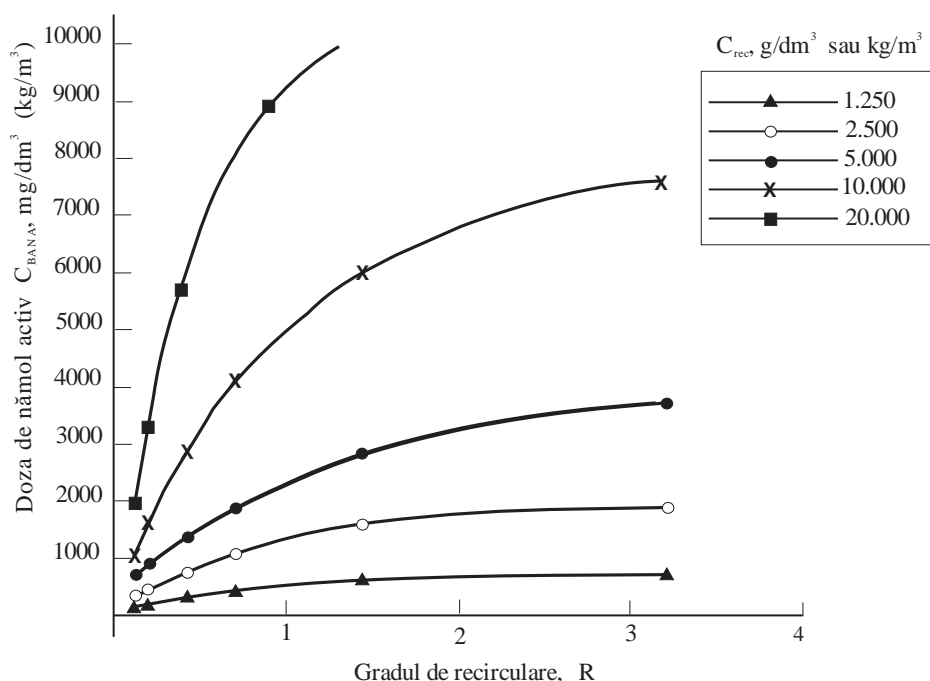
Ecuția de bilanț a nămolului activ poate fi prezentată după cum urmează:

$$(Q_{rec} + Q_{a.u.}) \cdot C_{BANA} = Q_{rec} \cdot C_{rec} , \quad \text{de unde}$$

$$C_{BANA} = C_{rec} \frac{Q_{rec}}{Q_{a.u.} + Q_{rec}} , \quad \text{introducem relația } \frac{Q_{rec}}{Q_{a.u.}} , \text{ care se numește gradul de recirculare și}$$

obținem: 
$$C_{BANA} = C_{rec} \frac{R}{1+R} \quad (2.2)$$

Grafic, aceasta poate fi arătată de curbele prezentate în fig. 2.3, care arată influența gradului de reciclare,  $R$ , asupra dozei de nămol în BANA,  $C_{BANA}$ , la diferite valori ale concentrației de nămol recirculat,  $C_{rec}$ . Astfel la  $C_{rec}=10 \text{ kg/m}^3$  și doza nămolului activ în BANA,  $C_{BANA}=2 \text{ kg/m}^3$ , gradul de recirculare suficient este,  $R=0,25$ . Dacă, datorită sedimentării slabe a nămolului activ în decantorul secundar,  $C_{rec}$  scade până la  $2,5 \text{ kg/m}^3$ , același  $C_{BANA}=2 \text{ kg/m}^3$  poate fi atins la  $R=4$  ceea ce este foarte mult. Dacă din punct de vedere a micșorării volumului BANA vrem doza de nămol activ să fie mai mare  $C_{BANA}=4 \text{ kg/m}^3$ , la un grad de recirculare  $R=0,7$ , concentrația de nămol recirculat va fi  $C_{rec}=10 \text{ kg/m}^3$ . Cu  $C_{rec}=2,5 \text{ kg/m}^3$  este imposibil să ne imaginăm că doza de NA putem s-o ridicăm la  $C_{BANA}=4 \text{ kg/m}^3$ . Astfel, funcționarea decantoarelor secundare la așa parametri de lucru este practic imposibilă.



**Fig. 2.3. Influența gradului de recirculare  $R$ , asupra dozei maxime de nămol în BANA  $C_{BANA}$ , în funcție de concentrația de îngroșare în decantorul secundar și concentrația nămolului activ recirculat [92]**

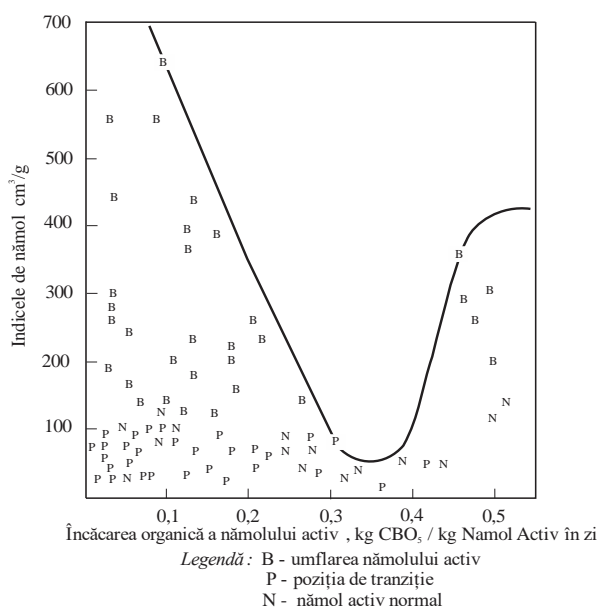
3) **Indicele volumic de nămol** caracterizează capacitatea nămolului activ de a se sedimenta și separa de apa uzată epurată în decantoarele secundare. Aceasta este foarte important din următoarele considerente (fig. 2.1):

- sedimentarea optimă a nămolului activ în decantoarele secundare facilitează menținerea unei doze necesare de nămol activ în BANA la o rată minimă de recirculare;

- cu cât mai bine se sedimentează și se îngroașă nămolul activ, cu atât este mai mic consumul de nămol activ recirculat, care este pompat din decantoarele secundare (DS) în BANA și, cu atât mai redus este consumul de energie pentru pompare;
- și, în cele din urmă, efluentul de ape uzate epurate din DS, trebuie să conțină o concentrație minimă de materii în suspensie, adică apele uzate epurate trebuie să fie limpezi.

Acest parametru depinde de morfologia nămolului activ, adică de formele de bacterii care se dezvoltă în nămolul activ. Acesta este legat de fenomenul "umflarea nămolului", când el din ce în ce mai rău se sedimentează, indicele de nămol crește și în rezultat se pierde nămolul activ din sistemul de epurare biologică - bazinul de aerare – decantorul secundar. Indicele de nămol reprezintă volumul flocoanelor de nămol activ din bazin, corespunzător unui volum inițial, care conține un gram de materii solide în suspensie, uscate, la o decantare de 30 min. În perioada anului 2018 indicele de nămol al nămolului activ din stația de epurare a mun. Chișinău a variat de la 110 până la 187 ml/g.

4) Unul dintre principalii factori ce influențează asupra indicelui de nămol este **încărcarea organică a nămolului activ**, care reprezintă raportul dintre debitul masic de poluanți organici biodegradabili (CBO) în timp de o zi și concentrația de materii solide uscate în suspensie existentă

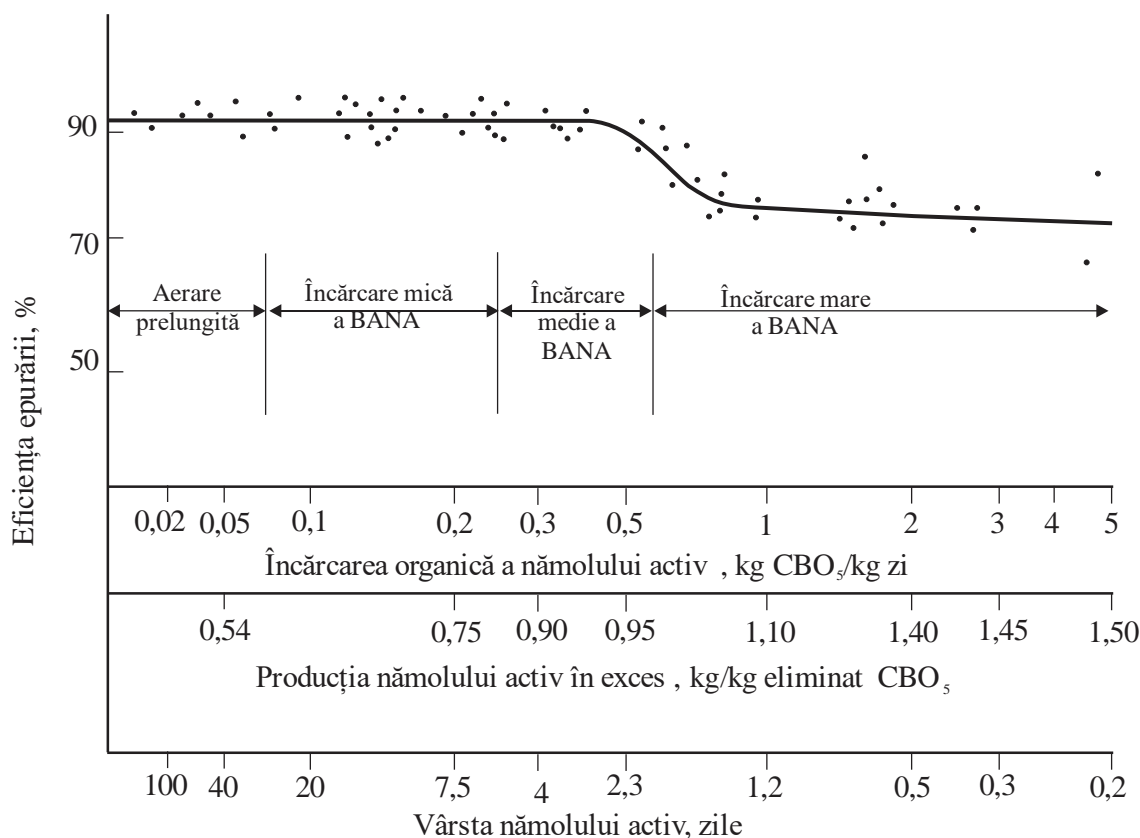


**Fig. 2.4. Dependenta indicelui de nămol de încărcarea organică a nămolului activ [99]**

în bazinul de aerare, adică este de fapt un raport hrană/biomasă. Dependența generală a indicelui de nămol de încărcarea organică a nămolului activ este reprezentată, conform datelor din literatură, în fig.2.4.

În fig. 2.5 grafic este arătată generalizat funcția eficienței epurării, complementar la încărcarea organică, de producția nămolului activ în exces (nămol necesar de tratat în fluxul nămolurilor de epurare, ceea ce este economic important) și de vârsta nămolului activ explicată în felul care urmează. Din dependența eficienței de epurare de încărcarea organică (fig.2.5) se poate observa că în intervalul  $0,5 \dots 1,0\ kg/kg*zi$  există o

zonă de tranziție, care datorită instabilității procesului în această zonă trebuie evitată. Analizând anexele cu parametrii tehnologici de lucru al BANA-urilor din SE mun. Chișinău, se poate observa că încărcarea organică alcătuiește în mod obișnuit  $0,84 - 0,162\ kg/kg*zi$  conform anexei 2.4.



**Fig. 2.5. Eficiența de epurare biologică în funcție de încărcarea organică a nămolului activ, producția nămolului activ în exces și vârsta nămolului activ [21].**

5) *Vârsta nămolului activ.* În condițiile de funcționare continuă a bazinului de aerare, biomasa este înnoită permanent. În BANA în afară de eliminarea CBO a carbonului organic are loc procesul de sinteză sau producere de biomasă, care dictează necesitatea de eliminare a nămolului activ în exces din procesul de epurare biologic. În același timp, este caracterizată viteza de creștere specifică a biomasei,  $\mu$ , ce reprezintă raportul dintre producție  $P$  și biomasă  $B$ .

$$\mu = \frac{P}{B}$$

Valoarea inversă

$$\theta = \frac{1}{\mu} = \frac{B}{P}$$

se numește timpul de înnoire a biomasei sau vârsta acesteia. O parte de biomasă poate dispărea din proces în rezultatul consumării de către reprezentanții unor microorganisme de niveluri trofice mai ridicate, sedimentate sau îndepărtate cu fluxul de apă. Timpul de înnoire  $\theta$  determină compoziția biomasei eterogene și, în consecință, setul de substraturi utilizate în proces. Cu cât e mai mare timpul, cu atât e mai mare numărul de microorganisme în creștere lentă în biomasă. În același timp, diversitatea sa crește, iar inerția/stabilitatea crește ca răspuns la modificările condițiilor de mediu.

Din ecuația de bilanț al procesului biologic BANA – decantor secundar a fost dedusă următoarea relație:

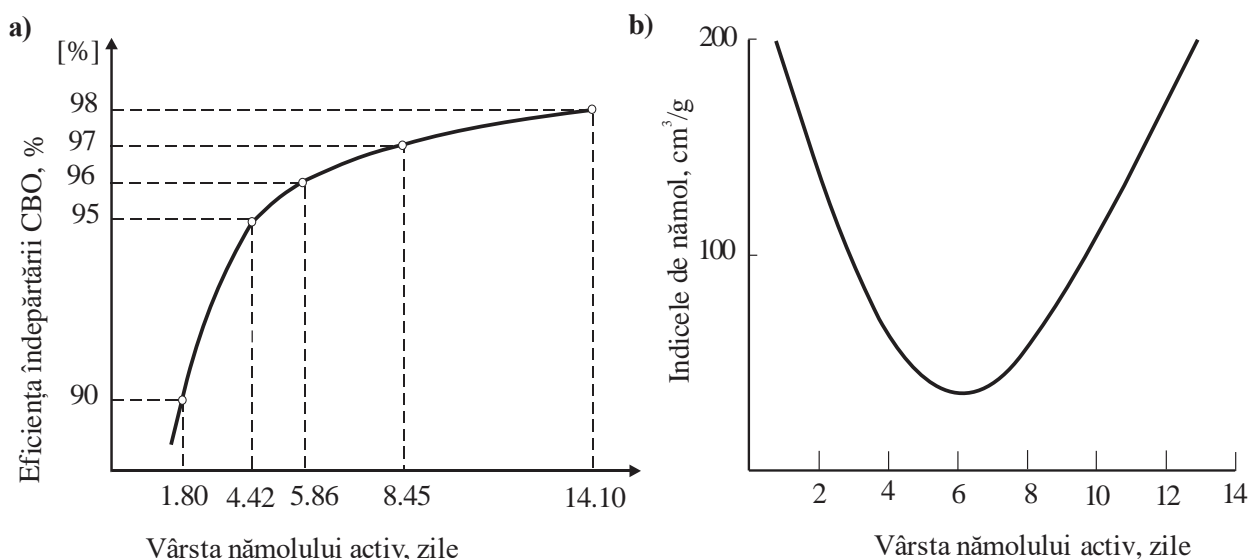
$$\frac{1}{\theta} = \frac{Q_{a.u.}}{V_{BANA}} \left( 1 + R - R \frac{C_{rec}}{C_{BANA}} \right) \quad (2.3)$$

De unde se poate observa că vârsta nămolului activ  $\theta$ , este funcție de raportul  $C_{rec}/C_{BANA}$  și gradul de recirculare  $R$ . Raportul  $C_{rec}/C_{BANA}$  la rândul său, este funcție de capacitatea de sedimentare a nămolului activ (indicele de nămol) și eficiența de lucru a decantorului secundar.

Prin operarea corectă a decantoarelor secundare, se poate reține până la 100% de nămol activ și concentrația nămolului activ recirculat poate fi exprimată ca:

$$(C_{rec})_{max} = \frac{10^6}{I_{VN}} \quad \text{unde } I_{VN} \text{ este indicele de nămol [21].}$$

Vârsta nămolului este des utilizată în calitate de parametru tehnologic de control, deoarece are legătură directă cu eficiența de epurare (fig.2.6.a) și cu caracteristicile fizice și biologice ale nămolului activ (capacitatea de sedimentare fig.2.6.b).



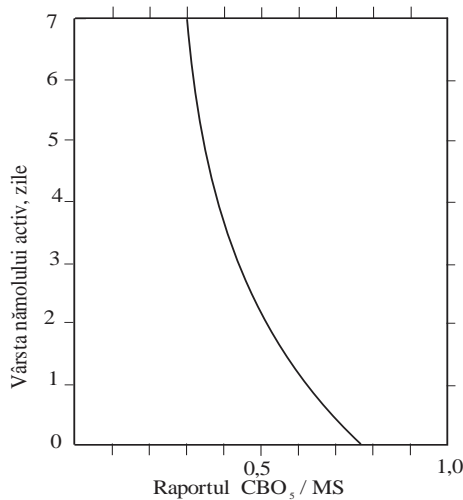
**Fig. 2.6. Variația vârstei nămolului activ în funcție de: [21]**

**a) eficiența epurării apelor uzate conform CBO și b) indicele de nămol.**

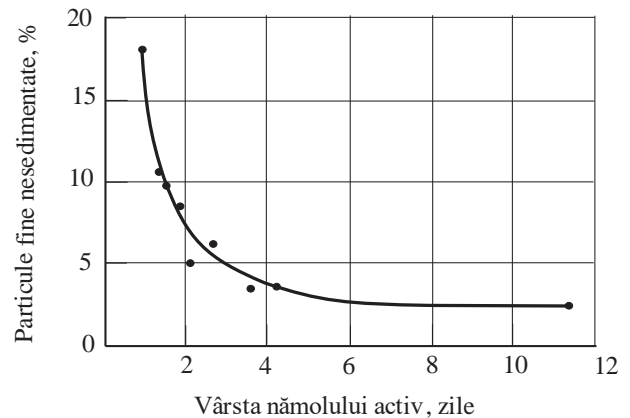
În general, odată cu creșterea vârstei nămolului crește și eficiența, totuși, vârsta mare a nămolului este asociată cu un grad ridicat de recirculare, care din punct de vedere energetic este ineficient/dezavantajat, dar din altă parte, cu cât vârsta nămolului este mai ridicată, scade creșterea lui.

De exemplu, cum este arătat în fig. 2.7 există o scădere a raportului  $CBO_5/MS$  în apele uzate epurate ( $MS$  – concentrația solidelor suspendate sau îndepărtarea nămolului activ din decantoarele secundare) cu creșterea vârstei nămolului.





**Fig. 2.7. Variația raportului CBO5/MS în apa uzată epurată eliminată din decantoarele secundare în funcție de vârsta nămolului activ [99].**



**Fig. 2.8. Procentul particulelor fine nesesimentate în particulele în suspensie eliminate din decantoarele secundare la creșterea vârstei nămolului activ [99].**

În fig. 2.8 se arată o scădere a procentului de particule nesesimentabile în îndepărtarea materiilor în suspensie în decantoarele secundare cu creșterea vârstei nămolului activ.

De către practica de operare a instalațiilor de epurare biologică a apelor uzate cu utilizarea nămolului activ s-a constatat că, având în vedere aspectele tehnice și economice ale acestei probleme, vârsta nămolului trebuie menținută în intervalul de 4 până la 10 zile. La fiecare stație de epurare, în funcție de condițiile specifice, se poate stabili valoarea optimă a acestui parametru.

La stațiile de epurare existente, vârsta nămolului activ este determinată:

$$\theta = \frac{V_c * \alpha_{cp}}{Q_{n.a.exes.}^{zi} * C_{rec} + Q_{a.u.ep.}^{zi} * \alpha_t} \quad (2.4)$$

unde:  $V_c$  – volumul instalațiilor din procesul biologic BANA – DS (inclusiv regenerorul când este)  $m^3$ ;

$Q_{n.a.exes.}^{zi}$  – debitul zilnic de nămol activ în exces evacuat din proces,  $m^3/zi$ ;

$Q_{a.u.ep.}^{zi}$  – debitul zilnic de apă uzată epurată,  $m^3/zi$ ;

$C_{rec}$  – doza (concentrația) de nămol activ evacuată din decantoarele secundare,  $g/dm^3$  ( $kg/m^3$ );

$\alpha_t$  – evacuarea nămolului activ din decantoarele secundare cu un curent de apă uzată epurată,  $g/dm^3$  ( $kg/m^3$ ).

$\alpha_{cp}$  – concentrația (doza) medie de nămol activ în sistem.

Așa cum a fost menționat deja, intervalul optim de vârstă al nămolului activ, atât din punct de vedere al menținerii nămolului activ floclat cu proprietăți bune de sedimentare, cât și eficiența epurării apelor uzate variază între 4 și 10 zile.

Calcululele efectuate în urma studiilor de laborator a bazinelor de aerare din stația de epurare a mun. Chișinău arată că vârsta nămolului activ în diferite anotimpuri și diferiți ani variază între 4,1 la 19,1 zile. Aceasta explică înalta eficiență și stabilitate a procesului biologic realizat la SE a mun. Chișinău. Cu toate acestea, abaterile de la vârsta optimă a nămolului activ afectează periodic indicele de nămol, care deseori depășește  $200 \text{ cm}^3/\text{g}$  și creează probleme serioase în funcționarea și gestionarea procesului biologic de epurare.

**6) Producerea sau creșterea specifică de biomasă (nămol activ în exces).** Esența epurării biologice a apelor uzate este cultivarea biomasei, care utilizează ca hrană (substrat) consumul biochimic de oxigen (CBO). Ca urmare a creșterii biomasei în procesul biologic crește concentrația/doza de microorganisme în plus față de valoarea stabilită, sub forma de nămol activ în exces, care este evacuat din sistem.

În conformitate cu NCM [133] creșterea specifică (producția,  $P$ ) nămolului activ este alcătuit din 80% substanțe solide în suspensie prezente în apele uzate inițiale și 30% de celule noi ale bacteriilor care se dezvoltă pe baza îndepărtării CBO:

$$P = 0,8MS + 0,3CBO_{initial}, \text{ mg/dm}^3$$

unde:  $MS$  – concentrația de materii solide în suspensie ce intră în procesul de epurare biologică al apelor uzate,  $\text{mg/dm}^3$ ;

$CBO_{initial}$  – consumul biologic de oxigen ce intră în procesul de epurare biologică,  $\text{mg/dm}^3$ .

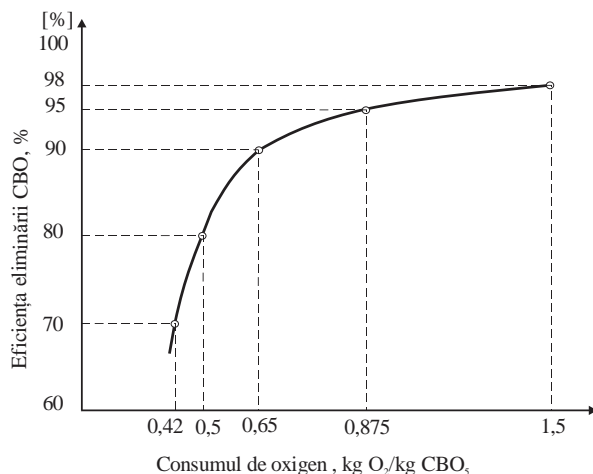
Studiile experimentale ale instalațiilor existente în stația de epurare a mun. Chișinău au arătat că creșterea specifică a nămolului activ variază de la 150 până la  $503 \text{ mg/dm}^3$ .

**7) Necesitatea de oxigen.** Condițiile aerobe în procesul de epurare biologică a apelor uzate în bazinele de aerare sunt menținute prin intermediul unui sistem de aerare, eficiența căruia este dictată de transferul de oxigen din aer în amestecul de nămol. Cererea de oxigen se determină, în primul rând, de cantitatea de CBO eliminată, dar consumul său specific  $\text{kg O}_2/\text{kg CBO}$ , este cauzat de așa factori, cum ar fi, valoarea/concentrația de CBO și doza de nămol activ, încărcarea organică și vârsta nămolului activ, eficiența de epurare necesară, temperatura amestecului de nămol.

Reacțiile în bazinul de aerare în timpul cărora este consumat oxigenul sunt următoarele:

- a) oxidarea poluanților organici (îndepărtarea CBO);
- b) sinteza materialului celular (creșterea nămolului activ);
- c) autooxidarea materialului celular;
- d) procese de nitrificare.

Din aceasta rezultă că, consumul total de oxigen de către microorganismele heterotrofe (eliminarea materiilor organice care conțin carbon – CBO) este proporțional cu cantitatea de CBO eliminată și cu cantitatea de biomasă din proces. Deci, consumul real de oxigen întotdeauna depășește valoarea CBO îndepărtată. Astfel, consumul specific de oxigen  $kgO_2/kgCBO$ , depinde de eficiența îndepărtării CBO și variază de la 0,5 la 1,5 cu o creștere a eficienței de îndepărtare a



**Fig. 2.9. Variația consumului de oxigen necesar în funcție de eficiența eliminării CBO [21].**

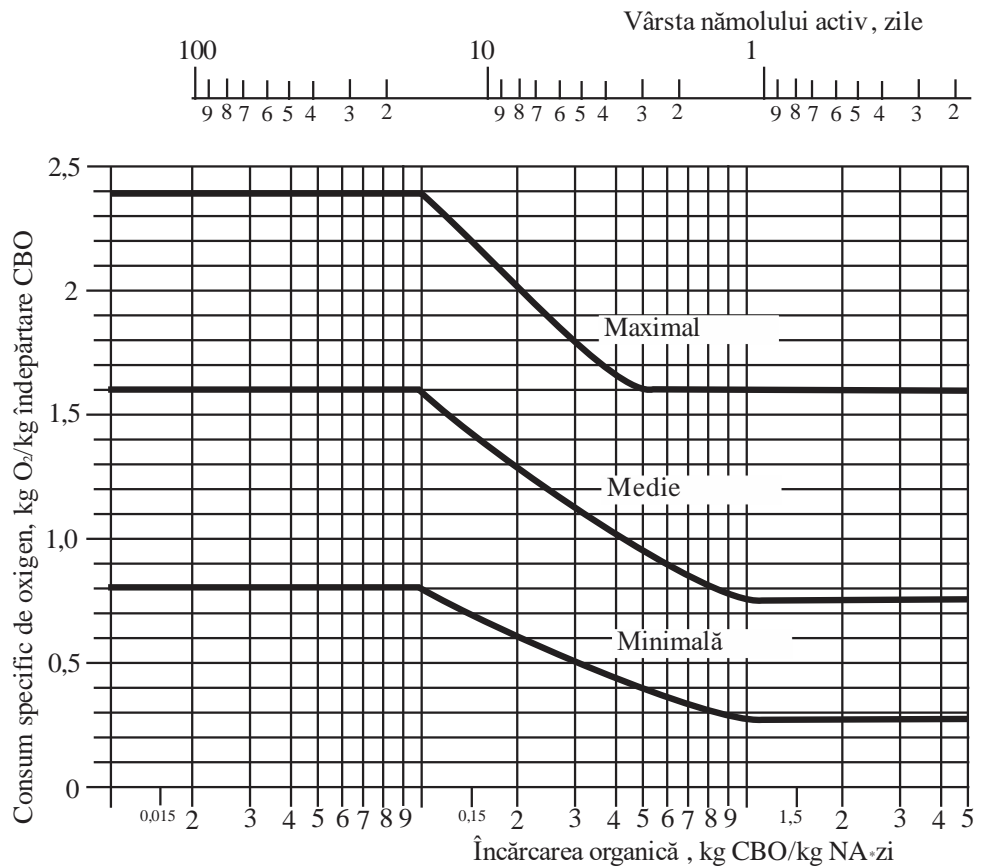
CBO de la 80 la 98% (fig.2.9). Aceasta înseamnă că, în timpul funcționării cu încărcare mare a bazinelor de aerare (eficiență 80%) nu se oxidează complet CBO îndepărtat, dar în regim de aerare prelungită, când are loc, în afară de îndepărtarea CBO, autooxidarea biomasei (stabilizarea nămolului activ) și chiar procesul de nitrificare, aceasta duce la creșterea consumului specific de oxigen.

Trebuie de menționat, că oxidarea azotului de amoniu în nitrați necesită un consum suplimentar de oxigen, egal cu  $4,6 kgO_2/kg$  substanță eliminată.

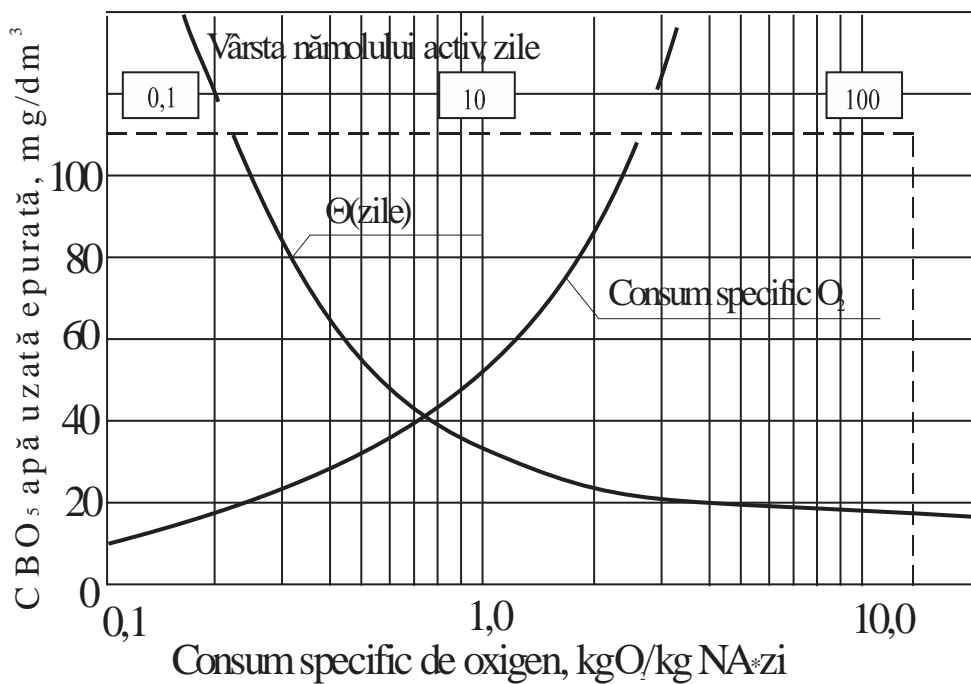
Dependența consumului specific de oxigen în  $kgO_2/kgCBO$  consumat de încărcarea organică a nămolului activ și de vârsta lui pentru apele uzate comunale la temperatura de  $20^{\circ}C$  a fost stabilită experimental și varia în limite mari, ceea ce este ilustrat de curbele din fig.2.10.

Aceeași dependență a consumului specific de oxigen în  $kg$  de  $O_2$  per  $kg$  de materie uscată de nămol activ din  $CBO_5$  a apelor uzate epurate și vârsta nămolului activ este prezentată în fig.2.11. Conform altor date, dependența consumului specific de oxigen, calculată pentru eliminarea  $CBO_5$ , de încărcarea organică este prezentată în fig.2.12.

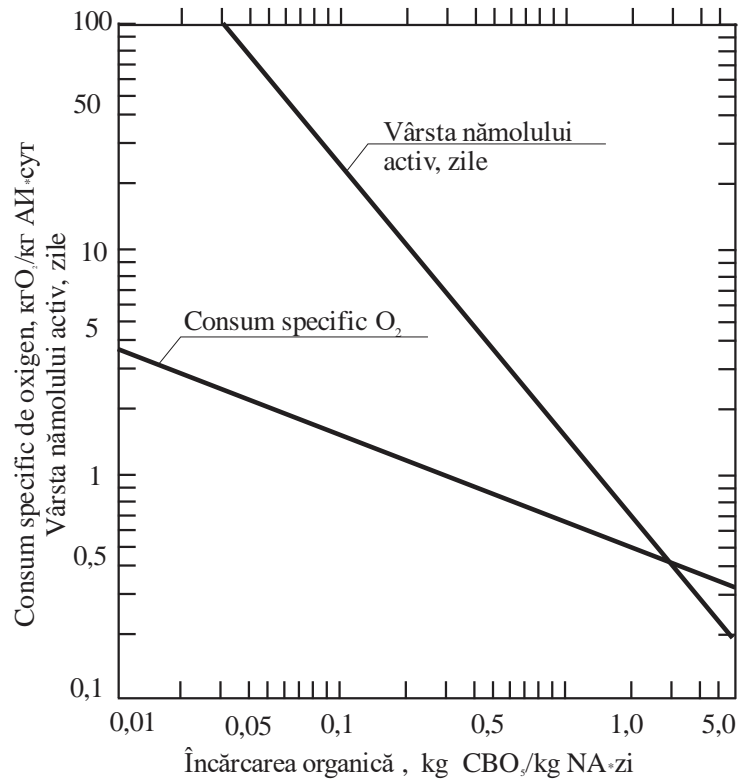
Un efect semnificativ asupra consumului specific de oxigen îl are temperatura amestecului de nămol, după cum arată curbele din fig.2.13. Astfel, atunci când temperatura crește cu  $10^{\circ}C$ , consumul specific de oxigen, cu o încărcare organică obișnuită de  $0,5 kgCBO_5/kg$  Nămol Activ\*zi, se mărește de 1,35 ori comparativ cu temperatura de  $20^{\circ}C$ , la sarcina de  $0,2 kg/kg*zi$  – mai mare de 2 ori. De asemenea, nu trebuie de neglijat faptul că solubilitatea oxigenului în apă scade odată cu creșterea temperaturii, ceea ce reduce eficiența sistemului de aerare pe timp de vară. Dacă sistemul de aerare nu este proiectat corect (fără a ține seama de influența temperaturii) și cu funcționarea necorespunzătoare (nitrificarea și stabilizarea nămolului activ), capacitatea stației de aerare poate fi insuficientă.



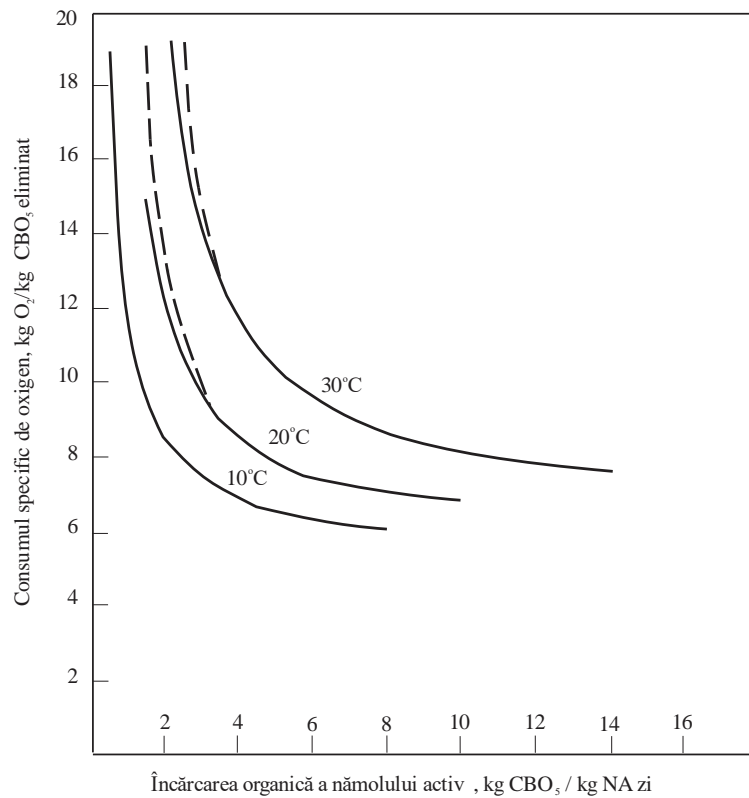
**Fig. 2.10. Consumul specific de oxigen în funcție de încărcarea nămolului activ și vârsta lui [68]**



**Fig. 2.11. Relația dintre consumul specific de oxigen, vârsta nămolului activ și CBO al apelor uzate epurate [78].**

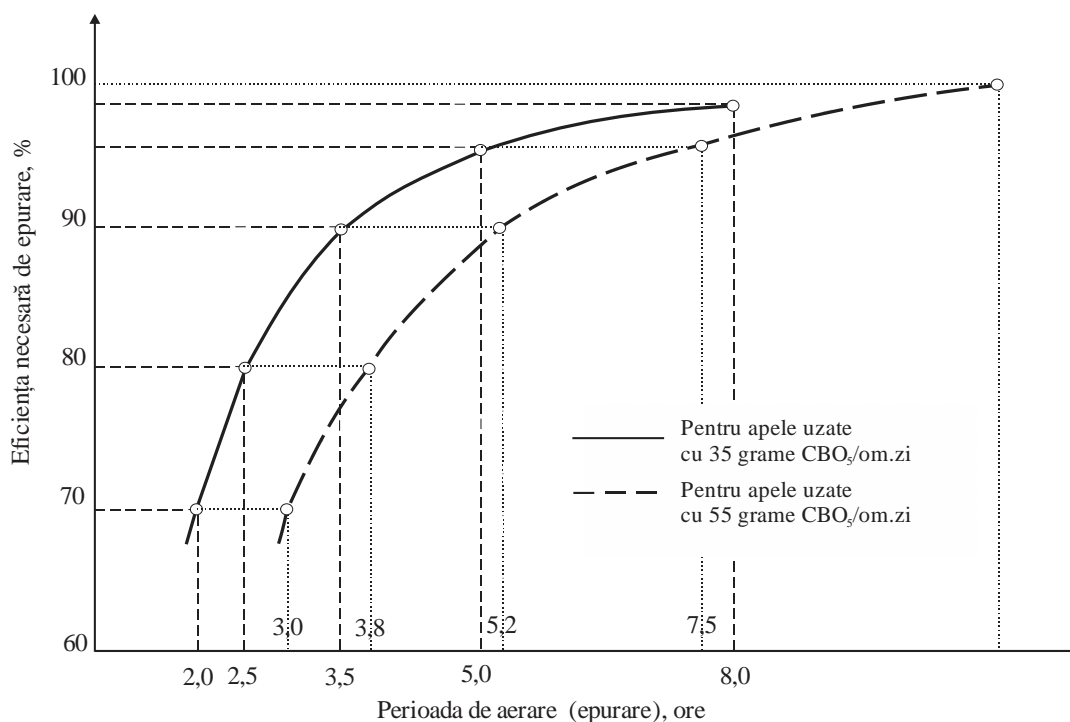


**Fig. 2.12. Consumul specific de oxigen și vârsta nămolului activ în funcție de încărcarea organică a nămolului activ [78].**



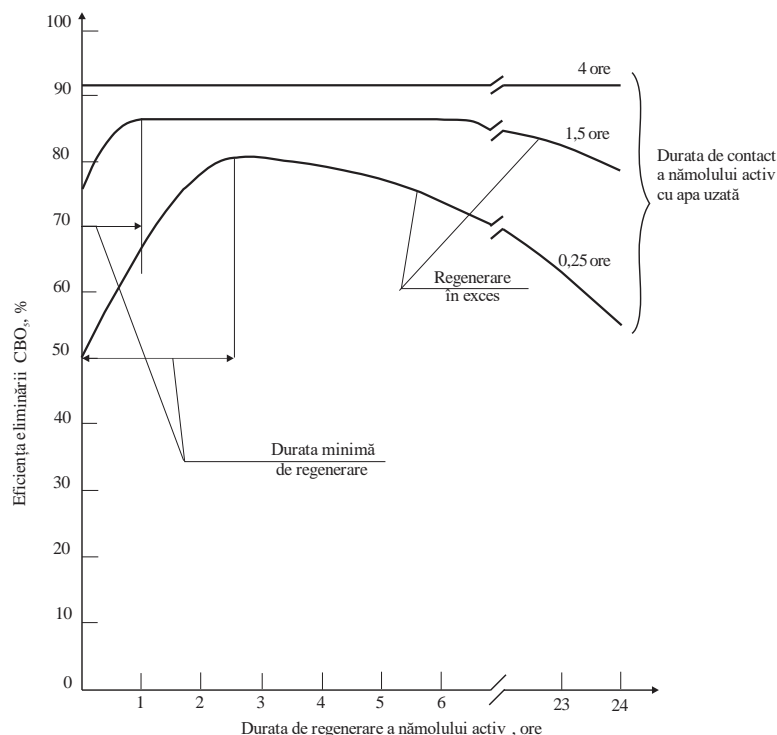
**Fig. 2.13. Consumul specific de oxigen pentru eliminarea CBO în funcție de încărcarea organică a nămolului activ la diferite temperaturi ale apei [78].**

8) **Timpul de aerare/oxidare/epurare și regenerare a nămolului activ.** Durata epurării apelor uzate cu ajutorul nămolului activ reprezintă timpul de contact/aerare al apelor uzate epurate cu nămolul activ în bazinul de aerare – (raportul volumului bazinului de aerare și debitul apelor uzate) și este funcție de gradul de poluare a apelor uzate – valoarea inițială a CBO, și gradul necesar de epurare al apelor uzate (fig.2.14). Există mai multe metode pentru determinarea timpului de aerare continuu a amestecului de nămol în bazinul de aerare, dar pentru sistemele cu regenerare a nămolului activ recirculat, această valoare este de 2 - 4 ore. Rezultatele studiului la SE Chișinău au arătat o durată de aerare cuprinsă între 4,5 până la 7,3 ore, dar cea mai întâlnită valoare este de 5 ore, ceea ce indică nerespectarea procesului tehnologic de funcționare a bazinelor de aerare.



**Fig. 2.14. Durata de aerare în funcție de gradul necesar de epurare [21].**

În ceea ce privește durata regenerării nămolului activ recirculat, intervalul recomandat este de la 3 la 6 ore. După cum este arătat în fig.2.15, durata minimă de regenerare depinde de durata aerării: cu cât mai puțin apele uzate sunt în contact cu nămolul activ în BANA, cu atât mai mult timp este necesar pentru regenerare și viceversa. Cu toate acestea, există o limită superioară a duratei regenerării: cu un timp de regenerare mai îndelungat, nămolul activ își pierde capacitatea de oxidare. La SE mun.Chișinău, după cum arată studiile, durata regenerării variază între 2,67 până la 4,49 ore, adică se află în intervalul normal.



**Fig. 2.15. Pierderea capacității de oxidare a nămolului activ recirculat în timpul regenerării prelungite [92]**

9) *Eficiența sau gradul de epurare biologică.* Condițiile de evacuare a apelor uzate epurate în emisar sau utilizarea lor ulterioară este dictată de eficiența epurării biologice, care, așa cum a fost arătată mai sus, depinde de mulți factori și parametri tehnologici. În întreaga lume, la momentul actual, valorile CBO și materiilor în suspensie în apele uzate epurate sunt de ordinul 15-25 mg/dm<sup>3</sup>. Reducerea lor suplimentară și eliminarea nutrienților – compușilor de azot și fosfor – se referă la o altă etapă de epurare așa numită – epurare avansată a apelor uzate. În funcție de gradul necesar de epurare, trebuie să se aleagă sau să se mențină în timpul operării diferiți parametri tehnologici, principalii sunt arătați în fig.2.5.

10) *Temperatura.* Temperatura amestecului de nămol în bazinele de aerare joacă un rol decisiv și afectează atât viteza procesului de epurare biologică, cât și eficiența utilizării oxigenului furnizat cu aer comprimat prin sistemul de aerare pentru asigurarea condițiilor aerobe în bazinele de aerare. Astfel, o creștere a temperaturii, mărește viteza de oxidare a poluanților organici și, pe de altă parte, datorită scăderii solubilității oxigenului în apă, se agravează eficiența utilizării lui (fig. 2.13).

Trebuie de remarcat faptul, că temperatura optimă pentru procesele de epurare biologică a apelor uzate este intervalul de 15-25<sup>0</sup>C. La temperaturi scăzute, activitatea microorganismelor scade drastic. La o temperatură sub 6<sup>0</sup>C, activitatea lor vitală practic se oprește. Cu toate acestea, temperaturile ridicate, de asemenea au un efect negativ asupra activității vitale a microflorei în bazinul de aerare, deoarece în același timp, compoziția biomasei se poate schimba complet,

deoarece microflora comună pentru bazine este adaptată la condițiile de temperatură psihrofile convenționale. Din păcate, schimbarea temperaturii apelor uzate este incontrollabilă.

**11) Încărcarea hidraulică a bazinului de aerare.** De fapt, încărcarea hidraulică determină durata de epurare, ține direct de încărcarea organică a CBO și depinde de gradul necesar de epurare.

Alți factori de mediu, care afectează eficiența epurării biologice, ca pH, prezența elementelor biogene/nutritive, substanțe toxice și altele sunt, de asemenea, dificil de controlat și dirijat.

### **2.1.1. Modelele matematice ale procesului biologic de epurare a apelor uzate**

Modelarea matematică este reprezentată printr-un sistem de ecuații și elementele necesare pentru a reflecta comportarea unui fenomen/proces în vederea identificării zonelor de optimizare și obținerea soluțiilor cazurilor concrete. *Obiectivul principal* al modelării proceselor de epurare este utilizarea cunoștințelor matematice în procesele dinamice fizico-chimice și biologice cu scopul de a estima și identifica cu o precizie cât mai bună evoluția fenomenelor/proceselor.

Modelarea matematică a proceselor constă în parcurgerea mai multor etape: [24, 31]

**Analiza procesului.** Aceasta este o etapă deosebit de importantă. Pentru fiecare caz concret trebuie definită clar problema. Se impune studierea în detaliu a problemei pentru identificarea corectă a fenomenului//procesului fizic-chimic-biologic, a parametrilor și corelațiilor existente între aceștia. Pentru aceasta este necesar să fie cunoscute principiile fundamentale ale procesului studiat, definindu-se teoria care guvernează procesul respectiv. În cazul în care aceasta nu este disponibilă se vor elabora mai multe variante de teorii și se va verifica validarea prin compararea rezultatelor obținute prin modelarea procesului cu cele experimentale.

**Stabilirea scopului modelului.** a) identificarea volumului de control, care să cuprindă totalitatea fenomenelor ce compun procesul studiat și permite încadrarea parametrilor de bază; b) stabilirea scării de timp pentru care se simulează procesul, în procesele de epurare, în special cele biologice, caracteristicile procesului variază diferit pe scara timpului: de exemplu, constanta vitezei de creștere a biomasei este de ordinul zilelor, iar timpul de retenție și constanta vitezei de oxigenare de ordinul orelor; c) stabilirea acurateței dorite a modelului, deoarece aceasta va determina precizia rezultatelor obținute, apropierea rezultatelor modelării mai mult sau mai puțin de realitate.

**Construcția modelului.** Ecuațiile matematice se scriu pentru diferite procese și se stabilesc corelațiile dintre parametrii cuprinși în diferite ecuații. Este deosebit de important ca sistemul de ecuații să fie închis, în sensul determinării complete a parametrilor. Una dintre cerințele de bază



ale modelării este aranjarea ecuațiilor ce reflectă fenomenul într-o ordine firească de conexiune dintre cauză și efect. Ecuațiile se verifică dacă cuprind toți parametrii identificați în etapele anterioare. De cele mai multe ori nu este posibilă integrarea sistemului complex și ca urmare apare necesitatea simplificării acestuia prin compararea ordinului de mărime a parametrilor și neglijarea celor care au o mică influență.

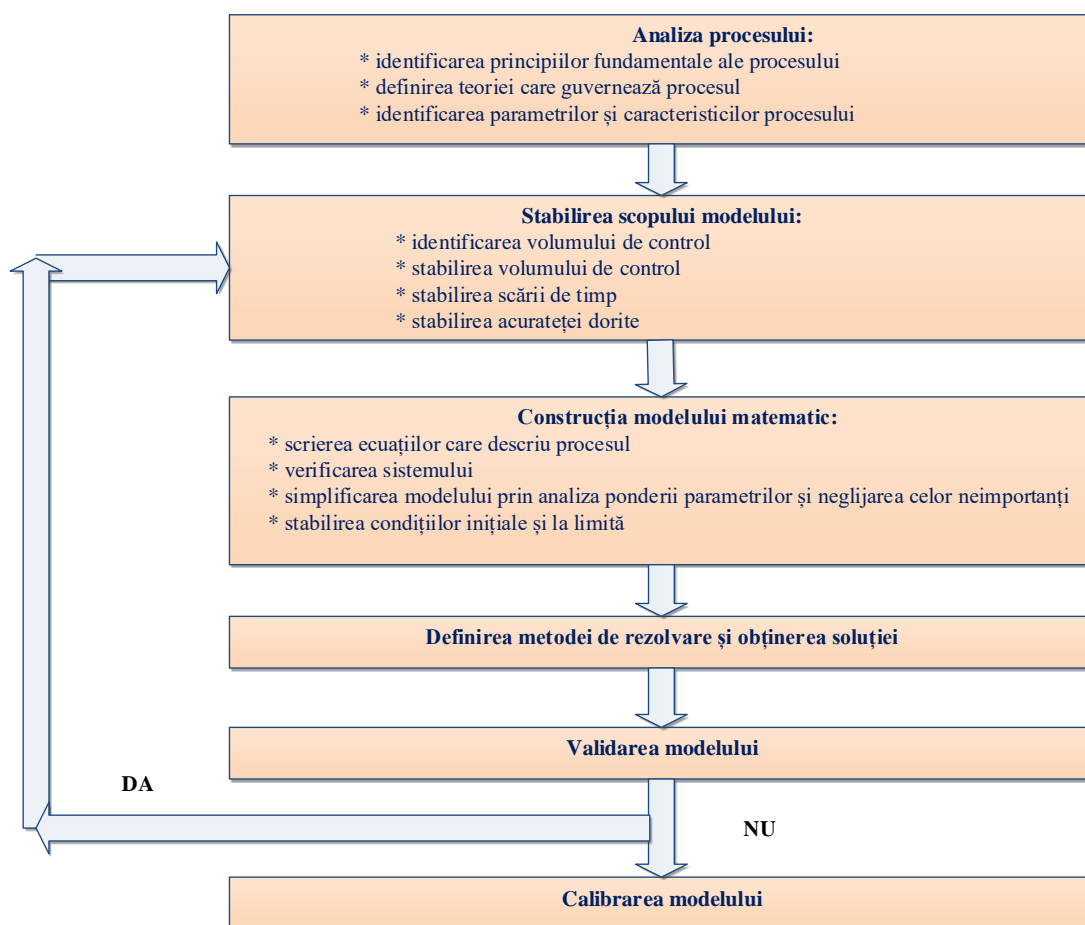
**Alegerea metodei de rezolvare și obținerea soluției.** Sunt patru criterii pentru alegerea metodei de analiză: a) simplitatea – nivelul de complexitate trebuie să fie cât mai redus astfel ca modelul elaborat să fie ușor de aplicat; b) metoda aplicată pentru reducerea și simplificarea modelului trebuie să fie judicios aleasă astfel încât să se asigure cea mai mare reducere posibilă; c) estimarea erorilor – metoda trebuie să dispună de o posibilitate de estimare a erorilor pentru a preciza gradul de reducere a modelului; d) invarianța modelului – elaborarea modelului și calibrarea acestuia trebuie să asigure menținerea semnificației fizice a variabilelor și parametrilor fizico-chimice-biologici.

**Validarea modelului.** Validarea modelului se face pe baza valorilor diferențelor dintre rezultatele calculate și cele reale. Pentru ca modelul să fie validat trebuie ca aceste diferențe să fie minime. Soderstron și Stoica (1989) au formulat trei principii pentru validarea unui model: abaterea mijlocie trebuie să fie nulă, să existe o distribuție simetrică, rezultatele să fie independente de toate datele de intrare.

**Calibrarea modelului.** calibrarea modelului matematic se bazează pe selecția valorilor pentru precizarea coeficienților cinetici sau stoichiometrici. De cele mai multe ori această calibrare se realizează pe baza experimentărilor făcute în condiții de laborator sau pe instalații pilot. În cazul modelelor biologice calibrarea acestora pe baza datelor experimentale obținute în laborator nu conduce la rezultate total corecte. Aceasta deoarece în primul rând pentru că nu se pot reproduce condițiile reale ale unei culturi mixte de bacterii, iar în al doilea pentru că obținerea unor rezultate cu un grad înalt de certitudine se face după trecerea unui interval mare de timp – săptămâni, luni etc. Nu în ultimul rând se menționează faptul că relațiile de similitudine care ar permite transpunerea datelor de pe model pe instalația reală sunt insuficient studiate. Schematic, elaborarea unui model poate fi reprezentat conform fig. 2.16.

O serie de cercetători au început în anii '60 și '70 să genereze modele matematice, care să explice funcționarea instalațiilor de epurare. S-a urmărit dezvoltarea cunoștințelor despre procesele de epurare, precum și proiectarea, controlul și managementul stațiilor de epurare. Interesul s-a axat în principal pe două domenii științifice complementare din stațiile de epurare:

- instrumente on-line de control/dirijare și automatizare;
- modelarea matematică a proceselor.



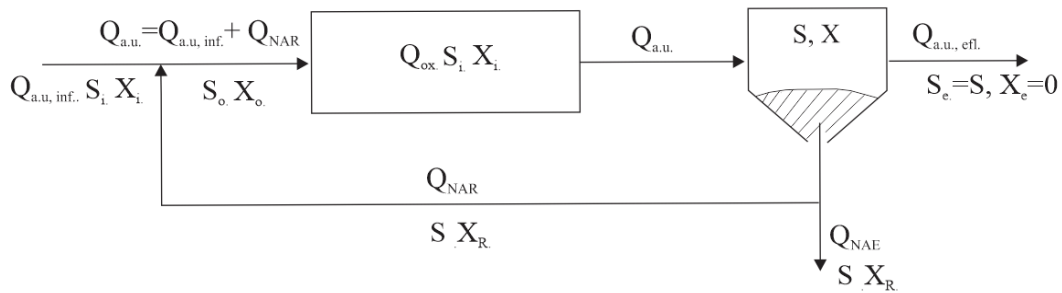
**Fig. 2.16. Metodologia de modelare a unui proces [31]**

Necesitatea utilizării modelării permite eficientizarea proceselor și obținerea unor consumuri minime de energie, costuri minime de operare, precum obținerea performanțelor maxime de calitate a apei.

### 2.1.2. Simularea procesului de epurare biologică

În fig. 2.17 este reprezentat procesul convențional cu nămol activ și parametrii ce caracterizează influentul, efluentul și nu în ultimul rând parametrii care se iau în considerare la procesele ce apar în bazinul de aerare.

*Principalele ipoteze de bază sunt:* amestecarea completă a celor trei faze apă – aer – nămol activ, procesul de degradare biologică se realizează integral în bazinul de aerare; regim permanent hidraulic și staționar chimic; reținere totală în decantorul secundar [24, 30, 43, 65, 69].



**Fig. 2.17. Schemă pentru modelarea procesului biologic de epurare într-o instalație clasică, convențională**

Din decantorul secundar este recirculat nămolul activ cu debitul  $Q_{NAR}$  și are o concentrație în biomasă  $X_R$  și de substrat  $S$ . În zona de admisie din bazinul de aerare vine în contact cu influentul caracterizat prin concentrațiile  $X_i$ ,  $S_i$  din care rezultă un amestec polifazic cu debitul  $Q_{au} = Q_{au,inf} + Q_{NAR}$ , o concentrație în biomasă  $X_o$  și de substrat  $S_o$ . Aceste concentrații rezultă din ecuațiile de bilanț masic:

- pentru biomasă  $Q_{au}X_o = Q_{au,inf}X_i + Q_{NAR}X_R$ ; dacă  $X_i = 0$ , apa uzată nu conține biomasă, va rezulta  $Q_{au}X_o = Q_{au,inf}X_i$ ;
- pentru substrat  $Q_{au}S_o = Q_{au,inf}S_i + Q_{NAR}S$ .

În regimul hidraulic debitul  $Q_{au}$  se va regăsi la ieșirea din bazinul de aerare fiind caracterizat prin concentrația în biomasă  $X > X_o$  și substrat  $S < S_o$ , aceste inegalități sunt valabile dacă procesul biologic este amorsat și corect operat.

Decantorul secundar permite separarea nămolului cu debitul  $\alpha Q_{au}$ , cu  $\alpha < 1$ , la concentrația  $X_R$  și a apei epurate, care se regăsește ca efluent la un debit  $(1-\alpha)Q_{au}$  cu concentrațiile  $X_e$  și respective  $S_e = S$ . În ipoteza în care în decantorul secundar nu apar procese biologice concentrația substratului în nămolul evacuat din decantor și în cel al efluentului va fi aceeași  $S_e = S$ . Dacă decantorul secundar a fost corect dimensionat și în situația în care instalația de epurare biologică este exploatată rațional atunci concentrația  $X_e$  este foarte mică, practic încărcarea se referă la microorganisme izolate care nu pot fi reținute prin sedimentare. Funcționarea corectă a decantorului secundar este o condiție esențială pentru operarea optimă a instalației de epurare biologice, pentru buna separare a nămolului activ este deosebit de importantă vârsta nămolului care afectează proprietățile de sedimentare.

Un anumit raport  $\beta = 0,25 \dots 0,40$ , din debitul de nămol reținut în decantor este recirculat. Așadar, debitul de nămol recirculat va fi  $Q_{NAR} = \beta \alpha Q_{au}$ , (cu  $\beta \alpha$  maximum de 0,5 pentru recirculare de 100%), iar debitul de nămol în exces care se îndepărtează din instalație la gospodăria de nămol

va fi  $Q_{NAE}=(1-\beta)\alpha Q_{au}$ . Concentrațiile din nămolul recirculat sunt cele din decantorul secundar  $X_R$ , S. [32]. În anexa 2.5 sunt prezentați parametrii procesului de epurare biologică cu nămol activ descriși conform fig. 2.17. Parametru de calitate în procesul biologic este concentrația substratului organic din efluent. Scopul este obținerea unui efluent având concentrația substratului conform standardului impus prin lege (sub 25 mg/l) [119, 125, 133].

Prin reglarea raportului  $\alpha$  și  $\beta$  și a debitului de aer  $Q_{aer}$  se pot obține la ieșirea din bazinul de aerare și apoi la ieșirea din decantorul secundar parametrii de calitate impuși, pentru concentrația de oxigen, încărcarea organică și nămol activ [32].

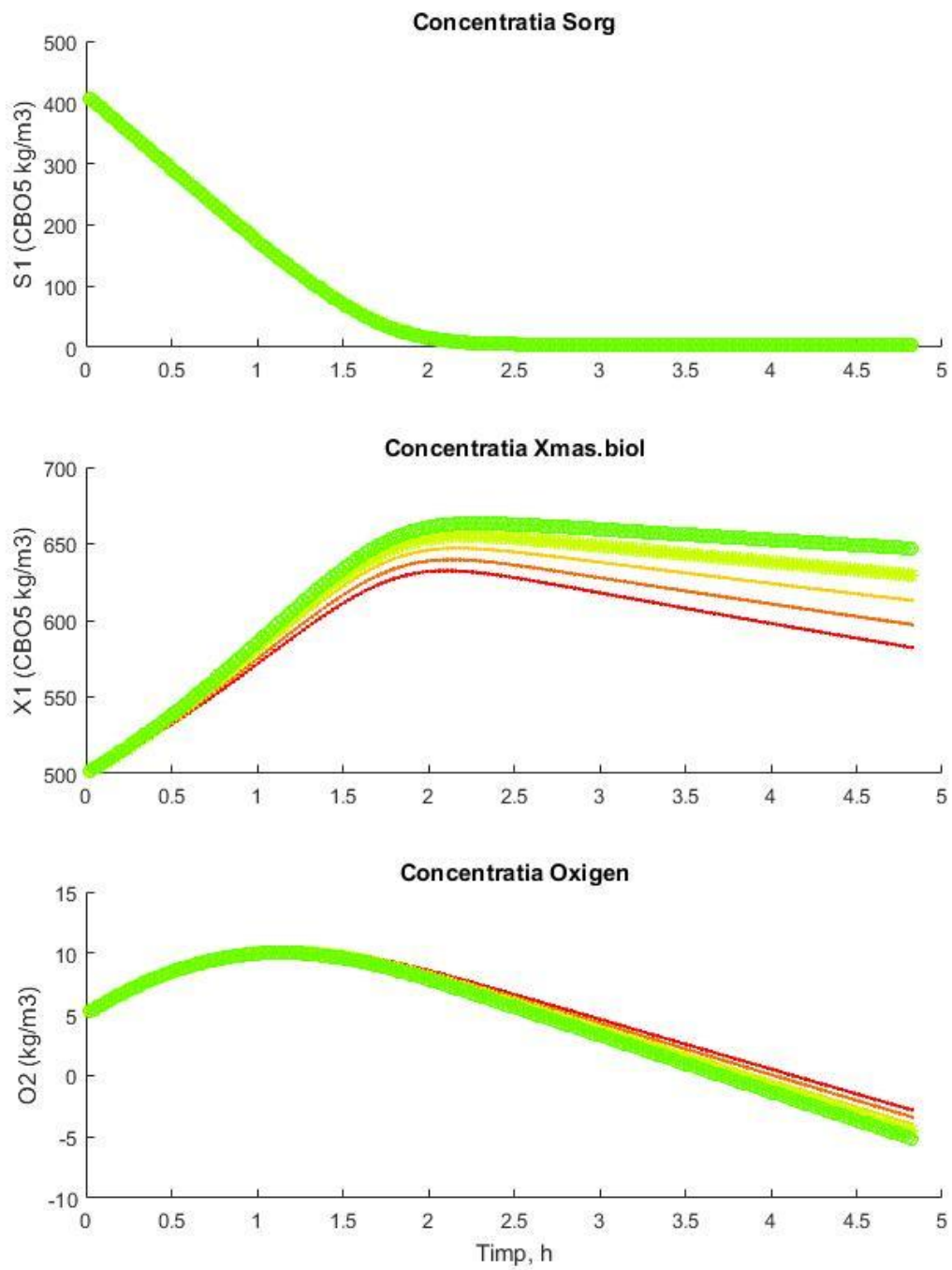
Pentru sinteza legilor de reglare numerică a acestor parametri este necesar deducerea modelului discret al instalațiilor procesului tehnologic din ecuațiile diferențiale. În literatura de specialitate există mai multe metode pentru obținerea modelului matematic al unui proces automatizat ținând cont de dinamica procesului. Având în vedere că dinamica procesului de epurare biologică este în general lentă, cu constante mari de timp se va adopta pentru discretizare metoda diferențelor finite prin care se aproximează derivata funcțiilor conform relației:

$$\frac{dY}{dt} = \frac{y(t+1) - y(t)}{h} \quad (2.5)$$

Dacă aplicăm procedeul ecuațiilor diferențiale obținem modelul discret al procesului de epurare biologică în următorul sistem de ecuații:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1(t) = S_1(t-h) + \frac{hQ}{V} [S - S_1(t-h)] - \frac{hm}{q} * \frac{S_1(t-h)*X_1(t-h)}{K_S+S_1(t-h)} \\ X_1(t) = X_1(t-h) + \frac{h(Q+Q_4)}{V} \left( \frac{Q_4}{Q_3} - 1 \right) * X_1(t-h) + \frac{hmS_1(t-h)*X_1(t-h)}{K_S+S_1(t-h)} \\ O_1(t) = O_1(t-h) + 48,0144h \frac{Q_{aer}}{V} - \frac{ha(Q+Q_4)}{V} [S_1(t-h) - S] - hbK_d X_R(t-h) \end{array} \right. \quad (2.6)$$

Verificarea corectitudinii modelului discret al procesului de epurare în raport cu modelul continuu s-a realizat la simularea numerică a relațiilor (2.6) cu ajutorul programului MatLab, care este prezentat în anexa 2.6. În rezultatul simulării s-a obținut diagrama din fig. 2.18, în care se constată, o bună concordanță a modelului, ce permite trecerea la etapa sintezei legii de reglare numerică a procesului de epurare și modul corect de variație a curbelor, în special a timpului de staționare în BANA, până la 2 ore.



**Fig. 2.18. Scăderea concentrației materiilor organice ca urmare a procesului biologic din bazinul de aerare.**

## 2.2. Modelarea matematică a instalațiilor de reducere a materiei organice (CBO) din apele uzate prin epurare biologică cu nămol activ

Biomasa (nămolul activ) este formată din sute de specii care se dezvoltă în bazinul de aerare, și a căror structură numerică și pe specii este necunoscută și variabilă în timp. O specie de microorganisme are rolul de a consuma un anumit tip de substanță/materie organică sau de a inhiba dezvoltarea altor specii de microorganisme, a căror dezvoltare excesivă ar putea pune în pericol echilibrul existent [62, 63, 69, 72, 94]. De asemenea, substratul organic are o compoziție complexă și care poate fi diferită în timp. Astfel, în aceste condiții, în vederea obținerii unui model care să descrie dinamica globală a procesului de epurare biologică a apelor uzate, se impune utilizarea ecuațiilor de bilanț.

**Ecuațiile de bilanț a biomasei** din bazinul de aerare este prezentat în fig.2.17 și poate fi scris după cum urmează:

Viteza de variație a biomasei în proces = Biomasa din influent - Biomasa din efluent + Creșterea de biomasă în proces

$$\frac{dX}{dt}V = Q_{a.u.,inf} \times X_0 - [Q_{a.u.,efl} \times X_e - Q_{NAE} \times X_R] + r_g \times V \quad (2.7)$$

în care:  $dX/dt$  – viteza variației a biomasei în bazinul de aerare,  $gSSV/m^3*d$ ;

$V$  – volumul bazinului de aerare,  $m^3$ ;

$Q_{a.u.,inf}$  – debitul de apa uzată influent,  $m^3/d$ ;

$X_0$  – concentrația biomasei în influent,  $gSSV/dm^3$ ;

$Q_{NAE}$  – debitul de nămol activ în exces,  $m^3/d$ ;

$X_e$  - concentrația biomasei în efluent,  $gSSV/dm^3$ ;

$X_R$  - concentrația biomasei în nămolul activ returnat din decantorul secundar,  $gSSV/dm^3$ ;

$r_g$  – viteza de creștere a producției de biomasă,  $gSSV/m^3*d$ .

Viteza de creștere a producției de biomasă este un parametru cheie al dezvoltării biomasei și este dependentă de mai mulți factori biologici și fizico-chimici, cum ar fi: concentrația de biomasă, concentrația de substrat, concentrația de oxigen dizolvat, temperatura, pH etc. [27, 28, 52].

**Ecuațiile de bilanț a substratului** din bazinul de aerare poate fi reprezentat astfel:

Viteza de variație a substratului în proces = Substratul din influent - Substratul din efluent + Substrat utilizat la dezvoltarea biomasei

$$\frac{dS}{dt}V = Q_{a.u.,inf} \times S_0 - Q_{a.u.,efl} \times S + r_g \times V \quad (2.8)$$

în care:  $S_0$  – concentrația substratului în influent,  $g/m^3$ .

În anexa 2.7 sunt rezumate ecuațiile cinetice importante utilizate pentru a determina creșterea biomasei și utilizarea substratului, și nu în ultimul rând pentru a defini performanța procesului de epurare biologică cu nămol activ. Derivarea detaliată a acestor relații poate fi găsită în următoarele surse [24, 30, 31, 32, 62, 63, 69].

### **2.3. Metode de pronosticare în scopul optimizării proceselor de epurare a apelor uzate**

Funcționarea eficientă a instalațiilor din treapta biologică cu utilizarea nămolului activ depinde de starea lui și este influențat de condițiile de mediu la care microorganismele sunt sensibile. Funcționarea corectă a acestor instalații este posibilă, numai dacă personalul de operare este capabil să observe modificările și încălcările care apar în sistem, și prin urmare, să ia o decizie adecvată pentru a preveni defectarea procesului de epurare [92].

Gestionarea procesului biologic (BANA-DS) constă în analiza datelor de funcționare curente și anterioare (istorice) și analiza studiilor de laborator pentru a selecta parametrii operaționali/tehnologici adecvați și pentru a obține o eficiență mai bună la un cost minim. Aceste date includ: încărcarea organică a nămolului activ, vârsta nămolului, concentrația/doza de nămol activ (inclusiv partea organică), oxigenul dizolvat, indicii de nămol, rata de respirație a microorganismelor, microscopia nămolului activ, calitatea acestuia. Toate aceste date sunt reduse la reglarea sistemului de aerare, gradul de recirculare a nămolului activ și debitul de nămol activ în exces eliminat din sistemul de epurare.

Modul în care este operat complexul de epurare biologică depinde nu numai de eficiența epurării, dar și de costurile de operare. Prin urmare, împreună cu indicatorii de epurare a apelor uzate, foarte importanți sunt consumul de energie și producția de nămol activ în exces, care necesită o prelucrare ulterioară costisitoare.

Mai jos vor fi analizate/considerate metodele de control a parametrilor/indicatorilor și măsurătorilor care asigură funcționarea corectă și optimă a sistemelor de epurare biologică cu utilizarea nămolului activ. Cu toate acestea, trebuie remarcat faptul că metodele enumerate mai jos și parametrii trebuie considerați acceptabili pentru evaluarea, controlul și gestionarea procesului de epurare biologică. Fiecare stație de epurare a apelor uzate este unică în felul său și gestionarea nămolului activ trebuie să se bazeze pe specificitatea sa pentru fiecare caz în parte și condiții specifice. Accentul va fi pus pe manipularea nămolului activ – principalul agent de epurare.

#### **2.3.1. Metode de gestionare a recirculării nămolului activ**

Prin funcționarea corectă a procesului de epurare biologică (BANA – DS) în sistem trebuie menținut un amestec de nămol bine sedimentat. Nămolul activ este sedimentat gravitațional în

decantorul secundar, după care o parte este recirculat înapoi în bazinul de aerare sub formă de nămol activ recirculat (NAR). Astfel, în BANA este menținută o anumită concentrație/doză de nămol activ, suficientă pentru îndepărtarea materiilor organice (CBO) din apele uzate în timpul alocat pentru aceasta. Întoarcerea nămolului activ din decantorul secundar în bazinul de aerare reprezintă o operație cheie în procesul de epurare, și prin urmare, un parametru/indicator tehnologic.

După cum a fost menționat deja, decantorul secundar îndeplinește două funcții principale:

- decantarea/sedimentarea apelor uzate epurate prin separarea fazelor lichide și solide, și
- compactarea/îngroșarea și îndepărtarea rapidă a nămolului activ depus în bazinul de aerare sub formă de (NAR –nămol activ recirculat), sau îndepărtarea din procesul de epurare a nămolului activ în exces (NAE) pentru tratarea ulterioară a lui.

Viteza cu care nămolul activ se întoarce din decantorul secundar în bazinul de aerare afectează direct echilibrul fazei solide dintre aceste două instalații. Faza solidă a amestecului de nămol (nămol activ) formează un strat sedimentat la partea inferioară a decantorului. Observarea (monitorizarea) și controlul acestui strat sedimentat este foarte important pentru procesul de epurare. Parametrul, care caracterizează procesul de recirculare a nămolului activ în bazinul de aerare se numește *gradul de recirculare R* și reprezintă procentul din fluxul de ape uzate ce intră în procesul de epurare.

Principalele metode de reglare a gradului de recirculare a nămolului activ *R*, sunt:

- menținerea constantă, independent de debitul de amestec de nămol ce intră în decantorul secundar, a gradului de recirculare;
- gradul de recirculare este proporțional cu amestecul de nămol ce intră;
- gradul de recirculare se menține variabil, asigurând doza optimă și vârsta nămolului activ.

Condițiile de funcționare a stațiilor de epurare sunt variabile/nestabile și sunt determinate de parametri de calcul (proiectare), de neuniformitatea fluxului de ape uzate și de caracteristicile de sedimentare a nămolului activ. Prin urmare, este foarte important ca personalul de operare să monitorizeze și să înțeleagă care sunt relațiile dintre posibilele metode/abordări de recirculare a nămolului activ și a dozei acestuia, extinderea stratului sedimentar și variația consumului zilnic de apă uzată primită. Menținerea unui grad constant de recirculare, indiferent de fluctuațiile debitului de amestec de nămol ce intră în decantoarele secundare ( $Q_{a.u.} + Q_{NAR}$ ), în cele din urmă, se exprimă prin modificarea dozei de nămol activ în BANA. Doza de nămol este minimă în timpul orelor maxime de intrare a apelor uzate și este maximă în timpul orelor minime. La un flux de debit minim nămolul activ este reținut în procesul de epurare bazin aerat – decantor secundar, dar la



creșterea fluxului de ape uzate nămolul activ trece în decantorul secundar, care în acest caz joacă rolul de stocare a nămolului activ și se exprimă printr-o permanentă schimbare a înălțimii stratului de nămol sedimentat. Creșterea stratului de nămol sedimentat la fluxul maxim de ape uzate duce la compactarea/îngroșarea nămolului activ și apoi fluxul recirculat conține mai multă masă uscată.

A doua metodă este de a menține o relație permanentă  $R:Q_{a.u.}$ . Aceasta se poate realiza fie automat, folosind echipamentele și aparatura adecvată, fie manual, cu reglarea frecvență a debitului nămolului activ recirculat (NAR). În același timp, doza de nămol activ și înălțimea stratului de nămol sedimentat menținute constante, indiferent de fluctuațiile debitului de ape uzate intrate, și prin urmare, se exprimă în realizarea unei sarcini constante asupra nămolului activ și a constantei vârstei acestuia.

Pentru gestionarea gradului de recirculare variabilă a nămolului activ, se utilizează diferite metode și tehnici. În principiu, gradul de recirculație trebuie să ajute la menținerea în echilibru a dozei de nămol activ pentru a atinge încărcarea necesară a nămolului activ, o anumită înălțime a stratului de nămol sedimentat în decantorul secundar sau optimizarea concentrației de substanță uscată în fluxul de recirculare sau îndepărtarea din decantorul secundar a nămolului activ. Încărcarea nămolului activ este reglată prin eliminarea nămolului activ în exces utilizând metodele de mai jos. Principalele sarcini ale nămolului activ recirculat sunt menținerea unui anumit strat de sediment și concentrației nămolului activ îngroșat. Cele mai frecvente metode utilizate pentru acesta includ:

- controlul direct al stratului sedimentat în decantoarele secundare;
- teste ale decantării/sedimentării;
- echilibrul masei de nămol activ în decantorul secundar;
- echilibrul masei de nămol activ în bazinul de aerare;
- calitatea nămolului activ.

### **2.3.2. Metode de gestionare/control al eliminării nămolului activ în exces**

Cea mai radicală procedură de gestionare a procesului de epurare a apelor uzate cu nămol activ este metoda de control/gestionare a concentrației de nămol activ din treapta biologică (bazin de aerare – decantor secundar) prin îndepărtarea nămolului activ în exces. Eliminarea nămolului activ în exces este reflectată, ca nici o altă metodă, în procesul de epurare biologică a apelor uzate. Nămolul activ în exces eliminat din proces afectează: calitatea apelor uzate epurate; creșterea microorganismelor și a morfologiei lor; consumul de oxigen; sedimentarea amestecului de nămol; posibilitatea de spumare; posibilitatea de nitrificare.

Îndepărtarea nămolului activ în exces menține o anumită relație între biomasă și încărcarea organică exprimată prin CBO sau CCO. Atunci când microorganismele elimină din apele uzate CBO, ele cresc și se înmulțesc, crescând concentrația de nămol activ. Rata la care crește biomasa microorganismelor se numește *rata de creștere* și se exprimă ca valoarea de creștere a nămolului activ în zi. Scopul eliminării nămolului activ în exces este de a elimina din sistem/proces anume această creștere pentru a menține o încărcare organică constantă asupra nămolului activ și vârstei lui. Această stare constantă este urmărită în operare. Cu toate acestea, această stare poate fi cvasi-stationară datorită fluctuațiilor atât în natură cât și al cantității de poluanți organici care intră, precum și compoziției microflorei nămolului activ. De asemenea, este posibil ca valorile de încărcare și vârsta stabilite anterior să fie modificate în legătură cu modificările condițiilor de operare. Îndepărtarea nămolului activ în exces este practică pentru gestionarea/controlul procesului de epurare atunci când se schimbă, de exemplu, parametrii sistemului preferabil este de a menține în condiții stabile.

De obicei, nămolul activ în exces (NAE) este îndepărtat din proces prin eliminarea a unei părți de nămol activ recirculat (NAR). Alternativ, îndepărtarea nămolului activ în exces poate fi efectuată direct din bazinul de aerare (ca amestec de nămol). În fluxul recirculat, concentrația de nămol activ este semnificativ mai mare decât în amestecul de nămol și, prin urmare, îndepărtarea NAE după decantorul secundar are avantajul că se folosește/utilizează procesul de sedimentare și îngroșare, care are loc în decantoarele secundare.

Optimizarea procesului de epurare cu nămol activ depinde de corectitudinea/exactitatea controlului a masei de microorganisme active în proces. În cele din urmă, eliminarea nămolului activ dirijează sau controlează masa de microorganisme. Se recomandă 4 metode pentru gestionarea eliminării nămolului activ în exces:

- prin menținerea vârstei constante a nămolului activ;
- prin menținerea unei încărcări constante a nămolului activ;
- prin menținerea concentrației/dozei constante de nămol activ în bazinul de aerare;
- prin menținerea calității nămolului activ.

În plus, nu este necesar ca valoarea calculată a nămolului activ în exces să fie aceeași când se aplică diferite metode de control. Cu toate acestea, dacă operatorul controlează în mod clar procesul cu una din metodele enumerate, în condiții normale procesul va fi menținut la aproximativ aceleași caracteristici/parametri ca și în cazul oricărei alte metode aplicate corect.

Diferența dintre metode este modul în care se realizează optim, modul în care reacționează la schimbarea condițiilor, cât de mult sunt disponibile pentru aplicarea de către operatori și modul în care sunt disponibile pentru a obține stabilitatea procesului.

Principalul pentru orice metodă de gestionare/control este cât de conștient este respectat și cum sunt furnizate datele de laborator (teste și analize ale probelor de amestec de nămol și nămol activ). De aici rezultă, rolul decisiv al laboratorului stației de epurare a apelor uzate în gestionarea cu succes a procesului de epurare.

Procesul de epurare cu nămol activ poate reacționa foarte repede la modificarea conținutului de oxigen dizolvat și, dimpotrivă, pentru stabilizarea procesului la cea mai mică schimbare a concentrației de nămol activ, încărcăturii organice și vârstei nămolului activ necesită o perioadă egală cu 2-3 ori vârstei nămolului. Prin urmare, operatorul are nevoie de o perioadă suficient de mare pentru a determina răspunsului sistemului la acțiunile sale.

Atunci când se determină cantitatea de nămol activ în exces (ce ar trebui să fie eliminată din proces) este necesar să se ia în considerare nămolul activ care este pierdut (scos) și cel care este îndepărtat din proces. Pentru măsurarea concentrației nămolului activ în amestecul de nămol și în fluxul de sedimentare în decantoarele secundare pot fi aplicate, de asemenea, metoda de centrifugare [62, 69].

Acest lucru este necesar pentru ca operatorul să poată rapid obține informații despre concentrația nămolului activ. Se preferă centrifugarea datorită vitezei testului, în comparație cu determinarea concentrației de nămol, ceea ce necesită mult timp; deși această metodă poate fi accelerată utilizând un cuptor cu microunde pentru uscarea filtrelor, deoarece timpul de uscare este redus la 10 minute, comparativ cu 2 ore într-un cuptor obișnuit. Dar pentru precizie se recomandă efectuarea simultană a ambelor măsurări.

Adesea se acceptă exprimarea greutateii microorganismelor prezente prin partea lor organică, care este considerată, condițională, prin conținutul de biomasă activă. Dacă raportul dintre partea organică a nămolului și masa uscată este mai mult sau mai puțin constantă, atunci biomasa "vie" este exprimată ca procent din masa uscată. În cazul în care masa uscată a nămolului activ este considerată ca parametru principal, atunci ocazional trebuie de determinat componența organică pentru a prinde în timp util posibilele schimbări semnificative ale raportului procentual. Dacă se observă astfel de modificări, atunci când se gestionează procesul de epurare, este mai bine să se ia conținutul organic uscat de nămol activ pentru a caracteriza concentrația acestuia. Valorile obișnuite ale raportului dintre partea organică și masa uscată a nămolului activ se află în intervalul 70-80%.

Parametrii, cum ar fi, consumul, valorile inițiale CBO și CCO, concentrația organică a nămolului activ, cât și în fluxul de nămol extras din decantorul secundar, încărcarea organică și debitul de nămol activ în exces sunt determinate în mediu timp de 7 zile, pentru a exclude valorile eronate determinate în diferite zile. Dacă procesul de epurare este controlat foarte precis, folosind nu parametrii medii, ci parametrii mășurați și calculați în zile individuale, există riscul de a menține un sistem dezechilibrat, ceea ce este exclus atunci când se utilizează date medii pentru o perioadă mai mare.

### 2.3.3. Determinarea costului unui proces biologic de epurare: BANA – DS

La proiectarea și exploatarea instalațiilor este necesar să se determine parametrii tehnologici, cum ar fi volumul de lucru necesar al bazinelor de aerare și decantoarelor secundare. Cunoscând volumele instalațiilor putem determina valoarea lor.

Mai jos este prezentat calculul procesului cu nămol activ, cu variații mari în încărcarea organică și vârsta nămolului activ. Anterior s-a observat că procesele ce au loc în bazinul de aerare și decantorul secundar sunt strâns legate din punct de vedere funcțional. Astfel, volumul necesar al bazinului de aerare depinde de concentrația de nămol, care la rândul său, este determinată de dimensiunile decantorului secundar. Prin alegerea parametrilor tehnologici ai procesului/sistemului bazin de aerare-decantor secundar, despre care s-a discutat mai sus, este posibilă îmbunătățirea semnificativă a eficienței procesului de epurare biologică.

#### 2.3.3.1. Schema de calcul a procesului bazin de aerare – decantor secundar

Notarea prin  $V_{BANA}$  și  $V_{DS}$ , respectiv, volumul bazinului de aerare și decantorului secundar la debitul de ape uzate  $Q_{a.u}$  timpul de staționare/aflare a apelor uzate în BANA și DS va fi:

$$t_{BANA} = \frac{V_{BANA}}{Q_{a.u.}} \quad \text{și} \quad t_{DS} = \frac{V_{DS}}{Q_{a.u.}} \quad (2.9)$$

Astfel, pentru a minimiza volumul total al procesului, este suficient să se minimizeze durata totală a procesului de epurare.

$$t_{total} = \frac{V_{BANA} + V_{DS}}{Q_{a.u.}} = t_{BANA} + t_{DS} \quad (2.10)$$

O reprezentare schematică a unui proces cu nămol activ, incluzând un bazin de aerare și un decantor secundar cu principalii parametri tehnologici și fluxurilor este reprezentată în fig.2.21.

Este cunoscut faptul, că durata de aerare depinde intrarea  $L_0$  și de ieșirea  $L_e$  concentrația de CBO, de concentrația nămolului activ,  $C_{NA}$ , tipul bazinului de aerare, precum și de tipul ecuației,

în care se prezintă dinamica procesului de oxidare a impurităților (CBO) de flocoane de nămol activ:

$$\frac{dL}{dt} = -\rho(C_{BANA}, L, \alpha) \quad (2.11)$$

unde:  $\rho(C_{BANA}, L, \alpha)$  – viteza de oxidare CBO ca funcție a concentrației de nămol activ,  $C_{BANA}$ , concentrației de CBO  $L$ , și  $\alpha$  caracterizând proprietățile nămolului activ.

Dacă forma dependenței  $\rho(C_{BANA}, L, \alpha)$  este cunoscută, atunci pentru bazinul de aerare cu îngroșător:

$$t_{BANA,ingroșător} = \int_{L_0}^{L_e} \frac{dL}{\rho(C_{BANA}, L, \alpha)} \quad (2.12)$$

În conformitate cu fig.2.21.

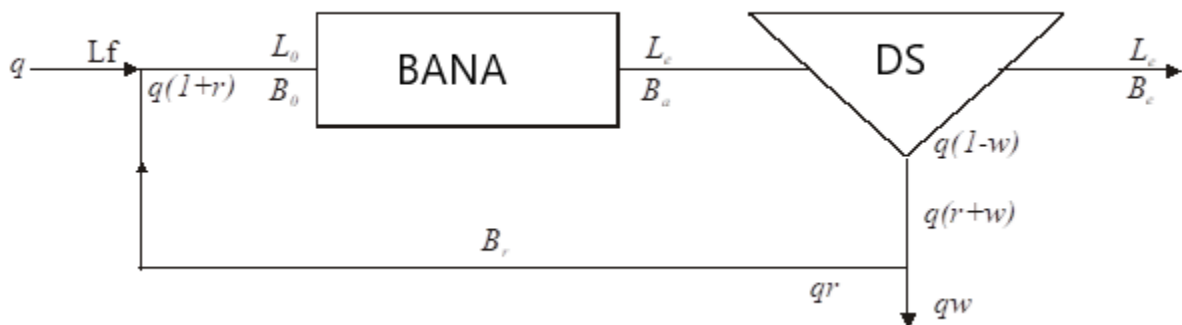
$$L_{CM} = \frac{L_0}{1+R} + \frac{R}{1+R} L_e \quad (2.13)$$

$L_{CM}$  – concentrații de CBO în amestec.

În acest caz,  $R$  – gradul de recirculare a nămolului activ circulat.

În general putem scrie:

$$t_{aerare} \text{ sau } t_{BANA} = t_{BANA}(L_0, L_e, C_{BANA}, \alpha) \quad (2.14)$$



**Fig. 2.21. Reprezentare schematică a procesului cu nămol activ.**

$B_0, B_a$  – concentrația de nămol activ la intrare și ieșire din BANA,

$B_e$  – concentrația de materii în suspensie la ieșire din proces,

$B_r$  – concentrația de nămol în fluxul de recirculare,

$L_f, L_0, L_e$  – încărcarea organică respectiv la intrarea în proces, intrarea în BANA și ieșirea din BANA

$r$  – coeficient de recirculare

$w$  – coeficient de nămol în exces

$q$  – debitul de ape uzate

După cum s-a demonstrat deja, gradul de îngroșare/compactare a nămolului activ în decantorul secundar este determinat de viteza de sedimentare, adică:

$$C_{DS} = f(V_{sed}, I_{IVN}) \quad (2.15)$$

unde:  $C_{DS}$  - concentrația de nămol activ recirculat;

$V_{sed}$  – viteza de sedimentare;

$I_{IVN}$  – Indicele de nămol;

La rândul său, viteza de sedimentare poate fi exprimată prin formula:

$$V_{sed} = \frac{Q_{a.u.}(R + \omega)}{A_{DS}} \quad (2.16)$$

unde:  $R$  – gradul de recirculație;

$\omega$  – coeficientul fluxului de nămol activ în exces;

$A_{DS}$  – aria suprafeței apei în decantorul secundar.

Și din formula (2.15) și (2.16) reiese:

$$A_{DS} = f(C_{DS}, R, \omega, Q_{a.u.}, I_{IVN}) \quad (2.17)$$

Evident, că:

$$t_{sed} = \frac{HA_{DS}}{Q_{a.u.}} \quad (2.18)$$

unde:  $H$  – înălțimea utilă în decantorul secundar.

Astfel, durata totală a procesului de epurare:

$$t_{tot} = t_{tot}(L_O, L_e, Q_{a.u.}, C_{BANA}, C_{a.u.}, R, \omega, \alpha, I_{IVN}) \quad (2.19)$$

Sunt parametri ficși,  $L_O$ ,  $L_e$ , și  $Q_{a.u.}$ . Rămân patru parametrii ca:  $C_{BANA}$ ,  $C_{a.u.}$ ,  $R$  și  $\omega$ , care pot varia pentru a determina valoarea minimă  $t_{tot}$ . Cu toate acestea, doar două variabile sunt independente. Într-adevăr pentru bazinul de aerare și întregul proces în sine sunt valabile următoarele relații de echilibru:

$$\begin{aligned} Q_{a.u.}(1 + R) \times (C_{int} - C_{ies}) \\ = Q_{a.u.} \times Y \times (L_{CM} - L_a) \times (1 + R) - b \times V_{BANA} \times C_{BANA} \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$Q_{a.u.}(1 + R) \times (L_{CM} - L_e) = Q_{a.u.} \times \omega \times C_{DS} + Q_{a.u.}(1 - \omega)\alpha_t + b \times V_{BANA} \times C_{BANA} \quad (2.21)$$

unde:  $C_{int}$  și  $C_{ies}$  – concentrația de nămol activ la intrare și ieșire din Bazinul de aerare:

$Y$  – coeficientul de creștere a nămolului activ;

$b$  – constanta de oxidare a nămolului activ.

După cum:

$$C_{inf} = \frac{RC_{DS}}{1 + R} \quad (2.22)$$

$$C_{DS} = \frac{C_{ies}(1 + R + b \times t_{tot}) - Y(L_{CM} - L_e)}{R} \quad (2.23)$$

$$\omega = \frac{Y(L_{CM} - L_e) - b \times C_{ies} \times t_{BANA} - a_t}{C_{DS} - a_t} \quad (2.24)$$

$a_t$  - concentrația de NA la ieșirea din DS cu apa limpezită (egală cu CBO efluent).

În condiții normale de funcționare a procesului de epurare, concentrația de materii în suspensie în apa uzată epurată (îndepărtarea nămolului activ din decantoarele secundare) este mică – 10 ... 20 mg/l, iar valoarea lui  $a_t$  poate fi considerat un parametru constant. De asemenea, trebuie de subliniat că valorile  $\alpha$  și  $I_{IVN}$  nu sunt strict constante. Unele caracteristici de oxidare și sedimentare a nămolului activ, așa cum a fost arătat deja, depind de modul de funcționare a procesului de epurare, de exemplu, de încărcarea nămolului și de vârsta acestuia.

Atunci când se caută durata minimă a procesului de epurare  $t_{tot}^{min}$  ca variabilă independentă este convenabil să se utilizeze concentrația (doza de nămol activ în BANA)  $C_{ies}$  și gradul de recirculare  $R$ . Înlocuind valorile  $C_{ies}$  în (2.14), determinăm durata aerării,  $t_a$ . Apoi conform formulelor (2.23), (2.24) determinăm valoarea  $C_{DS}$  și  $\omega$ , ce permite conform formulelor (2.10), (2.17) și (2.19) calcularea valorilor  $t_{sed}$  și  $t_{tot}$ .

Deoarece volumul unitar al bazinului de aerare și decantorului secundar este diferit, este mai bine de a minimiza NU durata totală a procesului de epurare, dar costul total al procesului de epurare,  $t_{tot} \times S$ . Costul bazinului de aerare este proporțional cu volumul lui, iar costul decantorului secundar este proporțional cu suprafața secțiunii transversale (oglinnda apei). De aici

$$t_{tot} \times S = S_{BANA} \times V_{BANA} + S_{DS} \times V_{DS} \quad (2.25)$$

În calculele de mai jos, ca criteriu de optimizare, a fost utilizată atât durata totală a procesului de epurare,  $t_{tot}$ , cât și costul total  $t_{tot} \times S$ .

### 2.3.3.2. Alegerea modelului pentru calculul bazinului de aerare

Pentru calculul bazinului de aerare, este necesar să se stabilească relația dintre valoarea CBO în apele uzate epurate  $L_e$ , și apele uzate la intrare în proces,  $L_o$ :

$$L_e = f(L_o, C_{BANA}, t_a, \alpha_1 \dots \alpha_k) \quad (2.26)$$

unde:  $\alpha_1 \dots \alpha_k$  – coeficienții unui anumit model matematic.

Modelul general adoptat pentru calculul bazinului de aerare [85] are aspectul:

$$\sigma = \frac{L_0 - L_e}{t_a \times C_{BANA}} = \rho \left( L_e, \frac{L_e}{L_0} \right) = \frac{\rho_{max} L_e \left( \frac{L_e}{L_0} \right)^{n-1}}{K_L + L_e \left( \frac{L_e}{L_0} \right)^{n-1}} \quad (2.27)$$

unde:  $\rho_{max}$  – viteza specifică de epurare;

$K_L$  – constanta de semisaturație;

$n \geq 1$  – exponentul vitezei reacției.

Un caz special al modelului cu  $n=2$  este în acord cu datele experimentale și apoi:

$$\sigma = \frac{L_0 - L_e}{t_a \times C_{BANA}} = \frac{\rho_{max} \cdot \left( \frac{L_e^2}{L_0} \right)}{K_L + \left( \frac{L_e^2}{L_0} \right)} \quad (2.28)$$

### 2.3.3.3. Alegerea unui model pentru calculul decantorului secundar

Pentru a descrie funcționarea decantorului secundar, actual, deseori este utilizată teoria fluxului limitativ. Se bazează pe afirmațiile, că fluxul masei de nămol care trece prin secțiunea transversală (oglinza apei) a decantorului secundar nu poate depăși o anumită valoare  $G_{lim}$ . Pentru a determina mărimea acestui flux, într-un experiment periodic, se efectuează o serie de măsurători ale ratei de coborâre a suspensiei  $V_{oc}$  la diferite concentrații inițiale de nămol activ  $C_{int}$  și astfel se obține o dependență de  $V_{oc}$  ( $C_{int}$ ).

În procesul de separare continuă și compactare (ca urmare a sedimentării gravitaționale) a nămolului activ în decantorul secundar, debitul total al amestecului de nămol pe unitatea de suprafață a oglinzii apei decantorului, este format.

$$G_u = C \times u \quad (2.29)$$

și fluxului gravitațional

$$G_v = C \times V_{OC}(C_a) \quad (2.30)$$

Astfel,

$$G_{plin} = C(u + V_{OC}(C)) \quad (2.31)$$

Dependența  $V_{OC}(C)$  este monotonă în scădere/descreștere, astfel  $G_{plin}(C)$  la un anumit punct  $C_{lim}$  trebuie să aibă minimum. Condiția extremei va fi:

$$G_{tot}(C_{lim}) = u + V_{OC}(C_{lim})C_{lim} + V_{OC}(C_{lim}) = 0 \quad (2.32)$$

În același timp, condițiile de echilibru material pot fi scrise:

$$A_{DS}G_{lim}(C_{lim}) = Q_{a.u.}(R + \omega)C_{DS} \quad (2.33)$$

Sau



$$C_{lim} (u + V_{OC}(C_{lim})) = u \times C_{DS} \quad (2.34)$$

Dacă dependența  $V_{OC}(C)$  este cunoscută, atunci din (2.32), (2.34) este ușor de stabilit relația dintre  $C_{DS}$  și  $u$ .

Datele experimentale privind cinetica depunerii sunt bine descrise de o dependență exponențială în [99].

$$V_{OC}(C) = C^{-a} = U_0 \left( \frac{C_0}{C_t} \right)^{-a} \quad (2.35)$$

Proprietățile de sedimentare ale nămolului activ, cum a fost demonstrat deja, sunt determinate în principal de vârsta și încărcarea organică a nămolului. După cum se știe, vârsta nămolului este timpul mediu de retenție a particulelor de nămol în proces. Prin definiție:

$$\theta = \frac{V_a \times C_a}{Y Q_{a.u.} (L_0 - L_e)} = \frac{t_a \times C_a}{Y (L_0 - L_e)} \quad (2.36)$$

În consecință, sarcina nămolului activ

$$N_i = \frac{Q_{a.u.} \times L_0}{V_a \times C_a} = \frac{L_0}{t_a \times C_a} \approx \frac{Y}{\theta} \quad (2.37)$$

Se poate observa că în intervalul de variație a vârstei nămolului  $\theta$  la 300g, viteza de depunere  $V_{OC}$  crește liniar de la 0,5 la 6 m/g, iar Indicele de nămol  $I_{VN}$  scade de la 600 la 50 cm<sup>3</sup>/g, adică cu creșterea vârstei caracteristicile de sedimentare ale nămolului se îmbunătățesc. În unele lucrări [87] se arată, că dependența  $I_{VN}$  este un minim. În același timp, proprietățile de sedimentare ale nămolului se deteriorează atât la nivel scăzut, cât și la cel mai înalt nivel.

## 2.4. Concluzii la Capitolul 2.

1. În general, stația de epurare biologică a SEB a mun. Chișinău asigură gradul de epurare prevăzut de proiect, cu unele abateri asociate cu schimbările ce țin de încărcarea instalațiilor, fluctuațiile de concentrații, dar mai recent cu debitul neregulat de ape uzate intrate spre epurare.

2. Pe baza analizei parametrilor tehnologici ai complexului de epurare biologică a SEB a mun. Chișinău se pot formula următoarele:

- Doza de nămol activ în bazinele de aerare variază într-o gamă largă și de multe ori depășește limitele recomandate, ceea ce indică pierderea nămolului activ din sistem. Aceasta se explică prin "umflarea" nămolului activ, deoarece valorile indicelui de nămol sunt mai mari de 200 cm<sup>3</sup>/g, și lipsa unui sistem de urmărire/monitorizare a dozei operaționale ajustat prin schimbarea în timp a gradului de recirculare a nămolului activ. În acest scop, este necesară modificarea procedurilor efectuate de operatori în exploatarea instalațiilor cu implicarea monitorizării de laborator.

- Indicele de nămol trebuie determinat mai frecvent, rapid în concordanță cu curba de precipitare, care caracterizează mai multe proprietăți de sedimentare ale nămolului activ.
- Încărcarea organică a nămolului activ fluctuează foarte tare și diferă ca mărime în perioade diferite, ceea ce duce la perturbarea procesului de epurare biologică. Deoarece acesta este unul dintre principalii parametri tehnologici prin care se face clasificarea bazinelor de aerare, controlul asupra sarcinii/încărcării organice asupra nămolului activ trebuie ajustat, menținându-l în anumite limite pentru bazine cu încărcare medie – 0,3 ... 0,5 kg CBO/kg nămol activ în zi.
- Unul dintre cei mai importanți parametri ai nămolului activ este vârsta sau durata de aflare a acestuia în procesul de epurare biologic, care direct afectează eficiența de epurare, cât și proprietățile și starea nămolului activ. Vârsta optimă a nămolului activ în bazine încărcate moderat este de la 4 la 10 zile. La SEB a mun. Chișinău vârsta nămolului variază între 4 și 19 zile, ceea ce se resimte prin creșterea indicelui de nămol, ce creează probleme în funcționarea instalațiilor de epurare a apelor uzate. Vârsta nămolului de asemenea afectează eficiența și intensitatea energetică a epurării biologice, deoarece aceasta are ca rezultat mineralizarea parțială a nămolului activ (respirație endogenă), cu o pierdere suplimentară și semnificativă de energie la sistemul de aerare.
- Absența contoarelor de debit, în special în ceea ce privește eliminarea nămolului activ în exces, nu permite stabilirea producției de biomasă și, în plus, gestionarea funcționării complexului de epurare biologic al apelor uzate prin controlul eliminării nămolului activ în exces.
- În general, pentru a menține parametri tehnologici optimi ai complexului de epurare biologic, respectând gradul de epurare al apelor uzate, trebuie creat un sistem informatic în stația de epurare, susținut de instrumentele necesare, stabilirea unui control clar al laboratorului și procesului tehnologic, crearea unei baze de date și un sistem flexibil de control al funcționării instalațiilor din procesul de epurare biologică, în special în condiții de intrare a apelor uzate neregulate și cu gradul diferit de poluare.

3. Numărul de parametri, de reacții care intervin, varietatea speciilor de bacterii este foarte mare și complică foarte mult problema. Din acest motiv o descriere precisă a acestor sisteme complexe este aproape imposibilă. Ca urmare se apelează la modelarea unor procese simple.

4. Modelarea proceselor de epurare este acela de ajunge la adoptarea unui model al procesului biologic, care să surprindă cât mai bine dinamica acestuia.

5. Monitorizarea parametrilor proceselor de epurare pot fi reprezentate printr-un sistem de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție care are în vedere evaluarea sistematică a dinamicii caracteristicilor calitative ale poluanților din apa uzată.

6. Implementarea modelelor matematice aduce noi informații valoroase pentru operarea și gestionarea proceselor de epurare. De asemenea modelele matematice se pot implementa în diferite softuri și pe viitor ar aduce beneficii economice operatorului în conducerea automată a proceselor de epurare.

### **3. CONTROLUL AUTOMATIZAT ȘI OPTIMIZAREA PROCESELOR DE EPURARE A APELOR UZATE**

#### **3.1 Strategii de reglare automată și monitorizare a stațiilor de epurare**

Procesele de epurare a apelor uzate reprezintă complexitatea fenomenelor care se desfășoară în cadrul instalațiilor de epurare, numărul mare de parametri constructivi și funcționali, care intervin și influențează pe diferite căi între parametri, rezultă, în mod evident, necesitatea reglării și conducerii automate a proceselor. Necesitatea automatizării acestor procese provine de la incapacitatea lor de a-și menține starea de echilibru dinamică în prezența perturbațiilor, care pot avea un caracter temporar, ciclic sau periodic și deseori fiind aleatorii. Acțiunea directă sau indirectă a perturbațiilor asupra proceselor de epurare justifică implementarea sistemelor de comandă automata, care tind să mențină procesele în echilibru, ceea ce e foarte complicat sau aproape imposibil pentru operatorul uman.

Sistemele de conducere automată existente în instalațiile din stațiile de epurare a apelor uzate conțin mai multe bucle de reglare monovariabile și regulatoare cu buclă deschisă, ce permit menținerea variabilelor în limite rezonabile. Succesul acestor structuri este motivat de faptul că operatorul poate interveni manual pe oricare din buclele de reglare, în situații de urgență. În plus, în mediul industrial, sistemele de conducere automată sunt organizate pe nivele ierarhice. Astfel, regulatoarele din buclele de reglare situate pe nivelele ierarhice inferioare primesc cererile sau valorile de referință de la regulatorul master. În afara buclelor menționate mai sus, în cadrul proceselor de epurare există multe alte subsisteme esențiale pentru funcționarea instalației, ce trebuie reglate. Proiectarea unei structuri de reglare automate implică parcurgerea mai multor pași [48, 60, 73]:

- \_ Modelarea sistemului ce trebuie reglat și, eventual, simplificarea modelului matematic;
- \_ Analiza modelului obținut și determinarea proprietăților acestuia;
- \_ Propunerea unei strategii de reglare automată;
- \_ Proiectarea unui regulator astfel încât să fie îndeplinite specificațiile impuse, dacă este posibil, în caz contrar se modifică specificațiile sau tipul regulatorului propus;
- \_ Simularea sistemului cu regulatorul proiectat, pe un calculator sau pe un sistem pilot;
- \_ Reluarea pasului 1, în caz de eșec;
- \_ Alegerea sistemului hardware și software necesar implementării regulatorului;
- \_ Acordarea regulatorului și testarea în timp real a strategiei de conducere propusă.

În acest compartiment vom analiza strategiile de comandă și monitorizare a procesului de epurare a apelor uzate. Deși automatizările sunt demult prezente în cele mai diverse domenii, necesitatea de a realiza automatizarea cât mai eficient impune un studiul al specificului

proceselor supuse automatizării, iar cazul procesului de epurare a apelor uzate nu este o excepție. În capitolul precedent s-a demonstrat complexitatea procesului de epurare biologică și necesitatea de a-l monitoriza atât la nivel integral, cât și fiecare parametru aparte. Din aceste considerente vom face analiza strategiilor de comandă în mod similar.

Din punct de vedere a teoriei de comandă automată, un proces de epurare biologică a apelor uzate se poate prezenta ca o "cutie neagră" cu următoarele seturi de intrări și ieșiri (fig. 3.1) [30, 48]: *Variabilele de intrare* – debitul de apă uzată, nivelul de poluare a influentului, energia electrică pentru menținerea procesului; *Variabilele de ieșire* – eficiența epurării, concentrațiile de CBO, CCO, N, P; cantitatea de nămol activ în exces; *Perturbațiile* – factori care acționează asupra variabilelor de intrare (variația debitului de apă uzată, nivelului de poluare, temperatura, prezența compușilor toxici, etc.) forțează abaterea proceselor de la starea de echilibru; *Variabilele de acționare* sunt acele cu care se poate menține procesele în echilibru în pofida

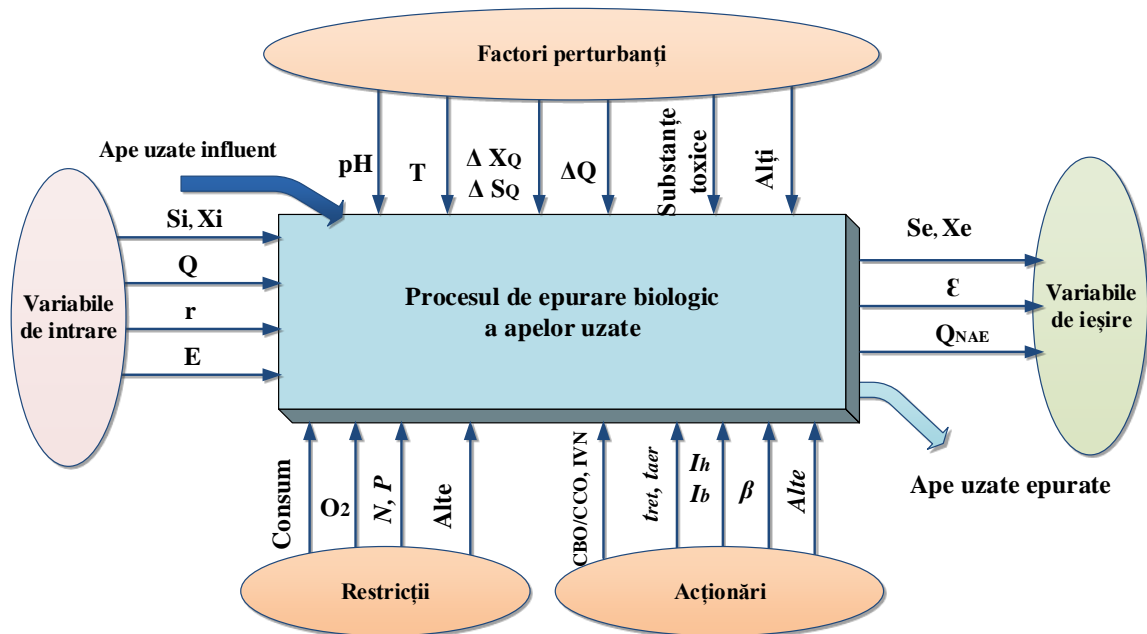
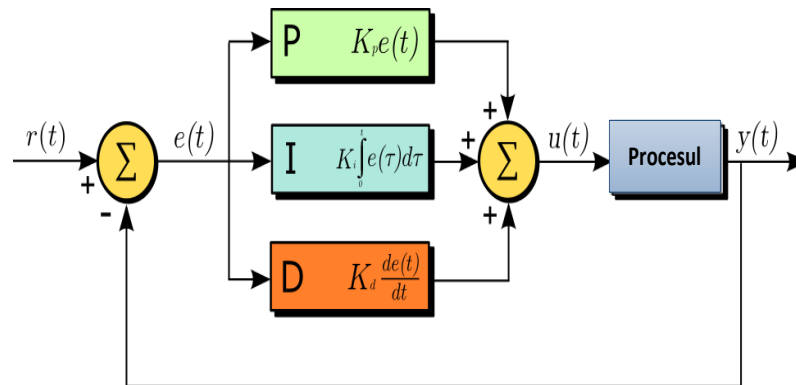


Fig. 3.1 . Schema controlului stației de epurare biologică a apelor uzate.

perturbațiilor. În majoritatea cazurilor, variabila de acționare este cantitatea de nămol recirculat, viteza de circulație a mediilor polifazate, timpul de retenție, timpul de aerare, concentrația de substanțe organice și altele; *Restricțiile* prezintă în cazul epurării biologice concentrația limită de oxigen din bazinul de aerare, concentrațiile de azot și fosfor, precum și consumul de alte reactive.

În aplicațiile actuale de control și automatizare a menținerii proceselor în echilibru este des realizată în baza reguletoarelor cu acțiune proporțională – integrală - diferențială (PID) clasice (fig.3.2), în primul rând, pentru că prezintă o soluție eficientă și ușor de implementat.

Fiind inițial conceput pentru sistemele liniare, invariante în timp, controlerul/algorithmul PID a evoluat, permițând inginerilor să controleze și sisteme cu o dinamică complexă. Algoritmii PID sunt realizați în formă discretă pe microcontrolere și pot ține sub control procese destul de rapide cu timp de reacție mai mici de sutimi de secundă. Pe altă parte, în realitate, toate sistemele dispun de componente neliniare, care prezintă reale provocări în utilizarea controlului clasic PID. În



**Fig. 3.2 Structura regulatorul PID clasic.**

primul rând, modelul de reglare trebuie să corespundă întocmai procesului și trebuie să fie periodic ajustat în cazul variației în timp al sistemului. Această procedură de ajustare a PID este sofisticată și necesită o abordare adecvată [30, 48, 60].

Reglatoarele industriale clasice, proiectate pentru conducerea automată a proceselor utilizează valori fixe ale parametrilor acestora pentru a asigura performanțe optime în jurul unui punct nominal de operare. Reglatoarele industriale cel mai des utilizate sunt clasicele PID. Cei mai mulți algoritmi de conducere se bazează pe structuri de reglare automată implementate, considerând modele liniarizate ale procesului cu obținerea de rezultate acceptabile numai în cazul în care procesul funcționează în jurul unui punct de echilibru.

Pentru proiectarea sistemului de reglare automată se impune definirea obiectivelor și cerințelor de performanță necesare în alegerea celei mai bune strategii, iar pe lângă aceste obiective se mai includ și cerințe specific referitoare la siguranța de funcționare, calitatea reglării, operabilitatea procesului, conformitatea cu alte standarde. Fiind inițial conceput pentru sistemele liniare, invariante în timp, controlerul/algorithmul PID a evoluat, permițând inginerilor să controleze și sisteme cu o dinamică complexă.

Aplicarea legițăților liniare de reglare se reflectă în ecuația de bază a regulatorului PID:

$$u(t) = K(y_r(t) - y(t)) + \frac{K}{T_i} \int_{-\infty}^t (y_r(\tau) - y(\tau))d\tau + KT_d \frac{d(y_r(t) - y(t))}{dt} \quad (3.1)$$

unde:

- $y(t)$  – variabila de proces, care se măsoară ( $PV(t)$  - *process variable*);

- $y_r(t)$  – variabila de referință a procesului, care se stabilește (setpoint);
- $e(t) = (y_r(t) - y(t))$  - abaterea (eroarea) de reglare;
- $K$  - coeficientul de amplificare;  $T_i$  - constanta de timp integrală;  $T_d$  - constanta de timp diferențială.

De regulă, această ecuație se transformă pentru a fi mai ușor adaptată pentru aplicații:

$$u(t) = K(b y_r(t) - y(t)) + \frac{K}{p T_i} (y_r(t) - y(t)) - \frac{p K T_d}{1 + p T_d / N} y(t) \quad (3.2)$$

Regulatele automate pot fi realizate în formă de dispozitiv mecanic, electro-mecanic, electro-hidraulic, bloc electronic. În dependență de forma parametrului de ieșire  $u(t)$  a regulatorului: analogică sau discretă, regulatele se divizează în regulate analogice și discrete. Regulatele analogice se caracterizează printr-o reacție înaltă, însă au un mare neajuns – e foarte greu de reconfigurat și de utilizat în mai multe aplicații. Regulatele discrete dimpotrivă – au reacție mai puțin rapidă decât cele analogice, însă sunt foarte flexibile și pot fi utilizate în diverse aplicații. Apariția microprocesoarelor a favorizat elaborarea regulatelelor discrete.

Pentru realizarea regulatelelor discrete e necesar de elaborat algoritmul și programul de calcul pentru regulatorul PID în baza discretizării (cuantizării) timpului din ecuația lui. Pentru aceasta se stabilește un interval mic de cuantizare  $T_c$  pentru a transforma ecuația PID în formă discretă fără a introduce erori mari de aproximare. Integrarea continuă din ecuația PID poate fi substituită prin integrarea discretă după metoda dreptunghiului sau trapezului. Spre exemplu, utilizând metoda dreptunghiului, ecuația regulatorului PID se transformă în forma discretă următoare:

$$u[n] = K_P \cdot \left[ x[n] + \frac{T_I}{T_s} \sum_{i=0}^{n-1} x[i] + \frac{T_D}{T_s} (x[n] - x[n-1]) \right] \quad (3.3)$$

În baza acestei ecuații discrete se poate elabora așa numitul algoritm pozițional (nerecursiv), care necesită de următoarele date inițiale:

- a)  $x(n), x(n-1), \dots, x(1), x(0)$  – setul de abateri de la referință pe toată perioada de integrare;
- b)  $K_p$  – coeficientul de proporționalitate (numit de amplificare);
- c)  $T_I$  – perioada de integrare;
- d)  $T_D$  – coeficientul derivatei variabilei de proces;
- e)  $T_c$  – perioada de discretizare a procesului de reglare.

Ideea acestui algoritm constă în salvarea de fiecare dată a setului de abateri pe  $n$  perioade de discretizare și calculul de fiecare dată a valorii semnalului de reglare  $u[n]$ . Algoritmul pozițional necesită mult spațiu de memorie și mult timp de calcul a semnalului de reglare  $u[n]$ .

Neajunsul principal al reguletoarelor PID cu bucle monovariabile, prezentate mai sus, constă în faptul că interacțiunile dintre mărimile de proces sunt ignorate. O anumită variabilă de proces reglată poate influența comportarea celorlalte mărimi. Influențele dintre mărimile de proces din buclele monovariabile sunt de obicei minimizezate prin strategii de decuplare. În procesele, în care există interacțiuni puternice între variabilele de stare, așa numitele tehnici multivariabile îmbunătățesc performanțele dinamice ale întregului sistem. În aceste tipuri de instalații din domeniul dat, înlocuirea structurilor de reglare monovariabile cu tehnici de reglare multivariabil permite îmbunătățirea funcționării procesului.

Pe altă parte, trecerea la structurile de reglare multivariabile poate genera, însă, diferite probleme. Astfel, o strategie de reglare multivariabilă necesită o conducere centralizată, apariția unei defecțiuni ar produce căderea întregului sistem. Un alt dezavantaj al structurii centralizate este determinat de complexitatea implementării fizice, necesitatea unor etape de testare și întreruperea temporară a funcționării fiind inevitabile. De asemenea, existența unei noi structuri de reglare necesită intervenția operatorilor.

Există două abordări ale structurilor de reglare multivariabile, deși în procesele reale, este dificilă găsirea soluției exacte de decuplare [45]:

1. Structură cu bucle de reglare multiple reprezintă extensia directă a reglării unei singure mărimi la mai multe mărimi reglate, asociate procesului.

2. Structura de reglare coordonată constă în reglarea bazată pe folosirea unui singur algoritm de reglare utilizează toate măsurătorile pentru a calcula toate comenzile.

Restructurarea și modernizarea unor sisteme de epurare a apelor uzate este posibilă prin promovarea unor tehnologii de reglare automată moderne care să asigure satisfacerea anumitor performanțe impuse prin proiectare. În ultimele decenii au fost dezvoltate diferite metode de proiectare a tehnicilor avansate de conducere, printre care un rol deosebit îl au reguletoarele fuzzy dedicate atât pentru procese liniare sau neliniare, cât și pentru procesele cu o dinamică dificilă, inclusiv reguletoarele predictive, unele dintre acestea fiind prezentate în următorul compartiment.

### **3.2. Tehnici avansate de reglare automată în conducerea proceselor de epurare.**

Astfel, reguletoarele industriale clasice, proiectate pentru conducerea automată a proceselor utilizează valori fixe ale parametrilor acestora pentru a asigura performanțe optime în



jurul unui punct nominal de operare. Reglatoarele industriale cel mai des utilizate sunt reglatoarele convenționale PID. Mai mult, cei mai mulți algoritmi de conducere se bazează pe structuri de reglare automată implementate considerând modele liniarizate ale procesului cu obținerea de rezultate acceptabile numai în cazul în care procesul funcționează în jurul unui punct de echilibru.

### 3.2.1. Reglarea predictivă

În ultimele decenii au fost dezvoltate diferite metode de proiectare a tehnicilor avansate de conducere, printre care un rol deosebit îl au reglatoarele predictive, unele dintre acestea fiind prezentate în acest capitol și sunt dedicate atât pentru procese liniare sau neliniare cât și pentru procesele cu o dinamică dificilă. Una dintre direcțiile tehnicilor avansate de conducere se referă la conducerea cu predicție bazată pe model. Tehnicile și algoritmi de conducere predictivă permit rezolvarea unor probleme de reglare a proceselor complexe în situații specifice mediului industrial. Algoritmii de conducere predictivă se regăsesc într-o largă gamă de aplicații din industrie și alte domenii. Progresul realizat în ultimele decenii, cât și succesul cu care a fost implementat în conducerea proceselor reale confirmă capacitatea acestor tehnici de a conduce sisteme reale din multe domenii de activitate. Este bine cunoscut faptul că, algoritmi de conducere predictivă sunt proiectați în domeniul clasic de discretizare cu utilizarea unei perioade mari de eșantionare datorită complexității de calcul al acestor strategii de reglare. Neajunsurile acestor tehnici de conducere sunt puse în evidență mai ales, atunci când procesele ce trebuie conduse sunt foarte rapide și implică frecvențe mari de eșantionare [45, 75, 80]. Elaborarea metodei de conducere predictivă în domeniul discret  $\delta$  este dedicată în mod special reglării sistemelor considerate monovariabile cu dinamică rapidă și de fază neminimă cu aplicabilitate într-un domeniu dat, însă metoda poate fi extinsă și pentru sistemele multivariabile.

În continuare sunt discutate aspecte legate de performanțele algoritmului propus în comparație cu algoritmi de conducere predictivă existenți în literatura de specialitate. Analiza vizează și aspecte legate de alegerea perioadei de eșantionare și a parametrilor de acordare specifici algoritmilor predictivi în contextul unei anumite reprezentări interne pentru un model intrare – stare – ieșire reprezentativ. Alte metode de reglare/conducere avansată sunt analizate în acest capitol, simulările realizate vizând în mod special subsistemele cu dinamică dificilă din cadrul proceselor de epurare. Astfel, în cazul în care procesul prezintă un caracter puternic neliniar, utilizarea unui model matematic liniar nu mai oferă informații complete despre dinamica procesului, mai ales pentru procese pentru care referința variază într-o gamă largă de valori sau în cazul apariției perturbațiilor. Folosirea modelelor neliniare nu modifică conceptul

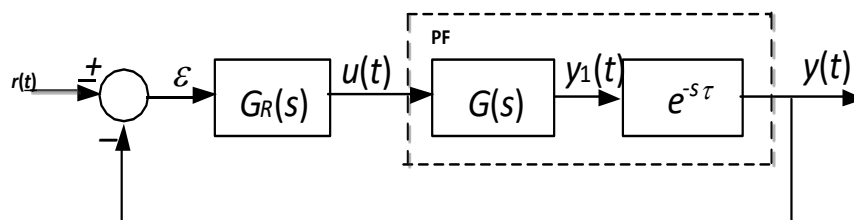
de bază al reglării cu predicție, ci doar complică problema de optimizare pe orizont finit. Pentru rezolvarea diferitelor probleme ce apar în conducerea predictivă neliniară, alegerea unui model potrivit, care descrie neliniaritățile procesului trebuie să se facă astfel, încât să ușureze găsirea soluției optime de reglare automată. De asemenea, pentru procesele multivariabile este studiat algoritmul de conducere predictivă pentru procesele multivariabile, aplicație ce își găsește aplicabilitate practică și în instalațiile de epurare.

### 3.2.1.1. Reglarea cu predicție bazată pe model

Una dintre direcțiile tehnicilor avansate de conducere automată se referă la conducerea cu predicție bazată pe model ce a cunoscut o dezvoltare extrem de puternică și rapidă, datorită interesului pe care l-au arătat atât specialiștii din industrie, cât și comunitatea academică internațională [45, 50].

Particularitățile sistemelor cu timp mort determinate de întârzierea introdusă în transmiterea semnalului de reacție și implicit în elaborarea comenzii au determinat elaborarea unor metode de compensare a efectului timpului mort asupra performanțelor sistemelor. Presupunând că pentru partea fixată funcția de transfer poate fi rescrisă cu formula 3.4 și schema sistemului de reglare automată are următoarea structură (fig.3.3).

$$G_F(s) = G(s) e^{-\tau s} \quad (3.4)$$

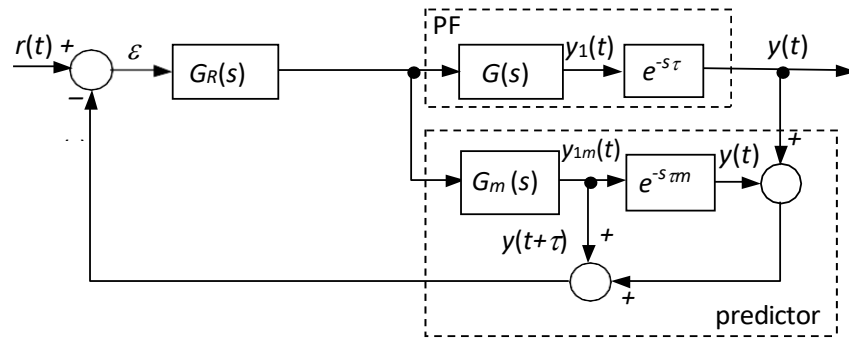


**Fig. 3.3. Structura de reglare pentru procese cu timp mort**

Separarea în cadrul procesului a timpului mort și accesibilitatea variabilei  $y_1$  permite scoaterea în afara buclei de reglare a acestuia și îmbunătățirea performanțelor sistemului. Rezolvarea acestui deziderat este dificilă dat fiind că este greu a descompune procesul în cele două părți și a folosi variabila intermediară  $y_1$  ca mărime de reacție. Pentru a reduce efectul timpului mort se construiește un model al procesului în cadrul căruia se evidențiază atât timpul mort  $\tau_m$  cât și  $G_m(s)$ , - partea care nu conține timp mort. Comparăția între ieșirea modelului și sistemului considerat conduce la apariția unui semnal a cărui eroare depinde nu numai de valoarea curentă a ieșirii procesului presupus fără timp mort ci și de gradul de precizie al modelului.

Dat fiind că  $y_{1m}$ , mărimea intermediară din model se poate măsura și folosi ca semnal de

reacție, se poate crea o schemă de reglare cu compensarea timpului mort cunoscută sub denumirea de schemă de reglare cu predictor Smith (fig.3.4):



**Fig. 3.4 Structură generală de reglare cu predictor Smith**

Funcția de transfer a predictorului în acest caz este puțin modificată:

$$G_{pr}(s) = G_m(s)(1 - e^{-\tau m s}), \quad (3.5)$$

Prin urmare, legea de reglare este proiectată în domeniul continuu și bazată pe un model reprezentat în domeniul continuu de timp. Pentru a construi predictorii, trebuie să se țină cont de volumul de informații disponibil. Două cazuri pot fi evidențiate:

- setul complet de mărimi de intrare-ieșire:

$$I_{c,t} = \{y(t), y(t - T_S), \dots, u(t - T_S), u(t - 2T_S), \dots\}; \quad (3.6)$$

- setul incomplet de mărimi de intrare-ieșire:

$$I_{i,t} = \{y(t - T_S), y(t - 2T_S), \dots, u(t - T_S), u(t - 2T_S), \dots\}. \quad (3.7)$$

Între aceste două ecuații este diferență, care constă în cunoașterea a ultimei valori a mărimii de ieșire  $y(t)$ . În practică este posibil cazul când ultima măsură a mărimii de ieșire din proces nu poate fi folosită, dacă timpul de reacție al regulatorului digital trebuie să fie mic. Calculul ieșirilor predictate se bazează pe crearea unui model matematic reprezentat în domeniul  $\delta$  discret, deoarece modelele matematice în acest domeniu de reprezentare prezintă avantaje numerice și conceptuale în contextul unei perioade mici de eșantionare.

Un model de stare intrare/ieșire în domeniul discret  $\delta$  cu vectorul stărilor cunoscut, pentru cazul cel mai simplu fără perturbații sau zgomot se poate prezenta prin următoarele ecuații:

$$\delta \mathbf{x}_k = \mathbf{A}_\delta \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_\delta \mathbf{u}_k, \quad (3.8)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_\delta \mathbf{x}_k,$$

unde:  $\mathbf{x}_k \in \mathbb{R}^n$ ,  $\mathbf{u}_k \in \mathbb{R}^m$ ,  $\mathbf{y}_k \in \mathbb{R}^p$  prezintă vectorul stărilor, vectorul comenzilor și vectorul ieșirilor sistemului. Estimările stărilor bazate pe cunoașterea setului incomplet de informații (3.5) pot fi calculate astfel:

$$\delta^j \mathbf{x}_k = \mathbf{A}_\delta^j \mathbf{x}_k + \sum_{i=0}^{j-1} \mathbf{A}_\delta^{j-i-1} \mathbf{B}_\delta \delta^i \mathbf{u}_k. \quad (3.9)$$

Teoretic, pentru calculul predicțiilor de ordin  $j$  se pornește de la modelul procesului (3.6).

Predictorii estimați în domeniul  $\delta$  pentru  $j = 0 \dots N_y$ , presupunând restricția  $\delta^j u_k = 0$ , pentru  $j \geq N_y$ , se determină din ecuația:

$$\delta^j y_k = C_\delta \delta^j x_k = C_\delta \mathbf{A}_\delta^j x_k + \sum_{i=0}^{\min\{j, N_y\}-1} C_\delta \mathbf{A}_\delta^{j-i-1} \mathbf{B}_\delta \delta^i u_k. \quad (3.10)$$

Din punct de vedere practic, calculele cu predicție se simplifică, fiind efectuate la fiecare timp de eșantionare, care poate fi, de asemenea, stabilit în caz concret de control; aceste calcule se bazează pe măsurătorile și predicțiile actuale ale valorilor viitoare de ieșire. Două tipuri de calcul sunt primordiale într-un regulator cu predicție: calculele de referință și calculele de control, ultima include constrângeri de proces și alți parametri care pot fi specificați manual. Sarcina principală a unui regulator cu predicție este de a determina o secvență de acționări de control în variabila manipulată, astfel încât sistemul poate fi urmărit la punctul de referință într-un mod optim.

Calculele de control se bazează pe minimizarea abaterilor prevăzute de traiectoria de referință. Atunci când se utilizează cu predicție, o problemă de optimizare este rezolvată la fiecare pas  $k$  printr-o funcție obiectivă bazată pe predicții de ieșire pe un orizont de predicție a pașilor de timp; această funcție obiectivă (de obicei, una pătratică) este minimizată de o selecție de variabile manipulate care se deplasează peste un orizont de control al acționărilor de control. Este important de subliniat faptul că, deși la fiecare pas de timp se calculează un grup de  $M$  mutări, numai primul este implementat. După acest pas, măsurarea la momentul următor instantaneu  $y_{k+1}$  este obținută, urmată de o corecție datorată modelului eroare, iar apoi o nouă problemă de optimizare este rezolvată din nou. Aceste proceduri sunt efectuate fiecare pentru fiecare pas de timp  $k$ .

Este important de menționat că avem modele cu răspuns finit de stări utilizate în ecuațiile de modelare a reglării cu predicție și sunt obținute prin introducerea a unui pas în proces care funcționează în starea de echilibru. Vom notifica coeficienții modelului ( $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$ ) - valorile de ieșire la fiecare pas de timp. Ieșirea prognozată pentru un timp instant  $k$  se calculează din următoarea ecuație:

$$\widehat{y}_k = \sum_{i=1}^{N-1} S_i \Delta u_{k-i} + S_N u_{k-N} \quad (3.11)$$

Modelul de ieșire prognozat este egal cu ieșirea măsurată efectivă la un moment dat  $k$ , iar această discrepanță este determinată de diferența dintre ele:

$$d_k = y_k - \widehat{y}_k \quad (3.12)$$

Prin urmare, predicția corectată va fi:

$$\widehat{y}_k^c = \widehat{y}_k + d_k \quad (3.13)$$

Prin combinarea ecuațiilor (3.11 - 3.13), predicția corectată pentru pasul  $j$  în viitor poate fi demonstrată ca:

$$\widehat{y}_{k+j}^c = \sum_{i=1}^j S_i \Delta u_{k-i+j} + \sum_{i=1}^{N-1} S_i \Delta u_{k-i+j} + S_N u_{k-N+j} + d_{k+j} \quad (3.14)$$

Ecuția (3.14) poate fi prezentată ca o îmbinare a efectului viitoarelor acționări de control (primul termen în dreapta) și acționările de control trecute (al doilea și al treilea termen), precum și un termen de corecție  $d_{k+j}$ . În plus, diferența dintre traiectoria punctului de referință și predicțiile viitoare în pasul  $j$  pentru  $j \leq P$ , este obținută din următoarea ecuație:

$$r_{k+j} - \widehat{y}_{k+j}^c = r_{k+j} - \left[ \sum_{i=1}^{N-1} S_i \Delta u_{k-i+j} + S_N u_{k-N+j} + d_{k+j} \right] - \sum_{i=1}^j S_i \Delta u_{k-i+j} \quad (3.15)$$

Ecuția (3.15) este esențială pentru problema optimizării și poate fi folosită într-o funcție obiectivă pentru un orizont de predicție  $P$  și un orizont de control al acționărilor, fig. 3.5:

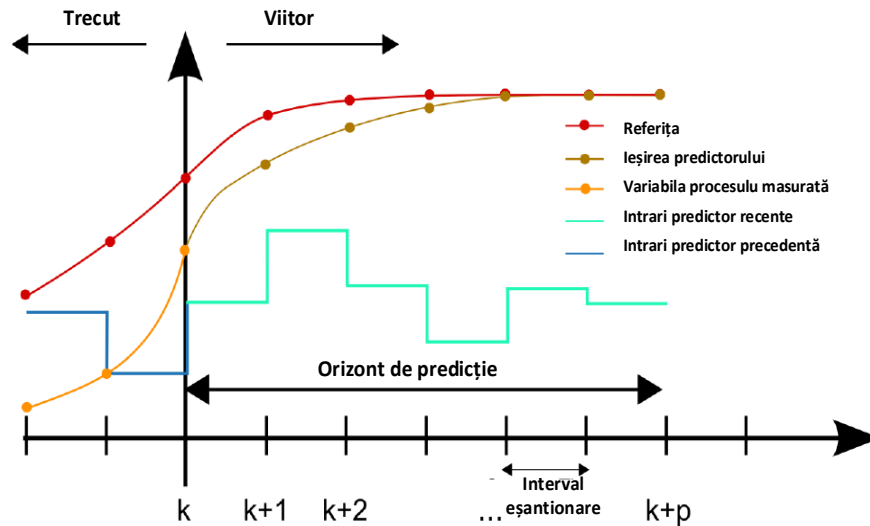


Fig. 3.5 Diagrama în timp a reglării cu predicție.

(3.16)

$$f_{obj} = \sum_{i=1}^P (r_{k+i} - \widehat{y}_{k+i}^c)^2 + w \sum_{i=0}^{M-1} \Delta u_{k+1}^2$$

Pentru sistemele multivariabile, derivarea ecuațiilor de predicție se bazează în primul rând pe analiza anterioară pentru sistemele cu o singură variabilă de intrare/ieșire. Să luăm în considerare un exemplu, cazul cu 2 variabile intrare/ieșire. Modelul de control predictiv va fi din două ecuații și patru modele individuale de răspuns:

$$\widehat{y}_1(k+j) = \sum_{i=1}^{N-1} S_{11,i} \Delta u_1(k-i+j) + S_{11,N} u_1(k-N+j) + \sum_{i=1}^{N-1} S_{12,i} \Delta u_2(k-i+j) + S_{12,N} u_2(k-N+j) \quad (3.17)$$

$$\widehat{y}_2(k+j) = \sum_{i=1}^{N-1} S_{21,i} \Delta u_1(k-i+j) + S_{21,N} u_1(k-N+j) + \sum_{i=1}^{N-1} S_{22,i} \Delta u_2(k-i+j) + S_{22,N} u_2(k-N+j)$$

unde:  $S_{12, i}$  denotă i-al treilea coeficient de răspuns pentru modelul care se referă  $y_1$  și  $u_2$  și invers. Se poate observa că în acest caz vom avea două funcții obiective, una pentru  $y_1$  și alta pentru  $y_2$ , fiecare cu parametrii proprii și greutatea de intrare  $w_1$  și  $w_2$ . În astfel mod se va determina două ecuații, care sunt similare ecuației (3.16).

### 3.2.1.2 Validarea reglării predictivee bazată pe model

Validarea algoritmului de reglare predictivă a procesului de epurare biologică vom considera modelul din fig. 2.17, proces format din două elemente de bază, bazin de aerare și decantor secundar.

Pentru a valida modelul de reglare cu predicție vom compara performanțele regulatorului cu predicție tip Smith cu cele tradiționale PI/PID. De menționat, că performanța regulatorului PI este foarte limitată în cazul proceselor cu timpul mort lung. Aceasta se datorează faptului că regulatorul PI nu are cunoștință despre timpul mort și reacționează prea "accelerat", când ieșirea reală  $y$  nu se potrivește cu valoarea dorită  $y_{sp}$ . O strategie mai bună constă în așteptarea unei modificări a setării a valorii de referință pentru a intra în vigoare înainte de a efectua ajustări ulterioare. Odată ce s-a însușit ce setare oferă parametrul necesar, putem obține parametrul potrivit doar în momentul în care este nevoie de a reacționa. Această strategie "optimă" de control este ideea de bază de reglare cu Predictor Smith. Procedura de validare este prezentată totalmente în anexa 3.1.

### 3.3. Conducere și reglare fuzzy al proceselor de epurare.

Apariția teoriei mulțimilor fuzzy și dezvoltarea sistemelor electronice au deschis calea spre aplicarea lor în sistemele de reglare automata inteligentă. În acest caz, algoritmi de reglare PID clasici sunt înlocuiți printr-o serie de reguli decizionale tip **IF (premisă) THEN (concluzie/acțiune)**. Prin urmare se obține un algoritm euristic, care poate să ia în considerație experiența operatorului uman în conducerea proceselor, ceea ce e foarte important în cazul proceselor complexe [45, 81].

Aplicarea teoriei fuzzy în sistemele de reglare automată poate fi în mai multe moduri, dintre care cele mai răspândite sunt [45, 75, 81]:

- controlul fuzzy direct al procesului;

- supervizarea fuzzy a reguletoarelor PID clasice;
- adaptarea fuzzy a parametrilor reguletoarelor PID clasice.

În rezultatul analizei mai multor surse [50, 75, 81], inclusiv a experienței proprii, ne-am propus aplicarea controlului fuzzy direct al proceselor, care sunt mai ușor de proiectat, implementând experiența operatorului uman și pe altă parte – permite o deschidere de îmbinare cu celelalte abordări.

În baza modelelor de epurare prin procesul de epurare biologic a apelor uzate, descrise în capitolul II, se propune următoarea structură a controlului fuzzy direct prezentat în fig.3.6, fiind format din următoarele componente.

- **Modulul de fuzificare** a variabilelor de intrare, a variabilelor procesului. Variabilele de intrare au valori reale, care trebuie transformate în valori fuzzy, adică acestora trebuie să li se atribuie valori fuzzy, care devin ca premise. Ca urmare, această premisă va determina care regulă trebuie activată împreună cu gradul de apartenență obținut de la fiecare regulă. Acest grad depinde de cât de mult valoarea de intrare și premisele regulilor corespund una alteia.

- **Modulul de luare a deciziilor/inferență** realizează pe baza datelor fuzificate evaluarea bazei de reguli în sensul obținerii deciziei/concluziei fuzzy.

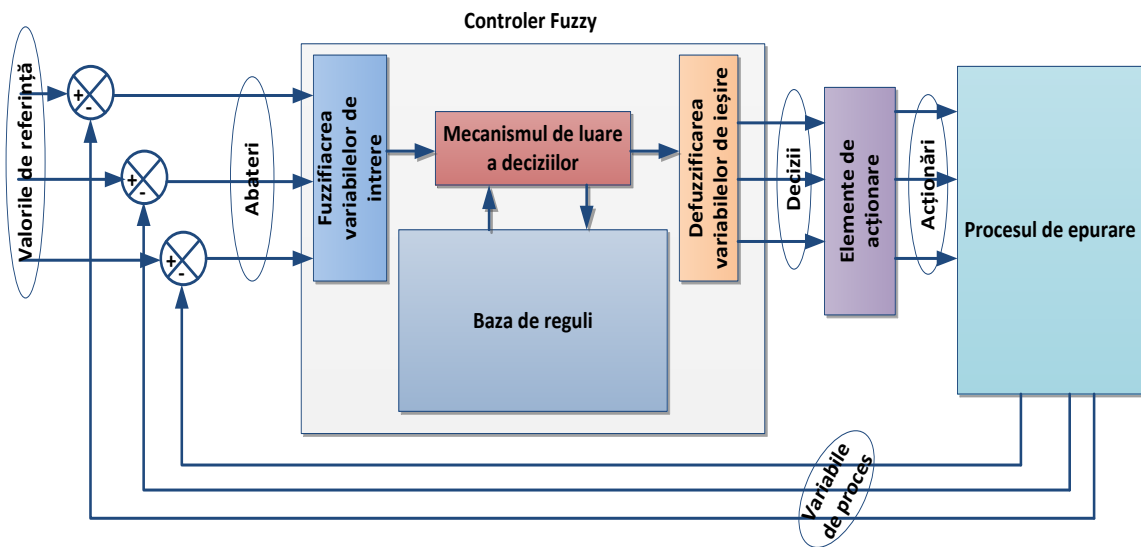
- **Baza de reguli.** Această componentă este formată din tot setul de reguli de tipul ”**IF (premisă) THEN (concluzie/acțiune)**”. În premise sunt introduse valorile variabilelor de intrare, astfel ca să se poată decide, care regulă poate fi activată și care nu, mai apoi în ce mod să fie utilizată. Rezultatul/ieșirile regulilor activate sunt fuzionate și transmise spre interfața de defuzificare. De regulă, această bază este creată de experți în problemele de conducere a proceselor respective, ținând cont de experiența operatorului uman.

- **Modulul de defuzificare.** Decizia fuzzy obținută de modulul de inferență are o formă complexă, datorită faptului că reflectă o combinație de mulțimi fuzzy cu grade de apartenență limitate. Destinația acestui modul este de a forma o singură valoare reală, care să cuprindă mulțimea fuzzy de la ieșire.

Proiectarea controlului fuzzy constă în realizarea unui algoritm euristic de conducere a procesului, care poate să ia în considerație experiența operatorului uman în conducerea acestor procese. Proiectarea include o serie de etape de dezvoltare, dintre care cele mai importante sunt următoarele [45, 50, 75].

- cercetarea structurală și funcțională a procesului de reglare pentru determinarea comportării lui la diverse variabile de intrare și perturbații;
- alegerea schemei de reglare, a numărului și tipurilor de reguletoare fuzzy;

- selectarea variabilelor de intrare și celor de ieșire, respectiv și domeniile de variație a acestora;
- definirea variabilelor lingvistice asociate mărimilor variabilelor de intrare și ieșire, precum definirea funcțiilor de apartenență corespunzătoare;
- crearea bazei de reguli, care realizează conectarea premiselor de decizii/concluzii, în concordanță cu descrierea lingvistică a comportării regulatorului;
- simularea pe calculator al întregului sistem de reglare automată și ajustarea regulatorului în scopul optimizării funcționării lui.



**Fig. 3.6. Diagrama controlului fuzzy direct al proceselor de epurare.**

În continuare vom exemplifica proiectarea controlului fuzzy direct pentru reglarea dozei de nămol în procesul de epurare biologică a apelor uzate. Controlul fuzzy, care utilizează în mod direct regulile fuzzy este cea mai importantă aplicație în teoria fuzzy. Utilizând un procedeu al lui Ebrahim Mamdani [23, 81], trebuie să realizăm următoarele etape:

- fuzificarea - crearea funcțiilor de apartenență pentru a descrie variabilele de intrare în termeni fuzzy (lingvistici);
- defuzificarea – stabilirea modalității de transformare a valorilor fuzzy în rezultate reale;
- crearea bazei de reguli fuzzy , care sunt aplicate în luarea deciziilor.

Analizând rezultatele modelărilor procesului de epurare, resursele informaționale, cât și experiența proprie, s-a stabilit că în procesul de epurare biologică este foarte important menținerea în echilibru a dozei de nămol activ în bazinul de aerare. Vom demonstra posibilitatea și eficiența controlului fuzzy a procesului de epurare, dar pentru simplitate, vom antrena doar cei



mai importanți factori a acestui proces:  $I_n$  – indicele de nămol activ;  $D_{a.u.}$  – debitul de ape uzate;  $\Delta CBO/CCO$  – diferența de concentrații ale substanțelor organice la intrare și la ieșire.

Valorile acestor variabile de proces sunt obținute cu ajutorul respectivilor senzori și se ”confruntă” cu valorile de referință a acestor variabile, determinând abaterile de la echilibru ale procesului:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= I_n - I_n^*; \varepsilon_d = D_{a.u.} - D_{a.u.}^*; \\ \varepsilon_c &= \Delta CBO/CCO - \Delta CBO/CCO^* \end{aligned} \quad (3.18)$$

O problemă specială ține de alegerea funcțiilor de apartenență a variabilelor de proces [144]. Reieșind din analiza procesului cercetat, s-a analizat variabilele de proces pentru ale fi atribuită fiecărei variabile o funcție de apartenență, descrise în continuare.

Funcția triunghiulară se folosește pentru variabilele critice, cum ar fi indicele de nămol activ și diferența de concentrație de substanțe organice la intrare și la ieșire:

$$\mu_1(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a; \\ \frac{x-a}{c-a}, & \text{if } a < x \leq c; \\ \frac{b-x}{b-c}, & \text{if } c < x < b; \\ 0, & \text{if } x \geq b \end{cases} \quad (3.19)$$

De menționat, că deși cea mai des folosită forma funcțiilor de apartenență este cea triunghiulară, s-a propus funcțiile trapezoidale și curbe clopot. În principiu, se consideră, că forma este mai puțin importantă decât numărul de curbe și plasarea acestora [23, 75], am decurs la implementarea funcțiilor de apartenență trapezoidale, care pot acoperi facilitățile celor triunghiulare. Deci, am propus forma funcțiilor de apartenență trapez și cu șapte curbe/segmente pentru a acoperi adecvat intervalul necesar a valorilor de intrare. În formă analitică se prezintă în modul următor:

$$\mu(x_i) = \begin{cases} (x_i - x_a) / \left( \frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \right), & \text{if } x_i < \left( \frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \right) \\ 1, & \text{if } \frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \leq x_i \leq \frac{x_b - x_a}{2} + \frac{x_b - x_a}{10} \\ (x_b - x_i) / \left( \frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \right), & \text{if } x_i < \left( \frac{x_b - x_a}{2} + \frac{x_b - x_a}{10} \right) \\ 0, & \text{în alte cazuri} \end{cases} \quad (3.20)$$

unde  $(x_b - x_a)$  – este domeniul variabilelor lingvistice.

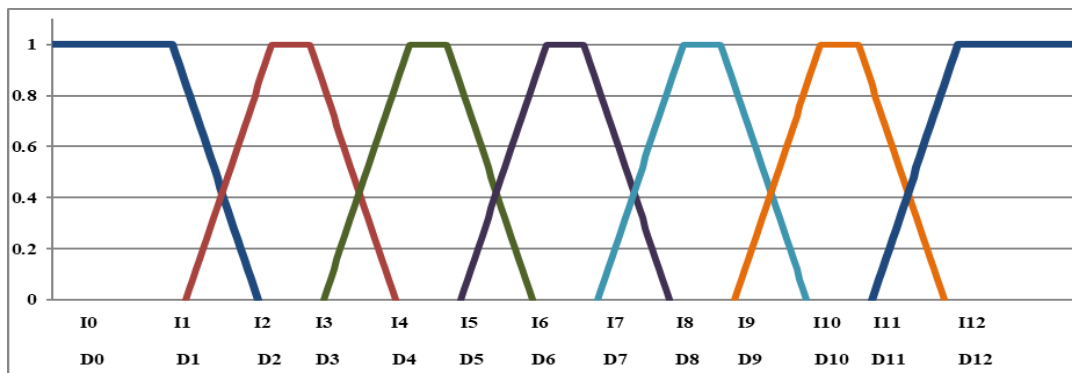
S-au analizat și alte tipuri de funcții de apartenență. Funcția gaussiană poate fi atribuită pentru variabilele: nivelul de poluarea influentului –  $x_e$ ; - reactivi chimici folosiți în proces –  $r$ ; energie electrică pentru menținerea procesului:

$$\mu_2(x, a, b) = \exp \left[ -\frac{(x-a)^2}{2b^2} \right] \quad (3.21)$$

Pentru celelalte variabile poate fi atribuită funcția sigmoidă:

$$\mu_3(x, a, b) = \{1 + \exp[-a(x - b)]\}^{-1} \quad (3.22)$$

Segmentarea funcțiilor de apartenență are mare influență la calitatea reglării, dar pe altă parte poate diminua reacția regulatorului. Am stabilit experimental, că cu șapte segmente este posibil de a acoperi adecvat intervalul necesar a variabilelor. Deci, s-a propus segmentarea variabilelor de intrare și ieșire în 7 segmente echivalente, deși ar fi posibilă și mici abateri:

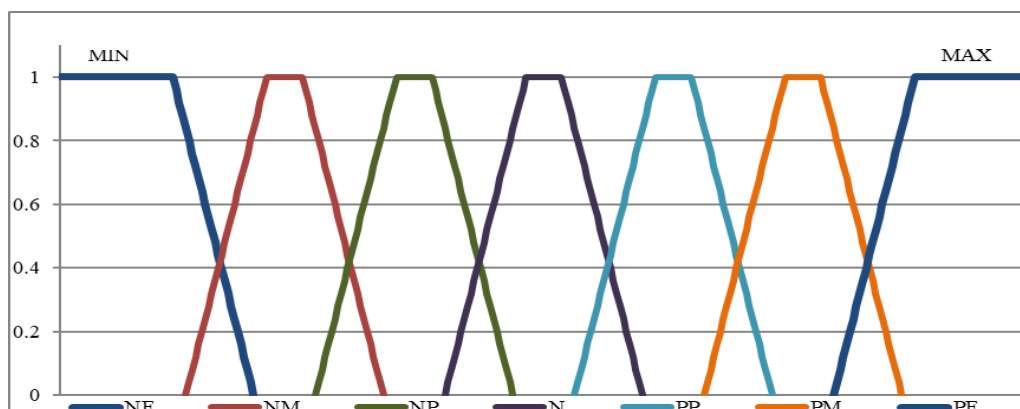


**Fig. 3.7. Prezentarea grafică a funcțiilor de apartenență pentru fuzificarea și defuzificarea variabilelor de proces. Funcțiile de apartenență la fuzificarea variabilelor de intrare:**

$I_n$  - indicele de nămol activ –  $\{I_0, I_1, \dots, I_{12}\}$ ;  $D_{a.u.}$  – debitului de ape –  $\{D_0, D_1, \dots, D_{12}\}$

$I_n$  - indicele de nămol activ –  $\{I_0, I_1, \dots, I_{12}\}$ ;  $D_{a.u.}$  – debitul de ape –  $\{D_0, D_1, \dots, D_{12}\}$ ;  $\Delta CBO/CCO$

- diferența de concentrații ale substanțelor organice –  $\{C_0, C_1, \dots, C_{12}\}$ . În formă grafică se prezintă în fig.3.7. În calitate de factor de acționare am stabilit  $I_0$  – încărcătura organică a bazinului, cantitatea de nămol activ recirculat. În mod similar s-a procedat cu variabila de ieșire. În formă grafică funcțiile de apartenență sunt prezentate în fig. 3.8.



**Fig. 3.8. Prezentarea grafică a funcțiilor de apartenență. Funcțiile de apartenență la fuzificarea variabilei de acționare  $I_0$  - încărcătura organică a bazinului**

Ca urmare, s-a propus de aplicat șapte variabile lingvistice: *N* – ”normală”; *NP* – ”puțin negativ”; *NM* – ”negativ mediu”; *NF* – ”forte negativ”; *PP* – ”puțin pozitiv”; *PM* – ”pozitiv mediu”; *PF* – ”foarte pozitiv”.

După cum s-a menționat, algoritmul de reglare fuzzy este un algoritm euristic, care va lua decizii în dependență de regulile activate din baza creată de experți în domeniu. Spre exemplu, să considerăm următoarele stări ale procesului și regulile de producție respective de luare a deciziilor:

a) Dacă debitul de ape uzate  $D_{a.u.}$  este foarte scăzut, de stabilit încărcarea organică a bazinului  $I_o$ , cantitatea de nămol activ recirculat la nivel foarte mic:

$IF (\varepsilon_d = D_{a.u.} - D_{a.u.*} \text{ is "NF"}) THEN (I_o \text{ is "NF"})$

b) Dacă indicele de nămol activ –  $I_n$  este mediu mai jos, de stabilit încărcarea organică a bazinului  $I_o$ , cantitatea de nămol activ recirculat la nivel mediu pozitiv:

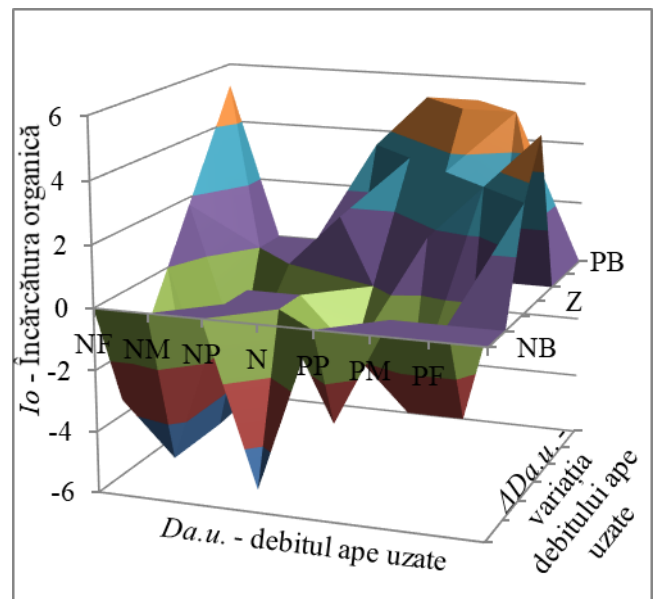
$IF (\varepsilon_i = I_n - I_n* \text{ is "NM"}) THEN (I_o \text{ is "PM"})$

Aceste reguli folosesc valori de adevăr a intrărilor "debitul de ape uzate", "indicele de nămol activ", care au o anumită valoare de adevăr "jos", pentru a genera rezultate în mulțimea fuzzy pentru "încărcarea organică" – variabilă de ieșire, care va avea o anumită valoare de "mare" sau "mic". Fiecare din aceste rezultate este utilizat cu rezultatele altor reguli pentru a genera în cele din urmă valoarea de ieșire concretă.

În practică, seturile de reguli fuzzy au mai multe antecedente, care sunt combinate folosind operatori fuzzy, cum ar fi AND, OR și NOT, cu toate că din nou definițiile tind să varieze: AND, într-o singură definiție ce folosește greutatea minimă a tuturor antecedente, în timp ce OR

		$\varepsilon_d = D_{a.u.} - D_{a.u.*}$						
		NF	NM	NP	N	PP	PM	PF
$dD_{a.u.}/dt$	-5.25				NF			
	-3.5	NF			NM			
	-1.75	NF			NP	NM	NM	PM
	0	NF	NM	NP	Z	PP	PM	PF
	1.75	NM		PP	PP	PM		
	3.5				PM	PF	PF	
	5.25			PM	PF	PF		

a) Matricea de reguli



b) Reguli de producție în formă grafică.

**Fig. 3.9. Set de reguli pentru reglarea procesului, luând în considerație variația variabilelor de proces.**

utilizează valoarea maximă. Există, de asemenea, operatorul NOT, care scade din 1 funcția de apartenență pentru a obține funcția "complementară".

Deși procesele de epurare a apelor uzate se consideră procese lente, o mare importanță are dinamica lor - variația în timp a variabilelor de proces:

- $dD_{a.u.}/dt$  – variația debitului de ape uzate;
- $d(ACBO/CCO)/dt$  – variația de concentrații ale substanțelor organice la intrare și la ieșire.

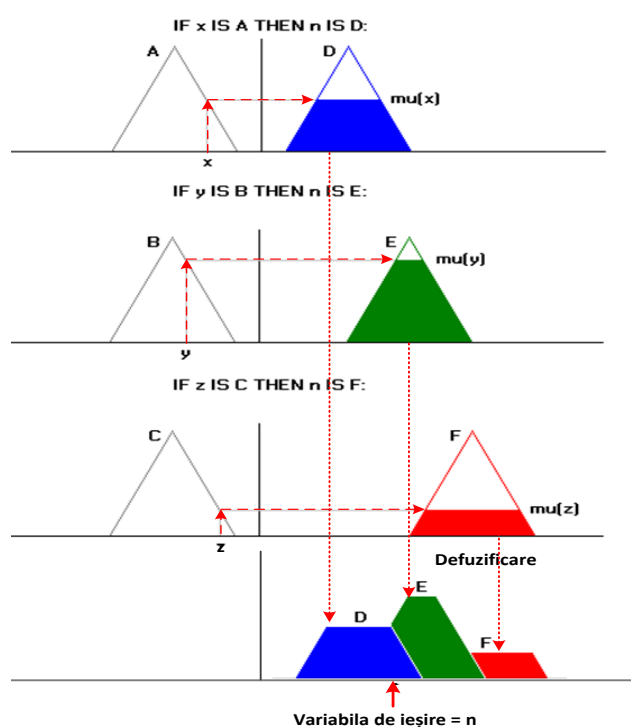
Din aceste considerente s-a propus de creat reguli de luare a deciziilor, care vor reflecta variația acestor variabile. În acest caz vom crea reguli cu premise compuse, care reflectă o situație compusă din două variabile care acționează concomitent. Ca urmare, vom avea o premisă rezultantă a două premise simple legate prin conjuncție – AND. De exemplu: dacă debitul de ape uzate  $D_{a.u.}$  este mediu jos, iar variația lui  $dD_{a.u.}/dt$  este mediu pozitiv, de stabilit încărcarea organică a bazinului  $I_o$ , cantitatea de nămol activ recirculat la nivel pozitiv mic:

$$IF (\varepsilon_d = D_{a.u.}-D_{a.u.*} \text{ is "NF" and } dD_{a.u.}/dt \text{ is "PM"}) THEN (I_o \text{ is "PM"})$$

În acest mod experții din domeniu în baza experienței lor vor crea matricea de reguli de producție sau și numita baza de reguli fuzzy (anexa 3.2). Această matrice se descrie/crează, completând matricea (vezi un exemplu fig. 3.9.a) și poate fi prezentată și în formă grafică (vezi fig. 3.9.b) (anexa 3.3).

**Luarea deciziilor/inferență** este o latură foarte importantă în conducerea fuzzy. Luarea deciziilor/inferență se realizează pe baza datelor fuzificate cu evaluarea bazei de reguli în sensul obținerii deciziei/concluziei fuzzy. De regulă, la un moment dat pot să fie activate una sau mai multe reguli de producere active la evaluarea bazei de date. În cazul unei reguli soluția este simplă: valoare variabilei de ieșire este strict prescrisă. Apare problema în cazul mai multor reguli active concomitent.

Analiza surselor arată, că există mai multe modalități de soluționare [66, 81], una dintre cele mai des aplicate și mai eficiente este metoda deducției "MIN-MAX", în care funcția de apartenență a variabilei de ieșire este generată de valoarea de adevăr din premisă, iar decizia



**Fig. 3.21. Procedul inferență "MIN-MAX" și defuzificare prin metoda centroidului.**

fuzzy obținută de modulul de inferență are o formă complexă, datorită faptului că reflectă o combinație de mulțimi fuzzy cu grade de apartenență limitate. Modulul de inferență are misiunea de a forma o singură valoare reală, care să cuprindă mulțimea fuzzy de ieșire. Regulile pot fi prelucrate în paralel cu hardware-ul sau secvențial cu software-ul. Rezultatele tuturor regulilor, care au fost activate trebuie să fie "defuzificate" pentru a obține o valoare concretă. Metoda centroidului este o metodă de defuzificare, în care "centrul de masă" a rezultatului determină valoarea concretă a variabilei de ieșire. O altă abordare este metoda "înălțime", care are valoarea cu cea mai mare contribuție. Metoda centroidului favorizează regula cu producția cea mai mare suprafață, în timp ce metoda înălțimii favorizează în mod evident, regula cu cea mai mare valoare de ieșire [66].

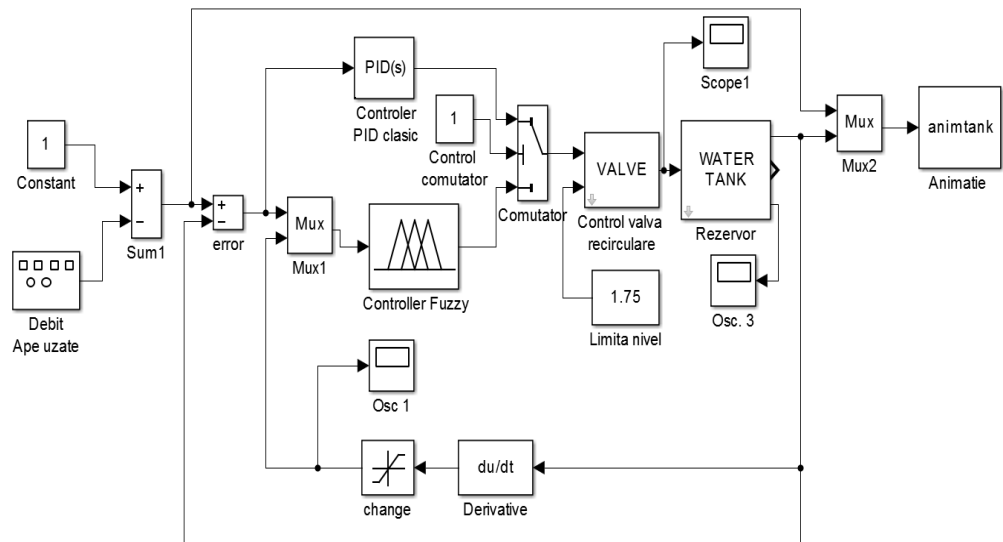
$$v_{out} = \frac{\sum_{i=1}^k \mu_i v_i}{\sum_{i=1}^k \mu_i} \quad (3.23)$$

În rezultatul simulărilor, s-a propus implementarea metodei centroidului în conducerea fuzzy a procesului de epurare biologică. Un exemplu, care demonstrează procedeul inferență "MIN-MAX" și defuzificare prin metoda centroidului pentru un caz cu variabile de intrare "x", "y", și "z" și o variabilă de ieșire "n" se prezintă în figura 3.10.

În scopul verificării controlului procesului de epurare cu reglatoarele Fuzzy propuse pot fi realizate modele în mediul

MATLAB/Simulink, unul din ele este prezentat în fig. 3.11. În modelul dat s-au aplicat pentru procesul de epurare variabilele de intrare - debitul de apă uzată și variabilele de ieșire - cantitatea de nămol în exces. Simulările pe calculator au fost executate pentru a verifica disponibilitatea propusă controlor în punerea în practică. Reglarea nămolului recirculat s-a realizat pentru comparație atât prin metoda PID clasică, cât prin metoda fuzzy în aceleași condiții ale procesului.

Preliminar, s-a efectuat ajustarea regulatorului PID clasic după metoda Ziegler-Nicols [4] pentru a obține o reglare cvasi-optimă, apoi s-a implementat regulatorul Fuzzy, în care s-au inclus în baza de reguli cu premise compuse, care reflectă o situație compusă din două variabile care acționează concomitent debitul de ape uzate  $D_{a.u.}$  și variația lui  $dD_{a.u.}/dt$  pentru a stabili cantitatea de nămol recirculat.



**Fig. 3.11. Modelul regulatorului Fuzzy în mediul MATLAB/Simulink**

### 3.4. Sistem SCADA pentru monitorizarea unui sistem de epurare a apelor uzate

În cadrul stațiilor de epurare, supervizarea sistemului complet este dificilă din cauza complexității existente atât la nivel fizic cât și funcțional. Prin urmare, în majoritatea stațiilor de epurare moderne sunt implementate sisteme de supervizare utilizând conceptul SCADA [50, 143].

În cele ce urmează se propune concepții de aplicație SCADA pentru un sistem de epurare a apelor uzate cu monitorizarea parametrilor fizici din procesele de epurare. De asemenea prin intermediul platformei SCADA și a interfeței sugestive implementate se vor putea transmite comenzi atât în regim manual cât și automat pentru reglarea mărimilor de interes.

În baza studiului structurii, capabilităților și parametrilor a unor stații de epurare a apelor uzate, au fost luate în considerare necesitatea obiectelor discutate, s-au formulat cerințele de bază pentru sistemul SCADA conceptual. Sistemul SCADA trebuie să ofere o strategie pentru soluțiile în timp real, asigurând accesul flexibil și ușor de realizat al utilizatorilor finali la sistemul de management al datelor. Inclusiv pe platforma de produse a sistemului SCADA trebuie să fie o interfață grafică de utilizator (GUI), un subsistem complet integrat în timp real și un sistem integrat de management al bazelor de date relaționale (RDBMS). Sistemul SCADA trebuie să asigure o integrare ușoară și deschisă cu software-ul de aplicație al terților părți prin intermediul standardelor industriale. Sistemul SCADA trebuie să permită utilizatorului sistemului flexibilitatea de a adapta diverse aplicații de afaceri/business. Sistemul SCADA trebuie să ofere capacitatea de a extinde datele în timp real, oferind accesul la date operaționale și istorice în mod operativ [4].

Sistemul SCADA va permite accesul sistemelor informatice corporative și al pachetelor de aplicații specializate la datele SCADA. Arhitectura sistemului SCADA va utiliza toate standardele industriale deschise pentru a permite conectivitate transparentă la alte componente hardware, software și rețele, care permite funcțiilor să fie mobile, flexibile și robuste. De asemenea, permite distribuirea procesării între diferitele componente ale sistemului SCADA pentru a optimiza performanța generală a sistemului. Componentele trebuie să aibă capacitatea de a partaja date istorice și în timp real între sisteme independente și locații geografice, să furnizeze opțiuni de configurare care permit mai multor sisteme să împărtășească date de telemetrie, funcții de alarmă, evenimente, telecomunicații și control.

În această arhitectură se propune ca toate computerele din sistemul SCADA să se conecteze între ele utilizând cele mai recente tehnologii standard din rețeaua locală (LAN) și WAN (Wide Area Network). LAN-urile multiple, rețelele WAN, serverele și routerele trebuie să se completeze reciproc pentru a îndeplini cerințele de performanță, fiabilitate, securitate și extensibilitate ale sistemului. Perifericele sistemului se vor conecta direct la rețeaua LAN, prin servere conectate direct la LAN-ul sistemului sau atașate la porturile paralele sau seriale de la stația de lucru.

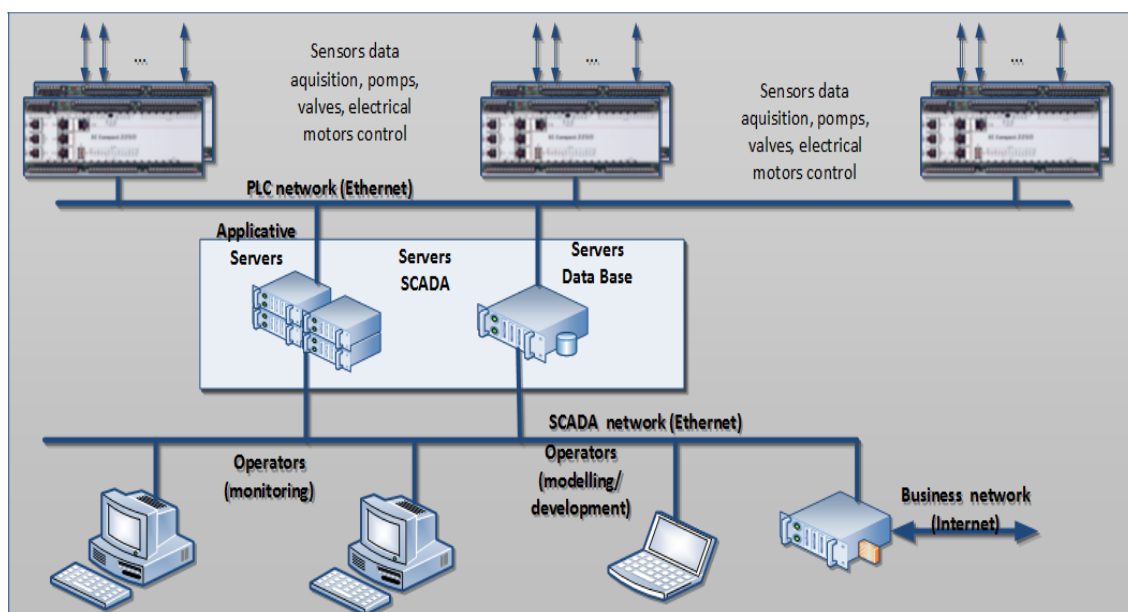
Pentru a gestiona cantitățile mari de date care sunt schimbate între sisteme fără a necesita o utilizare excesivă a lățimii de bandă WAN, datele în timp real vor fi împărțite numai între acele sisteme cu relații definite. Trebuie să fie posibilă definirea acestor relații de sistem pentru a partaja toate înregistrările sau numai câmpurile specificate în înregistrări. Pentru a reduce în continuare încărcarea rețelei între locații, este posibilă stocarea datelor istorice la nivel local de către fiecare sistem. Sistemul trebuie să suporte o metodă prietenoasă unui controler (cum ar fi un singur buton sau o casetă de dialog) pentru a schimba starea de funcționare a sistemului.

Propunem ca robustețea LAN virtuală să se realizeze prin: comutatoare duble inteligente redundante; fiecare comutator trebuie să fie interconectat, oferind avantajul comunicării în rețea între carduri și redundanță în caz de defectare a unei cartele; carduri de rețea redundante inteligente cu auto-reconfigurare; utilizarea cardurilor inteligente și a driverelor trebuie să permită cardurilor să identifice, când o rețea sau o altă nu reușește, ceea ce duce la preluarea cardului; adrese IP flexibile; pentru o pereche de servere redundante, o singură adresă va fi atribuită serverului activ. Acest lucru va permite conectivitatea la serverele active fără a trebui să știe ce mașină fizică este în prezent activă.

Sistemul trebuie să furnizeze un mecanism de remediere a defecțiunilor care va constitui o parte inerentă a sistemului SCADA. Sistemul trebuie să asigure monitorizarea critică a sarcinilor prin software-ul de monitorizare a stării pentru a asigura robustețea sistemului.

Procesele de monitorizare periodic solicită componentelor software critice să se verifice. În cazul în care componenta critică nu reușește să se înregistreze, acea componentă și toate subcomponentele sale se vor defecta; toți ceilalți vor rămâne în funcție.

Prin urmare, ținând cont de cerințele formulate mai sus, se propune următoarea arhitectură conceptuală pentru stațiile de epurare biologică, formată din următoarele componente fig.3.12:



**Fig. 3.12. Conceptul de arhitectură a sistemului SCADA pentru stații de epurare biologică [222].**

- Subrețeaua de microcontrolere tip PLC pentru conexiunea direct cu echipamentul stației de epurare – a câte 1-2 controlere la fiecare etapă;
- Setul de servere a sistemului de comandă pentru executarea aplicațiilor SCADA și stocarea bazelor de date curente și istorice a procesului de epurare;
- Subrețeaua de calculatoare pentru toți utilizatorii sistemului de epurare biologică – atât a celor ce monitorizează nemijlocit procesele, cât și altor pentru modelare, prelucrare statistică sau/și business.

În scopul reglementării interacțiunii non-conflictuale dintre serverele sistemului SCADA și componentele din ierarhia de jos, propunem următoarele două scheme de interacțiune:

- a) Serverul de aplicații SCADA face apeluri de diferite tipuri către componentele de nivel mai jos la necesitate, în momente aleatorii, solicitând diferite date de la controlerile PLC, care coordonează etapele de epurare (fig. 3.13);
- b) Serverul BD face apeluri complexe către componentele de nivel mai jos, solicitând toate datele de la controlerile PLC, care coordonează etapele de epurare (fig. 3.14).



### 3.4.1 Proiectarea structurii bazei de date

În procesul proiectării bazelor de date (BD), de regulă, accentul se pune pe următoarele două probleme:

- în ce mod să se reflecte obiectele domeniului cercetat în obiecte abstracte ale modelelor de date, ca această reflecție să nu contrazică semanticii obiectelor domeniului dat și tot odată să fie maximum posibil de accesat rapid și de stocat cât mai compact – aceasta este problema de proiectare logică a bazei de date;
- cum să se asigure executarea eficientă a tuturor solicitărilor către baza de date, adică cum să se organizeze datele pe suporturi – acesta este problema de proiectare fizică a BD.

Trebuie de menționat, că la etapa curentă se rezolvă numai prima problemă, iar pentru a doua se reduce la selectarea unui sistem de gestionare a BD (SGBD), întrucât aceste sisteme sunt bazate pe structuri fizice proiectate în mod profesional, ce asigură acces rapid și eficient la toate componentele structurii BD.

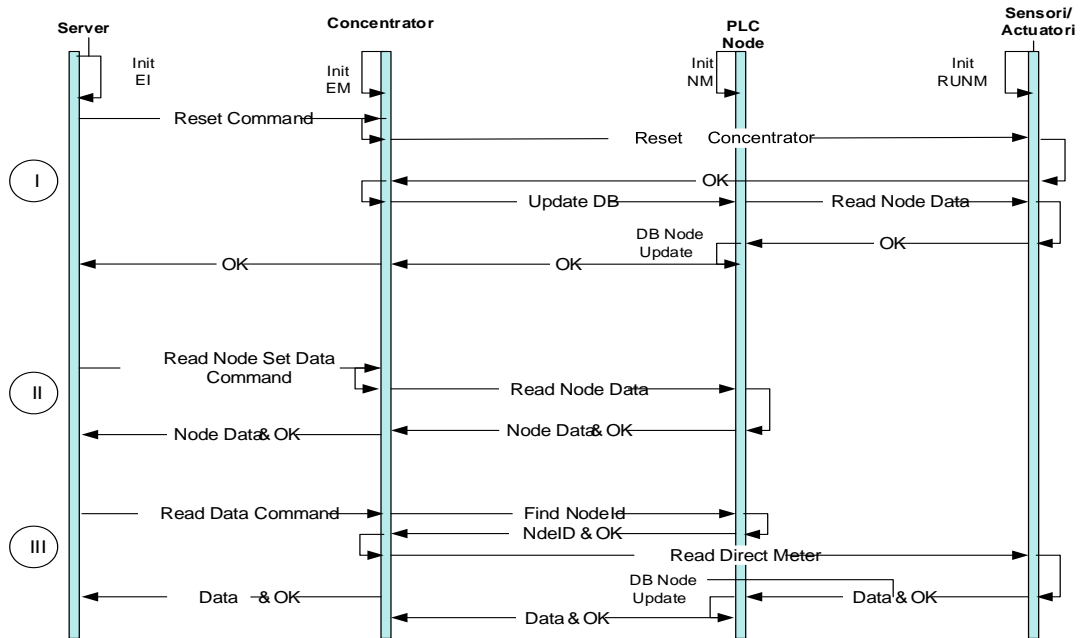
Să analizăm problema de proiectare logică a BD a sistemului SCADA pentru procesul de epurare biologică, ținând cont de specificul acestora. Pentru acest domeniu problema a fost formulată în modul următor. Fiecare stație de epurare biologică, amplasată geografic într-un anumit teritoriu, are câteva trepte de epurare, fiecare dintre ele sunt înzestrate cu sisteme electronice de comandă, care trebuie să fie conduse și monitorizate în continuu. Monitorizarea prevede înregistrarea tuturor paramerilor stației de epurare și proceselor ei, tuturor evenimentelor și avariilor. Pe altă parte trebuie să fie monitorizată și activitatea echipamentului/utilajului stației de epurare.

În continuare vom utiliza pentru proiectarea logică a BD cel mai popular și des utilizat model de date - „ER-model” – modelul de date „Entitate – Relații”. Acest model a fost propus încă în anul 1976 de către matematicianul Chen (SUA). Sensul acestui model constă în modelarea domeniului cercetat cu ajutorul mijloacelor grafice și stabilirea relațiilor între entități.

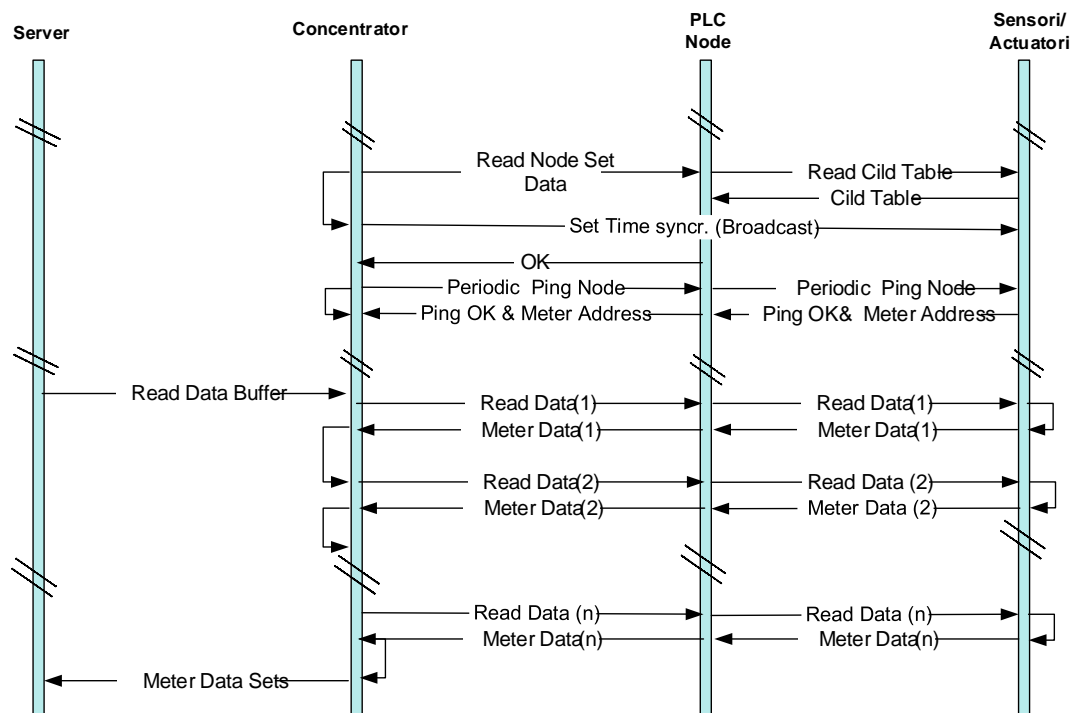
Noțiunile de bază a ER-modelelor sunt entitatea, relația și atribute. Entitatea – prezintă obiectul real sau virtual, datele despre care trebuie stocate în BD. În diagrame entitățile se prezintă prin dreptunghiuri, care conține denumire entității. De menționat, că această entitate reflectă tot setul de obiecte de același tip, de exemplu entitatea ”stație” va reprezenta toate stațiile dintr-un oraș/municipiu. Fiecare entitate se caracterizează printr-un set de atribute, care reflectă proprietățile specifice ale entității. Fiecare entitate are o legătură logică cu alte entități. Aceste legături se relectă prin relații. Se cunoaște, că relațiile pot fi de următoarele trei tipuri:

- relație „1:1” – un obiect dintr-o entitate are numai o singură apartenență la un obiect din altă entitate;

- relație „1:n” - un obiect dintr-o entitate are mai multe apartenențe cu mai multe obiecte din altă entitate;
- relație „n:n” - mai multe obiecte dintr-o entitate are mai multe apartenențe la altă entitate.



**Fig. 3.13. Interacțiunea serverului de aplicații SCADA cu componentele sistemului.**



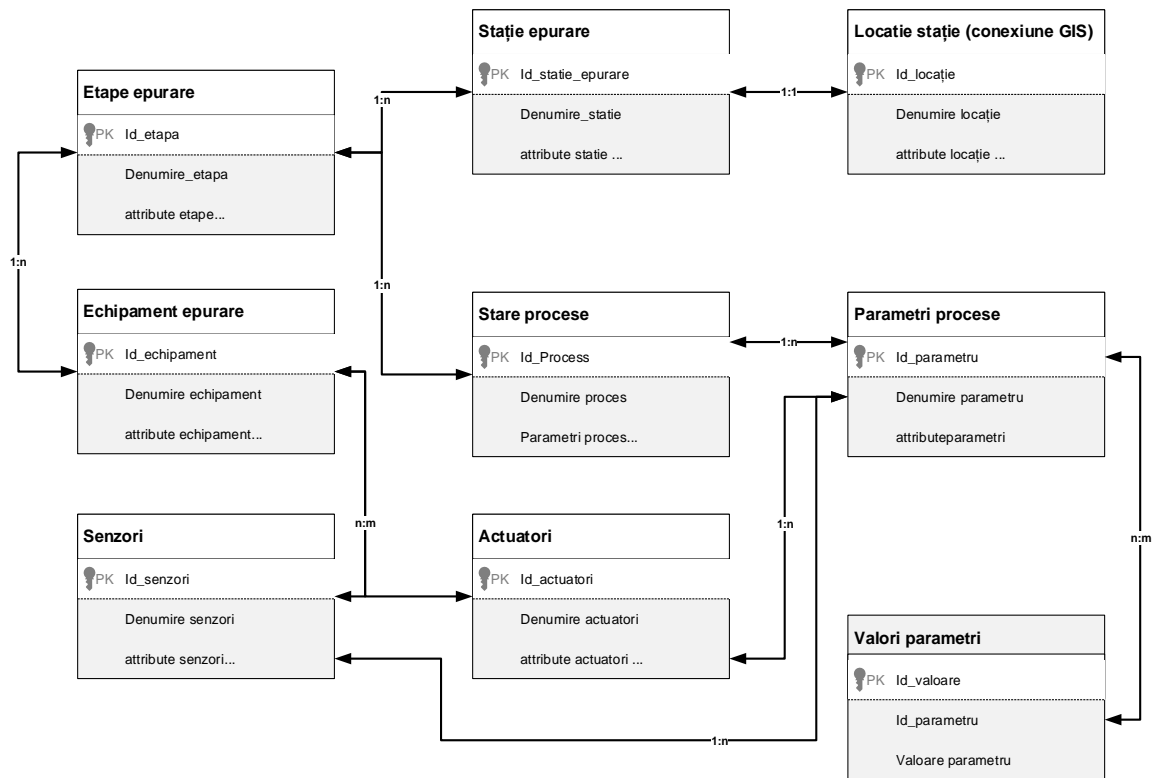
**Fig. 3.14 Interacțiunea serverului BD SCADA cu componentele sistemului.**

Reieșind din aceste cerințe, se propune structura conceptuală a BD în formă de ER-relații. În calitate de entități avem următoarele: set de stații; trepte de epurare; parametri ai stațiilor și proceselor lor; informații despre echipament/utilaj de epurare la fiecare stație etc.

Aplicând această metodă, s-a creat schema conceptuală a BD pentru sistemul SCADA epurare biologică, care este prezentată în fig. 3.15. Structura logică a BD se realizează prin dezvoltarea ER-modelului prezentat mai sus, utilizând următoarele procedee:

1. Proprietățile fiecărei entități se descriu cu un set de atribute.
2. Relațiile dintre entități se realizează cu ajutorul atributelor specifice, numite „cheie primară”, „cheie secundară”.

Spre exemplu, entitatea „Stare procese” se descrie cu ajutorul următoarelor atribute: Identificatorul procesului (PK); Denumirea procesului; Etapa de epurare (FK); Tipul procesului; Referință la parametrii procesului (FK); Note explicative.



**Fig. 3.15. ER-modelul bazei de date SCADA pentru stații de epurare biologică.**

Pentru fiecare atribut se stabilește tipul de date corespunzător și optim din punct de vedere al volumului și timpului de acces. Fiecare entitate se reflectă printr-o tabelă, care va avea în calitate de coloane atributele stabilite, iar în calitate de linii vor fi înregistrările - exemplare concrete ale entității date. Fiecare tabelă conține un atribut special, numit „cheie primară” - PK, care identifică fiecare obiect, exemplar din entitate și nu permite dublarea acestora, altele pentru

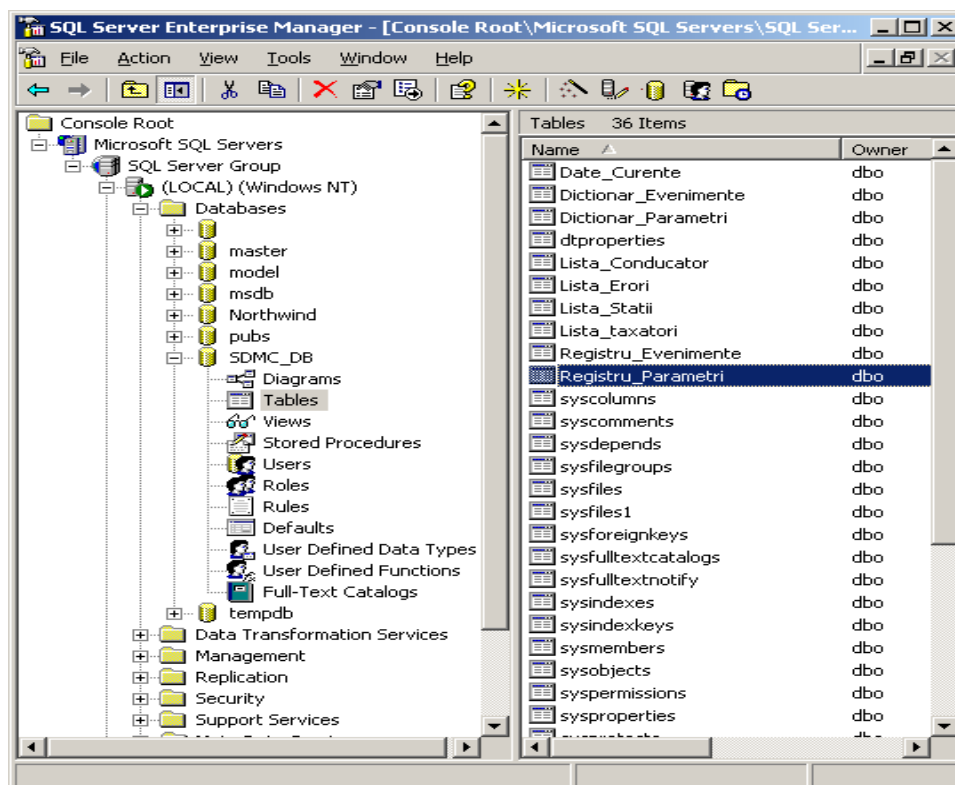
referințe – chei secundare – FK. Pe altă parte cheia primară mai joacă și alte roluri: la căutarea înregistrărilor și stabilirea relațiilor între tabele (entități).

A doua problemă este implementarea schemei conceptuale BD într-un sistem de gestiune a BD. Analizând schema conceptuală a BD, se poate constata că ea poate fi realizată pe un sistem cu performanțe înalte. Astfel de sisteme de gestiune există și sunt implementate în sisteme de conducere a întreprinderilor, stațiilor termo-electrice, etc: MS SQL, Sybase, Informix, Oracle și alte.

În acest studiu există o cerință importantă, care impune să abordăm altfel problema: sistemul SCADA trebuie să cupindă toate stațiile de epurare dintr-o locație, prin urmare, datele din BD SCADA de la fiecare stație de epurare trebuie să fie exportată și fuzionată într-o bază de date a dispeceratului orășenesc/municipal pentru o prelucrare suplimentară istorică și comparativă cu alte stații de epurare. Reieșind din această cerință, se propune un sistem SGBD, care are posibilități de funcționare „client-server”. Unul din cele mai populare și performante este Microsoft SQL Server, care reprezintă unul dintre cele mai complexe sisteme de gestiune al bazelor de date relaționale (SGBD). Acesta ocupă primul loc alături de Oracle în top-ul celor mai folosite și mai complexe servere de baze de date în prezent. MS SQL Server se caracterizează prin ușurința procesului de administrare și implementare, prin gradul înalt de disponibilitate datorita tehnologiei MS Clustering Services și prin asigurarea unui nivel înalt de scalabilitate și securitate. MS SQL Server reprezintă o soluție ideală pentru rețele omogene de servere bazate pe platforma MS Windows. Conform celui mai recent studiu realizat de Evans Data Corporation, în lumea dezvoltărilor „wireless” principala alegere pentru bazele de date backend o constituie Microsoft SQL Server. Aproape 30% din totalitatea proiectelor „wireless” utilizează MS SQL Server, în timp ce într-un procent de 20% se alege MySQL. Realizarea schemei logice în mediul MS SQL Server se produce prin descrierea fiecărei tabele, declarând atributele, tipurile lor de date. Realizând toate tabele și relațiile între ele cu ajutorul acestui instrumentar obținem structura fizică a BD fig. 3.15 sau 3.16.

Accesul la datele din BD SCADA poate fi efectuat în două moduri:

- a) cu ajutorul sistemului instrumentar MS SQL Server Enterprise pentru efectuarea unor proceduri de inițializare sau profilactică, deschizând câte o tabelă – este rezervat pentru administrarea BD;
- b) prin apel din programele aplicative SCADA cu solicitări în limbajul SQL.



**Fig. 3.16** Setul de tabele ale BD SCADA epurare.

### 3.4.2 Interfața SCADA epurare biologică

Ținând cont de specificul stațiilor de epurare biologică a apelor uzate, vom formula cerințele față de sistemul SCADA pentru monitorizarea eficientă a proceselor de epurare. Activitățile de acționare/tastare necesare pentru executarea funcțiilor trebuie minimizezate. Interfața operatorului se va face prin intermediul a două stații de lucru identice. Toate funcțiile trebuie să poată fi utilizate simultan pe ambele stații de lucru. Orice afișaj poate fi prezentat oricând pe oricare dintre ecranele de la stația de lucru.

Operatorul trebuie să monitorizeze și să controleze componentele SCADA, utilizând butoanele de pe ecran printr-un dispozitiv de indicare a cursorului, tastele de pe o tastatură alfanumerică și afișaje pe ecran cu puncte de activare a funcțiilor. Aranjamentul lor ar trebui să garanteze că pe fiecare pagină există un conținut logic, că există navigație logică între pagini și funcții și că grafica reflectă adecvat caracteristicile corespunzătoare ale noului sistem.

Utilizatorul SCADA trebuie să aibă o interfață consecventă, care să mențină proceduri identice de la o aplicație la alta. În legătură cu aceasta formulăm cerințele interfeței operator-sistem al sistemului SCADA pentru epurare biologică, care urmează:

- Trebuie prevăzută o abordare modernă cu ferestre pentru sistemul SCADA cu ferestre

mobile și scalabile;

- Meniuri sensibile la context și ferestre tip ”pop-up”
- Bare de instrumente sensibile la context, cu butoane sau pictograme, pentru a accesa mai multe funcții utilizate în mod obișnuit;
- Sfaturi pentru ferestre ”pop-up”, care oferă ajutor abreviat pentru o caracteristică atunci când cursorul de ecran se află peste butonul, pictograma sau simbolul;
- Capacitate de ”drag and drop”;
- Disponibilitatea multor fonturi și stiluri de litere diferite;
- Alarmer configurabile -alarmer trebuie să poată fi filtrate, prioritizate și inhibate.
- Chei funcționale statice și dinamice, legate de context;
- Frecvența de actualizare de maxim 1-5 sec;
- Intrările operatorilor și modificările bazei de date înregistrate și verificate pentru valabilitate înainte de actualizarea bazei de date.

Sistemul SCADA va afișa pe toate ecranele următoarele informații privind starea sistemului:

- modul de funcționare a stației de epurare;
- Starea conexiunii la servere (de bază/standby)
- Conectat la persoană și nivel de acces
- Data / ora;

E recomandabil ca sistemul SCADA să includă ecrane dedicate care prezintă informații despre starea sistemului: o diagramă bloc de comunicații și o stare reală a sistemului de comunicații, inclusiv statutul fiecărei conexiuni.

### **3.5 Concluzii la Capitolul 3**

1. Principalul neajuns al structurilor PID tradiționale cu bucle monovariabile constă în faptul că interacțiunile dintre variabilele de proces sunt ignorate. O anumită variabilă de proces reglată poate influența comportarea celorlalte mărimi. Influențele dintre ele din buclele monovariabile sunt de obicei minimizate prin diferite strategii de decuplare. În procesul de epurare biologică, în care s-a arătat că există interacțiuni puternice între variabilele de proces, așa numitele tehnici multivariabile îmbunătățesc performanțele dinamice ale întregului sistem. Prin urmare, înlocuirea structurilor de reglare monovariabile cu tehnici de reglare multivariabilă permite îmbunătățirea funcționării procesului de epurare.

2. S-a arătat că trecerea la structurile de reglare multivariabilă poate genera, însă, diferite probleme. Astfel, o strategie de reglare multivariabilă necesită o conducere centralizată; însă

aparitia unei defectiuni ar produce caderea intregului sistem. Un alt dezavantaj al structurii centralizate este determinat de complexitatea implementarii fizice, necesitatea unor etape de testare si intreruperea temporara a functionarii sunt inevitabile. De asemenea, existenta unei noi structuri de reglare necesita si interventia operatorilor.

3. Restructurarea si modernizarea sistemelor de epurare a apelor uzate se propune prin promovarea unor tehnologii de reglare automată modernă, care să asigure satisfacerea performanțelor impuse prin proiectare. În ultimele decenii au fost dezvoltate diferite metode de proiectare a tehnicilor avansate de conducere, printre care un rol deosebit îl au regulatoarele predictive și regulatoarele fuzzy, dedicate atât pentru procese liniare sau neliniare, cât și pentru procesele cu o dinamică dificilă.

4. S-a arătat, că regulatoarele predictive bazate pe model sunt mai performante și mai robuste decât regulatoarele tradiționale PID, însă partea slabă a acestora constă în majorarea complexității modelului de predicție, în mod deosebit, pentru cazul reglării multivariabile a proceselor. Prin urmare, implementarea lor va necesita intervenția personalului cu bună pregătire atât în domeniul matematicii, cât și a proiectării softului.

5. În privința regulatoarelor fuzzy, s-a arătat că ele sunt cele mai aplicabile pentru procesele de epurare biologică, deoarece ele pot asigura atât performanță, cât și robustețe în mod deosebit pentru caracterul neliniar al acestor procese. Pe altă parte, regulatoarele fuzzy au un avantaj față de altele prin aceea că ele pot fi ajustate/racordate la proces de către utilizatorul din domeniu, fără implicarea personalului cu bună pregătire atât în domeniul matematicii, cât și a proiectării softului. Adăugarea, eliminarea sau/și modificarea regulilor fuzzy de luare a deciziilor duc la modernizarea algoritmului euristic de reglare de către personalul din domeniu în baza experienței acumulate.

6. În baza studiilor parametrilor procesului de epurare biologic analizați în capitolul 2 au fost formulate cerințe de bază în procesul proiectării bazei de date pentru sistemul SCADA conceptual, ținând cont de specificul acestora. Monitorizarea prevede înregistrarea tuturor parametrilor stației și procesele ei, tuturor evenimentelor și avariilor, extinzând datele în timp real, oferind accesul la date operaționale și istorice în mod operativ.

#### **4. APLICAREA SISTEMELOR INFORMAȚIONALE ȘI DE DIRIJARE PENTRU STAȚIA DE EPURARE A APELOR UZATE DIN MUN.CHIȘINĂU**

În cadrul proceselor de epurare a apelor uzate, supervizarea sistemului complet este dificilă din cauza complexității existente, atât la nivel fizic, cât și funcțional. Prin urmare, în majoritatea stațiilor de epurare a apelor uzate moderne sunt implementate sisteme informaționale și de supervizare, utilizând conceptul SCADA.

##### **4.1. Modernizarea stației de epurare a apelor uzate din municipiul Chișinău**

În cadrul S.A. "Apă – Canal Chișinău" operează mai multe sisteme de automatizare separate. În prezent, unele stații de pompare sunt deja echipate cu dispozitive de măsurare sau cu sistem telemetric, care constă dintr-un set de echipamente de telemetrie utilizate de diferite servicii. Un subsistem prezintă stațiile de pompare a apelor uzate (fig. 4.1), care include peste 33 de stații existente de pompare a apelor uzate (SPAU) și sunt echipate cu sisteme de supraveghere la distanță. Este un sistem automatizat de control al proceselor pentru SPAU și constă din stații de comandă a motoarelor pompelor, convertoarelor de frecvență, demaroarelor soft, sistemul de vizualizare și echipamente de comunicații. Informațiile de la aceste stații de pompare sunt trimise la Dispeceratul central de Expediere și Control.

În dependență de stația de pompare, sistemul preia și stochează următoarele date:

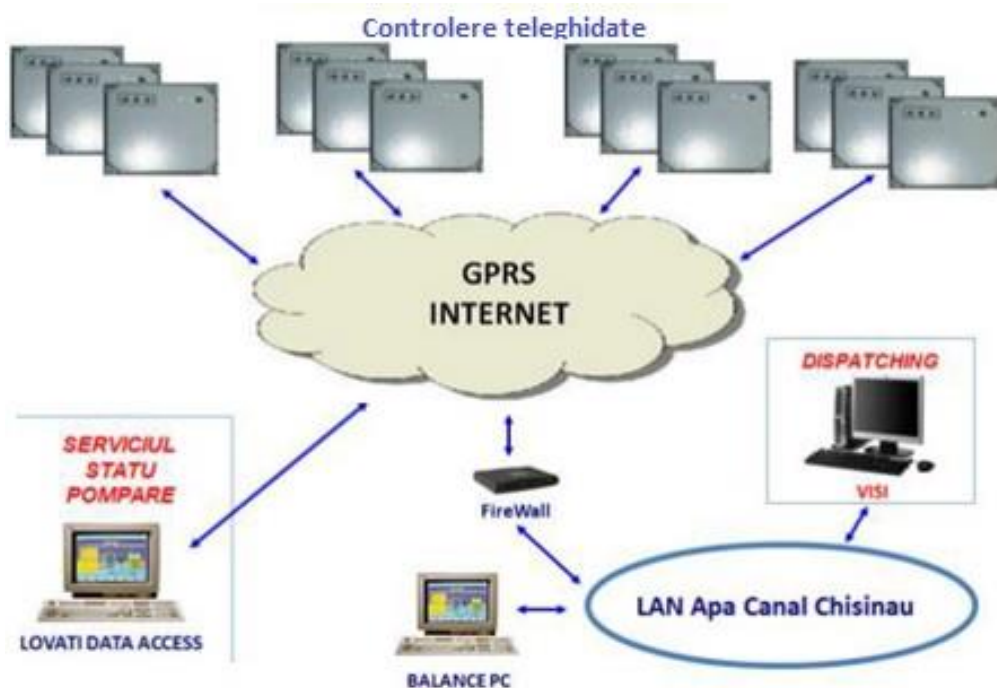
- nivelurile bazinului: nivelul corespunzător opririi pompelor, la pornirea primei pompe și a celei de-a doua pompă (acest ultim nivel este denumit "nivel de avertizare" deoarece este utilizat în timpul precipitațiilor);
- funcționarea pompelor: oprire - pornire, ore de funcționare, putere;
- electricitate: ce sursă este utilizată;
- alte date: temperatura, etc.
- semnale de urgență: în caz de defectare, lipsă a energiei electrice, incendiu etc.

Un alt subsistem este stația de tratare a apei (STA), care a fost transferată la hipoclorit de sodiu (Sodium Hypochlorite)  $\text{NaClO}$  ca dezinfectant în procesul de tratare a apei potabile și 5 SP din anul 2012. Stația de tratare a apei cu hipoclorit de sodiu  $\text{NaClO}$  sunt operate și echipate cu sistem de control automatizat de stocare și dozare a hipocloritului de sodiu  $\text{NaClO}$  bazat pe SIEMENS SCADA. Acest sistem stochează datele în baza internă SQL, care are o conexiune externă cu acces la internet și conectat la Oficiul de dispecerat și control local.

Subsistemul este proiectat pentru:



- Administrarea și controlul concentrației de hipoclorit de sodiu (14% -19%) și transferul acestuia în recipiente și diluția acestuia la o concentrație de -10%;
- Determinarea operațională a nivelului (volumului) hipocloritului rezervoarelor de stocare;
- Controlul pompei de dozare a hipocloritului pentru fiecare punct tehnologic, în funcție de debitul de apă;
- Determinarea clorului liber în apă și în aerul din interior și emiterea de alarme în cazul în care acestea sunt depășite;
- Interacțiunea cu sistemele de ventilație și de aer condiționat, de energie și de sisteme de alarmă la incendiu;
- Tehnologia procesării datelor operaționale este simplificată și nu reflectă în totalitate procesele de epurare. Ele se prezintă pe panoul operatorului local, precum și transmiterea, afișarea la dispeceratele locale și centrale.



**Fig. 4.1. Subsistemul existent pentru stațiile de pompare a apelor uzate din mun. Chișinău [140].**

În calitate de echipament este utilizat PLC-uri (controller logic programabil) Siemens CPU 314C-2 PN/DP.

Pentru a aprecia eficiența, menționăm că PLC are următoarele caracteristici:

- Procesor central pentru rularea programelor și deciziile de volum mediu privind problemele complexe ale controlului automat (performanțe ridicate, interfețe integrate MPI/PROFIBUS DP și PROFINET);

- Lucrul în sisteme tip CBA - Automatizarea bazată pe componente, bazată pe funcțiile de suport PROFINET Proxy PROFINET în relație cu dispozitivele inteligente de rețea tip PROFIBUS DP;

- Serviciul a dezvoltat sisteme de PROFIBUS DP și PROFINET IO bazate pe intrări și ieșiri locale și distribuite.

Totodată este importantă și Interfață Internet. A doua interfață integrată a procesorului 315-2 PN/DP este interfața PROFINET bazată pe capacitățile funcționale Ethernet TCP/IP. Acesta susține următoarele protocoale de comunicare:

- funcții de comunicare S7 pentru schimbul de date între controlerele SIMATIC S7/C7/WinAS;
- funcții de comunicare PG/OP pentru programare la distanță, punere în funcțiune și diagnoză implementare utilizând pachetul STEP 7;
- funcția de comunicare PG/OP cu dispozitivele și sistemele interfață om-mașină HMI;
- deschideți comunicațiile TCP/IP prin intermediul serverelor PROFINET și SIMATIC NET OPC cu alte controale și dispozitive distribuite I/O sistem.

În privința transferului de date s-a constatat, că datele de la sistem către dispeceratul local de expediere și control se realizează prin intermediul a două transferuri de tehnologie de rutare tip G.SHDSL pe perechea de cupru răsucite, care desigur au o performanță foarte redusă.

Pe de altă parte trebuie de menționat, că interfețele aplicațiilor soft "LOVATI" pentru operator, realizate de compania "Dekart ATM" sunt modeste și permit doar urmărirea parametrilor în formă mnemonică și textual-numerică, ceea ce nu reflectă totalmente procesul de epurare.

Stația de epurare a apelor uzate din municipiul Chișinău activează de aproape cinci decenii, iar utilajul de aici, este uzat în proporție de 90 la sută. În urma implementării tehnologiilor de ultimă generație, procesul de epurare biologică cu nămol activ, renovarea țintește să reducă scurgerile de ape uzate toxice în stație și consumul de energie, astfel îmbunătățind serviciile de colectare și epurare pentru locuitorii mun. Chișinău. Proiectul de renovare aduce, de asemenea, beneficii mediului și sănătății publice. Aceasta este în conformitate cu Strategia de alimentare cu apă și sanitație, aprobată de Guvernul de la Chișinău pentru toate localitățile din Moldova, susținut de Banca Europeană de Investiții (BEI) în Republica Moldova [117].

## **4.2. Arhitectura sistemului de comandă și informațional al stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău**

Conform caietului de sarcini al proiectului de modernizare, urmează să se execute lucrările de proiectare și reabilitare a obiectivului, precum și să livreze și să instaleze noi echipamente mecanice și electrice pentru Stația de epurare și instalațiile pentru linia de tratare a nămolului. De asemenea, se prevede reabilitarea clădirilor existente pentru noile instalații de tratare a nămolului, testarea, punerea în funcțiune a tuturor echipamentelor noi furnizate, precum și instruirea personalului în exploatarea și întreținerea echipamentelor.

În rezultatul studiului structurii, capabilităților și parametrilor stației de epurare a apelor uzate a mun. Chișinău și ținând seama de necesitățile obiectelor discutate, au fost formulate inițial cerințele de bază ale sistemului SCADA conceptual (în comp. 3.1, 3.2). Sistemul conceptual SCADA oferă o strategie pentru soluțiile în timp real, care se vor realiza de către SCADA, oferind accesul utilizatorului final la un sistem de management al datelor deschis și ușor de utilizat.

Inclusiv în familia de produse a sistemului SCADA trebuie să fie o interfață grafică de utilizator (GUI), un subsistem complet integrat în timp real și un sistem integrat de management al bazelor de date relaționale (RDBMS).

Alte cerințe importante, pe care le recomandăm să fie respectate la proiectarea sistemului automatizat de supraveghere sunt următoarele:

1. Sistemul SCADA să permită accesul sistemelor de informații corporative și pachetelor de aplicații specializate la datele SCADA. Arhitectura sistemului SCADA va utiliza toate standardele industriale pentru a permite conexiunea transparentă la alte componente hardware, software și rețele. Obiectivele de performanță, flexibilitate, extensibilitate și acces liber sunt fundamentale în determinarea utilității și longevității oricărui sistem SCADA. Sistemul SCADA trebuie să utilizeze o arhitectură software, care permite funcțiile să fie mobile, flexibile și robuste. De asemenea, trebuie să permită distribuirea procesării între diferitele componente ale sistemului SCADA pentru a optimiza performanța generală a sistemului.

2. Sistemul SCADA va asigura, o integrare ușoară și deschisă cu software-ul de aplicație al altor producători prin intermediul standardelor industriale. Sistemul SCADA trebuie să permită utilizatorului sistemului flexibilitatea de a adapta diverse aplicații de business. Sistemul SCADA trebuie să ofere capacitatea de a extinde datele în timp real din domeniu către întreprindere, oferind acces la date operaționale și istorice oricând și de orice nivel.

3. Sistemul SCADA trebuie să respecte conceptele unui sistem informatic distribuit. Componentele trebuie să aibă capacitatea de a partaja date istorice și în timp real între sisteme independente și locații geografice. Acest lucru va spori fiabilitatea și funcționalitatea generală a

sistemului prin furnizarea accesului partajat la componente și aplicații. Sistemul distribuit trebuie să furnizeze opțiuni de configurare care permit mai multor sisteme să împărtășească date de telemetrie, alarmare, evenimente, telecomunicații și funcționalități de control. Permisunile utilizatorilor și restricțiile de securitate referitoare la toate aspectele sistemului se propagă perfect în arhitectura distribuită a sistemului SCADA.

4. Sistemul SCADA trebuie să fie configurat utilizând standarde industriale, hardware și software nemodificat. Produsele standard ale furnizorului de hardware și software trebuie să constituie componentele principale ale sistemului, astfel sistemul nu va depinde, în cea mai mare măsură posibilă, de echipamente sau programe specializate, unice sau de proprietate disponibile numai de la un singur furnizor.

5. Sistemul trebuie să furnizeze replicarea bi-direcțională a datelor între sisteme. Pentru a gestiona cantitățile mari de date, care sunt schimbate între sisteme fără a necesita o utilizare excesivă a lățimii de bandă WAN, datele în timp real vor fi împărțite numai între acele sisteme cu relații strict definite. Trebuie să fie posibilă definirea acestor relații de sistem pentru a partaja toate înregistrările sau doar câmpurile specificate în înregistrări. Pentru a reduce în continuare încărcarea rețelei între locații, este posibilă stocarea datelor istorice la nivel local de către fiecare sistem. Sistemul trebuie să suporte o metodă "prietenosă" cu controlerul (cum ar fi un singur buton sau o casetă de dialog) pentru a schimba starea operațională a sistemului.

6. Pe de altă parte, configurația rețelei va furniza un model de rețea simplificat, care va permite redundanța dublă, dar va prezenta ca o singură rețea virtuală la utilizator. Modelul de redundanță trebuie să fie atât robust, cât și auto-reparabil. Atunci când o singură componentă nu reușește, partenerul respectiv al componentei va prelua fără a afecta restul sistemului. Robustețea LAN-ului virtual se realizează prin asigurarea:

- Switch-uri duble inteligente redundante;
- Fiecare comutator trebuie să fie interconectat, oferind avantajul comunicării în rețea între carduri și redundanță în cazul unei defecțiuni a unui card.
- Carduri de rețea redundante inteligente;
- Utilizarea cardurilor inteligente și a driver-ilor trebuie să permită cardurilor să simtă când o rețea sau o alt card nu reușește, ceea ce duce la preluarea cardului necesar.
- Adrese IP virtuale.

Ținând cont de aceste cerințe și specificul obiectului cercetat, se propune ca toate computerele din sistemul SCADA să se conecteze între ele folosind cele mai recente tehnologii standard din rețeaua locală (LAN) și WAN (Wide Area Network). LAN-urile multiple, rețelele WAN, podurile,

serverele și routerele să se completeze reciproc pentru a îndeplini cerințele de performanță, fiabilitate, securitate și extensibilitate ale sistemului. Perifericele sistemului se vor conecta fie direct la rețeaua LAN a sistemului, fie prin servere conectate direct la LAN-ul sistemului, fie prin porturi paralele sau seriale atașate la stația de lucru. Aceasta permite accesul la orice dispozitiv de pe orice computer din sistem cu autoritatea de acces corespunzătoare. Sistemul trebuie să furnizeze suport pentru echipamentele de rețea distribuite, cum ar fi imprimantele în rețea, PC-urile conectate în rețea și dispozitivele de stocare în masă/de rezervă (fig.4.2) [33, 50, 143].

S.A. "Apa-Canal Chisinau"

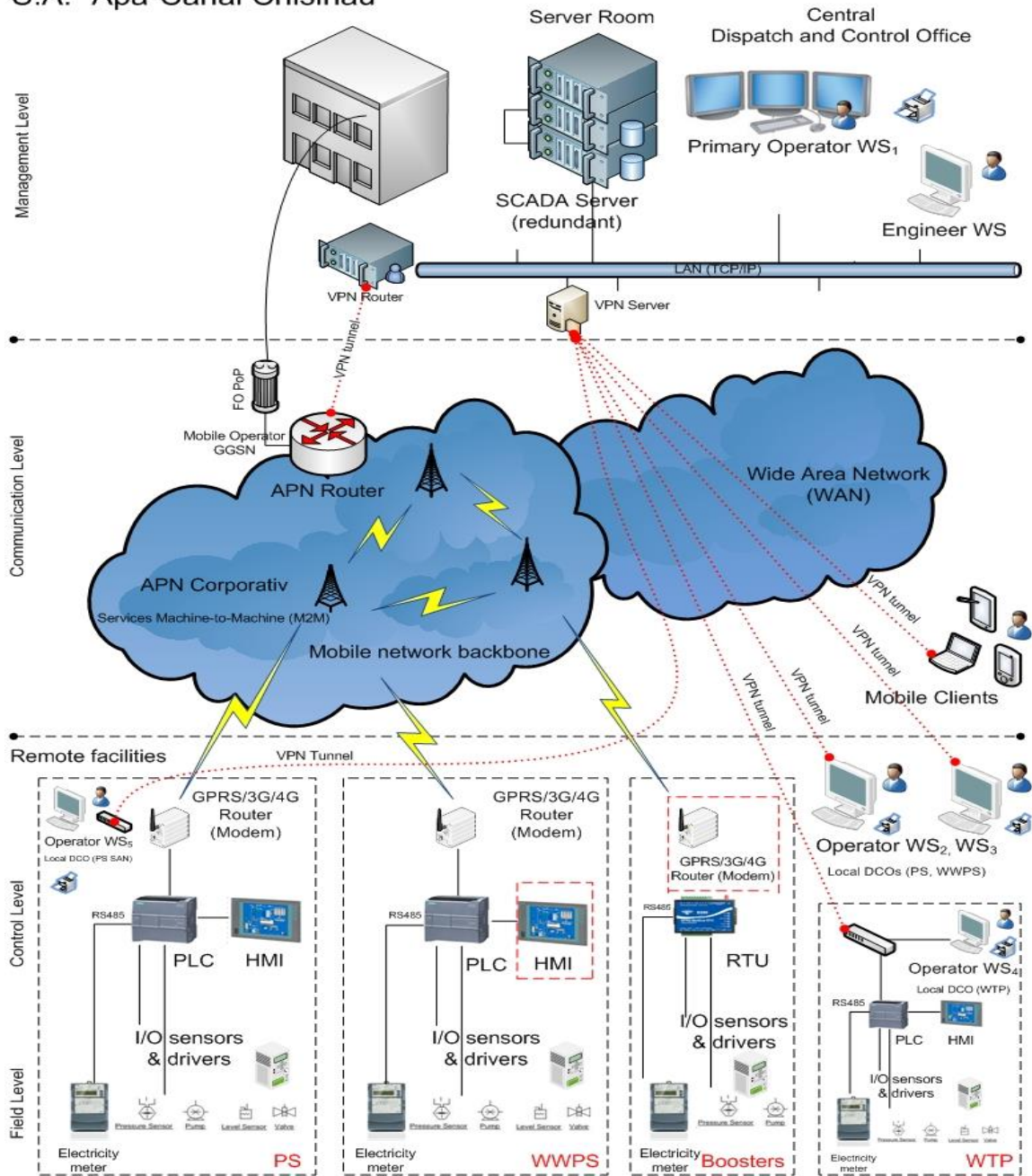


Fig. 4.2. Arhitectura de rețea și schema de comunicare propusă pentru noul sistem SCADA la "Apă-Canal Chișinău" [140].

Arhitectura propusă este divizată în trei nivele ierarhice:

- Nivelul de sus pentru procesarea, stocarea și managementul datelor;
- Nivelul intermediar – mediile de comunicație;
- Nivelul de jos – componentele teleghidate, amplasate direct pe obiectele de comandă.

Nivelul de sus prezintă rețeaua locală a companiei ”Apă-Canal Chișinău”, care include serverele de procesare și stocare a datelor, calculatoarele centrului de dispecirizare și comandă, un server VPN pentru conexiunea cu alte rețele externe și Internet, un router VPN pentru interacțiunea cu rețeaua de comunicație mobile, prin intermediul căreia se creează interacțiuni cu componentele teleghidate, distribuite teritorial. Date și parametri tehnici a echipamentului de la nivelul de sus sunt prezentate în anexe.

Nivelul de comunicație are două componente: WAN și așa numitul Mobile Backbone Network. În privința WAN, avem o abordarea tradițională pentru interacțiunea unei game largi de utilizatori ai companiei. Vom argumenta a doua componentă, care reflectă specificul obiectului dat de cercetare. Backbone network (conexiune digitală de mare viteză și de mare capacitate, care formează nucleul unei rețele locale sau largi) face parte din rețeaua de calculatoare, care interconectează diferite părți de rețea, oferind o cale de schimb de informații între diferite rețele LAN sau subrețele [33]. O backbone network poate lega diferite rețele în aceeași clădire, în diferite clădiri într-un mediu campus sau în zone largi. În mod normal, capacitatea Backbone network este mai mare decât rețelele conectate la ea. O corporație mare, după cum este ”Apă-Canal Chișinău”, care are multe locații, se propune rețeaua backbone, care leagă toate locațiile împreună, de exemplu, dacă un cluster de servere trebuie să fie accesat de diferite departamente, care se află în diferite locații geografice.

Argumentele de alegere a acestei soluții – conexiune prin Backbone network au fost următoarele funcționalități:

- **Agregarea:** cel mai înalt nivel de agregare într-o rețea de furnizori de servicii. Următorul nivel din ierarhia de sub nodurile principale este rețelele de distribuție și apoi rețelele de margine. Echipamentele la sediul clientului nu se conectează în mod obișnuit la rețelele centrale ale unui furnizor de servicii de mari dimensiuni.

- **Autentificare:** funcția de a decide dacă utilizatorul care solicită un serviciu din rețeaua de telecomunicații este autorizat să facă acest lucru în cadrul acestei rețele sau nu.

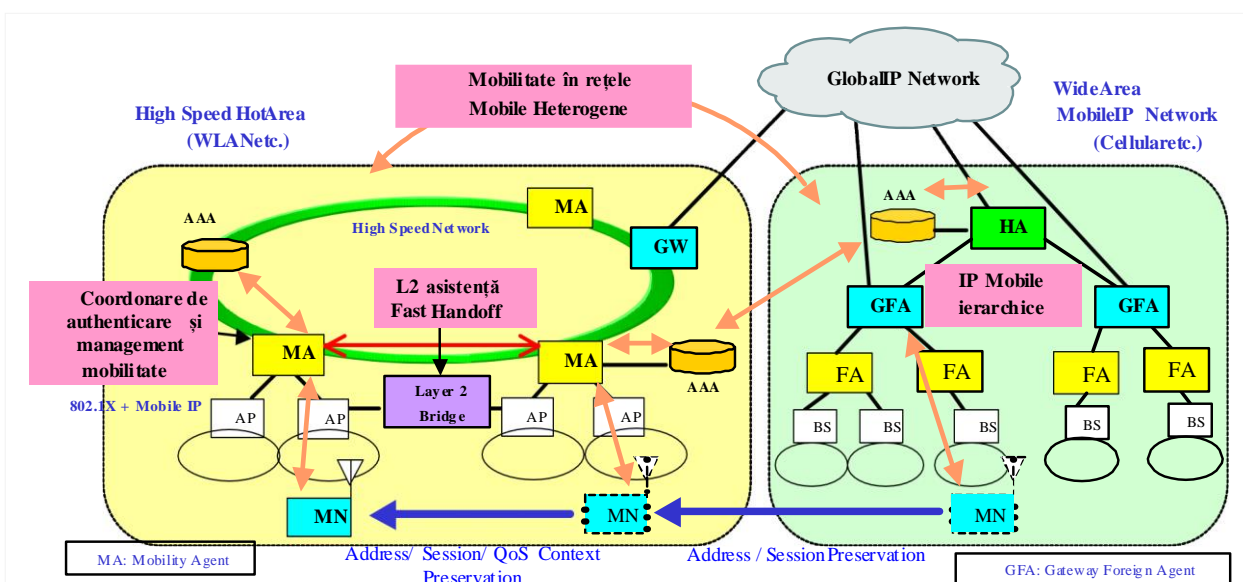
- **Apel de comandă/comutare:** funcția de control al apelului sau de comutare determină viitoarea cursă de apel pe baza procesării semnalizării apelului. De exemplu. funcționalitatea de comutare poate decide, pe baza "identificatorului apelat", că apelul va fi direcționat spre un abonat din rețeaua operatorului sau cu portabilitatea numerelor mai răspândită în rețeaua unui alt operator.

- **Serviciu de invocare:** Rețeaua centrală efectuează sarcina de invocare a serviciului pentru abonații săi. Invitarea serviciului poate avea loc pe baza unor acțiuni explicite (de exemplu, transfer de apeluri) de către utilizator sau implicit (apel în așteptare).

- **Gateway-uri:** Gateway-urile trebuie să fie prezente în rețeaua centrală pentru a accesa alte rețele. Funcționalitatea gateway-ului depinde de tipul de rețea cu care se face interfața.

Schema de aplicare a rețelei "backbone" pentru interacțiunea componentelor nivelului de sus cu componentele teleghidate de la stația de epurare din municipiul Chișinău este prezentată în fig. 4.3. Un punct de acces (APN) este poarta de intrare în rețeaua mobilă GSM, GPRS, 3G sau 4G, asistate de operatorii de comunicații mobile Moldcell/Orange/Moldtelecom creează un tunel VPN de interacțiune cu routerul VPN a rețelei de calculatoare de la nivelul de sus al sistemului.

Nivelul de jos al sistemului este realizat în strictă conformitate cu specificul stației de epurare din municipiul Chișinău și necesitatea de extindere. Vom desfășura în detaliu doar subsistemul pentru controlul procesului de epurare biologică a apelor uzate.



**Fig. 4.3. Schema de aplicare a rețelei "backbone" pentru interacțiunea componentelor nivelului de sus cu componentele teleghidate de la stația de epurare din mun. Chișinău.**

S-a propus un subsistem distribuit teritorial pe zona de epurare biologică, care este format din două nivele și include patru microcontrolere de tip PLC pentru controlul proceselor biologice de epurare, ținând cont de proprietățile nămolului activ: doza, vârsta, indicele de nămol, morfologie, etc., anexa 4.1. Sunt în jur de 18 indicatori și parametri care influențează eficiența epurării în complexul BANA + DS [4]. Deci, specificul acestor procese constă în variația continuă sezoniera, diurna și orară a debitului de apă uzată și a caracteristicilor acestuia, exprimate prin valorile parametrilor caracteristici poluării, dimensiunile reactoarelor chimice și biologice, precum

și interacțiunea apă uzată - proces unitar - echipament sunt elemente care subliniază gradul de dificultate al problemei epurării și controlului automat al procesului.

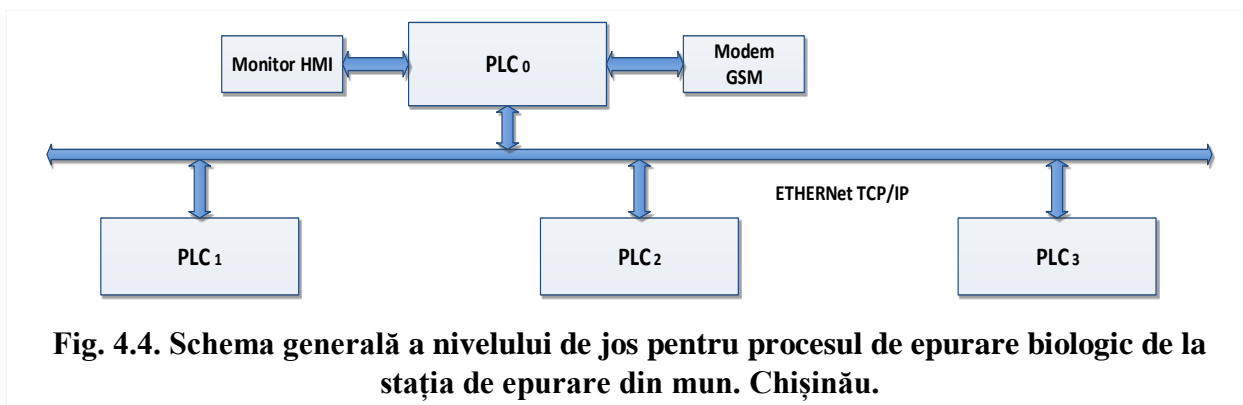
Argumentele în favoarea microcontrolerelor tip PLC sunt următoarele. Un microcontroler programabil logic (PLC) este un calculator digital industrial robust și adaptat pentru controlul proceselor de producție, cum ar fi linii de asamblare sau dispozitive robotizate sau orice activitate care necesită un control ridicat al fiabilității și o ușurință de programare și diagnosticarea defecțiunilor procesului. PLC au fost dezvoltate pentru prima oară în industria automobilelor pentru a oferi controale flexibile, robuste și ușor de programat pentru a înlocui relele, timerele și secvențele hard-wire. Principala diferență față de majoritatea dispozitivelor computerizate este aceea că PLC-urile sunt destinate și, prin urmare, tolerante - pentru condiții mai severe (cum ar fi praful, umiditatea, căldura, frigul), oferind în același timp o intrare/ieșire extensivă la senzori și activatoare. Intrarea PLC poate include elemente digitale simple cum ar fi comutatoare de limită, variabile analogice de la senzori de proces (cum ar fi temperatura și presiunea) și date mai complexe, cum ar fi cele din sistemele de poziționare sau de vizionare mecanică. Ieșirea PLC poate include elemente precum lămpi indicatoare, sirene, motoare electrice, cilindri pneumatici sau hidraulici, rele magnetice, solenoide sau ieșiri analogice. Aranjamentele de intrare/ieșire pot fi integrate într-un PLC simplu, sau PLC-ul poate avea module externe intrare/ieșire atașate la o rețea de calculatoare care se conectează la PLC.

Din punct de vedere a teoriei de comandă automată, procesul de epurare biologică a apelor uzate se prezintă ca un sistem cu următoarele: seturi de intrări și ieșiri; perturbații; variabile de acționare; restricții.

În aplicațiile actuale de control și automatizare a menținerii procesului de epurare biologică în echilibru este realizată în baza reguletoarelor cu acțiune proporțională – integrală - diferențială (PID) (cercetate în capitolul 3). Aceste reguletoare, fiind concepute pentru sistemele liniare, invariante în timp, algoritmi PID sunt realizați în formă discretă pe microcontrolere (partea de achiziție date și acționare) și partea decizională pe servere. Această soluție poate ține sub control procese destul de rapide cu timp de reacție mai mici de secundă, dar mai important este flexibilitatea sistemului și ajustarea operativă a reglării proceselor.

Pe prim plan este microcontrolerul PLC<sub>0</sub>, ce are funcția de coordonator la acest nivel, e realizat ca server local, prin care se stabilește conexiunea/comunicația cu nivelul superior, la fel asigură interacțiunea cu operatorul la nivel local Prin intermediul canalului Ethernet va interacționa cu microcontrolerele PLC<sub>1</sub> – PLC<sub>3</sub> în baza protocolului TCP/IP (fig. 4.4).

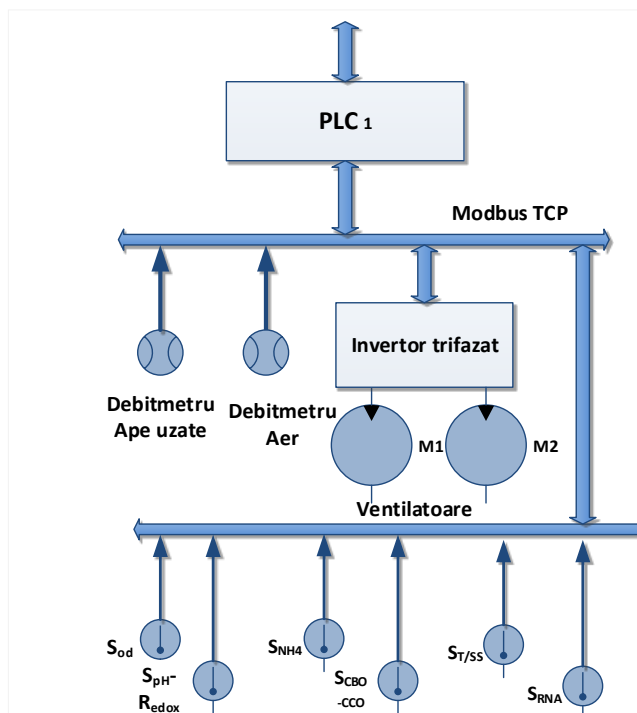




Microcontrolerul PLC<sub>1</sub> are funcția de control al bazinului de aerare în procesul de epurare biologică. Subsistemul de achiziție de date cuprinde următorul set de senzori (fig.4.5): S<sub>od</sub> – senzor concentrația oxigenului dizolvat; D<sub>a.u.</sub> - debitmetru de apă uzată; S<sub>pH/R<sub>edox</sub></sub> - senzor combinat pentru determinarea potențial redox și pH; S<sub>NH<sub>4</sub></sub> - senzor concentrația de amoniu; S<sub>CB<sub>0</sub>/CC<sub>0</sub></sub> - senzor concentrația de substanțe organice; S<sub>T/SS</sub> - senzor turbiditate/suspensii solide; D<sub>a</sub> - debitmetru de aer; S<sub>RNA</sub> - senzor respirație a nămolului activ; D<sub>nar</sub> - debitmetru nămol activ recirculat; D<sub>nae</sub> - debitmetru nămol activ exces; S<sub>nm</sub> - senzor de nivel al nămolului.

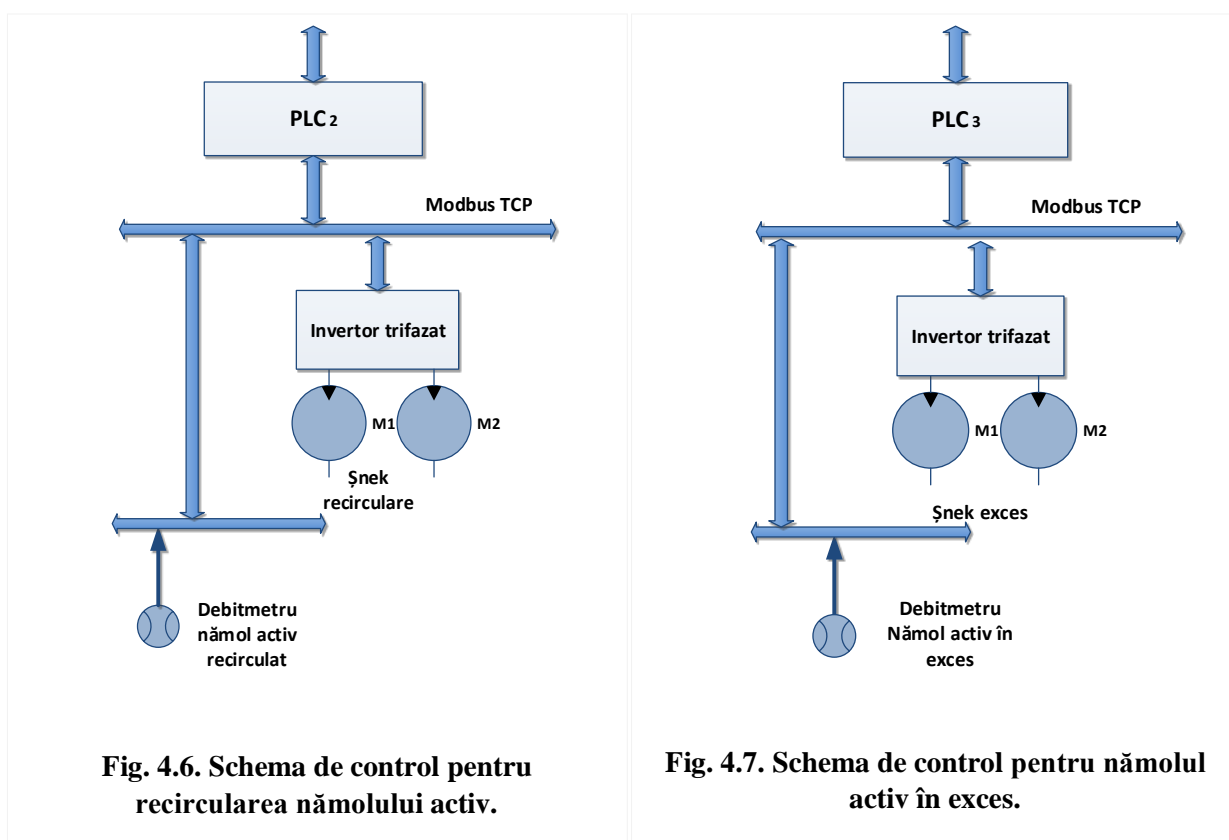
În anexa 4.2 sunt prezentate date inițiale pentru caietul de sarcini la automatizarea proceselor tehnologice pentru alegerea senzorilor pentru monitorizarea parametrilor la stația de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău.

Măsurarea online a oxigenului dizolvat în bazinele de aerare este esențială pentru funcționarea eficientă a instalației. Costurile energetice ale aerării apelor uzate adesea reprezintă 50% din costurile de funcționare ale stației de epurare, astfel ca orice deviere sau inexactitate a măsurătorii duce la mari pierderi. Pentru a baza controlul suflantelor pe niște analizoare online de oxigen dizolvat acestea trebuie să fie fiabile, robuste și fără deviații în măsurare. În cazul ideal ele ar trebui să fie fără întreținere, un aspect costisitor ce trebuie avut permanent în vedere de către deținătorii de analizoarele de oxigen dizolvat. Elementul de detectare (lumiphorul) este activat sau excitat



**Fig. 4.5. Schema subsistemului pentru controlul bazinului de aerare.**

când este iluminat cu o lumină albastră. Când este activată, lumiphorul emite lumina roșie într-o intensitate, care este invers proporțional cu cantitatea de oxigen prezentă în apă. Există, de



asemenea, o întârziere de timp între emisia de vârf de albastru răspunsul la lumină și vârf al luminii roșii fluorescente. Durata de întârziere este invers proporțională cu cantitatea de oxigen prezent. Această întârziere poate fi exprimată ca o schimbare de fază între formele de unde ale luminii albastre incidente și lumină fluorescentă. Aceasta este, la rândul său, raportată de electronică într-o concentrație mg/l de oxigen dizolvat.

Microcontrolerul PLC<sub>2</sub> și PLC<sub>3</sub> are funcția de monitorizare și de control al decantorului: aceste microcontrolere măsoară debitul de nămol recirculat și în exces, acționează șnek-urile pentru recircularea și excesul nămolului, prin intermediul invertoarelor de curent trifazat (fig.4.6, 4.7).

### 4.3. Sistemul SCADA al stației de epurare biologică a apelor uzate din mun. Chișinău

După cum s-a menționat în compartimentul 4.2 proiectul de modernizare a sistemului de alimentare cu apă și canalizare a capitalei, având ca scop eficientizarea lor, inclusiv reabilitarea stației de epurare a apelor uzate din capitală - „Programul de dezvoltare a serviciilor de alimentare cu apă din Chișinău” necesită o abordare modernă de automatizare a proceselor respective. O sarcină deosebită este pe latura softului sistemul SCADA al procesului de epurare.

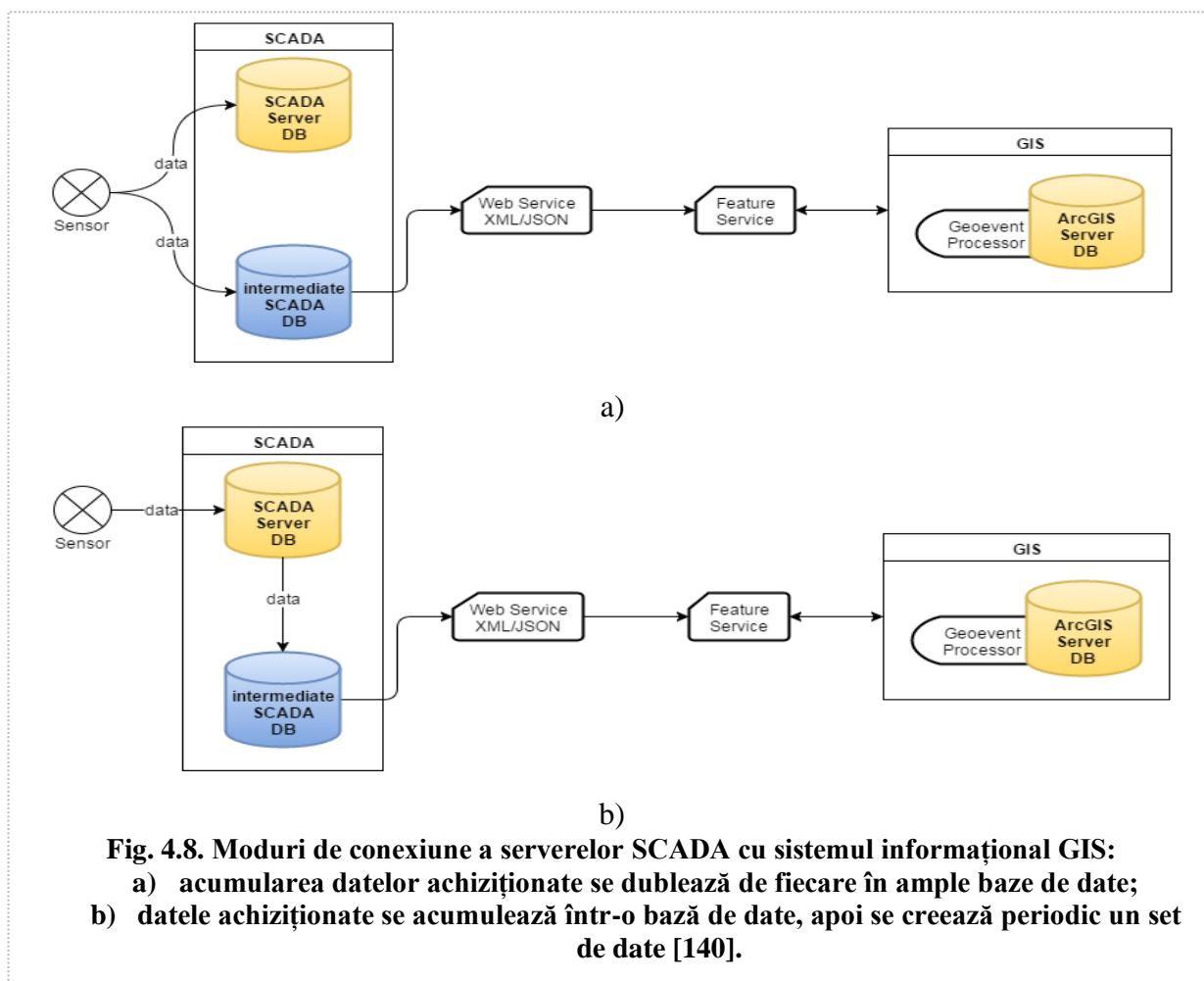
În continuare vom propune soluții de elaborare a softului pentru nivelul de sus, care prezintă rețeaua locală a întreprinderii ”Apă-Canal Chișinău”, ce include serverele de procesare și stocare a datelor și pentru nivelul de jos – microcontrolerele de comandă PLC. Referitor la nivelul intermediar, acesta reprezintă mediile de comunicații, care vor înzestrate cu softul producătorilor serviciilor Internet.

#### 4.3.1 Elaborarea conexiunii BD SCADA cu sistemul informațional GIS.

Sisteme de epurare sunt obiecte teritoriale distribuite, prin urmare amplasamentul acestor obiecte pot influența semnificativ deciziile operatorului. Să analizăm următoarele moduri de conexiune a serverelor SCADA cu sistemul informațional GIS (fig. 4.8):

- a) Acumularea datelor achiziționate se dublează de fiecare în ample baze de date;
- b) Datele achiziționate se acumulează într-o bază de date, apoi se creează periodic un set de date.

Prima variantă presupune acumularea concomitentă a tot setului de date, ceea ce necesită accesul dublu de către ambele servere la controlerele de nivel jos. Prin urmare, fiabilitatea datelor va fi înaltă, însă sarcina de lucru va fi dublată.



**Fig. 4.8. Moduri de conexiune a serverelor SCADA cu sistemul informațional GIS:**  
**a) acumularea datelor achiziționate se dublează de fiecare în ample baze de date;**  
**b) datele achiziționate se acumulează într-o bază de date, apoi se creează periodic un set de date [140].**

A doua variantă presupune doar selectarea periodică a setului de date necesare pentru GIS și retransmiterea lor în BD GIS. În această variantă sarcina de lucru este esențial diminuată, iar fiabilitatea datelor nu are să fie deteriorată, ținând cont de fiabilitatea serverelor, la fel și a controlerelor industriale.

Pentru a realiza această conexiune cu GIS recomandăm să se creeze o bază de date, care să stocheze valorile măsurate de SCADA principale. Pentru a permite colectarea de date din puncte de măsurare din baza de date SCADA, trebuie să se creeze o bază de date tip deschis (bazată pe modelul de bază de date relațional RDBMS, cum ar fi MySQL, MS SQL Server, PostgreSQL) cu toate valorile exportate necesare punctelor de măsurare. Volumul datelor exportate se va coordona cu administratorul SCADA în etapa de implementare. Pentru dezvoltarea viitoare a aplicației GeoEvent Extension, software-ul SCADA trebuie să permită următoarele protocoale de comunicare, care va asigura o interacțiune eficientă:

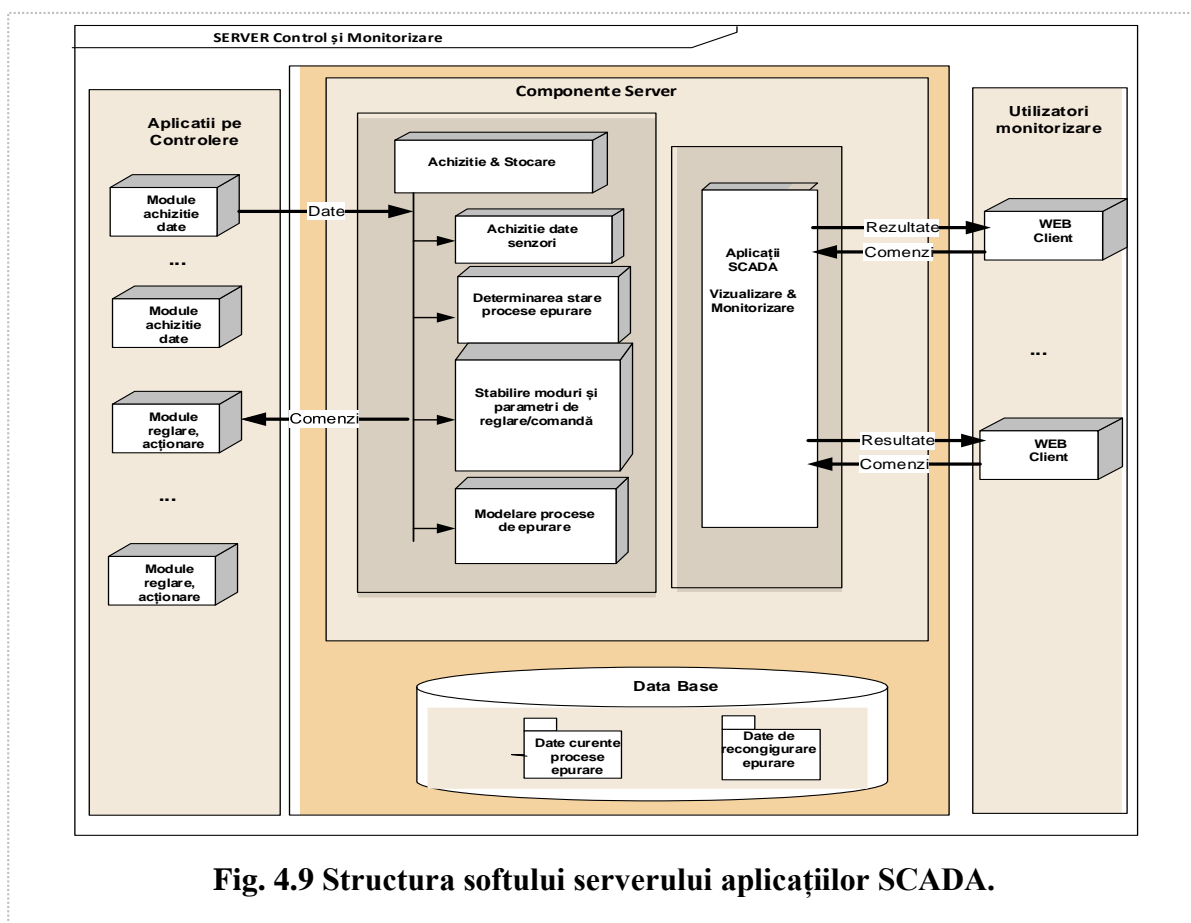
- MQTT; - XML; - ActiveMX; - Common Altering Protocol;
- Sierra Wireless RAP; - Socket; - WebSocket.

#### **4.3.2 Elaborarea structurii softului pentru serverul aplicațiilor SCADA**

Serverul de aplicații SCADA are misiunea să asigure operatorii stației de epurare cu informație operativă despre procesele care decurg în timp real. Din aceste considerente softul serverului pentru aplicații SCADA se propune a fi format din:

- o aplicație grafică de bază în plan de fond cu un set interfețe auxiliare pentru monitorizare interactivă, care trebuie realizate ca aplicații de tip WEB, pentru a fi accesate de la distanță de către mai mulți utilizatori;
- un set de aplicații operative, care vor asigura achiziția operativă a datelor de la toate subsistemele/controlerelor PLC, prelucrarea lor intermediară și stocarea în baza de date operativă. La fel, în cadrul acestui set vor fi și aplicațiile, care vor transmite comenzi pentru intervenții în procese.
- baza de date curentă, care va conține valorile curente a tuturor parametrilor proceselor de la fiecare etapă de epurare, date despre configurație curentă și starea echipamentului de epurare și de comandă/acționare.

Interacțiunea componentelor acestui soft se va derula după schema propusă în p. 3.4, fig. 3.24, adică componentele serverului vor obține datele de la nivelurile inferioare în timp real la solicitarea aplicațiilor de monitorizare SCADA.



**Fig. 4.9 Structura softului serverului aplicațiilor SCADA.**

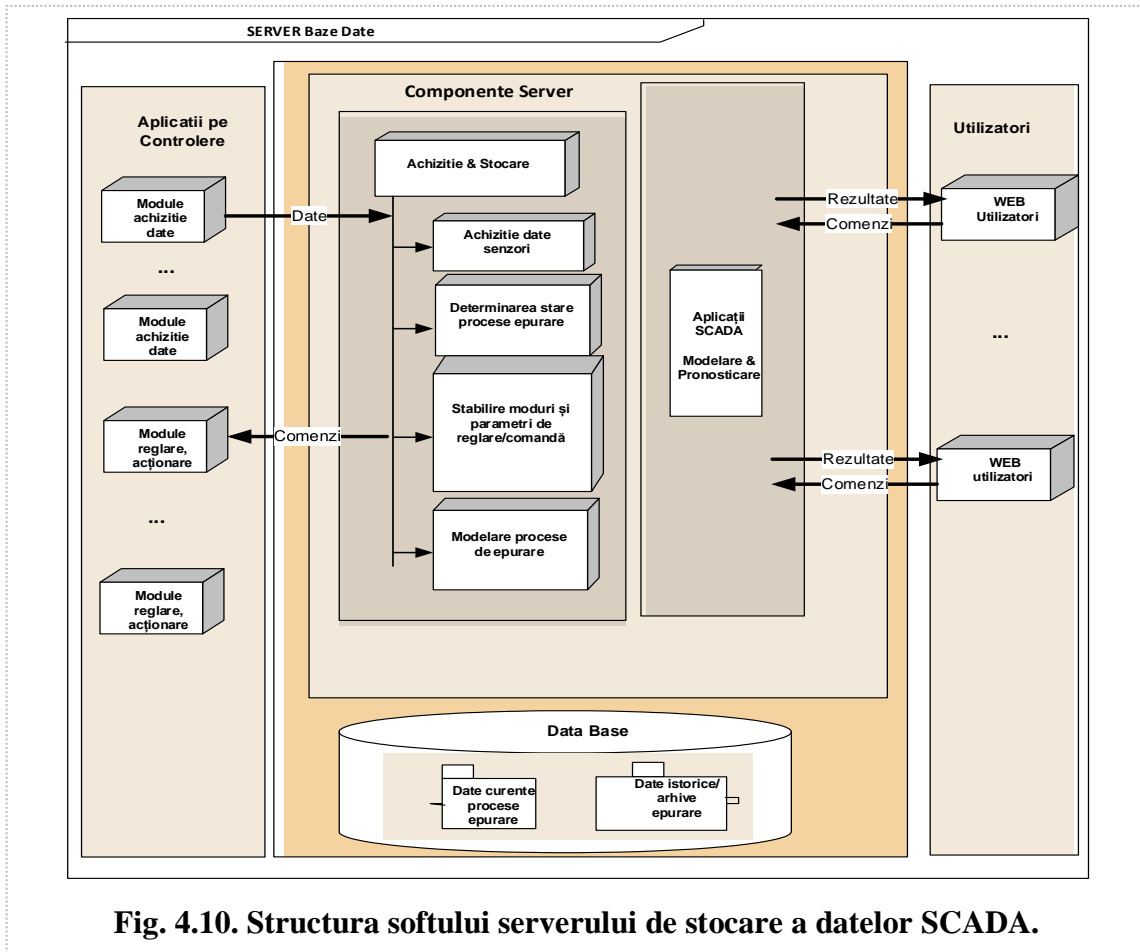
### 4.3.3 Elaborarea structurii softului pentru serverul de stocare a datelor SCADA

Serverul de stocare date SCADA are misiunea de acumula/stoca datele proceselor de epurare și crearea datelor istorice. Din aceste considerente softul serverului de stocare SCADA se propune a fi format din:

- o aplicație de bază în plan de fond pentru depozitarea datelor și crearea arhivelor istorice;
- alte aplicații în plan de fond pentru modelarea și pronosticarea stării proceselor;
- un set de aplicații operative, care vor asigura achiziția periodică a datelor de la toate subsistemele/controlerile PLC, prelucrarea lor intermediară.
- baza de date curentă, care va conține valorile curente și istorice a tuturor parametrilor proceselor de la fiecare etapă de epurare, date despre configurație și starea echipamentului de epurare și de comandă/acționare.

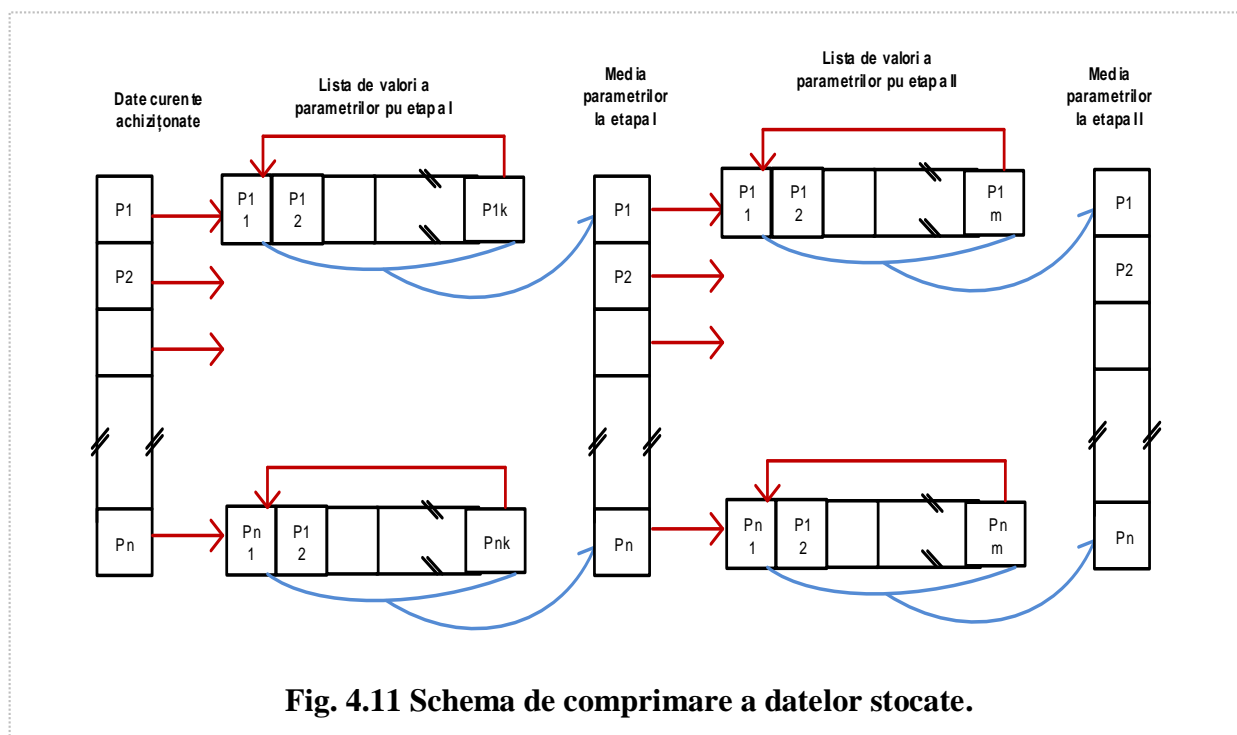
Interacțiunea componentelor acestui soft se va derula după schema propusă în p. 3.4, fig. 3.25, adică componentele serverului vor obține datele de la nivelurile inferioare în timp real, dar în mod ritmic, determinat de administratorul sistemului SCADA.

Având resurse satisfăcătoare de calcul, serverul stocare date SCADA oferă posibilitatea de a face comprimarea datelor achiziționate pentru a determina pe de o parte trendul lor, pe altă parte, de a forma un ”tablou” adecvat al acestor date pe o perioadă de durată lungă (zile, săptămâni, posibil și luni). Ideea compresiei nu este în stil clasic de arhivare, ci în baza datelor curente (de exemplu, o minută) se determină o valoare medie, posibil și extremele pentru acea perioadă, apoi în baza unei set de date de acest fel, se comprimă pentru o perioadă mai mare.



**Fig. 4.10. Structura softului serverului de stocare a datelor SCADA.**

Se propune următoarea schema de comprimare a datelor (fig. 4.11). Procesul de achiziție date obținute periodic valorile curente de la toți senzorii amplasați pe etape, care se acumulează în PLC și formează vectorul  $P_{curent} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ . Procesul de compresie formează listele de valori pentru etapa I (de regulă, pe perioada 24 ore) cu anumită periodicitate, de exemplu 5/10/15 min și se obțin valorile medii la fiecare parametru pentru etapa data:  $P_{eI} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ .



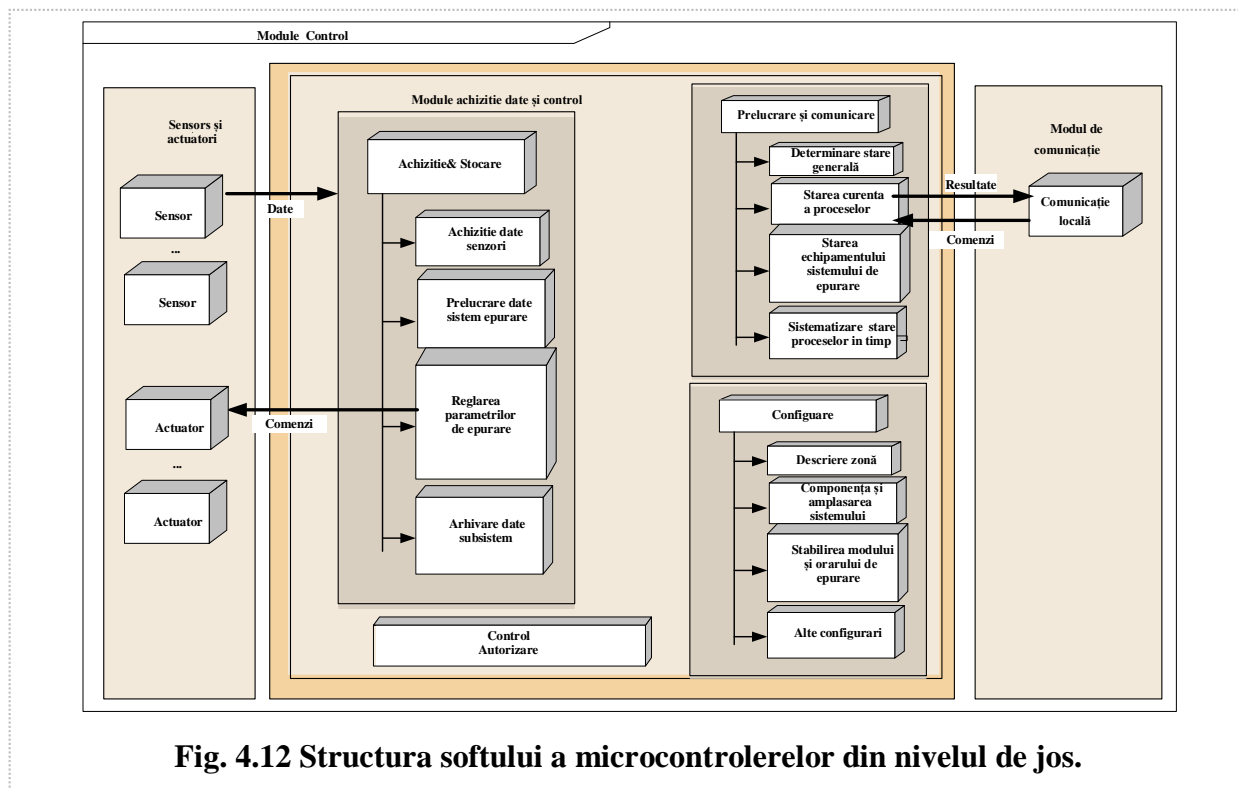
**Fig. 4.11** Schema de comprimare a datelor stocate.

#### 4.3.4 Elaborarea structurii softului pentru microcontrolerele PLC

Arhitectura sistemului SCADA pentru procesul de epurare biologică include un set de microcontrolere, care interacționează nemijlocit cu procesele fizice. Dat fiind faptul, că sunt diferite microcontrolere, care supraveghează diverse etape, este rațional de elaborat un soft cu o structură unificată, dar cu posibilitatea de reconfigurare pentru fiecare situație. Aceasta va da posibilitatea de modernizare mai eficientă, care este inevitabilă la implementarea SCADA.

Se propune următoarea structură pentru toată gama de microcontrolere din nivelul de jos SCADA (fig. 4.12):

- Set de proceduri de achiziție de date, care pot fi de diferite tipuri și moduri de interacțiune (debitul de apă uzată –  $Q$ ; nivelul de poluarea influentului –  $x_e$ ; reactivi chimici folosiți în proces –  $r$ ; energie termică/electrică pentru menținerea procesului);
- Proceduri de prelucrare preliminară cu scopul filtrării erorilor și perturbațiilor;
- Set de proceduri de reglare a proceselor cu parametri configurabili de la nivelul de sus (aplicațiile server SCADA);
- Set de proceduri de acționare a supapelor, motoarelor, pompelor, ventilatoarelor.
- Set de proceduri de sistematizare, determinare stare a echipamentului, utilajului de epurare;
- Set de proceduri de comunicație locală pe bază de protocoale tip Modbus, LIN, ș.a.
- Set de proceduri pentru configurarea teleghidată a controlerului.



**Fig. 4.12 Structura softului a microcontrolerelor din nivelul de jos.**

#### 4.3.5 Elaborarea structurii interfețelor grafice SCADA ”epurare biologică”.

În compartimentul 3.4.2 s-au formulat cerințele de bază față de interfața SCADA pentru procesul de epurare biologică din stația de epurare a mun. Chișinău unde vor fi reflectate componentele stației la fiecare etapă de epurare, având etichete cu starea componentelor și parametrilor proceselor. În situații nestandard pot apărea ferestre auxiliare cu descrierea situației și cu solicitări de intervenție a operatorului în proces. Această interfață este direct legată de aplicațiile de monitorizare ale serverului SCADA și va fi la fel configurată în baza descrierii componentei stației de epurare. Interfață va reflecta specificul stațiilor de epurare biologică a apelor uzate, pentru monitorizarea eficientă a proceselor de epurare și activitățile de acționare/tastare necesare pentru executarea funcțiilor trebuie minimizate.

#### 4.4. Concluzii la Capitolul 4

1. Realizarea lucrărilor de cercetare teoretică și experimentare, de elaborare a metodelor de reglare a procesului de epurare biologică stau la baza proiectului de renovare a stației de epurare biologică din Chișinău, ceea ce va aduce beneficii mediului și sănătății publice în conformitate cu Strategia de alimentare cu apă și sanitație, aprobată de Guvern pentru toate



localitățile din Moldova, susținut de Banca Europeană de Investiții (BEI) în Republica Moldova.

2. Evaluarea teoretică și experimentală a cercetărilor în procesul de epurare biologică prezintă baza caietului de sarcini la proiectarea arhitecturii sistemului informațional de monitorizare tip SCADA pentru stațiile de epurare din municipiul Chișinău.
3. S-au elaborat structurile softului atât la nivel superior, cât și inferior și au fost recomandate spre implementarea lor pe serverele SCADA, cât și microcontrolerele PLC din nivelul de interacțiune cu procesul de epurare.
4. S-a abordat problema și identificat soluții de perfectare a interfeței sistemului informațional SCADA pentru a eficientiza interacțiunea personalului în procesul de epurare.
5. În perspectiva dezvoltării sistemului SCADA pentru procesele de epurare se propune implementarea sistemelor de dezvoltare/elaborare a softului reguletoarelor fuzzy cu ajutorul mediilor grafice tip LabView de către personalul din domeniul dat și implementarea lor operativă, ceea ce va conduce la majorarea eficienței și flexibilității procesului de epurare a apelor uzate.

## CONCLUZII FINALE ȘI RECOMANDĂRI

Cercetarea realizată a dezvoltat teoria și practica prin fundamentarea studiului actual privind procesele de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ. Valorile cele mai importante ale cercetării sunt sintetizate în următoarele concluzii:

1. Prin analiza retrospectivă a evoluției proceselor de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ s-a demonstrat că într-o stație de epurare pot apărea evenimente nedorite, datorită multitudinii de parametri de natură diferită ce apar în procesul de epurare și pot produce paralizarea procesului de epurare, defectarea instalațiilor sau avaria sistemului și încetarea aptitudinii unui sistem tehnic de a-și îndeplini corect funcțiile (Capitolul 1) [3, 10, 13, 14, 15].
2. Analizând stadiul actual al Stației de epurare biologică a mun. Chișinău, s-a dedus că, din punct de vedere tehnic este una învechită. Cu toate acestea, SEB din mun. Chișinău continuă să lucreze și îndeplinește o sarcină social-ecologică foarte importantă prin asigurarea în totalitate epurarea apelor uzate menajere și industriale a mun. Chișinău. În cadrul stației de epurare, încă nu este sistem de gestionare operațională a instalațiilor, în special, a procesului biologic de epurare, pentru care este necesară dotarea instalațiilor cu echipamente de măsurare, control/dirijare și înregistrare a calității apei uzate la intrare și ieșire din proces. De asemenea, este necesar să se creeze un sistem de gestionare și control bazat pe utilizarea calculatoarelor pentru care, să se înceapă programarea și acumularea unei baze de date (Capitolul 1) [7, 54, 55];
3. Analiza parametrilor tehnologici ai complexului de epurare a SEB mun. Chișinău permite de a confirma, că nu există un sistem de gestionare automatizată a parametrilor tehnologici ai proceselor de epurare (*doza de nămol activ, gradul de recirculare, indicele volumetric de nămol, încărcarea organică a nămolului activ, vârsta nămolului activ, biomasa, necesitatea de oxigen, timpul de aerare, gradul de epurare, temperatura și încărcarea hidraulică a bazinelor de aerare*) și parametrilor de funcționare a instalațiilor (*debitul de ape uzate, variația zilnică, numărul de instalații, intensitatea de aerare, timpul de retenție, încărcarea organică, consumul de energie*) (Capitolul 2) [6, 10].
4. Monitorizarea parametrilor proceselor de epurare poate fi reprezentată printr-un sistem de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție care are în vedere evaluarea sistematică a dinamicii caracteristicilor calitative ale poluanților din apa uzată. Restructurarea și modernizarea stației de epurare a apelor uzate se propune prin promovarea unor tehnologii de reglare automată modernă, care să asigure satisfacerea performanțelor impuse prin proiectare, care în ultimele decenii au fost dezvoltate diferite metode de proiectare a

tehnicilor avansate de conducere, printre care un rol deosebit îl au reglatoarele predictive și reglatoarele fuzzy (Capitolul 3) [4, 55, 54].

5. Evaluarea teoretică și experimentală a cercetării în procesul de epurare biologică prezintă baza de date (caietul de sarcini) la proiectarea arhitecturii sistemului informațional de monitorizare tip SCADA pentru stația de epurare a mun. Chișinău. Elaborarea conceptului de gestionare automatizată a procesului de epurare biologică vor sta la baza proiectului de renovare a SEB din mun. Chișinău, ceea ce va aduce beneficii mediului și sănătății publice în conformitate cu *Strategia de alimentare cu apă și sanitație 2014-2030*, aprobată de Guvern pentru toate localitățile din Moldova, susținut de Banca Europeană de Investiții (BEI) în Republica Moldova (Capitolul 4) [5, 54, 56].

## RECOMANDĂRI

1. Implementarea unor modele matematice mai eficiente, care să descrie procesul de epurare biologică a apelor uzate cu nămol activ și dezvoltarea unor strategii de control bazate pe control avansat cuplat cu optimizare, pentru a reduce din costurile de operare și îmbunătățirea calității efluentului.
2. Crearea unui sistem informatic în Stația de epurare a apelor uzate a mun. Chișinău, pentru a menține parametri tehnologici optimi ai complexului de epurare biologică, respectând gradul de epurare al apelor uzate, cu monitorizarea parametrilor proceselor de epurare printr-un sistem de măsurare, supraveghere, avertizare și intervenție, care va avea în vedere evaluarea sistematică a dinamicii caracteristicilor calitative ale poluanților din apa uzată.
3. În perspectiva dezvoltării sistemului SCADA pentru procesele de epurare se propune implementarea sistemelor de dezvoltare/elaborare a softului reglatoarelor fuzzy cu ajutorul mediilor grafice tip LabView de către personalul din domeniul dat și implementarea lor operativă, ceea ce va conduce la majorarea eficienței și flexibilității procesului de epurare.
4. Crearea unei baze de date și unui sistem flexibil de control al funcționării instalațiilor din procesul de epurare biologică, în special în condiții neregulate de intrare și ieșire a apelor uzate și cu grad diferit de poluare.

## BIBLIOGRAFIE

- 1 *Anuarul statistic al Republicii Moldova = Statistical Yearbook of the Republic of Moldova*: - Chișinău; Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova, 2018. 465 p.: ISBN 978-9975-53-929-6.316+338(478).
- 2 AL MOMANI, W., UNGUREANU, D. *Probleme și realizări în domeniul epurării apelor uzate orășenești și tratării nămolurilor*. În: Materialele Seminarului Internațional UNESCO „Managementul resurselor de apă în condițiile unui mediu vulnerabil”: 20-23 noiembrie 2001, Chișinău: Editura Universul, 2002, p.93-105.
- 3 CIOBANU, N. *Probleme de dirijare a stației de epurare*. În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2012, vol.3, p.70-76. ISBN 978-9975-71-316-0.
- 4 CIOBANU, N., SECRIERU, N. *Procedee și algoritmi de control automatizat ale procesului de epurare a apelor uzate*. În: Publicație tehnico-științifică și aplicativă ”Meridianul ingineresc”, ediția 3 – 2016, p. 28-35. ISSN 1683-853X; (Revista națională, categoria C).
- 5 CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONETȚ, I. *Eficiențizarea energetică a stațiilor de epurare a apelor uzate*, În: a 50-a Conferință jubiliară de instalații „Instalații pentru începutul mileniului trei – creșterea performanței energetice a clădirilor și a instalațiilor aferente”, 14-16 octombrie 2015, Sinaia: Romania, V.2, p.625-635. ISBN: 978-606-25-0200-3.
- 6 CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONETȚ, I., CALOS, S., BALMUȘ, L., BRICEAG O. *Tehnologii avansate de epurare biologică a apelor uzate*. În: Conferința internațională „Totul pentru o apă curată”, ediția a III-a, Pitești: România. 17-18 mai 2012. p.111-116, ISSN 2069-1572.
- 7 CIOBANU, N. *Probleme de informatizare a dirijării funcționării bazinelor de aerare cu nămol activ*. În: Conferința tehnico - științifică cu participare internațională „Instalații pentru construcții și economia de energie”, ediția a XXI-a, Iași: România, 7-8 iulie 2011, p.265-272. ISSN 2069-1211.
- 8 CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONETȚ, I., CALOS, S., BALMUȘ, L., BRICEAG, O. *Tehnologii avansate de epurare biologică a apelor uzate*. În: Conferința tehnico-științifică cu participare internațională „Instalații pentru construcții și economia de energie”, ediția a XXI-a, Iași: România, 7-8 iulie 2011, p.179-184. ISSN 2069-1211.
- 9 CIOBANU, N., UNGUREANU D. *Soluții moderne pentru stații de capacitate mică pentru epurarea apelor uzate comunale*. În: Culegere de articole Conferința Tehnico-Științifică cu participare Internațională „Energie, Eficiență, Ecologie și Educație”, ediția a IV-a, 27-29 aprilie 2017, Chișinău: pag.248-256. ISBN 978-9975-71-900-1, CZU 628+620.9(082)=135.1=161.1.
- 10 CIOBANU, N. *Structura și funcțiile stațiilor de epurare a apelor uzate*. În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2016, v.II, p.96-101. ISBN 978-9975-71-849-3.
- 11 CIOBANU, N., UNGUREANU, D., ANGHELUȚĂ, V., VÎRLAN, V. *Mini stație de epurare biologică a apelor uzate cu funcționare ciclică (BSC Radial Plus)*. În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”. Chișinău: 2016, v.II, p.206-213. ISBN 978-9975-71-849-3.
- 12 CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONETȚ, I., ISAC, E., NEAGU, M. *Economia de energie în stațiile de epurare a apelor uzate*. În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2014, v.1, p.208-213. ISBN 978-9975-71-581-2.

- 13 **CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONET, I.** *Sisteme de canalizare și epurare a apelor uzate din localitățile rurale și suburbane (până la 10 mii de locuitori).* În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2014, v.1, p.198-207. ISBN 978-9975-71-581-2.
- 14 **CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONET, I.** *Proiectarea rațională a stațiilor de epurare mici D.P.D.V. al criteriilor dezvoltării durabile.* În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2014, v.1, p.187-197. ISBN 978-9975-71-581-2.
- 15 **CIOBANU, N.** *Starea stațiilor de epurare a apelor uzate.* În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2014, v.1, p.162-168. ISBN 978-9975-71-581-2.
- 16 **CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONET, I.** *Influența factorilor tehnologici asupra fermentării anaerobe.* În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2012, v.3, p.83-88. ISBN 978-9975-71-316-0.
- 17 **CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONET, I., CONTAȘEL, M.A., VÎRLAN, L.** *Influența factorilor de mediu asupra fermentării anaerobe.* În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2012, v.3, p.89-95. ISBN 978-9975-71-316-0.
- 18 **CIOBANU, N., UNGUREANU, D., IONET, I., CALOS, S., ISAC, E.** *Bioreactoare cu membrane pentru epurarea apelor uzate.* În: Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2012, v.3, p.156-170. ISBN 978-9975-71-316-0.
- 19 DIMA, M., *Epurarea apelor uzate urbane.* Iași: Editura Junimea. 1998, 526 p.
- 20 IANCULESCU, O., IONESCU, Gh., RACOVÎȚEANU, R. *Epurarea apelor uzate,* Editura. București: 2001. 247 p. ISBN 973-685-333-0.
- 21 NEGULESCU, M. *Epurarea apelor uzate orășenești.* București:1978, Editura tehnică, 480 p.
- 22 NEGULESCU, CORNELIU A.L. *Prelucrarea și valorificarea nămolurilor rezultate din epurarea apelor uzate orășenești, industriale și din zootehnie.* București: AgroTehnica, 2006, 233 p. ISBN (10) 973-87716-1-7; ISBN (13) 978-973-87716-1-1.
- 23 NEGULESCU, M., SECARĂ, E. *Exploatarea instalațiilor de epurare a apelor uzate.* Craiova: Editura Tehnică, 2009. 187 p.
- 24 OGNEAN, T., VAICUM, L. *Modelarea proceselor de epurare biologică.* București: Editura Acad., 1987. 227 p.
- 25 POPELKA, A., BOER, A. *Ghidul exploatării eficiente a sistemelor de apă și canalizare.* Chișinău: 2006, Prospect-Print SRL. 195 p. ISBN 978-9975-9990-1-4.
- 26 *Protecția, tratarea și epurarea apelor.* Curs postuniversitar de perfecționare. Vol. III, Partea III: Epurarea apelor uzate și prelucrarea nămolurilor. București: ICPGA, 1976. 338 p.
- 27 ROJANSCHI, V., OGNEAN, T. *Cartea operatorului din stații de tratare și epurare a apelor.* București: Editura Tehnică, 1989. 450 p.
- 28 ROJANSCHI, V. *Cartea operatorului din stațiile de tratare a apelor.* – București: Editura Tehnică, 1996. – 288 p.
- 29 ROJANSCHI, V. *Protecția și ingineria mediului.* București: Editura Economică, 1997. 368 p.
- 30 ROBESCU, D., ș.a., *Controlul automat al proceselor de epurare a apelor uzate.* București: Editura tehnică, 2008. 389 p.

- 31 ROBESCU, D. *Modelarea proceselor biologice de epurare a apelor uzate*. București: Editura Politehnica, 2009. 244 p. ISBN:978-606-515-021-8.
- 32 ROBESCU, D., SZABOLCS, L., VERESTOY, A., ROBESCU, D. *Modelarea și simularea proceselor de epurare*. București: Editura Tehnică, 2004. 414 p. ISBN 973-31-2241-6.
- 33 SECRIERU, N., CARAULEAN, V. *Distributed microcontrollers network for thermo – and electro power station decentralized control*. Proceeding of ICMCS-2002. Chișinău:2002
- 34 TOBOLCEA, V., UNGUREANU, D. *Managementul apelor uzate: Partea 1*. Iași: Inst. Politehnic, 1993. 111 p.
- 35 TOBOLCEA, V., CREȚU V., TOBOLCEA C. *Tratarea apelor uzate: scheme tehnologice*. Iași: PIM, 2010. 207 p. ISBN 978-606-520-843-8.
- 36 UNGUREANU, D. *Eliminarea nutrienților din apele uzate la stațiile de epurare din localitățile canalizate*. REC – Moldova, ONG „Ecoinginerie”. Chișinău: Bons Offices, 2005. 72 p. ISBN 9975-928-80-3.
- 37 UNGUREANU, D. *Probleme actuale de exploatare a stațiilor de epurare a apelor uzate din localitățile Republicii Moldova*. În: Culegere de articole a conferinței internaționale „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău: 2004, vol.2, p.250-261. ISBN 9975-70-444-1.
- 38 UNGUREANU, D., AL MOMANI, W. *Probleme de majorare a eficienței și fiabilității epurării biologice a apelor uzate. Procedul cu microfloră suspendată*. În: Lucrările Conferinței tehnice științifice cu participare internațională „Instalații pentru construcții și economia de energie”: 5-7 iulie 2000, Agapia-Neamț: România, p.22-28.
- 39 UNGUREANU, D., AL MOMANI, W. *Probleme de majorare a eficienței și fiabilității epurării biologice a apelor uzate*. În: Lucrările Conferinței tehnice științifice cu participare internațională „Instalații pentru construcții și economia de energie”: 5-7 iulie 2000, Agapia-Neamț: România, p.29-35.
- 40 UNGUREANU, D., AL MOMANI, W. *Starea actuală și tendințe în epurarea apelor uzate din localități mici și medii*. In: Mater. Simpozionului Internațional “Instalații de epurare a apelor uzate de capacitate redusă”: 28-29 noiembrie 2001, Baia Mare (România). București, 2001.
- 41 UNGUREANU, D., IONETȚ, I. *Conservarea energiei la epurarea apelor uzate și tratarea nămolurilor din stațiile de epurare*. Lucrările Seminarului Internațional „Eficiența energetică a clădirilor”. Chișinău: 2006, 16-17 noiembrie. UTM, p.112 – 120.
- 42 UNGUREANU, D. *Eliminarea compușilor de azot din apele uzate orășenești și industriale*. In: Tehnologii pentru reținerea azotului și fosforului din apele uzate și necesitatea dezinfectării apelor epurate. București, 2000, p.1-6.
- \*\*\*\*
- 43 *Activated sludge separation problems: Theory, Control Measures, Practical Experiences*. (Edited by Simona Rossetti; Valter Tandoi; Jiri Wanner). IWA Publishing: 2017. ISBN electronic: 9781780408644.
- 44 ALLEY, R. et al. *Water Quality Control Handbook*. McGraw-Hill Professional; 1 edition, 2000. ISBN-10: 9780070014138; ISBN-13: 978-0070014138.
- 45 ALBERTOS, P., SALA, A. *Multivariable control systems. An engineering approach*. Springer, Verlag Publishers. London: 2004.
- 46 AL MOMANI, W. *The modified contact stabilization method for municipal wastewater biological treatment in the activated sludge unite*. Meridian Ingineresc, 2001, No.1, p.26-29
- 47 AL MOMANI, W. *Why is it necessary to know the load entering to the plant of wastewater treatment?* Meridian Ingineresc, 2001, No.1, p.46.

- 48 ÅSTRÖM, K. J., HÄGGLUND, T. *PID Controllers – Theory, Design and Tuning*. Second edn, Instrument Society of America, 67 Alexander Drive, PO Box 12277, Research Triangle Park, North Carolina 27709, USA. 1995.
- 49 BANKS, W., HAYWARD, G. *Fuzzy logic in embedded microcomputers and control system*. Waterloo: Byte Craft Limited, 2002.
- 50 BERGER, A. *Embedded Systems Design. An Introduction to Processes, Tools and Techniques*. CMP Books: 2002. 239 p.
- 51 CARLOS D.M., NANCY G.L., GLEN T.D., LESLIE G. *Biological Wastewater Treatment*, CRC Press, IWA Publishing: 2011, 994 p. ISBN 1843393425.
- 52 COMAS, MATAS, J. *Development, implementation and evaluation of an activated sludge supervisory system for the Granollers WWTP*. PhD Theses, Girona, 2000. 186 p. ISBN 84-688-1220-X.
- 53 COROMINAS, TABARES, L. *Control and optimization of an SBR for nitrogen removal: from model calibration to plant operation*: PhD Theses. Girona, 2006. 187 p. ISBN 84-690-0241-4.
- 54 CIOBANU, N., SECRIERU, N., UNGUREANU, D., BUTANU, V. *Application of informational systems in operation the biological wastewater treatment plants*. In: 5<sup>th</sup> Conference and Working Session Within the frame of the International Program EUREKA, November 28<sup>th</sup>, 2017, GEOtest, Inc., Brno University of Technology, Brno: Czech Republic, p.84-87. ISBN 978-80-214-5573-3, ISSN 2464-4595.
- 55 CIOBANU, N., *Concept of information system for wastewater treatment plants in Republic of Moldova*. In: 4<sup>th</sup> Conference and Working Session Within the frame of the International Program EUREKA, October 13<sup>th</sup>–14<sup>th</sup>, 2016, GEOtest, Inc., Brno University of Technology, FCE Lednice: Czech Republic, p.326-332. ISBN 978-80-214-5338-8, ISSN 2464-4595.
- 56 CIOBANU, N., BUȚANU, V., UNGUREANU, D., SECRIERU, N. *SCADA system application in wastewater treatment plants*, În: Publicație tehnico-științifică și aplicativă ”Meridianul ingineresc”, ediția 4 – 2016, p. 53-57. ISSN 1683-853X, (Revista națională, categoria C).
- 57 CIOBANU, N. *Utilization of informational systems to optimize the wastewater treatment plants efficiency*. Actes du II<sup>ème</sup> Seminaire doctoral International Francophone ”De ma premiere communication vers ma premiere publication scientifique”, 02-04 novembre 2016, Chisinau :Republique de MOLDAVIE, p.42-49. ISBN 978-9975-110-65-5.
- 58 Feasibility Study, 2012. *Chisinau Water Supply and Sewage Treatment*. Contract No: C21156/ECWC-2010-01-01.
- 59 FITZSIMONS, L., at all. *Assessing the thermodynamic performance of Irish municipal wastewater treatment plants using exergy analysis: a potential benchmarking approach*. Journal of Cleaner Production, Volume 131, 10 September 2016, p.387-398.
- 60 GUILLERMO, S., ANIRUDDHA, D., BHATTACHARYYA, S.P. *New results on the synthesis of PID controllers*. In: IEEE Transactions on Automatic Control 47(2), March 2002. p.241–252.
- 61 GAVRILESCU, M., MACOVEANU, M. *Process Engineering in Biological Aerobic Wastewater Treatment*. In: Acta Biotechnologica, Vol.19 (1999), No.2, p.p. 111-145.
- 62 HENZE, M., HARREMOËS, P., La COUR JANSEN, J., ARVIN, E., *Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes*. 2nd ed., Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg, 1997. 427p.
- 63 HENZE, M., GUJER, W., MINO, T., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. IWA Publishing: 2006, V.5. ISBN electronic: 9781780402369.

- 64 HOLLOWAY, T.G. et al. *Process stress in municipal wastewater treatment processes: A new model for monitoring resilience*. Published by Elsevier: Process Safety and Environmental Protection 132 (2019), p.169-181.
- 65 GERNAEY, K.V., VAN LOOSDRECHT, M.C., HENZE, M., LIND, M., JORGENSEN, S. *Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art*. In: Environmental Modelling & Software 19 (2004) p.763-783.
- 66 KICKERT, W., VAN NAUTA, L. *Application of a fuzzy controller in a warm water plant*. Automatica, 12: 1976, 301-308 p., doi: 10.1016/0005-1098(76)90050-9.
- 67 LEIN, J.K., *Environmental Decision Making. An Information Technology Approach*, Consulting Editor: Blackwell Science, 1997. 213 p.
- 68 MASOTTI, L. *Depurazione delle acque: Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*. Bologna: Ed. Calderini, 1987. 1143 p.
- 69 METCALF and EDDY, *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse* (Fourth Edition). McGraw-Hill Higher Education: 2003. 1819 p.
- 70 MULLINS, D. *Applications of image processing for performance assessment of wastewater treatment plants*. PhD dissertation. Publisher: NUI Galway. Ireland: 2018. 177 p.
- 71 NOERGAARD, T. *Embedded Systems Architecture. A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers*. Elsevier: 2005. 657 p.
- 72 OLSSON, G., JEPSSON, U. *Plant-wide control: dream, necessity or reality?* In: Water Science & Technology, v.53 No 3 p.121-129. IWA Publishing 2006.
- 73 O'DWYER, A. *PI and PID controller tuning rules for time delay processes: a summary. Part 1: PI controller tuning rules*. Proceedings of the Irish Signals and Systems Conference, National University of Ireland, Galway, Ireland, June 1999.
- 74 PUIG, BROCH, S. *Operation and control of SBR processes for enhanced biological nutrient removal from wastewater*: PhD Theses, Girona, 2007. 110 p. ISBN 978-84-691-2388-1.
- 75 QIAO, W., MIZUMOTO, M. *PID type fuzzy controller and parameters adaptive method*. Fuzzy Set and Systems, nr. 78, p. 23–35, 1996.
- 76 van HAANDEL, A.C., van der LUBBE, J.G.M. *Handbook of Biological Wastewater Treatment, Design and Optimisation of Activated Sludge Systems*. Published: IWA Publishing 2012, 770 p. ISBN 9781780400006 (Hardback) ISBN 9781780400808 (eBook).
- 77 VALENTI, F., PORTO, S., DALE, B., LIAO, W., *Spatial analysis of feedstock supply and logistics to establish regional biogas power generation: A case study in the region of Sicily*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 97 (2018) p.50-63.
- 78 VISMARA, R. *Depurazione biologica: Teoria processi*. Milano: Ed.Ulrico Hoepli, 1988. 575 p.
- 79 WAN, E. A. *Control systems: Classical, Neural and Fuzzy*. Oregon Graduate Institute – lecture notes, 1998.
- 80 WOLF, W. *Computers as Components. Principles of Embedded computing system design*. Morgan Kaufmann Publishers: 2nd edition, 2008. 458 p. ISBN 9780123743978.
- 81 YAGER, R. R. *Fuzzy set and possibility theory. Recent development*. New York, Pergamon Press 1982. 633 p. ISBN 978-0080262949.
- \*\*\*\*
- 82 АСТРЕЛИН, И. и др. *Физико – химические методы очистки воды. Управление водными ресурсами*. Проект «Water Harmony», 2015.614с. ISBN 978-82-999978-0-5.
- 83 БРАГИНСКИЙ, Л. Н. и др. *Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод*. Л.: Химия, 1980. 144 с.



- 84 БОНДАРЕНКО, И. Е. и др. *Применение иммобилизованных микроорганизмов для очистки сточных вод*: Обзорная информация – М.: Ин-т экономики АКХ им.К.Д. Памфилова, 1990. 77 с.
- 85 ВАВИЛИН, В. А. *Время оборота биомассы и деструкция органического вещества в системах биологической очистки*. - М.: Наука, 1986. 144с.
- 86 ВОРОНОВ, Ю.В. и др. *Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений*. М.: Стройиздат, 1990.–224 с.
- 87 ЕВИЛЕВИЧ, М. А., БРАГИНСКИЙ, Л. Н. *Оптимизация биохимической очистки сточных вод*. Л.: Стройиздат, 1979. 160 с.
- 88 ЖУРМИНСКАЯ, О. *Оценка состояния биоценоза активного ила и создание базы данных экспертной системы*. Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора биологии. УДК: 574.635+628.35.034.2(478-25)+004.891, Кишинев, 2012. 189 стр.
- 89 КОЛОБАНОВ, С.К. и др. *Проектирование очистных сооружений канализации*. Киев: Будівельник, 1977. – 224 с.
- 90 МИШУКОВ, Б. Г., СОЛОВЬЕВА, Е. А. *Удаление азота на очистных сооружениях городской канализации*. Санкт-Петербург, Изд-во: Журнал «Вода и экология. Проблемы и решения», 2004. 80 с.
- 91 МЕШЕНГИССЕР, Ю.М. *Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод*. М.: ООО «Издательский Дом Вокруг увета», 2012. 211 с. ISBN 978-5-9903646-1-5.
- 92 МОМАНИ, У.А. *Разработка высокоэффективных и энергосберегающих технологий биологической очистки городских сточных вод*. Дисс. Доктора технических наук. Кишинев:2002, 245 с.
- 93 НАЙДЕНКО, В.В. и др. *Оптимизация процессов очистки природных и сточных вод*. М.: Стройиздат, 1984. – 151 с.
- 94 СМИРНОВ, Д.Н. *Автоматическое регулирование процессов очистки сточных и природных вод*. Москва, Стройиздат, 1974. 256 с.
- 95 УНГУРЯНУ, Д. *Пуск, наладка и эксплуатация водопроводных и канализационных очистных сооружений*: Учебное пособие. Кишинев.: КПИ им.С.Лазо, 1984. 162 с.
- 96 УНГУРЯНУ, Д.В. *Глубокая очистка городских сточных вод*. В: Тезисы докл. респ. науч. – тех. семинара «Пути повышения качества очистки сточных вод и обработки осадков, снижение эксплуатационных затрат на коммунальных очистных сооружениях канализации»: 10 – 11 октября 2001. Кишинев, 2001. стр.8-30.
- 97 **ЧОБАНУ, Н., УНГУРЯНУ, Д., Одновременное биологическое удаление соединенный азота и фосфора из коммунальных сточных вод**, В: сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания», Часть 2, 6-8 апреля 2016, Брест: Республика Беларусь, с.215-219. ISBN 978-985-493-360-3, ISBN 978-985-493-358-0.
- 98 ЭЛЬ, М.А. и др. *Наладка и эксплуатация очистных сооружений городской канализации*. М., Стойиздат, 1977. 232 с.
- 99 ЯКОВЛЕВ, С.В., КРИВОШЕЕВ, Г.Г. *Оптимизация очистных сооружений городских канализаций*. Туркменский политехн. ин.т, Ашхабад, 1982. 120 с.
- \*\*\*\*
- 100 Proiect instituțional, nr înregistrării: 255, data înregistrării: 27.04.2006, Cifrul: 06.408.061A. UNGUREANU, D., CALOS, S., IONET, I., MAXIM, V., **CIUBANU, N., BRICEAG, O., BALMUȘ, L.** „Instalații pentru eliminarea compușilor azotului și fosforului în vederea epurării avansate a apelor uzate ale localităților”, raport privind activitatea de cercetare științifică, Chișinău: 2010. CZU 628.358: 546.17.

- 101 Water Harmony Project, Lecture notes: *Water Resources Management and Treatment Technologies*. International Summer program on Water, As: Norway. July 2017.
- 102 Water Harmony Project, Lecture notes: *Water Resources Management and Treatment Technologies*. International Summer program on Water, As: Norway. June 2018.
- 103 Water Harmony Erasmus+. *Selected laboratory courses for graduate courses on water supply and wastewater treatment*. June, 2018. [www.waterharmony.net](http://www.waterharmony.net)
- 104 Water Harmony Project, Конспект лекций: *Обучающий семинар по повышению квалификации в контексте Протокола по проблемам воды и здоровья*. Казахстан, Кыргызстан: 2018
- 105 Collection of presentations: *Physical and Cyber Safety in Water Critical Infrastructure*. 08-11 October, 2018. Norway & Germany, NATO ARW Workshop – CYBERWATER 2018. <http://www.natoarw-cyberwater.net>
- 106 Chisinau Water Supply & Sewage Treatment – Feasibility study, Contract No: C21156/ECWC-2010-01-01, August, 2012, 98 pag.  
\*\*\*\*
- 107 Legea Nr. 10-XVI din 3 februarie 2009 *cu privire la supravegherea de stat a sănătății publice*. Publicat: 03.04.2009 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 67 art Nr: 183, în vigoare: 03.05.2009.
- 108 Legea Nr. 86 din 29.05.2014 *privind evaluarea impactului asupra mediului*. Publicat: 04.07.2014 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 174-177 art. Nr: 393, în vigoare: 04.01.2015.
- 109 Legea Nr. 209 din 29.07.2016 *privind deșeurile*. Publicat: în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* nr. 459 – 471 din 23.12.2016, în vigoare din 23.12.2017.
- 110 Legea Nr.272 din 23 decembrie 2011. *Apelor*. Publicat: 26.04.2012 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 81 art. Nr : 264 , în vigoare : 26.10.2013).
- 111 Legea Nr.303 din 13 *privind serviciul public de alimentare cu apă și de canalizare* . Publicat: 14.03.2014 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 60-65 art. Nr: 123, în vigoare: 14.09.2014.
- 112 Legea Nr.436-XVI din 28 decembrie 2006 *privind administrația publică locală* Publicat: 09.03.2007 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 32-35 art. Nr : 116, în vigoare: 09.03.2007.
- 113 Legea Nr. 851-XIII din 29 mai 1996 *privind expertiza ecologică*. Publicat: 08.08.1996 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 52-53 art. Nr : 494, în vigoare din 08.08.1996.
- 114 Legea Nr. 1402-XV din 24 octombrie 2002 *privind serviciile publice de gospodărie comunală*. Publicat: 07.02.2003 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 14-17 art. Nr: 49, în vigoare: 07.02.2003.
- 115 Legea Nr.1515-XI din 16 iunie 1993 *privind protecția mediului înconjurător*. Publicat: 01.10.1993 în *Monitorul Parlamentului Republicii Moldova* Nr. 10 art. Nr : 283, în vigoare din 01.10.1993.
- 116 Legea nr. 1540-XIII din 25 februarie 1998 *privind plata pentru poluarea mediului*. Publicat: 18.06.1998 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 54-55 art Nr : 378, în vigoare: 18.06.1998.
- 117 HG nr.199 din 20.03.2014 *cu privire la aprobarea Strategiei de alimentare cu apă și sanitație (2014-2030)*. Publicat: 28.03.2014 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 72-77 art. 222, în vigoare după modificare: 24.07.20
- 118 HG nr.802 din 09.10.2013 *Regulament privind condițiile de deversare a apelor uzate în corpurile de apă modificata prin HG nr. 862 din 08.10.2014*. Publicat: 31.10.2014 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 325-332 art. 946, în vigoare după modificare: 31.10.2014.

- 119 HG nr. 950 din 25.11.13 *Regulamentul privind cerințele de colectare, epurare și deversare ape uzate în sistemul de canalizare și/sau în corpurile de apă pentru localitățile urbane și rurale*. Publicat: 13.03.2020 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 75-83 art. 219, în vigoare după modificare: 13.03.2020.
- 120 Hotărârea Curții de Conturi nr.14 din 12 aprilie 2012 privind *Raportul auditului performanței în domeniul mediului – aprovizionarea cu apă și canalizarea localităților „Situția privind aprovizionarea cu apă și canalizarea localităților din republică este alarmantă și în impas”*. Publicat: 18.05.2012 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 93-98 art. Nr: 09.
- 121 Ordinul nr.40 din 18.02.2005 *cu privire la aprobarea Regulamentului-cadru privind recepționarea apelor uzate, eliberarea condițiilor tehnice și autorizațiilor de deversare a apelor uzate în sistemul de canalizare al localităților*. Publicat: 08.04.2005 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 55-58 art. Nr: 184.
- 122 Ordinul nr.33 din 18.04.2014 *cu privire la aprobarea Ghidului pentru elaborarea Planului de Alimentare cu Apă și Sanitație în Republica Moldova*. Publicat: 30.05.2014 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr.134-141 art.725.
- 123 Ordinul nr.159/331 din 02.07.2018 *cu privire la aprobarea Regulamentului privind exploatarea tehnică a sistemelor și instalațiilor publice de alimentare cu apă și de canalizare (ediția a doua)*. Publicat: 05.10.2018 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr.377-383 art.1476.
- \*\*\*\*
- 124 Directiva Consiliului 86/278/EEC din 12.06.1986 *privind protecția mediului, în special a solului, atunci când se utilizează nămoluri de epurare în agricultură*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* 15/vol.1. p.191. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=RO>
- 125 Directiva Consiliului 91/271/EEC din 21.05.1991 *privind tratarea apelor urbane reziduale*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* L 135, 30.05.1991, p.40. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:01991L0271-20081211&from=EN>
- 126 Directiva Consiliului 91/676/EEC din 12.12.1991 *privind protecția apelor împotriva poluării cu nitrați proveniți din surse agricole*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* 15/vol.2, p.81. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0676&from=RO>
- 127 Directiva Consiliului 99/31/EC din 26.04.1999 *privind depozitele de deșuri*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* 15/vol.5 p.94. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031&from=ro>
- 128 Directiva Parlamentului European și a Consiliului 2000/76/EC din 4.12.2000 *privind incinerarea deșeurilor*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* 15/vol.6. p.271. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0076&from=RO>
- 129 Directiva Parlamentului European și a Consiliului 2000/60/CE din 23.10.2000 *de stabilire a unui cadru de politică comunitară în domeniul apei*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* L 327, p.1. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20141120&from=EN>
- 130 Directiva Parlamentului European și a Consiliului 2006/118/EC din 12.12.2006 *privind protecția apelor subterane împotriva poluării și a deteriorării*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* 15/vol.18. p.209. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0118&from=RO>

- 131 Directiva Parlamentului European și a Consiliului 2008/98/EC din 19.11.2008 *privind deșeurile*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* L 312/3. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=RO>
- 132 Directiva Parlamentului European și a Consiliului 2008/105 din 16.12.2008 *privind standardele de calitate a mediului în domeniul apei*. Publicat: în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* L348/84 din 24.12.2008. <http://www.justice.gov.md/file/Centrul%20de%20armonizare%20a%20legislatiei/Baza%20de%20date/Materiale%202013/Legislatie/32008L0105.pdf>
- \*\*\*\*
- 133 NCM G.03.02:2015 *Rețele și instalații exterioare de canalizare*. Ediție oficială a Ministerului Dezvoltării Regionale și Construcțiilor al Republicii Moldova, Chișinău 2015.
- 134 NCM G.03.03:2015 *Instalații interioare de alimentare cu apă și canalizare*. Ediție oficială a Ministerului Dezvoltării Regionale și Construcțiilor al Republicii Moldova, Chișinău 2015.
- 135 NCM G.03.01-2012 *Stații de capacitate mică de epurare a apelor uzate comunale*. Ediție oficială a Ministerului Dezvoltării Regionale și Construcțiilor al Republicii Moldova, Chișinău 2012.
- 136 Канализация населенных мест и промышленных предприятий: *Справочник проектировщика*. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
- 137 *Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации*. М.: Стройиздат, 1977. – 299 с.
- 138 МЖКХ РСФСР, Минводхоз СССР. *Методика оценки технологической эффективности работы городских очистных сооружений канализации*. – М.: Стройиздат, 1987. – 17 с.
- 139 *Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации*. М.: Госкомитет РФ по строит., арх. и жилищной политике, 1999. – 120 с.
- 140 Chisinau Water Development Programme: *Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA) for Chisinau Water Supply and Wastewater Facilities*. Tender No.S&I/T1/P7, December 2015.

#### E-BIBLIOGRAFIE

- 141 ALTROCK, C. *Recent Successful Fuzzy Logic Applications in Industrial Automation. Fuzzy Application Library/Technical Applications*. International Conference on Fuzzy systems, New Orleans September 1996. [citat 28.05.2019]. Disponibil: [https://www.fuzzytech.com/e/e\\_a\\_plc.html](https://www.fuzzytech.com/e/e_a_plc.html)
- 142 ARPKE, A., HUTZLER, N. *Domestic water use in the United States: A life-cycle approach*. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2): 2008, p.169-184. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1162/108819806775545312>
- 143 *SCADA system for wastewater treatment plant and parameters of the water treatment technological process*. In: <http://www.cm-bg.eu/articleen-143.html>
- 144 *Reabilitarea Stației de epurare a apelor uzate din Chișinău*. In: <https://www.chisinau.md/libview.php?l=ro&idc=403&id=17959&t=/Presa/Comunicate-de-presa/Reabilitarea-Statiei-de-epurare-a-apelor-uzate-din-Chisinau/>
- 145 *Sistemul de automatizare si SCADA pentru Statia de epurare Husi*. In: <http://www.syscom.ro/newsDetails.asp?ID=198>
- 146 *Sistem de automatizare si SCADA pentru Statia de epurare Isaccea*. In: <http://www.syscom18.info/Articol.asp?ID=209>
- 147 *Indicatorii financiari si de producție ai activității întreprinderilor de alimentare cu apă și de canalizare - membre ale Asociației "Moldova Apă-Canal" anul 2018*.

[http://www.amac.md/public/files/documente/indicatorii\\_financiari\\_productie\\_intreprinderilor\\_apa\\_canal\\_membre\\_2018.pdf](http://www.amac.md/public/files/documente/indicatorii_financiari_productie_intreprinderilor_apa_canal_membre_2018.pdf)  
[http://www.amac.md/public/files/documente/indicatorii\\_financiari\\_productie\\_intreprinderilor\\_apa\\_canal\\_membre\\_2018.pdf](http://www.amac.md/public/files/documente/indicatorii_financiari_productie_intreprinderilor_apa_canal_membre_2018.pdf)

- 148 Cursul de instruire pentru Modulul: *Managementul și exploatarea stațiilor de epurare a apelor uzate și stațiilor de tratare a apei potabile*. UTM-AMAC-GIZ, Chișinău, 2019  
<http://www.amac.md/libview.php?l=ro&idc=68&id=329&t=/Institutul-de-formare-continuie/INSTRUIRI/Cursul-de-instruire-pentru-Modulul-Managementul-i-exploatarea-statiilor-de-epurare-a-aper-uzate-i-statiilor-de-tratare-a-apei-potabile-Grupul-1-limba-romana/>

# **A N E X E**

## Indicatori de eficiență a epurării și instalațiilor de epurare, % [20]

Obiectele tehnologice în care au loc procesele de epurare /	CBO <sub>5</sub>	CCO	MS	Bacterii	P (fosfor total)	N (azot total)
1	2	3	4	5	6	7
<b>Mecanice</b>	30		60		15	15
- grătare, site etc	5-10	0	5-20	10-20	0	0
- deznisipatoare, decantoare	25-40	25-40	40-70	25-75	10-20	10-20
<b>Mecano-chimice</b>	55-70		80-90		75-90	25-30
- instalații de coagulare și decantare	50-85		70-90	40-80		
- stații de clorinare (apă brută sau decantată)	15-30		-	90-95		
- stații de clorinare (apă epurată biologic)	-		-	98-99		
<b>Mecano-biologice naturale</b>	90		90		30	30
- decantoare primare și câmpuri de irigare și filtrare	90-95		85-95	95-98		
<b>Mecano-biologice artificiale</b>	95-97		90-95		90-95	60-85
- decantoare primare și secundare, filtre biologice de mare încărcare	65-90	65-85	65-92	70-90	8-12	15-50
- decantoare primare și secundare, filtre biologice de mică încărcare	80-95		70-92	90-93		
- decantoare primare și secundare, bazine cu nămol activ de mare încărcare	50-75	80-85	75-85	70-90	10-25	15-30
- decantoare primare și secundare, bazine cu nămol activ de mică încărcare	75-95		85-95	90-98		

**Stații de epurare a apelor uzate comunale din Republica Moldova**



**Foto 1.1. Stația de epurare a Anenii Noi din (s.Bulboaca) [120].**



**Foto 1.2. Stația de epurare a or. Cimișlia [120].**



**Foto 1.3. Lipsa stației de epurare în orașul Soroca [120].**



**Principalii parametri care caracterizează apele uzate evacuate în sistemul de canalizare public și stația de epurare a apelor uzate [119]**

Nr. crt.	Denumirea indicatorilor de calitate/ parametrilor	Unitățile de măsură	Valoarea admisibilă	Metodele de analiză
<b>INDICATORI PRINCIPALI</b>				
1.	Temperatura	<sup>0</sup> C	Cel puțin 8 și cel mult 30	
2.	Concentrația ionilor de hidrogen (pH)	Unități pH	6,5-8,5	SM SR EN ISO 10523:2014 „Calitatea apei. Determinarea pH-ului”
3.	Materii în suspensie	mg/dm <sup>3</sup>	350,0	SM STAS 6953:2007 „Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea conținutului de materii în suspensie, a pierderii la calcinare și a rezidului la calcinare”
4.	Consum biochimic de oxigen în 5 zile (CBO <sub>5</sub> )	mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	225 sau conform proiectului stației noi de epurare	ISO 5815:1989 „Calitatea apei. Determinarea consumului biochimic de oxigen după 5 zile (CBO <sub>5</sub> ). Metoda prin diluare și însămânțare”
5.	Consumul chimic de oxigen – metoda cu bicromat de potasiu(CCO <sub>Cr</sub> )*	mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	500 sau conform proiectului stației noi de epurare	SM SR ISO 6060:2006 „Calitatea apei. Determinarea consumului chimic de oxigen”
6.	Substanțe extractibile cu solvent organici (grăsimi)	mg/dm <sup>3</sup>	25,0	SM SR 7587:2001 „Calitatea apei. Determinarea substanțelor extractibile cu solvenți. Metoda gravimetrică”
7.	Azot amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	30,0	SM SR ISO 7150-1:2005 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de amoniu. Partea 1: Metoda spectrometrică manual”
8.	Fosfor total (P total)	mg/dm <sup>3</sup>	5,0	SM SR EN ISO 6878:2011 „Calitatea apei. Determinarea fosforului. Metoda spectrofotometrică cu molibdat de amoniu”
9.	Sulfuri (S <sup>2-</sup> ) și hidrogen sulfurat (H <sub>2</sub> S)**	mg/dm <sup>3</sup>	1,0	SM SR ISO 10530:2012 „Calitatea apei. Determinarea sulfurilor dizolvate. Metoda fotometrică, cu albastru de metilen”
10.	Sulfizi (SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	2,0	SM STAS 7661:2005 „Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea conținutului de sulfizi”
11.	Sulfazi (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	400 sau conținutul în apa potabilă	SM STAS 8601: 2007 „Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea sulfazilor”
12.	Produse petroliere	mg/dm <sup>3</sup>	2,5	SM SR 7877-2:2007 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de produse

				petroliere. Metoda spectrofotometrică”
13.	Agenți de suprafață anionici	mg/dm <sup>3</sup>	2,5	SM SR EN 903:2012 „Calitatea apei. Determinarea agenților de suprafață anionici prin măsurarea indicelui de albastru de metilen MBAS”
14.	Cloruri (Cl <sup>-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	300,0	SM SR ISO 9297:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de cloruri. Titrare cu azotat de argint utilizând cromatul ca indicator (Metoda Mohr)”
<b>INDICATORI SPECIFICI</b>				
15.	Cianuritotale (CN)	mg/dm <sup>3</sup>	1,0	SM SR ISO 6703-2:2012„Calitatea apei. Determinarea cianurilor. Partea 2: Determinarea cianurilor ușor eliberabile”; SM SR EN ISO 14403:2012„Calitatea apei. Determinarea cianurilor totale și cianurilor libere prin analiză în flux continuu”
16.	Plumb (Pb <sup>2+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,2	SM SR ISO 8288:2006 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
17.	Cadmiu (Cd <sup>2+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,2	SM SR EN ISO 5961:2012„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cadmiu prin spectrometrie de absorbție atomică”
18.	Cromtotal (Cr <sup>3+</sup> +Cr <sup>6+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	1,5	SM SR EN 1233:2012„Calitatea apei. Determinarea conținutului de crom. Metode spectrometrice de absorbție atomică”
19.	Crom hexavalent (Cr <sup>6+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,2	SM SR EN 1233:2012„Calitatea apei. Determinarea conținutului de crom. Metode spectrometrice de absorbție atomică”
20.	Cupru (Cu <sup>2+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,2	SM SR ISO 8288:2006„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
21.	Nichel (Ni <sup>2+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,8	SM SR ISO 8288:2006„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
22.	Zinc (Zn <sup>2+</sup> )**	mg/dm <sup>3</sup>	1,0	SM SR ISO 8288:2006„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
23.	Clor rezidual total	mg/dm <sup>3</sup>	0,5	SM SR EN ISO 7393-1:2012„Calitatea apei. Determinarea clorului liber și clorului total. Partea 1: Metoda

				titrimetrică cu N,N-dietilfenilen-1,4-diamină”; SM SR EN ISO 7393-2:2012, „Calitatea apei. Determinarea clorului liber și clorului total. Partea 2: Metoda colorimetrică cu N,N-dietilfenilen-1,4-diamină, destinată controlului de rutină”; SM SR EN ISO 7393-3:2011, „Calitatea apei. Determinarea clorului liber și clorului total. Partea 3: Metoda prin titrare iodometrică pentru determinarea clorului total”
24.	Fenoli antrenabili cu vapori de apă (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	mg/dm <sup>3</sup>	3,0	SM SR ISO 6439:2012, „Calitatea apei. Determinarea indicelui de fenol. Metode spectrometrice cu 4-aminoantipirina după distilare”
25.	Fluoruri (F <sup>-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	1,50	SM SR ISO 10359-1:2011, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de fluoruri. Partea 1: Metoda cu sondă electrochimică pentru apă potabilă și ușor poluată”; SM SR ISO 10359-2:2011, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de fluoruri. Partea 2: Determinarea conținutului de fluoruri anorganice totale după digestie și distilare

\* Valoarea concentrațiilor de CCO<sub>Cr</sub> trebuie să corespundă raportului CBO<sub>total</sub>/CCO de 0,67 sau mai mare.

\*\*Pentru localitățile urbane în care apa livrată conține zinc sau hidrogen sulfurat în concentrații mai mari de 1 mg/dm<sup>3</sup>, va fi acceptată aceeași valoare.

\*\*\*Alte metode alternative pot fi folosite numai în cazul în care se demonstrează că acestea au aceeași sensibilitate și limită de detecție.

## Deversările limită de poluanți a apelor uzate comunale deversate în emisar (corpuri de apă) [119]

Nr. crt.	Denumirea indicatorilor/ parametrilor de calitate	Unitățile de măsură	Valorile limită admisibile	Metoda de analiză <sup>6)</sup>
<b>A. Indicatori fizici</b>				
1.	Temperatura <sup>1)</sup>	C <sup>0</sup>	30	
<b>B. Indicatori chimici</b>				
2.	Concentrația ionilor de hidrogen (pH)	Unități pH	6,5-8,5	SM SR EN ISO 10523:2014 „Calitatea apei. Determinarea pH-ului”
3.	Materii în suspensie (MS)	mg/dm <sup>3</sup>	35,0	SM STAS 6953:2007 „Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea conținutului de materii în suspensie, a pierderii la calcinare și a rezidului la calcinare”; SM SR EN 872:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de materii în suspensie. Metoda prin filtrare pe filtre din fibre de sticlă”
4.	Consumul biochimic de oxigen în 5 zile (CBO <sub>5</sub> )	mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	25,0	SM SR EN 1899-2:2007 „Calitatea apei. Determinarea consumului biochimic de oxigen după n zile (CBO <sub>n</sub> ). Partea 2: Metoda pentru probe nediluate”; SM SR EN 1899-1:2012 „Calitatea apei. Determinarea consumului biochimic de oxigen după n zile (CBO <sub>n</sub> ). Partea 1: Metodă prin diluare și însămânțare cu apă de liliou”;
5.	Consumul chimic de oxigen metoda cu bicromat de potasiu (CCO <sub>Cr</sub> )	mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	125,0	SM SR ISO 6060:2006 „Calitatea apei. Determinarea consumului chimic de oxigen”
6.	Azot amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) <sup>5)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	2,0	SM SR ISO 7150-1:2005 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de amoniu. Partea 1: Metoda spectrometrică manuală”; SM SR ISO 5664:2007 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de amoniu. Metoda prin distilare și titrare”; SM SR EN ISO 11732:2012 „Calitatea apei. Determinarea azotului amoniacal. Metoda prin analiză în flux (CFA și FIA) și detecție spectrometrică”; SM SR EN ISO 14911:2012 „Calitatea apei. Determinarea prin cromatografie ionică a ionilor dizolvați de Li <sup>+</sup> ,

				Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> și Ba <sup>2+</sup> . Metodă pentru apă și ape uzate”
7.	Azot total Kjeldahl (NTK) <sup>5)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	10,0	SM SR EN 25663:2012, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de azot. Kjeldahl. Metoda după mineralizare cu seleniu”; SM SR EN ISO 13395:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de azotit (N), azotat (N) și suma acestora prin analiză în flux (CFA și FIA) și detecție spectrometrică”
8.	Azotați (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) <sup>5)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	25,0	SM SR EN ISO 13395:2012, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de azotit (N), azotat (N) și suma acestora prin analiză în flux (CFA și FIA) și detecție spectrometrică”; SM SR ISO 7890-3:2006 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de azotați. Partea 3: Metoda spectrometrică cu acid sulfosalicilic”
9.	Azotiți (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) <sup>5)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	1,0	SM SR EN 26777: 2006 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de nitriți. Metoda prin spectrometrie de absorbție moleculară”; SM SR EN ISO 13395:2012, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de azotit (N), azotat (N) și suma acestora prin analiză în flux (CFA și FIA) și detecție spectrometrică”
10.	Sulfuri și hidrogensulfurat (S <sup>2-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,5	SM SR ISO 10530:2012, „Calitatea apei. Determinarea sulfurilor dizolvate. Metoda fotometrică, cu albastru de metilen”; SM SR 7510:2007 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de sulfuri. Metoda iodometrică”
11.	Sulfizi (SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	1,0	SM STAS 7661:2005. Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea conținutului de sulfizi.
12.	Sulfazi (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	400,0 sau conținutul în apa potabilă	SM STAS 8601:2007, „Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea sulfazilor”
13.	Fenoli antrenabili cu vapori de apă (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	mg/dm <sup>3</sup>	0,3	SM SR ISO 6439:2012, „Calitatea apei. Determinarea indicelui de fenol. Metode spectrometrice cu 4-aminoantipirina după distilare”
14.	Substanțe extractibile cu solvenți organici (grăsimi)	mg/dm <sup>3</sup>	10,0	SM SR 7587:2001, „Calitatea apei. Determinarea substanțelor extractibile cu solvenți. Metoda

				gravimetrică”
15.	Produse petroliere <sup>4)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,5	SM SR 7877-1:2007 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de produse petroliere. Metoda gravimetrică”; SM SR 7877-2:2007, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de produse petroliere. Metoda spectrofotometrică”;
16.	Fosfor total (P <sub>total</sub> ) <sup>5)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	2,0	SM SR EN ISO 6878:2011 „Calitatea apei. Determinarea fosforului. Metoda spectrofotometrică cu molibdat de amoniu”; SM SR EN ISO 15681-1:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de ortofosfat și fosfor total prin analiza în flux (FIA și CFA). Partea 1: Metoda prin analiză cu injecție în flux (FIA)”; SM SR EN ISO 15681-2:2012, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de ortofosfat și fosfor total prin analiza în flux (FIA și CFA). Partea 2: Metoda prin analiză continuă în flux (CFA)”
17.	Agenți de suprafață anionici	mg/dm <sup>3</sup>	0,5	SM SR EN 903:2012, „Calitatea apei. Determinarea agenților de suprafață anionici prin măsurarea indicelui de albastru de metilen (MBAS)”
18.	Cianuri totale (CN)	mg/dm <sup>3</sup>	0,4	SM SR ISO 6703-1:2011, „Calitatea apei. Determinarea cianurilor. Partea 1: Determinarea cianurilor totale”; SM SR EN ISO 14403:2012, „Calitatea apei. Determinarea cianurilor totale și cianurilor libere prin analiză în flux continuu”
19.	Clor rezidual liber (Cl <sub>2</sub> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,2	SM SR EN ISO 7393-1:2012, „Calitatea apei. Determinarea clorului liber și clorului total. Partea 1: Metoda titrimetrică cu N,Ndietilfenilen-1,4-diamină”; SM SR EN ISO 7393-2:2012, „Calitatea apei. Determinarea clorului liber și clorului total. Partea 2: Metoda colorimetrică cu N,Ndietilfenilen-1,4-diamină, destinată controlului de rutină”; SM SR EN ISO 7393-3:2011, „Calitatea apei. Determinarea clorului liber și clorului total. Partea 3: Metoda prin titrare iodometrică pentru determinarea clorului total”

20.	Cloruri (Cl <sup>-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	300,0	SM SR ISO 9297:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de cloruri. Titrare cu azotat de argint utilizând cromatul ca indicator (Metoda Mohr)”; SM SR EN ISO 15682:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de cloruri prin analiză în flux (CFA și FIA) și detecție fotometrică sau potențiometrică”
21.	Fluoruri (F <sup>-</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	1,5	SM SR ISO 10359-1:2011 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de fluoruri. Partea 1: Metoda cu sondă electrochimică pentru apă potabilă și ușor poluată”; SM SR ISO 10359-2:2011 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de fluoruri. Partea 2: Determinarea conținutului de fluoruri anorganice totale după digestie și distilare”
22.	Reziduu fix	mg/dm <sup>3</sup>	1500,0	SM STAS 9187:2007 „Ape de suprafață, ape subterane și ape uzate. Determinarea rezidului sec”
23.	Arsen (As <sup>+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,1	SMV EN 26595:2009 „Calitatea apei. Determinarea arsenului total. Metoda spectrofotometrică cu dietilditiocarbamat de argint”
24.	Aluminiu (Al <sup>3+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	5,0	SM SR ISO 10566:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de aluminiu. Metoda spectrometrică cu violet de pirocatechol”; SR EN ISO 12020:2004 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de aluminiu. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică”; STAS 9411-83 „STAS 9411-83. Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea aluminiului, dar poate fi exclus, că sunt 2 Standarde SM”
25.	Calciu (Ca <sup>2+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	300,0	SM SR ISO 6058:2012 „Calitatea apei. Determinarea calciului. Metoda titrimetrică cu EDTA”; SR EN ISO 7980:2002 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de calciu și magneziu. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică”; SM SR EN ISO 14911:2012 „Calitatea apei. Determinarea prin cromatografie ionică a ionilor dizolvați de Li <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> și Ba <sup>2+</sup> . Metodă pentru

				apă și ape uzate”
26.	Plumb (Pb <sup>2+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,12	SM SR ISO 8288:2006,„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
27.	Cadmiu (Cd <sup>2+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,1	SM SR ISO 8288:2006,„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”; SM SR EN ISO 5961:2012 „Calitatea apei. Determinarea conținutului de cadmiu prin spectrometrie de absorbție atomică”
28.	Crom total( Cr <sup>3+</sup> +Cr <sup>6+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	1,0	SMV ISO 9174:2009,„Calitatea apei. Determinarea conținutului de crom total. Metode spectrometrice de absorbție atomică”
30.	Crom hexavalent (Cr <sup>6+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,1	SM SR EN ISO 18412:2012,„Calitatea apei. Determinarea cromului (VI). Metoda fotometrică pentru ape slab contaminate
31.	Fier total ionic (Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	5,0	SM SR ISO 6332:2001,„Calitatea apei. Determinarea conținutului de fier.Metoda spectrometrică cu 1,10-fenantrolină”
32.	Cupru (Cu <sup>2+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,1	SM SR ISO 8288:2006,„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
33.	Nichel (Ni <sup>2+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,5	SM SR ISO 8288:2006,„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
34.	Zinc (Zn <sup>2+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,5	SM SR ISO 8288:2006,„Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”
35.	Mercur (Hg <sup>2+</sup> ) <sup>2)</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	0,05	SM SR EN ISO 17852:2012,„Calitatea apei. Determinarea mercurului. Metoda spectrometriei de fluorescență atomică”; SM SR EN 1483:2012. Calitatea apei. Determinarea conținutului de mercur. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică”
36.	Argint (Ag <sup>+</sup> )	mg/dm <sup>3</sup>	0,1	STAS 8190-68,„Ape de suprafață și



				ape uzate. Determinarea argintului”; GOST 18293-72, „Apa potabilă. Metode de determinare a conținutului de plumb, zinc, argint”
37.	Molibden( $\text{Mo}^{2+}$ )	$\text{mg/dm}^3$	0,1	STAS 11422-84, „Ape de suprafață și ape uzate. Determinarea molibdenului”; GOST 18308-72 „Apa potabilă. Metoda de determinare a conținutului de molibden”
38.	Seleniu ( $\text{Se}^{2+}$ )	$\text{mg/dm}^3$	0,1	GOST 19413-89, „Apă potabilă. Determinarea conținutului masiv de seleniu”; STAS 12663-88 „Apă potabilă. Determinarea conținutului de seleniu”
39.	Mangan total ( $\text{Mn}_{\text{total}}$ )	$\text{mg/dm}^3$	1,0	SM SR ISO 6333:2012, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de mangan. Metoda spectrometrică cu formaldoximă”; SM SR EN ISO 14911:2012, „Calitatea apei. Determinarea prin cromatografie ionică a ionilor dizolvați de $\text{Li}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ și $\text{Ba}^{2+}$ . Metodă pentru apă și ape uzate”
40.	Magneziu ( $\text{Mg}^{2+}$ )	$\text{mg/dm}^3$	100,0	În baza diferenței ( $\text{Ca}+\text{Mg}$ ) – $\text{Ca} =$ $\text{Mg}$ ; SM SR ISO 6059:2012, „Calitatea apei. Determinarea sumei de calciu și magneziu. Metoda titrimetrică cu EDTA”; SM SR EN ISO 7980: 2002, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de calciu și magneziu. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică” Sau: SM SR EN ISO 14911:2012, „Calitatea apei. Determinarea prin cromatografie ionică a ionilor dizolvați de $\text{Li}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ și $\text{Ba}^{2+}$ . Metodă pentru apă și ape uzate”
41.	Cobalt ( $\text{Co}^{2+}$ )	$\text{mg/dm}^3$	1,0	SM SR ISO 8288:2001, „Calitatea apei. Determinarea conținutului de cobalt, nichel, cupru, zinc, cadmiu și plumb. Metoda prin spectrometrie de absorbție atomică în flacără”

**Construcții și instalații din SEB mun. Chișinău**



**Fig. 1.1. Stația principală de pompare**



**Fig. 1.2. Deznisipator orizontal longitudinal**



**Fig. 1.3. Decantor radial primar**



**Fig. 1.4. Bazin de aerare cu nămol activ**

## Calculul parametrilor / caracteristicilor de funcționare a stației de epurare [137]

Nr.	Indicatori și formule de calcul	Semne convenționale/Notații
1	Debitul zilnic mediu de ape uzate:  $Q_{zi.med}^{a.u.} = \frac{Q_{lunar}^{a.u.}}{m_{lunar}}$	$Q_{zi.med}^{a.u.}$ - debitul zilnic mediu de ape uzate, m <sup>3</sup> /d; $Q_{lunar}^{a.u.}$ - debit lunar de ape uzate, m <sup>3</sup> ; $m_{lunar}$ - numărul de zile într-o lună.
2	Coeficientul de variație zilnică a debitului de apă uzată:  $K_{zi} = \frac{Q_{zi.max}^{a.u.}}{Q_{zi.med}^{a.u.}}$	$K_{zi}$ - coeficient de variație zilnică; $Q_{zi.max}^{a.u.}$ - debitul maximal zilnic al apelor uzate în timp de o lună, m <sup>3</sup> /d.
3	Coeficientul de variație orară a debitului de apă uzată:  $K_{or} = \frac{Q_{or.max}^{a.u.}}{Q_{or.med}^{a.u.}}$ $Q_{or.med}^{a.u.} = \frac{Q_{zi.max}^{a.u.}}{24}$	$K_{or}$ - coeficientul de variație orară; $Q_{or.max}^{a.u.}$ - debitul orar maxim de apă uzată într-o zi cu debitul maxim, m <sup>3</sup> /h; $Q_{zi.max}^{a.u.}$ - debit zilnic maxim de apă uzată, m <sup>3</sup> /d; $Q_{or.med}^{a.u.}$ - debitul orar mediu într-o zi cu debitul maxim al apelor uzate, m <sup>3</sup> /h.
4	Coeficient de variație globală a apelor uzate:  $K_{tot} = K_{zi} \times K_{or}$	$K_{tot}$ - coeficient de variație globală; $K_{zi}$ - coeficientul de variație zilnică; $K_{or}$ - coeficient de variație orară.
5	Numărul de instalații în funcție (grătare, deznisipatoare, decantoare, etc.)  $n = \frac{m_f}{m_{or.luna}}$	$n$ - numărul de instalații în funcție; $m_f$ - numărul de ore lucrătoare a instalațiilor într-o lună (grătare, deznisipatoare și altele); $m_{or.luna}$ - numărul de ore într-o lună.
6	Intensitatea de aerare globală:  $I_{aer} = \frac{Q_{or}^{aer}}{A_{tot}};$ $Q_{or}^{aer} = \frac{Q_{lunar}^{aer}}{m_{or.luna}};$ $A_{tot} = A_1 n_1 + A_2 n_2$	$I_{aer}$ - intensitatea de aerare, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h; $Q_{or}^{aer}$ - debitul orar de aer pentru toate instalațiile consumatoare de aer (BANA), m <sup>3</sup> /h. $A_{tot}$ - aria totală în plan a instalațiilor în funcție deznisipatoarelor, BANA, ș.a. m <sup>2</sup> . $Q_{lunar}^{aer}$ - debitul de aer pentru toate instalațiile consumatoare de aer deznisipatoarele, BANA etc. într-o lună, m <sup>3</sup> lună. $m_{or.luna}$ - numărul de ore într-o lună;

		<p><math>A_1; A_2</math> - aria în plan a unui deznisipator, BANA, ș.a. <math>m^2</math>.</p> <p><math>n_1; n_2</math> - numărul instalațiilor (deznisipatoarelor, BANA, etc.</p>
7	<p>Intensitatea de aerare a unei unități (la instalații de același tip și dimensiuni):</p> $I'_{aer} = \frac{Q_1^{aer}}{A_1}; Q_1^{aer} = \frac{Q_{luna}^{aer}}{m_f}$	<p><math>I'_{aer}</math> - intensitatea de aerare raportată la o unitate, <math>m^3/m^2/h</math>;</p> <p><math>Q_1^{aer}</math> - debitul orar de aer pentru o instalație BANA, deznisipator, bazin de contact, stabilizator aerob de nămol, <math>m^3/h</math>;</p> <p><math>Q_{lunar}^{aer}</math> - debitul de aer pentru toate instalațiile, deznisipatoarele, consumatoare de aer, BANA etc. într-o lună, <math>m^3/lună</math>;</p> <p><math>A_1</math> - aria în plan a unei instalații, <math>m^2</math>;</p> <p><math>m_f</math> - numărul de ore lucrătoare pentru toate instalațiile (deznisipatoarele, BANA, bazine de contact, stabilizatoare aerobe de nămol, consumatoare de aer etc. într-o lună.</p>
8	<p>Timpul de retenție hidraulică a apelor uzate în decantoare de același tip și dimensiuni:</p> $t_d = \frac{V_{tot}^{dec}}{Q_{or.max}^{a.u.}};$ $V_{tot} = V' \times n_d;$ $Q_{or.max}^{a.u.} = \frac{Q_{zi.max}^{a.u.}}{24}$	<p><math>t_d</math> - timpul de retenție a apelor uzate, h;</p> <p><math>V</math> - volumul zonei de decantare a tuturor decantoarelor lucrătoare, <math>m^3</math>;</p> <p><math>Q_{or.max}^{a.u.}</math> - debitul orar maxim al apelor uzate total, <math>m^3/h</math>;</p> <p><math>V'</math> - volumul unui decantor, <math>m^3</math>;</p> <p><math>n_d</math> - numărul decantoarelor lucrătoare;</p>
9	<p>Timpul de retenție hidraulică a apelor uzate în decantoare de diferite tipuri sau dimensiuni:</p> $t_d = \frac{V_{tot}^{dec}}{Q_{or.max}^{a.u.}};$ $V_{tot} = V_1 n_1 + V_2 n_2;$ $Q_{or.max}^{a.u.} = \frac{Q_{zi.max}^{a.u.}}{24}$	<p><math>t_d</math> - timpul de retenție hidraulică a apelor uzate în decantoare, h;</p> <p><math>V_1; V_2</math> - volumul zonei de decantare a decantoarelor de diferit tip sau dimensiuni, <math>m^3</math>;</p> <p><math>Q_{or.max}^{a.u.}</math> - debitul orar maxim al apelor uzate pentru un decantor, <math>m^3/h</math>;</p> <p><math>n_1; n_2</math> - numărul decantoarelor lucrătoare de fiecare tip sau dimensiuni.</p>
10	<p>Timpul de aerare a apelor uzate:</p> $t_{aerare} = \frac{V_{aer}^{tot}}{Q_{or.med}^{a.u.}};$	<p><math>t_{aerare}</math> - timpul de aerare, h;</p> <p><math>V_{aer}^{tot}</math> - volumul total al bazinelor de aerare și regeneratoarelor, <math>m^3</math>;</p> <p><math>V'_{aer}</math> - volumul unui bazin de aerare, <math>m^3</math>;</p>

	$V_{aer}^{tot} = V_{aer}' n_{aer} + V_{reg}' n_{reg} ;$ $Q_{or.med}^{a.u.} = \frac{\sum Q_{or.consecutiva}^{a.u.}}{t_{aerare}}$	<p><math>n_{aer}</math> - numărul bazinelor de aerare lucrătoare;</p> <p><math>V_{reg}'</math> - volumul unui regenerator, m<sup>3</sup>;</p> <p><math>n_{reg}</math> - numărul regeneratoarelor lucrătoare;</p> <p><math>Q_{or.med}^{a.u.}</math> - debitul orar mediu al apelor uzate la toate bazinele de aerare pe durata de aerare cu cele mai mari debite luate consecutiv;</p> <p><math>Q_{or.consecutiva}^{a.u.}</math> - suma debitelor de ape uzate în perioada de aerare în intervalul de ore maxime luate consecutiv (la rand);</p>
11	<p>Doza medie de nămol activ în instalațiile de aerare:</p> $d_{med} = \frac{d_{aer} V_{aer}' + d_{reg} V_{reg}'}{V_{aer}' + V_{reg}'} ;$ $V_{aer}' = V_{aer}' n_{aer} ;$ $V_{reg}' = V_{reg}' n_{reg}$	<p><math>d_{med}</math> - doza medie în instalație, g/l;</p> <p><math>d_{aer}</math> - doza de nămol în secțiile de aerare propriu zisă, g/l;</p> <p><math>d_{reg}</math> - doza de nămol în secțiile de regenerare, g/l;</p> <p><math>V_{aer}'</math> - volumul secțiile de aerare lucrătoare, m<sup>3</sup>;</p> <p><math>V_{reg}'</math> - volumul regeneratoarelor lucrătoare, m<sup>3</sup>;</p>
12	<p>Debitul specific de aer raportat la 1 kg CBO<sub>5</sub>:</p> $q_{CBO}^{aer} = \frac{Q_{aer}^{zi} \times 1000}{Q_{zi.med}^{a.u.} \times (L_a - L_t)}$ $Q_{zi}^{aer} = \frac{Q_{lunar}^{aer}}{m}$ $Q_{zi.med}^{a.u.} = \frac{Q_{lunar}^{a.u.}}{m}$	<p><math>q_{CBO}^{aer}</math> - debitul specific de aer raportat la 1 kg de CBO<sub>5</sub>, m<sup>3</sup>;</p> <p><math>Q_{zi}^{aer}</math> - debitul zilnic de aer, m<sup>3</sup>;</p> <p><math>Q_{zi.med}^{a.u.}</math> - debitul mediu zilnic de ape uzate, m<sup>3</sup>;</p> <p><math>L_a</math> - CBO<sub>5</sub> apelor uzate, ce intră în bazinele de aerare, g/m<sup>3</sup>, (mg/l);</p> <p><math>L_t</math> - CBO<sub>5</sub> în apele uzate epurate, g/m<sup>3</sup>, (mg/l);</p> <p><math>Q_{lunar}^{aer}</math> - debitul de aer la bazinele de aerare pentru o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p> <p><math>m</math> - numărul de zile în lună;</p> <p><math>Q_{lunar}^{a.u.}</math> - fluxul de ape uzate într-o lună, m<sup>3</sup>/lună.</p>
13	<p>Debitul specific de aer raportat la 1 m<sup>3</sup> de ape uzate epurate biologic:</p> $q_v^{aer} = \frac{Q_{lunar}^{aer}}{Q_{lunar}^{a.u.}}$	<p><math>q_v^{aer}</math> - debitul de aer la 1 m<sup>3</sup> de ape uzate;</p> <p><math>Q_{lunar}^{aer}</math> - debitul de aer la toate bazinele de aerare într-o lună, m<sup>3</sup>;</p> <p><math>Q_{lunar}^{a.u.}</math> - fluxul de ape uzate afluent în toate bazinele de aerare într-o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p>
14	<p>Încărcarea organică exprimată în CBO<sub>5</sub> și raportată la 1 m<sup>3</sup> din BANA</p>	<p><math>I_{org}^v</math> - Încărcarea de CBO<sub>5</sub> la 1 m<sup>3</sup> de</p>

	$I_{org}^v = Q_{zi.med}^{a.u.} \times L_a \times V_{total}$	bazine de aerare, g/zi/m <sup>3</sup> ; $Q_{zi.med}^{a.u.}$ - debitul mediu zilnic de ape uzate, m <sup>3</sup> ; $L_a$ - CBO <sub>5</sub> apelor uzate, ce intră în bazinele de aerare, g/m <sup>3</sup> ; $V_{tot}$ - volumul total al bazinelor de aerare și regeneratoarelor, m <sup>3</sup>
15	Încărcarea organică a nămolului activ raportată la 1 g de substanță volatilă:  $I_{org}^{n.a.} = \frac{I_{org}^v}{d_{med}(1-r_l)}$	$I_{org}^{n.a.}$ - Încărcarea organică a 1 g de substanță volatilă, g/g/m <sup>3</sup> ; $I_{org}^v$ - Încărcarea de CBO <sub>5</sub> la 1 m <sup>3</sup> de bazine de aerare, g/zi/m <sup>3</sup> ; $d_{med}$ - doza medie de nămol în instalație, g/l; $r_L$ - conținutul mineral (reziduul calcinat) în părți de unitate (de exemplu, conținut mineral 30%, $r_L = 0,30$ )
16	Încărcarea 1 m <sup>3</sup> de bazin de aerare și a 1g nămol activ substanță volatilă exprimată în materii în suspensie afluate în instalație se calculează cu aceleași relații (precedente). În loc de $L_a$ se utilizează concentrația de materii în suspensie (MS).	Încărcarea 1 m <sup>3</sup> de bazin cu materii în suspensie  $I_{MS}^v = Q_{zi.med}^{a.u.} \times MS \times V_{total}, \text{ g/zi/m}^3$ Încărcarea cu MS la 1g de substanță volatilă a nămolului activ:  $I_{MS}^{n.a.} = \frac{I_{MS}^v}{d_{med}(1-r)}, \text{ g/g/m}^3$
17	Consumul de energie electrică raportat la 1 kg CBO <sub>5</sub> eliminat (kW*h) se calculează cu relația pentru debitul specific de aer raportat la 1 kg CBO <sub>5</sub> eliminat. În locul debitului de aer se utilizează consumul de energie electrică, kWh.	$N_{CBO}^{el} = \frac{N_{zi}^{el} \times 1000}{Q_{zi.med}(L_a - L_r)}, \text{ kWh/kgCBO/zi}$
18	Viteza de filtrare:  $V_f = \frac{Q_f}{(m_{lunar} \times f)}$	$V_f$ - viteza de filtrare, m/h; $Q_f$ - cantitatea de apă tratată în filtre într-o lună, m <sup>3</sup> /lună; $m_l$ - numărul de ore lucrătoare a filtrelor pe lună; $f$ - suprafața unui filtru, m <sup>2</sup> .
19	Intensitatea spălării:  $I_{spal} = \frac{Q_{spal}}{(m_{spal} \times f \times 3600)}$	$I_{spal}$ - intensitatea spălării, l/s/m <sup>2</sup> ; $Q_{spal}$ - cantitatea de apă consumată pentru spălare într-o lună, l/lună; $m_{spal}$ - numărul de ore folosite pentru

		spălare în lună; $f$ – suprafața unui filtru, m <sup>2</sup> .
20	Timpul unei spălări: $t_{spal} = \frac{m_{spal} \times 60}{n_{spal}}$	$t_{spal}$ - timpul unei spălări, min; $m_{spal}$ - numărul de ore folosite pentru spălare în lună;
21	Filtrociclu (ciclu de filtrare) $t_f = \frac{m_f}{n_{spal}}$	$t_f$ - filtrociclu, h; $m_f$ - numărul de ore lucrătoare a filtrelor pe lună; $n_{spal}$ - numărul de spălări în lună.
22	Doza de clor: $d_{cl} = \frac{Q_{lunar}^{cl}}{Q_{lunar}^{a.u.}}$	$d_{cl}$ - doza de clor, mg/l; $Q_{lunar}^{cl}$ - conținutul de clor timp de o lună, mg/lună; $Q_{lunar}^{a.u.}$ - cantitatea de apă uzată clorată, timp de o lună, l.
23	Cantitatea de substanță volatilă conținută în nămolul primar: $G_{n.p.}^{s.v.} = \frac{Q_{namol}^{tot} (100 - W_{sed.n.p.}) \times (1 - r_{sed.n.p.})}{100}$	$G_{n.p.}^{s.v.}$ - cantitatea de substanță volatilă sedimentată, t/lună; $Q_{sed.n.p.}^{tot}$ - cantitatea de nămol evacuat din decantoarele primare timp de o lună, m <sup>3</sup> /lună; $W_{sed.n.p.}$ - umiditatea nămolului din decantoarele primare, %; $r_{sed.n.p.}$ - conținutul mineral al nămolului primar exprimat în părți de unitate.
24	Cantitatea de substanță volatilă conținută în nămolul activ în exces (NAE): $G_{NAE}^{s.v.} = \frac{Q_{NAE}^{tot} (100 - W_{NAE}) \times (1 - r_{NAE})}{100}$	$G_{NAE}^{s.v.}$ - cantitatea de substanță volatilă în NAE, t/lună; $Q_{NAE}^{tot}$ - cantitatea de NAE evacuată din decantoarele secundare timp de o lună, m <sup>3</sup> /lună; $W_{NAE}$ - umiditatea, %; $r_{NAE}$ - conținutul mineral în NAE exprimat în părți de unitate.
25	Doza de nămol (substanță uscată) încărcat în metantancuri: $d_{s.u.} = \frac{(Q_{n.p.}^{total} + Q_{NAE}^{total}) \times 100}{(m \times V_{NAE}^{total})}$	$d_{s.u.}$ - doza zilnică de încărcare a metantancurilor cu nămol, %/zi; $Q_{n.p.}^{tot}$ - cantitatea de nămol primar (n.p.) încărcat într-o lună, m <sup>3</sup> /lună; $Q_{NAE}^{tot}$ - cantitatea de nămol activ în exces

	$V_{met}^{tot} = V_{met}^l \times n_f$	<p>(NAE) încărcat într-o lună, m<sup>3</sup>/lună;  <i>m</i> – numărul de zile în lună;  <i>V<sub>met</sub><sup>tot</sup></i> – volumul total al mentantancurilor în funcțiune, m<sup>3</sup>;  <i>V<sub>met</sub><sup>l</sup></i> - volumul unui metantanc, m<sup>3</sup>;  <i>n<sub>f</sub></i> - numărul de metantancuri în funcțiune.</p>
26	<p>Doza de nămol (substanță volatilă) încărcat în metantancuri</p> $d_{s.v.} = \frac{(G_{n.p.}^{s.v.} + G_{NAE}^{s.v.}) \times 100}{(m \times V_{met}^{total})}$	<p><i>d<sub>s.v.</sub></i> - doza zilnică de încărcare a metantancurilor, %/zi;  <i>G<sub>n.p.</sub><sup>s.v.</sup></i> - cantitatea de substanță volatilă din nămolul primar, t/lună;  <i>G<sub>NAE</sub><sup>s.v.</sup></i> - cantitatea de substanță volatilă în nămolul activ în exces, t/lună;  <i>m</i> – numărul de zile în lună;  <i>V<sub>met</sub><sup>tot</sup></i> – volumul total al mentantancurilor în funcțiune, m<sup>3</sup>;</p>
27	<p>Cantitatea de biogaz obținută dintr-un 1 kg de substanță volatilă al nămolului încărcat în metantancuri:</p> $Q_{b/g} = \frac{Q_{b/g}^{tot}}{(G_{n.p.}^{s.v.} + G_{NAE}^{s.v.}) \times 1000}$	<p><i>Q<sub>b/g</sub></i> - cantitatea de gaz primită din 1 kg de substanță volatilă a nămolului încărcat în metantancuri, m<sup>3</sup>/kg;  <i>Q<sub>b/g</sub><sup>tot</sup></i> – cantitatea de biogaz obținut timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;  <i>G<sub>n.p.</sub><sup>s.v.</sup></i> - cantitatea de substanță volatilă din nămolul primar încărcat în metantancuri, t/lună;  <i>G<sub>NAE</sub><sup>s.v.</sup></i> - cantitatea de substanță volatilă în nămolul activ în exces încărcat în metantancuri, t/lună;</p>
28	<p>Procentul de fermentare raportat la gazul degajat/obținut:</p> $y = \frac{Q_{b/g}^{total} \times \gamma_g \times 100}{[(G_{n.p.}^{s.v.} + G_{NAE}^{s.u.}) \times 1000]}$	<p><i>y</i> - procentul de fermentare raportat la gaz;  <i>Q<sub>b/g</sub><sup>tot</sup></i> - cantitatea de gaz primită timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;  <i>γ<sub>g</sub></i> - densitatea medie a gazului, kg/m<sup>3</sup>;  <i>G<sub>n.p.</sub><sup>s.v.</sup></i> - cantitatea de substanță volatilă din nămolul primar încărcat în metantancuri, t/lună;  <i>G<sub>NAE</sub><sup>s.v.</sup></i> - cantitatea de substanță volatilă în nămolul activ în exces încărcat în metantancuri, t/lună;</p>
29	<p>Procentul de substanță volatilă fermentat din nămolul încărcat în metantancuri:</p>	<p><i>y<sub>ferm</sub></i> - procentul de substanță volatilă sedimentat prelucrată, %;</p>



	$Y_{fer} = \frac{G_{fer}^{s.v.} \times 100}{(G_{n.p.}^{s.u.} + G_{NAE}^{s.v.})};$ $G_{fer}^{s.v.} = \frac{Q_{nam.fer}^{tot} (100 - W_{ferm}) \times (1 - r_{nam.ferm})}{100};$ $Q_{nam.ferm}^{total} = Q_{n.p.} + Q_{NAE}$	<p><math>G_{ferm}^{s.v.}</math> - cantitatea de substanță volatilă din nămolul supus fermentării pe parcursul unei luni, t/lună;</p> <p><math>Q_{nam.ferm}^{tot}</math> - debitul de nămol fermentat în metantancuri timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p> <p><math>W_{ferm}</math> - umiditatea nămolului fermentat, %;</p> <p><math>r_{ferm}</math> - conținutul mineral în nămolul fermentat, %;</p> <p><math>Q_{n.p.}</math> - debitul de nămol primar (n.p.) încărcat timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p> <p><math>Q_{NAE}</math> - debitul de nămol activ în exces (NAE) încărcat timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p> <p><math>G_{n.p.}^{s.v.}</math> - cantitatea de substanță volatilă din nămolul primar încărcat în metantancuri, t/lună;</p> <p><math>G_{NAE}^{s.v.}</math> - cantitatea de substanță volatilă în nămolul activ în exces supus fermentării, timp de o lună, t/lună;</p>
30	<p>Consumul specific de căldură la 1 m<sup>3</sup> de nămol încărcat în metantancuri:</p> $S_{cal} = \frac{Q_{cal}^{tot}}{(Q_{n.p.} + Q_{NAE})}$	<p><math>S_{cal}</math> - consumul specific de energie termică la 1 m<sup>3</sup> de nămol supus fermentării, kCal/m<sup>3</sup>;</p> <p><math>Q_{cal}^{tot}</math> - consumul de energie termică pentru încălzirea metantancurilor timp de o lună, kCal/lună;</p> <p><math>Q_{n.p.}</math> - cantitatea de nămol primar (n.p.) încărcat timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p> <p><math>Q_{NAE}</math> - cantitatea de nămol activ în exces (NAE) încărcat timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p>
31	<p>Cantitatea de substanță uscată în nămolul supus deshidratării:</p> $G_{nam}^{s.u.} = \frac{Q_{nam}^{s.u.} (100 - W_{nam})}{100}$	<p><math>G_{nam}^{s.u.}</math> - cantitatea de substanță uscată a nămolului timp de o lună, t/lună;</p> <p><math>Q_{nam}^{s.u.}</math> - debitul nămolului care urmează să fie supus deshidratării timp de o lună, m<sup>3</sup>/lună;</p> <p><math>W_{nam}</math> - umiditatea nămolului supus deshidratării, %.</p>
32	<p>Capacitatea filtrelor-vacuum raportată la substanța uscată:</p> $P_{f.v.} = \frac{G_{SU} \times 1000}{(m_p \times f)}$	<p><math>P_{f.v.}</math> - capacitatea filtrelor-vacuum raportată la substanța uscată, kg/(m<sup>3</sup>/h);</p> <p><math>m_p</math> - numărul de ore lucrătoare a tuturor filtrelor-vacuum timp de o lună;</p> <p><math>f</math> - suprafața de filtrare a unui filtru-</p>

		vacuum, m <sup>2</sup>
33	<p>Doza de coagulant/floculant:</p> $d_{coag} = \frac{A \times 100}{G_{nam}^{S.U.}}$ $A = \frac{G_{coag} \times a}{100};$ <p>Sau <math>d = \frac{G_{coag} \times a}{G_{nam}^{S.U.}}</math></p>	<p><math>d_{coag}</math> – doza de produs curățat al coagulant/floculant din substanța uscată a nămolului, %;</p> <p><math>A</math> – consumul produsului curat al coagulantului/floculantului, t/lună;</p> <p><math>G_{nam}^{S.U.}</math> - cantitatea de substanță uscată a nămolului supus condiționării timp de o lună, t/lună;</p> <p><math>G_{coag}</math> - cantitatea de coagulant/floculant folosit timp de o lună, t/lună;</p> <p><math>a</math> – conținutul de substanță activă în coagulant/floculant, %</p>
34	Doza de var, % din substanța uscată, se determină în mod similar (cu aceleași relații) cu doza coagulantului/ flocul.	
35	<p>Cantitatea de substanță uscată rezultă din deshidratare:</p> $G_{nam.deshidr.}^{S.U.} = \frac{Q_{nam} (100 - W_{nam}^{deshidr.})}{100}$	<p><math>G_{nam.deshidr.}^{S.U.}</math> - cantitatea de substanță uscată deshidratat, t;</p> <p><math>Q_{nam}</math> - cantitatea de namol deshidratat, m<sup>3</sup>;</p> <p><math>W_{nam}^{deshidr.}</math> - cantitatea de umiditate a nămolului deshidratat, %;</p>

## Deficiențe în exploatare [23]

### 1. Decantoare

**Deficiențe de exploatare.** Acestea se pot produce din mai multe motive.

*Nămol plutitor.* Cauza: fermentarea anaerobă a nămolului depus în decantor și flotarea lui de către gazele de fermentare, la suprafața lichidului.

Prevenirea și remedierea constă în evacuarea cât mai completă sau mai des a nămolului depus, aplicându-se una dintre următoarele metode:

- se lasă să funcționeze racloarele mecanice o durată mai lungă sau se utilizează mai des;
- se înlocuiesc racleții de lemn ruși sau deformați;
- se înlătură cât mai complet nămolul din părțile mai adâncite ale decantorului, prin pompare sau evacuare gravitațională;
- se îndepărtează, prin răzuire sau utilizându-se jetul de apă, nămolul care s-a lipit pe radierul decantorului.

*Nămol negru și mirositor.* Cauza: apele uzate brute intră în fermentare anaerobă sau apele de nămol (supernatant) separate la bazinele de fermentare a nămolului au o concentrație prea mare.

Prevenire și remediere: pentru ca apele uzate să nu mai fermenteze, se procedează astfel:

- se deconectează toate fosele septice din sistemul de canalizare;
- se pretratează apele uzate care conțin concentrații mari de substanțe organice, care fermentează cu ușurință, cum sunt cele de la fabricile de conserve, de lapte, de bere, de la tăbăcării și reziduuri textile organice;
- se introduce clor în canalul colector sau înaintea decantorului, pentru a întârzia sau a reduce posibilitatea de fermentare a apelor uzate. Această operație este eficientă, în special în situațiile în care durata de parcurgere a apelor brute prin canalizare este lungă, când temperatura acestora este ridicată sau când apa conține anumite reziduuri organice;
- se prearează reziduurile organice;
- se îmbunătățește scurgerea în colectoarele de canalizare, pentru a reduce acumulările de solide care ar putea fermenta anaerob.

Pentru ca supernatantul separat în rezervoarele de fermentare să nu influențeze negativ funcționarea decantorului primar, se procedează astfel:

- se corectează și se îmbunătățește fermentarea nămolului, pentru a se obține o apă de nămol cu caracteristici cât mai bune;
- se micșorează cantitatea de ape de nămol evacuate la decantorul primar;
- se amână, dacă este posibil, evacuarea apei de nămol până când se obține o calitate mai bună a acesteia;
- se descarcă, o parte sau toată apa de nămol ce se evacuează, în alte părți ale stației de epurare, cum ar fi: platformele de uscare a nămolului, iazuri de nămol sau bazinele de aerare, până când calitatea acesteia se îmbunătățește. În unele împrejurări, evacuarea apei de nămol în aceste puncte poate fi permanentă;
- se decantează apele de nămol.

*Decantarea excesivă în canalele de intrare.* Cauza: viteza de curgere a apei prea mică prin canalul de scurgere.

Revenirea și remedierea se realizează astfel:

- se reduce suprafața secțiunii transversale prin instalarea unui perete interior dintr-un material adecvat, de-a lungul unei laturi a canalului;
  - se agită apa prin barbotare de aer sau prin alte mijloace, pentru a se preveni depunerile.
- Ancrasarea excesivă a suprafețelor construcțiilor și a deversoarelor cu materiale solide.*

Cauza: acumularea materiilor solide din apele uzate și ca urmare a creșterilor microbiene.

Prevenirea și remedierea se realizează astfel:

- se curăță cu o frecvență mai mare și mai temeinic toate suprafețele care vin în contact cu apele uzate;
- se precloarează apele uzate și se îndepărtează nămolul care s-a lipit pe fundul decantorului.

*Modificări intermitente ale debitului.* Cauza: variații mari ale vitezei de pompare.

Prevenirea și remedierea se realizează astfel:

- se pornesc și se opresc pompele în raport cu cantitatea de apă care trebuie pompată; se stabilește un program de funcționare a pompelor, în funcție de debitul maxim și minim de ape uzate care poate trece prin stație; se caută să se mențină un debit de pompare apropiat de cel cu care apa uzată intră în stație;
- se reglează mai bine șicanele de la distribuitorul de debit.

*Ruperea lanțurilor raclorului și forfecarea lor frecventă.* Cauza: încărcarea excesivă a instalației de colectare mecanică a nămolului.

Prevenirea și remedierea se realizează astfel:

- se golește periodic decantorul și se examinează toate piesele metalice, spre a se constata defectele și gradul de uzură;
- se înlocuiesc piesele defecte și uzate, în special prezoanele, legăturile uzate dintre lanțuri și racleții de lemn foarte uzați, rupți sau deformați;
- se înlătură continuu gheața formată pe pereți și pe suprafața decantorului;
- se urmărește cantitatea de nisip depusă în decantor. Dacă este prea mare, se amenajează un deznisipator înainte de decantor. Dacă există deznisipator, se îmbunătățește funcționarea acestuia;
- se lasă raclorul să funcționeze o perioadă mai lungă și se pompează mai des materialul depus.

*Nămolul se înlătură greu din partea adâncită a bazinului și din pîlniile de colectare.*

Cauze: conținutul mare al apelor uzate în nisip, argile sau alte materiale grele; viteza scăzută de curgere a nămolului în conductele de evacuare.

Prevenirea și remedierea se realizează astfel:

- se reduce conținutul de nisip prin instalarea de deznisipatoare, prin îmbunătățirea funcționării acestora și prin eliminarea surselor de nisip ce intră în canalizare;
- se reduce cantitatea de argilă, prin eliminarea sursei, acolo unde este posibil, în special când canalizarea este în sistem divizor;
- se răscolește materialul depus, utilizându-se jeturi de apă sau aer sau prin procedee manuale;
- se desfundă conductele de spălare;
- se pompează nămolul mai frecvent;
- se revizuiesc conductele de nămol.

## 2. Bazine de aerare cu nămol activ

**Deficiențe de exploatare.** Pot fi de mai multe feluri.

*Schimbări ale indicelui de nămol.* Cauza: nămolul activ este o cultură de microorganisme, eterogenă, formată dintr-un număr de specii și genuri, ale cărei proprietăți specifice se modifică datorită variației caracteristicilor apelor uzate și a condițiilor de exploatare; ca urmare a acestor variații, indicele de nămol se schimbă din timp în timp.

Indicele de nămol se modifică atunci când:

- apele uzate conțin materii inerte, cu densitate mare, cum ar fi argilele, cenușa, particulele fine de nisip etc.; în aceste condiții, indicele de nămol scade; scăderea arată că nămolul sedimentează cu ușurință și că nu sunt probleme deosebite în exploatarea decantoarelor secundare;
- apele uzate conțin mari cantități de substanțe organice, care contribuie la creșterea încărcării nămolului activ: atunci, indicele de nămol crește. Condițiile care provoacă creșterea indicelui de nămol pot crea probleme deosebite la separarea, concentrarea și recircularea nămolului din decantoarele secundare în bazinele de aerare. Dacă indicele de nămol crește în asemenea măsură încât este afectat procesul de epurare biologică, se spune că nămolul se umflă.
- Concentrația de oxigen în bazinul de aerare scade sub anumite limite. Se pare că microorganismele care „populează nămolul umflat” se dezvoltă mai bine la concentrații scăzute de oxigen.

Prevenirea și remedierea se realizează prin:

- creșterea concentrațiilor de nămol activ în bazinul de aerare și menținerea acestora la valori ridicate cât mai mult posibil. S-a demonstrat practic că tendința spre „umflare” a nămolului este dată de unele microorganisme filamentoase sau cu aspect gelatinos, a căror creștere este încetinită de concentrațiile mari de biomasă (nămol activ). Menținerea unor concentrații ridicate de biomasă în bazinul de aerare depinde de capacitatea sistemului de aerare de a asigura cu oxigen procesul în asemenea condiții și de cea a instalațiilor de recirculare și evacuare a nămolului excendentar;
- creșterea cantității de aer introduse în bazinele de aerare; s-a dovedit, uneori, a avea un efect pozitiv asupra umflăturii nămolului;
- administrarea nămolului recirculat, a unor doze de clor alese judicios. Dozele considerate, în general, eficiente sunt de 10-20 mg/l (valori raportate la volumul nămolului recirculat). Dozele de clor se pot raporta și la conținutul de suspensii exprimate ca substanță uscată; în acest sens, se recomandă doze de clor de 0,3-0,6% din substanța uscată. Efectul clorului asupra umflării s-a atribuit mai multor cauze. Printre altele, el ar scoate apa strâns legată de materia gelatinoasă din nămolul activ. Aplicarea clorului pentru controlul umflăturii nu înlătură cauzele fenomenului, așa încât tratamentul este eficace atât timp cât se aplică;
- amestecarea nămolului fermentat anaerob cu nămolul activ.

Procedeu presupune amestecarea de nămol fermentat cu nămol activ recirculat în raport de 1:1, aerarea amestecului un anumit interval de timp și introducerea nămolului activ astfel obținut în bazinele de aerare. Scăderea indicelui de nămol este cu atât mai pronunțată cu cât cantitatea de nămol fermentat adăugat, exprimată sub formă de substanță uscată, este mai mare.

Aceste intervenții în exploatare sunt recomandate, de obicei, pentru combaterea umflăturii nămolului în stațiile de epurare a apelor uzate orășenești. Aplicarea lor conduce mai mult sau mai puțin la scăderea indicelui de nămol.

Problema umflării nămolului este însă deosebit de importantă, atât pentru stațiile de epurare mecano-biologice orășenești cât și pentru unele stații de epurare biologică industriale, iar combaterea acestui fenomen nu este deloc simplă, întrucât „umflarea” apare ca rezultatul influenței unui foarte mare număr de factori.

*Ridicarea nămolului activ la suprafață.* Cauza: nitrificarea excesivă. Nitrificarea, de fapt, provoacă două dezavantaje majore:

- flotarea nămolului separat în decantor, la suprafața acestuia. Acțiunea se datorează gazelor produse de unele bacterii anaerobe, care în absența oxigenului descompun azotații din apă, producând, printre altele, azot și bioxid de carbon. Bulele de gaz în drumul lor ascendent antrenează și nămolul activ. Aceste fenomene de nitrificare și flotare a nămolului au loc dacă se lasă să se acumuleze la baza decantorului (pe radier) un strat considerabil de nămol. Când nămolul plutește la suprafața decantorului, în efluentul acestuia se înregistrează o creștere semnificativă a concentrației de suspensii;
- accentuarea fenomenelor de eutrofizare (degradare) a receptorilor, din cauza conținutului mare de săruri de azot (azotați și azotiți). Aceste săruri au rolul de fertilizanți pentru flora acvatică, care se va dezvolta excesiv, iar după moarte, materia organică pe care o conțin contribuie la o scădere pronunțată a concentrației de oxigen, ceea ce pune în pericol existența vieții în receptor.

Prevenirea și remedierea: când apare nămolul plutitor la suprafața apei în decantoarele secundare, se pot lua următoarele măsuri:

- se mărește debitul de nămol activ recirculat, care se pompează din decantorul secundar; aceasta reduce timpul de staționare a nămolului pe radierul decantorului și crește perioada de timp în care nămolul este sub aerare;
- se reduce încărcarea cu ape uzate a bazinului de aerare, prin punerea în funcțiune a unor unități de rezervă;
- se mărește viteza de mișcare a mecanismelor de colectare a nămolului;
- se reduce aerarea prin scoaterea din funcțiune a unor echipamente de aerare; micșorarea aerării are ca efect o reducere a nitrificării.

*Formarea spumei.* Cauza: concentrații mari de detergenți sau alte produse tensioactive în apele uzate.

Spuma tinde să se formeze pe laturile bazinelor de aerare opuse acelor pe care sunt amplasate dispozitivele de aerare. În cazul turbinelor de aerare cu ax vertical, spuma se strânge la periferia bazinelor. Spuma se adună în cantitate mare, se revarsă peste pasarele și scări de acces, făcându-le alunecoase și periculoase, mai ales în porțiunile în care sunt murdare. Vântul poate împrăști spuma în incinta stației, murdărind construcțiile și constituind un pericol pentru sănătatea muncitorilor.

Cantitatea spumei formate crește în funcție de:

- scăderea concentrației de materii solide (nămol activ) în lichidul aerat;
- creșterea aerării și a gradului de amestec;
- creșterea eficienței de epurare a apelor uzate;
- creșterea temperaturilor atmosferice.

Prevenirea și remedierea se realizează astfel:

- se stropesc suprafețele acoperite cu spumă cu apă curată, efluent epurat, apă decantată etc.;
- se aplică pe suprafața bazinului cantități mici de substanțe antispumante. Antispumantii sunt substanțe active care îndepărtează rapid spuma, dar care nu sunt eficiente decât pe perioade scurte; este de multe ori necesară aplicarea lor de câteva ori pe oră;
- se mărește concentrația de nămol activ din bazinul de aerare, prin creșterea gradului de recirculare și reducerea evacuării de nămol excendentar. Acest mod de combatere a spumei s-a dovedit cel mai eficient. Pentru a putea fi aplicat cu rezultate bune, este necesar ca nămolul activ să aibă un indice al nămolului mic.

### **3. Tratarea nămolurilor**

#### **Deficiențe de exploatare.**

##### **Bazine de fermentare a nămolului**

- Variația temperaturii în limite largi;
- Scăderea temperaturii în unitățile cu serpantine cu apă fierbinte;
- Scăderea producției de gaz fără variația temperaturii;
- Formării crustei în rezervoare.

##### **Deshidratarea naturală a nămolului**

- Băltirea apei de nămol în unele zone ale platformei
- Formarea gropilor în dreptul gurilor de descărcare
- Înfundarea conductelor dinaintea gurilor de descărcare

### **4. Măsurarea debitelor în stațiile de epurare**

#### **Deficiențe de exploatare.**

- Uneori corpurile străine care pătrund în dispozitivele de măsurare se depun pe pereții acestora, pe muchiile deversoarelor; este necesar să se ia măsurile corespunzătoare pentru împiedicarea pătrunderii lor
- Uzura fie a dispozitivului, fie a aparatului conduce la indicarea eronată a debitului
- Umezeala în aparat poate conduce la umezirea diagramelor, deci la înregistrări eronate, fiind necesar să se folosească elemente de încălzire sau o lampă electrică
- Eroziunea pereților dispozitivelor de măsurare a debitului, provocată de particule de nisip sau pietriș necesită fie luarea de măsuri pentru împiedicarea intrării în dispozitiv a acestora, fie căptușirea lor cu materiale mai rezistente
- Înălțime de nivel negativă la un dispozitiv de măsurare, indică deranjarea acestuia; ea poate fi datorită de exemplu, lipsei de diferență de nivel într-o conductă, în care caz trebuie să se folosească un transmițător de joasă presiune, sau aparatul de măsură trebuie mutat într-o poziție corespunzătoare.

## Raport privind indicii de calitate a apelor recepționate la SEB mun. Chisinau si supuse epurării (perioada 01-01-2018 ..... 31-12-2018)

Nr	Denumirea indicatorilor (UM)	Locul prelevării moostrei	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Media	Normele DLA nr.950 din 25.11.2013	
1	Indicile de hidrogen (pH)/(unități ph)	intrare SE (p.1)	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68		
		iesire SE (p.9)	7,81	7,86	7,79	7,81	7,82	7,80	7,83	7,87	7,71	7,72	7,77	7,91	7,81	6.500-8.500	
2	Temperatura (T)/(C)	intrare SE (p.1)	13,14	12,35	12,69	12,26	20,91	23,97	23,84	25,22	23,71	20,79	16,29	14,02	18,27		
		iesire SE (p.9)	13,88	13,10	13,35	17,57	22,21	25,23	25,47	26,44	24,72	21,42	17,02	13,47	19,49	30.000	
3	Consumul chimic de oxigen (CCO)/(mgO/l)	intrare SE (p.1)	437,76	454,15	388,90	408,20	525,60	429,09	384,30	484,88	427,32	471,90	443,77	412,95	439,07		
		iesire SE (p.9)	79,97	70,56	89,90	82,35	103,52	125,79	73,82	58,23	77,40	84,80	70,34	78,73	82,95	125.000	
4	Consumul biochimic de oxigen (CBO5)/(mg O2/l)	intrare SE (p.1)	196,85	212,20	179,85	203,05	267,04	216,57	181,86	226,33	203,36	220,08	176,70	192,35	206,35		
		iesire SE (p.9)	13,29	12,11	12,58	12,63	17,06	26,52	13,08	8,47	10,31	11,97	8,64	13,90	13,38	25.000	
5	Cloruri (CL)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	91,00	98,00	101,60	103,00	98,00	98,00	95,00	84,00	94,00	107,00	125,00	104,00	99,88		
		iesire SE (p.9)	83,00	92,00	92,80	100,00	87,00	88,00	93,00	76,00	91,00	99,00	92,00	92,00	90,48	300.000	
6	Sulfăți (SO4 2-)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	176,00	149,00	155,00	216,00	109,00	103,00	121,00	97,00	85,00	122,00	91,70	100,90	127,13		
		iesire SE (p.9)	113,00	137,00	148,00	195,00	125,00	115,00	131,00	99,00	109,00	128,00	101,20	108,00	125,77	400.000	
7	Azot amoniacal (NH4+- >N)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	40,70	42,90	35,17	35,10	49,13	38,36	37,80	40,37	42,40	43,63	44,30	42,60	41,04		
		iesire SE (p.9)	20,96	21,00	17,26	23,50	28,60	31,36	19,56	14,86	13,80	21,13	23,40	22,96	21,53	2.000	
8	Detergenți (anionici)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	1,59	1,35	0,90	0,78	0,73	1,57	1,27	1,39	0,65	1,30	1,53	1,29	1,20		
		iesire SE (p.9)	0,07	0,11	0,12	0,10	0,02	0,20	0,15	0,16	0,07	0,11	0,15	0,10	0,11	0,500	
9	Fenol/ (mg/l)	intrare SE (p.1)	0,08	0,07	0,10	0,09	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,09	0,05	0,06		
		iesire SE (p.9)	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,300	
10	Fier total(Fe total)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	0,84	1,12	0,31	1,68	0,89	0,39	1,87	0,81	1,04	0,75	0,86	2,62	1,10		
		iesire SE (p.9)	0,25	0,34	0,17	0,44	0,29	0,26	0,89	0,39	0,44	0,26	0,32	0,39	0,37	5.000	
11	Nitriți (NO2)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	0,21	0,15	0,21	0,22	0,06	0,07	0,09	0,23	0,04	0,07	0,08	0,08	0,13		
		iesire SE (p.9)	0,71	0,68	13,00	0,55	0,63	0,02	0,98	0,62	0,57	0,49	0,52	0,71	1,62	1.000	
12	Materii totale în suspensii (MS)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	285,80	268,40	244,47	269,84	305,14	238,28	224,32	245,50	251,63	258,25	210,13	209,80	250,96		
		iesire SE (p.9)	25,42	21,82	28,38	26,73	31,19	53,57	53,54	13,57	27,67	24,17	14,52	21,02	28,47	35.000	
13	Oxigen dizolvat (O2)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	7,88	7,95	8,04	7,54	6,69	6,34	6,86	6,67	6,44	6,99	7,48	8,21	7,26		
		iesire SE (p.9)													0,00		
14	Nitrați (NO3)/(mgN/l)	intrare SE (p.1)	0,22	0,19	0,24	0,78	0,17	0,15	0,21	0,29	0,17	0,17	0,16	0,15	0,24		
		iesire SE (p.9)	1,46	1,61	0,74	4,60	0,57	0,10	1,09	1,57	1,56	0,75	0,73	0,52	1,28	25.000	
15	Azot total Kjeldahl (NTK)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	58,80	67,20	60,43	66,53	70,30	61,13	56,70	64,63	57,20	63,46	64,86	65,10	63,03		
		iesire SE (p.9)	26,86	26,13	30,46	31,86	33,96	38,76	25,33	21,83	17,86	24,63	30,13	29,80	28,13	10.000	
16	Fosfor total(P total)/(mg/l)	intrare SE (p.1)	13,76	12,38	14,06	11,73	14,70	14,43	13,06	12,83	15,00	8,60	9,50	13,10	12,76		
		iesire SE (p.9)	4,66	1,17	2,93	1,93	5,33	7,93	1,93	1,39	3,33	3,68	1,26	6,33	3,49	2.000	



## Fișa privind funcționarea SEB Chișinău pe anul 2018

Denumirea parametrilor													Media pe anul 2018	Total pe anul 2018
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Debitul apelor uzate total, mii m <sup>3</sup> /lună	4347,174	4157,700	4996,387	4182,287	4232,029	4220,402	4427,981	4046,791	4128,385	4215,408	4259,793	4260,000		
Debitul apelor uzate medii, mii m <sup>3</sup> /24 ore	140,23	148,49	161,17	139,41	136,52	140,68	142,84	130,54	137,61	135,98	141,99	137,42	141,07	
Debitul apelor uzate medii, mii m <sup>3</sup> /h	5,84	6,19	6,72	5,81	5,69	5,86	5,95	5,44	5,73	5,67	5,92	5,73	5,88	
Doza medie a nămolului în regenerat, g/l	8,700	6,915	7,563	6,798	7,030	7,087	4,791	5,217	5,531	6,850	5,895	7,340	6,643	
Doza medie a nămolului în BANA, g/l	5,174	4,076	4,337	4,051	4,246	4,164	2,739	3,183	3,397	4,105	3,135	4,220	3,902	
Doza medie a nămolului în sistem, g/l	6,937	5,496	5,950	5,425	5,638	5,626	3,765	4,200	4,464	5,478	4,515	5,780	5,27	
Indicii de nămol														
camera de distribuție 1	119,176	114,200	125,933	159,067	184,75	175,938	119,353	127,417	155,500	129,158	130,471	132,3	139,44	
camera de distribuție 2	119,824	110,267	125,600	151,8	179,938	167,375	116,714	103,000	144,900	125,895	131,235	126,570	133,59	
camera de distribuție 3	119,294	113,333	132,60	156,07	187,471	162,625	116,714	122,000	149,938	128,421	128,176	129,500	137,18	
Numărul bazinelor de aerare lucrătoare, buc.	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,00	
Volumul total al bazinelor de aerare lucrătoare, mii m <sup>3</sup>	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,00	
Umiditatea nămolului, %														
brut	96,7355	96,255	96,143	96,099	96,3060	95,6870	94,281	96,225	96,504	97,09975	97,5315	96,760	96,30	
activ în exces	99,047	99,225	99,192	99,1875	99,17500	99,2138	99,293	99,2330	99,2700	99,1200	99,260	99,19	99,20	
Cenușa														
activ în exces	0,2355	0,26725	0,28321	0,282625	0,24579	0,258250	0,299960	0,314415	0,284850	0,230000	0,29230	0,27000	0,2720	
Încărcarea după CBOs/1g masa mediu	51,08	71,30	69,70	67,35	75,33	61,45	75,00	75,29	70,29	83,29	101,80	59,40	71,77	861,280
Încărcarea după CBO <sub>20</sub> /1g masa mediu	77,98	97,80	104,46	81,39	86,44	69,97	103,26	78,20	98,39	133,75	180,89	88,61	100,10	1201,140
Gradul de recirculare	1,380	1,330	1,260	1,400	1,420	1,340	1,260	1,510	1,490	1,320	0,980	1,270	1,33	15,960
Timpul mediu de aerare, h	4,960	4,770	4,540	4,940	5,000	5,010	5,120	5,050	4,810	5,230	5,860	5,290	5,05	60,580
Timpul de gășire a nămolului în BANA propriu zis, h	4,960	4,770	4,540	4,940	5,000	5,010	5,120	5,050	4,810	5,230	5,860	5,290	5,05	60,580
Regenerare, %	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	6,000
Debitul nămolului activ recirculat, m <sup>3</sup> /h	8063,31	8228,781	8461,623	8132,225	8077,26	7854,637	7499	8213,245	8543,463	7478,95	5798,052	7271,77419	7801,86	93622,317
Vîrsta nămolului, zile	14,900	12,190	12,950	17,920	13,510	16,140	16,110	25,510	14,980	7,890	7,120	16,630	14,65	175,850
Consumul energiei electrice la pompare, mii kW/lună	458,640	413,136	456,984	422,928	441,720	435,672	428,472	420,480	382,896	405,792	407,664	361,87	419,69	5036,254

## Parametri de intrare și ieșire a procesului biologic cu nămol activ [32]

a) Parametrii de intrare în bazinul de aerare	
1	<p><b>Încărcarea organică a apei la intrare (a fluentului) –</b></p> <p><math>S_i = CBO_5</math> [mg/l] – este un parametru care variază sezonier, diurn, orar în funcție de compoziția și concentrația apelor uzate care intră în stația de epurare prin rețeaua de canalizare. În măsura posibilului se recomandă ca acest parametru să fie cât mai constant, fapt care se poate realiza prin construirea unui bazin de egalizare și uniformizare. Aceasta va permite o exploatare normală, compactă, rațională și economică a stației de epurare. Cantitatea de substanță organică care trebuie îndepărtată zilnic din bazinul de aerare este dată de expresia</p> <p><math>S_i \times Q_{au}^{inf} \times 24</math> [kgCBO<sub>5</sub> / zi] - parametru de dimensionare a instalației de epurare.</p>
2	<p><b>Încărcarea în nămolul activ recirculat - <math>X_d</math> [mg / l]</b> - suspensii solide uscate – concentrație specifică a nămolului recirculat. Este un parametru care depinde de procentul de nămol recirculat din decantorul secundar <math>\beta</math>. Acest parametru, <math>\beta = 20...100\%</math>, crește pe măsura reducerii timpului de aerare. Încărcarea în nămol activ recirculat trebuie să se coreleze cu încărcarea organică <math>S_i</math> și cu timpul de aerare din bazinul de oxidare.</p> <p>Legat de cei doi parametri importanți mai apar: încărcarea organică din nămolul recirculat <math>S</math> și încărcarea în nămol activ (bacterii) din apa uzată – influent - <math>X_i</math>. Valorile lor sunt însă mult mai mici în raport cu cele ale parametrilor <math>S_i</math> și <math>X_d</math>.</p>
3	<p><b>Debit de oxigen transferat - <math>Q_{ox}</math> [Nm<sup>3</sup>O<sub>2</sub> / h]</b> sau capacitate de oxigenare <math>CO</math> [kgO<sub>2</sub> / h].</p> <p>Legat de acest parametru apar alți doi dependenți: a) debit de aer introdus <math>Q_{aer}</math> [Nm<sup>3</sup> / h] corelat cu primul prin relația</p> $Q_{aer} = \frac{Q_{ox}}{0,21 \times \eta_{ox}} \text{ sau } CO = \frac{Q_{ox} \times \rho_{ox}}{0,21 \times \eta_{ox}}, \text{ unde } \eta_{ox} \text{ este randamentul de transfer al oxigenului}$ <p>din aer în apă, 0,21 reprezintă ponderea oxigenului în aerul atmosferic, iar <math>\rho_{ox}</math> - densitatea oxigenului; b) energia consumată pentru introducerea oxigenului în masă de apă <math>E</math> [kWh].</p>
4	<p><b>Necesar de nutrienți - <math>N_{ni}</math> (N – azot; F – fosfor)</b> - elemente nutritive care există sau nu în apa uzată și deci trebuie dozate conform necesităților impuse de proces. În procesul de epurare biologică cu nămol activ se recomandă să existe rapoartele <math>CBO_5 : N : P = 150 : 5 : 1...90 : 5 : 1</math> funcție de tipul apei uzate. Pe lângă aceste elemente mai este necesară prezența altora care trebuie să fie sub formă de urme – oligoelemente: mangan, magneziu, potasiu etc.</p>
5	<p><b>Debitul de apă uzată - <math>Q_{au}</math> [m<sup>3</sup> / h]</b> - este debitul total de apă <math>Q_{au}^{inf}</math> [m<sup>3</sup> / h] la care se adaugă debitul recirculat; este recomandabil a fi cât mai constant posibil.</p>
6	<p><b>Debitul de nămol recirculat - <math>Q_{NAR}</math></b> - reprezintă volumul de nămol în soluție apoasă (concentrație în s.s.u. 1-2% - așa cum rezultă din decantorul secundar) care se introduce în</p>

	<p>unitatea de timp în bazinul de aerare. El vine în contact cu apa uzată direct la intrarea în aerotanc – schema clasică – convențională de mică încărcare sau cu distribuție în etape a nămolului și apei – schema cu aerotanc complet amestecat.</p> <p>Scopul recirculării este de a realiza și menține concentrații mai mari de nămol activ în bazinul de aerare. În acest mod se va menține la un nivel constant încărcarea organică a nămolului activ din bazinul de aerare. Raportul de recirculare <math>R[\%]</math> se determină cu relația</p> $R[\%] = \frac{100 \times X \times IVN \times 10^{-3}}{1 - X \times IVN \times 10^{-3}},$ <p>în care <math>X</math> este concentrația în biomasă existentă în bazinul de aerare. Acest raport de recirculare, <math>Q_{NAR} = RQ</math>, crește cu majorarea indecilor volumului de nămol <math>IVN</math>.</p>
<b>b) Parametrii de ieșire din bazinul de aerare</b>	
1	<p><b>Debitul de apă încărcată cu suspensii – flocoane de nămol activ</b> - <math>Q_{au}</math> - care din punct de vedere hidraulic este <math>Q_{au} = Q_{au}^{inf} + Q_{NAR}</math>. Acest mediu polifazic se caracterizează prin încărcarea organică <math>S[CBO_5]</math>, care a mai rămas în apa tratată și concentrația <math>X</math> a substanței volatile – flocoane de nămol activ. El se caracterizează prin concentrația în biomasă <math>X &gt; X_0</math> și în substrat <math>S &lt; S_0</math>; cele două inegalități sunt valabile dacă procesul biologic este amorsat și corect condus. Totodată, în acest debit de ieșire trebuie să existe o concentrație a oxigenului dizolvat, oxigen rezidual, care să asigure viața microorganismelor din flocoane pe o perioadă de timp impusă în procesul de sedimentare din decantorul secundar.</p>
<b>a) Parametrii de evacuare din decantorul secundar</b>	
1	<p><b>Debitul de apă epurat</b> - <math>Q_{au}^{efl}</math> - este volumul de apă deversat în unitatea de timp în emisar. În condiții de regim permanent hidraulic acest debit <math>Q_{au}^{efl}</math> este egal cu ceea ce intră <math>Q_{au}^{inf}</math>. El rezultă din debitul total care intră în decantorul secundar din bazinul de aerare <math>Q_{au}</math> din care se scade debitul de nămol extras pe la partea inferioară <math>\alpha \times Q_{au}</math>.</p>
2	<p><b>Debitul de nămol evacuat</b> - <math>Q_n</math>. Decantorul secundar este destinat reținerii flocoanelor de nămol activ. Pentru un timp de retenție de 1,5 ... 2,5 ore, el trebuie să rețină, teoretic, integral flocoanele de nămol activ; în apa evacuată în emisar ar putea să rămână eventual numai microorganisme izolate. Așadar, în cazul funcționării corecte a decantorului secundar la ieșirea apei tratate concentrația în suspensii de nămol activ este <math>X = 0</math>. Acest debit de nămol <math>Q_n</math> este o fracțiune din cel total <math>Q_{au}</math> care intră în decantorul secundar, <math>Q_n = \alpha \times Q_{au}</math> (<math>\alpha &lt; 1</math>). El se repartizează în două părți:</p>
3	<p><b>Debitul de nămol recirculat</b> - <math>Q_{NAR}</math> - reprezintă partea din debitul de nămol extras din decantorul secundar care se introduce în bazinul de aerare, odată cu apa uzată, pentru însămânțarea instalației biologice de epurare cu bacterii tinere și viguroase. El reprezintă un procent <math>\beta</math> din debitul de nămol <math>Q_n</math> extras, <math>Q_{NAR} = \beta \times Q_n = \alpha \times \beta \times Q_{au}</math></p> <p>Pentru a obține o epurare biologică cât mai eficientă debitul de nămol recirculat se va regla funcție de necesități. Procesul va avea valori, funcție de proces și varianta de încărcare, între <math>\beta = 10...100\%</math> (în procesul convențional <math>\beta = 20...25\%</math>).</p>
4	<p><b>Debitul de nămol în exces</b> - <math>Q_{NAE}</math> - reprezintă cantitatea în soluția apoasă îndepărtată spre gospodăria de nămol, în unitatea de timp. Prin continuitate rezultă</p>

	$Q_{NAE} + Q_{NAR} = Q_n, Q_{NAE} = (1 - \beta) \times Q_n = (1 - \beta) \times \alpha \times Q_{au}$ .
<b>a) Parametrii funcționali și criterii de optimizare a procesului biologic de epurare</b>	
1	<p><b>Gradul de epurare</b> – se exprimă în procente și reprezintă raportul dintre încărcarea organică distrusă prin procese biochimice <math>\Delta S = S_0 - S</math> și încărcarea organică care este adusă de influent în bazinul de aerare</p> $E = \frac{\Delta S}{S_0} \times 100 = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 = 1 - \frac{S}{S_0} = 60...95\%$ <p>Se mai folosesc noțiunile de eficiență de epurare sau randament de epurare.</p>
2	<p><b>Încărcarea hidraulică a bazinului de aerare</b> - <math>I_h</math> [<math>m^3</math> apă uzată/<math>m^3</math> bazin·zi] <math>I_h = \frac{Q_i}{V} = \frac{1}{t_r}</math>.</p> <p>Acesta este un indicator global de verificare a dimensionării bazinelor de nămol activ. În conformitate cu recomandările date de Imhoff acest indicator poate avea valori între 10 și 20 pentru grade mari de epurare <math>E = 85...90\%</math> și de 20...50 <math>m^3</math> apă uzată pentru 1 <math>m^3</math> din bazinul de aerare și zi în cazul în care eficiența de epurare este mai redusă 60...80%.</p>
3	<p><b>Încărcarea organică a bazinului</b> - <math>I_b</math> [<math>kgCBO_5 / m^3 \cdot</math> bazin·zi] <math>= \frac{Q_{au}^{inf} \times S_i}{V}</math> reprezintă raportul dintre încărcarea organică a influentului care intră în bazinul de aerare într-o zi și volumul bazinului de aerare. Se recomandă corelarea încărcării organice a bazinului de aerare cu gradul de epurare al instalației biologice. În conformitate cu recomandările date de Imhoff <math>I_b = 5\sqrt{1-E}</math> [<math>kgCBO_5 / m^3 \cdot</math> bazin·zi], unde <math>E</math> este gradul de epurare. Pentru eficiența ridicată de epurare <math>E = 85...90\%</math> se recomandă <math>I_b = 1,8kgCBO_5 / m^3 \cdot</math> bazin·zi, iar dacă <math>E = 60...80\%</math> rezultă <math>I_b = 3,6kgCBO_5 / m^3 \cdot</math> bazin·zi - bazine cu nămol activ de mare încărcare. Acest parametru se folosește la dimensionarea bazinului de aerare <math>V = S_T / I_b</math>, unde <math>S_T</math> este cantitatea totală de substanță organică impurificată care intră în timp de o zi determinată cu expresia <math>S_T = S_0 \times Q_{au} \times 24</math>.</p>
4	<p><b>Încărcarea organică a nămolului activ</b> - <math>I_n</math> [<math>kgCBO_5 / kg, s.s.u. \cdot</math> zi] reprezintă raportul dintre debitul masic de încărcare organică în timp de o zi și încărcarea în materii solide uscate în suspensie existentă în bazinul de aerare – este de fapt un raport hrană/biomasă <math>I_n = S_o / X = S_i Q_{au}^{inf} / VX</math>. Acest raport substrat/microorganisme nu influențează decisiv ecologia bacteriilor, dar poate afecta economic procesul. Pentru ca procesul să se desfășoare din punct de vedere energetic rentabil este necesar ca valoarea de exploatare să fie menținută cât mai apropiată de cea estimată la proiectare. Aceasta se realizează prin: a) folosirea bazinelor de egalizare-uniformizare; b) raportul optim de recirculare a nămolului; c) controlul eliminării debitului de nămol în exces.</p> <p>Pentru calcul se recomandă formula <math>I_n = 5(1 - E)</math>, unde <math>E</math> este eficiența de epurare. Imhoff recomandă:</p> $I_n = \begin{cases} -0,5...1,0kgCBO_5 / kg, s.s.u. \cdot zi & \text{pentru } E = 85...90\% \\ -0,75...2,5kgCBO_5 / kg, s.s.u. \cdot zi & \text{pentru } E = 60...80\% \end{cases}$ <p>În exprimarea concentrației în suspensii din bazinul de aerare este de preferat ca aceasta să se refere la fracția volatilă a nămolului activ, cea care are un rol efectiv în procesul metabolic de</p>

	epurare. Nămolul activ eficient are un procent de substanțe minerale sub 20% din s.s.u. (nămolul activ are o parte volatilă organică constituită dintr-o cantitate de masă vie, o parte inactivă – nevie, precum și o cantitate de material inert de natură minerală). Încărcarea organică a nămolului activ variază invers proporțional cu gradul de epurare și direct cu necesarul de oxigen. Acest parametru este corelat cu cel anterior prin expresia $I_b = I_n \times X$ .
5	<p><b>Concentrația în substanțe solide uscate în suspensie în bazinul de aerare</b> – <math>X</math> [mg/l sau kg/m<sup>3</sup>] – reprezintă masa substanței solide uscate prezentă în lichidul din bazin. Ea poate lua valori în gama <math>X=600...4000</math> gr/l, sau exprimată în procente <math>X=0,6...4\%</math>. Dacă se consideră expresiile încărcărilor de nămol definite mai sus rezultă.</p> $X = \frac{I_b}{I_n} = \frac{5\sqrt{1-E}}{5\sqrt{1-E}} = \frac{1}{\sqrt{1-E}}$
6	<p><b>Raportul de recirculare a nămolului</b> – <math>\beta</math> [%] – reprezintă procentual partea din nămolul extras din decantorul secundar care se recirculă în bazinul de aerare</p> <p><math>\beta = Q_{NAR} / Q_{au}^{inf}</math>. Această rată de recirculare este de ordinul 10...50%, de regulă 20...25% din debitul de apă uzată care intră în aerotanc <math>Q_{au}^{inf}</math> - debitul influentului. În ultimii ani se practică și rata de recirculare a nămolului de 100% fapt care permite reducerea timpului de aerare.</p> <p>Stabilirea raportului de recirculare optim depinde de valoarea indicelui volumului de nămol – <math>IVN</math> – sau indicele Mohlman – <math>IM</math> – [ml/g]. Acest indice, care apreciază decantabilitatea nămolului activ, are valoarea optimă de <math>IVN=50...100</math>; dacă acesta urcă la 200 rezultă că a apărut un proces de umflare al nămolului și deci acesta va avea proprietăți slabe de sedimentare.</p> <p>Există următoarea relație empirică <math>100\beta = 100(X \times IVN) - 1</math>, unde <math>X</math> este concentrația suspensiilor din bazinul de aerare (%), iar <math>IVN</math> – indicele de volum al nămolului. Relația de mai sus conduce la stabilirea procentului de recirculare al nămolului. Astfel, pentru o concentrație de suspensii din aerotanc de <math>X = 0,25\%</math>, care respectă încărcarea nămolului, la un <math>IVN=80</math> se asigură un procent de recirculare <math>\beta = 25\%</math>, iar în cazul în care <math>IVN=200</math> se va realiza un <math>\beta = 100\%</math>.</p> <p>Indicele volumului de nămol se corelează și cu gradele de epurare <math>E</math>. Astfel, cu cât crește concentrația în suspensie <math>X</math>, pentru același indice al nămolului, se va majora și rata recirculării. Se recomandă formula.</p> $\beta [\%] = \frac{100 \times X [\%] \cdot IVN [ml / g]}{100 - X [\%] \cdot IVN [ml / g]}$
7	<b>Indicele volumului de nămol IVN.</b> Acest indice se obține prin decantarea particulelor de nămol pe o perioadă de 30 minute. El dă o indicație asupra caracteristicilor de sedimentare a nămolului activ – proprietate denumită sedimentabilitate.
8	<p><b>Nămolul în exces</b> - <math>Q_{NAE} = (1 - \beta) \times \alpha \times Q_{au}</math> - reprezintă debitul de nămol care se extrage din decantorul secundar. El reprezintă, în general, 1,5...3,0% din debitul influentului, având o umiditate de circa 99,3% (deci procentul de substanță solidă uscată din soluție apoasă este de 0,7%).</p> <p>Valoarea debitului specific de nămol excedentar este dată de relația empirică <math>Q_{NAEs} = \sqrt[4]{5(1-E)}</math> [kg s.s.u. în nămolul exces/kg CBO<sub>5</sub> al influentului].</p>
9	<b>Temperatura.</b> Dinamica proceselor biochimice, ca și a celor fizice asociate (difuziune, dispersie) este puternic influențată de temperatură. Majorarea temperaturii conduce la intensificarea cineticii biochimice în metabolism și poate îmbunătăți sedimentabilitatea. La temperaturi scăzute, sub 10°C, procesul biologic cu nămol activ nu se poate amorsa și nu se poate desfășura faza de nitrificare în timpul degradării substratului organic.
10	<b>Reacția apei – pH-ul apei.</b> Microorganismele se dezvoltă optim în gama 6,5...7,5. În apele

	uzate ușor acide se dezvoltă ciupercile și nămolul se va sedimenta inefficient. Dacă există acizi organici biodegradabili procesele biologice se desfășoară convenabil și se reduce în timp și aciditatea. În cazul apelor uzate ușor alcaline nămolul activ flocoază bine, dar este posibil să fie afectată creșterea acestuia.
11	<b>Potențialul redox.</b> În mediul de cultură sunt prezente simultan un număr mare de sisteme redox. De aceea, interpretarea rezultatelor obținute prin măsurători de potențial redox este relativ dificilă fără a se putea aprecia cu exactitate cauza care determină la un moment dat eventualele modificări de potențial. În condiții aerobe potențialul redox este corelat cu nivelul concentrației oxigenului dizolvat. Măsurarea potențialului redox se recomandă în procesele aerobe sau microaerobe cu observația că aceste determinări trebuie făcute și corelate cu activitatea microbiană.
12	<b>Spumarea.</b> Spumarea reprezintă un fenomen caracteristic mediilor de bioproces cauzat de: a) compoziția și concentrația materiilor organice; b) schimbul intens de gaze ce caracterizează respirația microorganismelor în perioadele în care viteza specifică de creștere atinge nivele ridicate; c) degajarea gazelor pentru anumite tipuri de biosinteze-biodescompuneri celulare ale anumitor produse sau ca urmare a unor metabolisme celulare deviate; d) enzimele specifice proceselor biochimice. Spumarea este un fenomen care afectează buna desfășurare a proceselor biochimice prin modificarea condițiilor optime de operare; pot apărea infecții, boli ale microorganismelor, se modifică condițiile fizico-chimice de transfer și difuziune a oxigenului. Acțiunea de prevenire a formării spumei este deosebit de importantă, deoarece neintervenția, încă din primele momente, poate conduce la realizarea unei structuri spațiale stabilite greu de distrus ulterior. Combaterea fenomenului se face fie prin modificarea condițiilor de aerare, fie prin adăugarea de agenți antispumanti care sunt substanțe tensioactive ce nu interferă cu metabolismul celular. Concentrația acestor antispumanti trebuie să fie redusă și atent supravegheată, deoarece la valori mari se poate afecta procesul de transfer de masă a oxigenului.
13	<b>Indicele energetic specific.</b> Una dintre condițiile de funcționare corectă a bazinului de aerare este menținerea continuă în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ. Aceasta se poate realiza dacă viteza orizontală în orice punct din zona adiacentă radierului este peste 25 cm/s sau dacă componenta ascensională depășește 30 cm/s. Aprecierea se poate face și global prin nivelul turbulenței generate și induse în masa de apă din bazinul de aerare considerată prin indicele energetic specific $\delta$ [W/m <sup>3</sup> ]. Se consideră că dacă indicele energetic specific, $\delta$ = raportul dintre puterea aplicată la echipamentele de aerare și volumul bazinului de aerare, depășește 60W/m <sup>3</sup> se asigură menținerea în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ. Se menționează, însă, că în bazinul de aerare densitatea de energie specifică nu este constantă. În zonele de acțiune directă, a mișcării generate de echipamentul de oxigenare $\delta$ are valori mai mari, iar în cele ale mișcării induse valoarea scade foarte mult. Repartizarea inegală a energiei specifice se va reflecta într-o distribuție diferențiată a concentrației oxigenului dizolvat ca efect al variației coeficientului de transfer de masă. Mărimea flocoanelor de nămol activ depinde de intensitatea turbulenței. La turbulență mare floconul se fragmentează (dimensiunile mari conduc la eficiență ridicată de epurare), iar în apa liniștită apare fenomenul de aglomerare a flocoanelor. Dimensiunea optimă a floconului este de ordinul 60-70 $\mu$ m, iar cea maximă 290 $\mu$ m.
14	<b>Oxigenul necesar procesului aerob</b> – $Q_{aer}$ [kg O <sub>2</sub> /h] – reprezintă debitul masic de oxigen transferat din aer în apă – fluxul de oxigen – solicitat de necesitățile vitale ale procesului de epurare. Acest oxigen este necesar procesului metabolic de degradare al substanței organice (oxidare biochimică) până la dioxid de carbon și apă și cel disponibil vieții microorganismelor. Există o corelație între necesarul de oxigen și vârsta nămolului funcție de posibilitățile acestuia de floclare sau dezagregare. Astfel, concentrația oxigenului dizolvat este $C_{O_2cr} [mg / l] = 6,705 \exp(-0,2034 \times \tau_n)$ unde $C_{O_2cr}$ reprezintă concentrația critică a oxigenului dizolvat în bazinul de aerare. Dacă concentrația oxigenului este inferioară celei critice, calculate pentru o anumită vârstă, poate să nu apară floclarea nămolului activ. Se menționează că, pe lângă acest necesar de oxigen se impune condiția că în fiecare punct

	<p>din bazinul de aerare să existe un exces de oxigen dizolvat în gama 1...3 mg O<sub>2</sub>/l. Pentru calculul necesarului de oxigen se folosește relația</p> $Q_{oxigen} [kgO_2 / zi] = aEL_o Q_{au} 24 + bXQ_{au} 24 + rQ_{au} 24 + dM$ <p>Unde: <math>a [kgO_2 / kgCBO_5] = 0,5...0,6</math> este consumul de oxigen în procesul biochimic de degradare al unei unități de substanță organică impurificatoare;  <math>E</math> – gradul de degradare al substanței organice (definit anterior);  <math>S_0</math> - concentrația substanțelor organice impurificatoare care intră în bazinul de aerare <math>[kg.CBO_5 / m^3]</math>;  <math>b [kg.O_2 / kg..s.s.u.] = 0,1...0,05</math> - necesarul de oxigen consumat prin respirația endogenă a nămolului activ;  <math>X [kg..s.s.u. / m^3]</math> - concentrația, în substanță solidă uscată, a suspensiilor volatile din bazinul de aerare;  <math>r [kg.O_2 / m^3]</math> - concentrația oxigenului dizolvat în exces din apelor de aerare;  <math>d [kgO_2 / kg.CCOîndepărtați]</math> și  <math>M</math> concentrația substanțelor anorganice care se oxidează în bazinul de aerare. Concentrația în suspensii pentru biomasă variază în funcție de proces astfel:  a) în cazul procesului de mare încărcare <math>X = 1,5...3,0 gr / l</math>;  b) medie încărcare <math>X = 3,0...5,0 gr / l</math>;  c) mică încărcare <math>X = 5,0...8,0 gr / l</math> cu <math>a = 1,3...2,0 kgO_2 / kgCBO_5</math> îndepărtat.  Relația de mai sus se poate scrie sub forma</p> $Q_{aer} [kgO_2 / zi] = 24Q_{au} [aES_o + bX + r] = \frac{24}{t_r} V [aES_o + bX + r]$ <p>Unde <math>t_r</math> este timpul hidraulic de retenție al apei din bazinul de aerare cu volumul <math>V</math>.  În conformitate cu experiențele efectuate de Eckenfelder expresia devine</p> $Q_{aer} [kgO_2 / zi] = 24Q_{au} [0,5ES_o + 0,1X + r] = 24Q_{au} S_o \left[ 0,5E + 0,1 \frac{X}{S_o} + \frac{r}{S_o} \right] =$ $= 24Q_{au} S_o \left[ 0,5E + \frac{0,02}{1-E} + \frac{r}{S_o} \right]$ <p>Necesarul maxim de oxigen <math>Q_{aerM}</math> este condiționat de toate materiile organice și anorganice care se oxidează complet <math>Q_{aerM} [kgO_2] = aC + bN</math>, unde <math>C [kg carbon]</math> este concentrația carbonului organic, <math>N [kg azot]</math> – suma azotului amoniacal,</p> <p><math>a = 2,67 kgO_2 / kgC</math>, <math>b = 4,57 kgO_2 / kg azot</math> – reprezintă coeficienți de consum.</p>
15	<p><b>Capacitatea de oxigenare.</b> Necesarul de oxigen de mai sus trebuie acoperit de oxigenare cu care se dotează bazinul de aerare. Se adoptă un spor de 10% pentru acoperirea eventualelor variații ale încărcăturii organice. Valoarea calculată la punctul anterior reprezintă de fapt producția zilnică de oxigen a unui echipament de oxigenare</p> <p><math>P_{ox} [kgO_2 / zi]</math> care trebuie să răspundă și necesităților hidrodinamice de menținere a</p>

	<p>flocoanelor de nămol activ în suspensie. Așadar, <math>P_{ox} = Q_{aer} / \alpha \times 1,1 [kgO_0 / zi]</math>, unde <math>\alpha &lt; 1</math> este raportul dintre coeficientul de transfer al oxigenului în apa uzată și cel corespunzător condițiilor standard pe apa curată.</p> <p>Capacitatea de oxigenare reprezintă debitul masic de oxigen transferat din aer în apă de instalația de oxigenare care echipează bazinul de aerare <math>CO [kgO_2 / h]</math>. Este dată de relația <math>CO [kgO_2 / h] = (1,1 * Q_{aer}) / (\alpha * 24)</math>, fiind parametrul principal de dimensionare al echipamentului de oxigenare.</p> <p>Se menționează faptul că un echipament de oxigenare introduce aer și numai în cazuri deosebite, cu totul speciale, oxigen pur sau ozon. Cea mai mare parte din aerul sau oxigenul introdus se degajă în atmosferă fără a contribui efectiv la procesul de oxigenare, dar realizând circulație prin efectul de gaz-lift.</p> <p>Cantitatea de aer pe care trebuie să o introducă echipamentul de oxigenare, pentru necesitățile procesului aerob, este <math>Q_{aer} = CO / \rho_{ox10^0} \times \eta_{ox} [m^3 / h]</math>, unde <math>\rho_{ox10^0}</math> este densitatea oxigenului din aer la temperatura standard de <math>10^0</math>, iar <math>\eta_{ox} = 6...25\%</math> reprezintă randamentul de transfer al oxigenului din aer în apă în procesul de transfer de masă cu valori dependente de echipament.</p> <p>Comparația între echipamentele de oxigenare se realizează pe baza indicatorilor de mai sus, prezentați în condiții standard și din cel al eficienței de oxigenare <math>\varepsilon = CO / P [kgO_2 / kWh]</math>, unde <math>P [kW]</math> este puterea unitară pe agregat.</p>
16	<p><b>Timp de aerare.</b> Timpul de aerare <math>t_a</math> reprezintă timpul minim de oxigenare pentru ca procesul să decurgă normal. Din experiențele efectuate se recomandă <math>t_a = 2...4ore</math> (W.Triedel), iar după Imhoff peste 3 ore până la 6 ore. Timpul de aerare corespunde timpului de retenție hidraulic al apei uzate (fără nămolul recirculat)</p> $t_a [h] = \frac{Volum\_util\_de\_aerare\_ [m^3]}{Debit\_influent\_ [m^3 / h]}$ <p>Acest timp este controlat prin modificarea debitului de alimentare <math>Q_{au}</math> ce intra in statie, cu menținerea constantă a încărcării organice din influentul bazinului de aerare. Corelația dintre tratabilitatea biologică a apei uzate, exprimată prin raportul <math>CCO/CBO_5</math> și timpul de aerare este dată de expresia liniară <math>CCO / CBO_5 = 2,5 \times t_a [h] + 3</math>.</p> <p>Durata de aerare are o mare importanță asupra procesului biologic de degradare a substanțelor organice. Astfel, la durata de aerare reduse și încărcări mici ale nămolului activ eficiența este scăzută. Creșterea timpului <math>t_a</math> conduce simțitor la majorarea eficienței de epurare la valori de peste 90%.</p>
17	<p><b>Timp de retenție hidraulic.</b> Timpul <math>t_r</math> este precizat prin raportul dintre debitul de apă uzată și volumul bazinului de aerare.</p>
18	<p><b>Încărcare hidraulică în suspensii.</b> Prin similitudine cu decantorul se poate defini încărcarea hidraulică de suprafață a bazinului de aerare, mărime care trebuie să fie utilizată la precizarea vitezei ascensionale în proces necesare menținerii în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ și a celorlalte particule care nu s-au depus în treapta fizică. Această mărime este deosebit de utilă la echiparea bazinelor de aerare cu echipamente pneumatice care dezvoltă în apă preponderent viteze ascensionale.</p>
19	<p><b>Vârsta nămolului.</b> Vârsta nămolului activ <math>\tau_n</math> [zile] – sau timpul de retenție al solidelor TRS – este o măsură a capacității acestuia de a acționa corect în procesul de degradare a substanței organice . Ea reprezintă (în concepția lui Gould) timpul mediu în care un flocon de nămol activ rămâne în suspensie în zona de oxigenare. Se poate calcula cu relația</p>



	$\tau_n = \frac{X_t \text{ [ore]}}{24X_o} = 2...8; \text{ zile}$ <p>unde <math>X_o</math> [kg s.s.u./m<sup>3</sup>] – concentrația în s.s.u. la admisia în bazinul cu nămol activ, iar <math>S</math>[kg s.s.u./m<sup>3</sup>] – concentrația în s.s.u. a amestecului din bazin.</p> <p>Vârsta nămolului se poate calcula cu</p> $\tau_n \text{ [zile]} = \frac{VX}{Q_{NAE}X_d + (Q_i - Q_{nex})X_e},$ <p>unde <math>X</math>, <math>X_d</math>, <math>X_e</math> [gr/m<sup>3</sup>] reprezintă concentrația în solide în bazinul de aerare, în exces și respectiv în efluent, <math>Q_{NAE}</math>, <math>Q_{au,inf}</math> [m<sup>3</sup>/zi] – debitul de nămol în exces evacuat, respectiv de influent la alimentarea instalației de epurare, <math>V</math>[m<sup>3</sup>l – volumul bazinului de aerare. Vârsta nămolului poate fi modificată (mărită) prin majorarea concentrației de suspensii din bazinul de aerare, respectiv reducerea debitului de nămol excedentar evacuat din sistem. În tehnologia de epurare biologică utilizarea unui nămol activ tânăr (2 zile față de 4), care se multiplică exponențial, conduce la îndepărtarea unei cantități mai mari de substanță organică (în exemplu, 1 grCBO<sub>5</sub>/zi față de 0,5 grCBO<sub>5</sub>/zi pentru un gram de nămol activ). Nămolul cu vârsta mai mare (4...6 zile) necesită o cantitate mai mare de oxigen (cu 20%) față de cel tânăr (2 zile).</p> <p>Cu cât vârsta nămolului este mai mare, cu atât crește proporția de organisme moarte din flocon. Ea depinde de raportul dintre flocoanele de nămol existente și cele noi formate într-un interval de timp, determină energia flocoanelor și cantitatea de nămol în exces îndepărtat.</p>
20	<p><b>Indici energetici ai instalației de epurare biologică.</b> Acești indici se referă la energia consumată în instalația de epurare pentru realizarea procesului. Energia este destinată asigurării transferului de oxigen din aer în apă, pentru realizarea circulației și a turbulenței necesare menținerii în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ.</p> <p><i>Indicele energetic specific volumului.</i> Se consideră, după cum s-a mai arătat, că dacă indicele energetic specific <math>\delta</math> [W/m<sup>3</sup>] depășește valoarea de 60 W/m<sup>3</sup>, se asigură menținerea în stare de suspensie a flocoanelor de nămol activ. Se face precizarea că în raportul <math>\delta</math>=Putere/Volumul bazin de aerare, trebuie să intre numai puterea efectivă, nu și pierderile de sarcină de pe traseul instalațiilor de aerare pneumatice.</p> <p><i>Indicele energetic de transfer al oxigenului.</i> Un alt indice energetic este cel care se referă la transferul de oxigen – eficiența economică de aerare</p> $\varepsilon \text{ [kgO}_2 \text{ / kWh]} = \frac{C.O. \text{ [kgO}_2 \text{ / h]}}{P \text{ [kW]}} = 0,9...4,5$ <p>El va lua în considerare, global, turbulență, mărimea bulelor de gaz dispersate, transferul – transportul – dispersia oxigenului dizolvat etc. O instalație de oxigenare va fi cu atât mai eficientă cu cât va asigura valori mai mari pentru acest indice.</p> <p><i>Indicele energetic de consum efectiv pentru mineralizarea substanțelor organice.</i> Acest indice energetic se va referi la consumul de energie pentru realizarea efectivă a procesului de epurare. El va lua în considerare transferul de energie electrică către microorganisme (transformarea în energie biochimică) pentru degradarea substanțelor organice și formarea unui material celular nou. El se definește prin raportul</p> $\tau \left[ \frac{\text{kgCBO}_5 \text{ / h}}{\text{kW}} \right] = \frac{\Delta S}{P} = \left[ \frac{\text{kgCBO}_5}{\text{kWh}} \right],$ <p>unde <math>\Delta S</math> este scăderea încărcării organice <math>\Delta S = S_o - S</math>, iar</p> <p><math>P</math> este puterea aplicată din exterior. O instalație de epurare biologică este cu atât mai eficientă, cu cât acest indice este mai ridicat.</p> <p><i>Indicele energetic de consum pentru pomparea nămolului.</i> Un alt indice energetic se referă la consumul specific de energie pentru pomparea nămolului activ recirculat. Este cunoscut faptul că debitul de nămol recirculat, în funcție de tehnologia adoptată, poate să varieze între 25 și 100%</p>

din debitul inițial. Așadar, acest indice  $K$  ia în considerare energia specifică repompării nămolului recirculat

$$K \left[ \frac{\text{kg} - \text{s.s.u.}}{\text{kWh}} \right] = \frac{X_d Q_{NAR}}{P} = \frac{\beta \alpha Q_{au} X_D}{P},$$

unde  $P$  este puterea agregatului de pompare a nămolului recirculat din decantorul secundar. Se menționează că acest indice are valori mai mari dacă decantorul secundar este corect dimensionat și rațional exploatat.

### Program Matlab&Similink de modelare a procesului de epurare biologică.

```

% =====
% Modelul MatLab epurare biologica
% N.Ciobanu, 2019
% =====
% Date initiale
%-----
clear;
Q=161170;    % debit de intrare ape uzate m3/zi
             % Debit minim Q=140000 m3/zi
             % Debit maxim Q=161170 m3/z
V=107433;    % Volum m3 bazin de aerare
S=413;    % Substrat CBO (consum biochim de oxigen)
Qaer0 = 3800000/8;    % Debitul de aer introdus in bazin (Nm3/h ??)
q=0.6;    % ??
m=8;    % ??
Ks=60;    % Const. de model, privind infl. substartului (50-:-100)
Kd=0.06;    % ??
a=0.5;
b=0.02;
% =====
% Stabilirea limitelor pu rata de recirculare
% =====
alfa=0.1;
beta_initial=0.1;    % Rata de recirculatie initial
beta_final=0.5;    % Rata de recirculatie initial
delta_beta=0.1;    % pasul Rata de recirculatie
beta=beta_initial:delta_beta:beta_final;
n_beta=length(beta);    % numar iteratii cu beta.
beta_curent = beta_initial;

% =====
% Stabilirea datelor pu integrare
% =====
t0=0; tf=0.2;    % momentul initial si cel final
h=0.001;    % perioada esantionare
t=t0:h:tf;
n=length(t);    % numar iteratii
IO = 0;
%-----
% Initializarea afisarii rezultatelor
%-----

figure
ax1 = subplot(3,1,1);
ax2 = subplot(3,1,2);
ax3 = subplot(3,1,3);
hold(ax1,'on')

```

```

hold(ax2,'on')
hold(ax3,'on')
colors = hsv(15);
Marker_s = [ '.', '!', '!', '*', 'o', 'x','s','d','^','v','>','<','p','h'];
labels = {'Sorg', ' Xmas.biol', 'Oxygen'};
% legend_beta = [ ];
% legend('show');
% legend('b=0,2','b=0,3','b=0,4','b=0,5');
%-----

title(ax1, 'Concentratia Sorg');
ylabel(ax1,'S1 (CBO5 kg/m3)');
title(ax2, 'Concentratia Xmas.biol');
ylabel(ax2,'X1 (CBO5 kg/m3)');
%-----

title(ax3, 'Concentratia Oxigen');
xlabel(ax3, 'Timp, h')
ylabel(ax3, 'O2 (kg/m3)');

%-----

for i=1:n_beta

    S1f=[ ]; % Alocarea dinamica a mmoriei
    X1f=[ ]; % pentru rezultate
    Q1f=[ ];
    Int= [ ];
    Q1 = 1.5;
    S11=413;
    X11=500;
    Q11=5;
    I11=0;

    % =====
    % Calculul modelului de epurare biologica
    % prin metoda integrarii ecuatiilor diferentiale
    % =====
    for k=1:n
        Ks1=Ks; K1=1;
        Qaer=Qaer0;
        Q4=(alfa*beta_curent*Q)/(1-alfa*beta_curent);
        Q3=(alfa*Q)/(1-alfa*beta_curent);
        S1=K1*S11+(h*Q/V)*(S-S11)-(h*m/q)*(S11*X11)/(Ks+S11);
        X1=X11+h*((Q+Q4)/V)*(Q4/Q3-1)*X11+(h*m*S11*X11)/(Ks+S11)-Ks1*h*Kd*S11;
        Q1=Q11+h*48.0144*Qaer/V + a*h*((Q+Q4)/V)*(S11-S) - h*b*Kd*X11;
        I1 = k*2.4/100;
        S1f=[S1f S1];
        X1f=[X1f X1];
        Q1f=[Q1f Q1];
        Int = [Int I1];
        S11=S1; X11=X1; Q11=Q1;
    end
end

```

```

end
%=====
%   Afisarea rezultatelor
%=====
%-----
% Afi;area concentratiei de Sorg si Xmas.biol
%-----
p1=plot(ax1, Int, S1f,'color',colors(i,:));
p1.LineWidth = 1;
p1.Marker = Marker_s(i);

p2=plot(ax2, Int, X1f,'color',colors(i,:));
p2.LineWidth = 1;
p2.Marker = Marker_s(i);

%-----
% Afi;area concentratiei de oxigen
%-----
p3=plot(ax3, Int, Q1f,'color',colors(i,:));
p3.LineWidth = 1;
p3.Marker = Marker_s(i);
%-----
%=====
% Urmatoarea rata de recirculare
%=====
beta_curent=beta_curent+delta_beta;

end

```

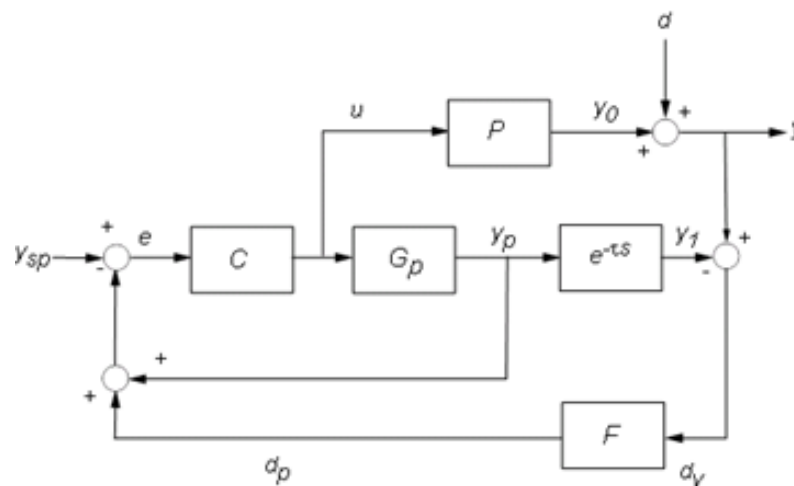
## Ecuatiile cinetice utilizate la analiza procesului de epurare biologică cu nămol active [69]

Nr.	Ecuatia	Definiția termenilor
1.	Estimarea efectelor temperaturii asupra reacției: $k_t = k_{20}\theta^{(T-20)}$	$k_t$ = coeficientul vitezei de reacție la temperatură (T); $k_{20}$ = coeficientul vitezei de reacție la 20°C; $\theta$ = coeficient de activitate a temperaturii.
2.	Rata de utilizare a substraturilor solubile: $r_{su} = -\frac{kXS}{K_s + S}$ Rata de utilizare a substratului în literatură ca: $r_{su} = -\frac{\mu_m XS}{Y(K_s + S)}$	$r_{su}$ = rata de utilizare a substratului solubil, $g/m^3*d$ ; $k$ = rata maximă de utilizare a substratului, $g\text{ substrat}/g\text{ microorganism}*d$ ; $X$ = concentrația de biomasă, $g/m^3$ ; $S$ = concentrația substratului care limitează creșterea în soluție, $g/m^3$ ; $K_s$ = constanta-jumătate de viteză, $g/m^3$ .
3.	Rata maximă de creștere bacteriană specifică: $\mu_m = kY$	$\mu_m$ = rata maximă de creștere bacteriană specifică, $g\text{ celule noi}/g\text{ celule}*d$ ; $Y$ = coeficientul de randament al biomasei, $g/g$ .
4.	Rata de creștere a biomasei cu substraturi solubile: $r_g = Y\frac{kXS}{K_s + S} - k_d X$	$r_g$ = rata netă de producție a biomasei, $gVSS/m^3*d$ ; $Y$ = coeficient randament de sinteză, $gVSS/g\text{ bsCOD}$ ; $k_d$ = coeficient de descompunere endogen, $gVSS/gVSS*d$ .
5.	Rata de creștere a biomasei: $\mu = \frac{r_g}{X}$	$\mu$ = rata specifică de creștere a biomasei, $gVSS/gVSS*d$ ;
6.	Timpul de retenție a solidelor: $SRT = \frac{VX}{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R}$ $SRT = \frac{1}{\mu}, \frac{1}{SRT} = -\frac{YkS}{K_s + S} - k_d$	$SRT$ = timpul de retenție a solidelor, $d$ ; $V$ = volumul reactoarelor, $d$ ; $Q$ = debitul influent, $m^3/d$ ; $Q_w$ = debitul de nămol activ în exces, $m^3/d$ ; $X_e$ = concentrația de biomasă în efluent, $gVSS/m^3$ ; $X_R$ = concentrația de biomasă retur din decantorul secundar, $gVSS/m^3$ .
7.	Concentrația de substrat dizolvat a efluentului: $S = \frac{K_s[1 + (k_d)SRT]}{SRT(Yk - k_d) - 1}$	
8.	Concentrația biomasei din bazinul de aerare: $X = \left(\frac{SRT}{\tau}\right) \left[\frac{Y(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT}\right]$	$\tau$ = timpul de retenție hidraulic (V/Q), $d$ ; $S_0$ = concentrația de substrat solubil influent, $g/m^3$ ;
9.	Masa solidelor volatile suspendate lichide (MLVSS): $(X_{VSS})(V) = (P_{X,VSS})SRT$	$VSS$ = solidele volatile suspendate, $g/m^3$ ; $P_x$ = suspensii, $kg/d$ .
10.	Masa solidelor suspendate lichide (MLSS): $(X_{TSS})(V) = (P_{X,TSS})SRT$	$TSS$ = materii în suspensie totale, $g/m^3$ .
11.	Cerința de oxigen: $R_o = Q(S_0 - S) - 1.42P_{x,bio}$	$R_o$ = oxigen, $kg/d$ ; $P_{x,bio}$ = pierderea materiilor solide volatile în biomasă pe zi, $kg/d$ .
12.	Rata microorganismelor (F/M): $\frac{F}{M} = \frac{QS_0}{VX}$	$F/M$ = rata microorganismelor.
13.	Rata de încărcare organică volumetrică: $L_{org} = \frac{(Q)(S_0)}{(V)}$	$L_{org}$ = rata de încărcare organică volumetrică, $kgBOD/m^3*d$ ;
14.	Factor de siguranță: $SF = \frac{SRT_{des}}{SRT_{min}}$	$SRT_{min}$ = timpul de reținere a solidelor minim, $d$ ; $SRT_{des}$ = timpul de retenție a solidelor de proiect, $d$ .

15.	<p>Cinetica creșterii:</p> $\mu_n = \left( \frac{\mu_{nm} N}{K_n + N} \right) \left( \frac{DO}{K_0 + DO} \right) - k_{dn}$	<p><math>\mu_n</math> = rata de creștere specifică pentru nitrificare, <i>g celule noi/g celule*d</i>;  <math>\mu_{nm}</math> = rata maximă de creștere specifică pentru bacteriile nitrificante, <i>g celule noi/g celule*d</i>;  <math>N</math> = concentrația de azot, <i>g/m<sup>3</sup></i>;  <math>K_n</math> = constanta de viteză, <i>g/m<sup>3</sup></i>;  <math>DO</math> =oxigen dizolvat, <i>g/m<sup>3</sup></i>;  <math>K_0</math> = coeficient de inhibare a oxigenului, <i>g/m<sup>3</sup></i>;  <math>k_{dn}</math> = coeficient de degradare endogen pentru organismele nitrificante, <i>gVSS/gVSS*d</i>.</p>
16.	<p>Efectul concentrației de oxigen dizolvat</p> $r_{su} = - \left( \frac{kXS}{K_s + S} \right) \left( \frac{NO_3}{K_{s,NO_3} + NO_3} \right) \left( \frac{K_0}{K_0 + DO} \right) (\eta)$	<p><math>K_{s,NO_3}</math> = constanta de viteză în reacția limită la nitrați, <i>mg/l</i>;  <math>\eta</math> = raportul dintre rata de utilizare a substratului cu nitrat versus oxigen ca acceptor de electroni;  <math>K_0</math> = coeficient de inhibare DO pentru reducerea nitraților, <i>mg/l</i>.</p>

### Procedura de validare a procesului de reglare cu predictor Smith

Modelul predictorului Smith. Structura de control cu Smith Predictor este similar cu cea din fig.3.3 p.3.2.1.1, neesențial modificată pentru a realiza mai eficient simularea în mediul Matlab&Simulink. Pentru Predictorul Smith s-a utilizat un model intern  $G_p$  pentru a prezice răspunsul fără întârziere  $y_p$  al procesului, apoi compară această predicție  $y_p$  cu valoarea de referință dorită  $y_{sp}$  pentru a decide ce ajustări sunt necesare (control  $u$ ). Pentru a preveni deranjarea și a respinge perturbațiile externe, predictorul Smith compară și ieșirea efectivă a procesului cu o predicție  $y_1$  care ia în considerare timpul mort. Decalajul  $dy = y - y_1$  este alimentat înapoi printr-un filtru  $F$  și contribuie la semnalul general de eroare  $e$ . De menționat că  $dy$  crește la nepotrivirea variabilei procesului după ce s-a așteptat suficient timp pentru ca să se reacționeze.



**Fig. 1 Structura de control cu Smith Predictor**

Pentru implementarea schemei Smith Predictor trebuie:

- Un model  $G_p$  al dinamicii procesului și un  $\tau$  estimativ al timpului mort al procesului;
- Setări adecvate pentru dinamica compensatorului și a filtrului (C și F);

Prin urmare, folosim un filtru cu constantă de timp de 60 sec pentru filtrarea perturbațiilor de frecvență joasă:

```
F = 1/(60*s+1);
F.InputName = 'dy';
F.OutputName = 'dp';
```

Pentru componenta C, re-proiectăm regulatorul PI cu instalația generală văzută de regulatorul PI, care include dinamica din P,  $G_p$ , F și timpul mort. Cu ajutorul structurii de control Smith Predictor, putem crește lățimea de bandă în buclă deschisă pentru a obține un răspuns mai rapid și pentru a mări marja de fază pentru a reduce depășirea.



```

% Modelul procesului epurare
P = exp(-125*s) * 7.7/(55*s+1);
P.InputName = 'u';
P.OutputName = 'y0';
% model de predictie
Gp = 7.7/(55*s+1);
Gp.InputName = 'u';
Gp.OutputName = 'yp';
Dp = exp(-125*s);
Dp.InputName = 'yp'; Dp.OutputName = 'y1';
% Instalatia deplina
S1 = sumblk('ym = yp + dp');
S2 = sumblk('dy = y0 - y1');
Plant = connect(P,Gp,Dp,F,S1,S2,'u','ym');
% Stabilim regulatorul PI cu o lățime de bandă de 0,08 rad/s și marjă de fază de 90 de
grade
Options = pidtuneOptions('PhaseMargin',90);
C = pidtune(Plant,pidstd(1,1),0.08,Options);
C.InputName = 'e';
C.OutputName = 'u';

```

Comparație între regulatorul PI și Smith Predictor. Pentru a compara performanța celor două modele de reglare, s-a luat mai întâi funcția de transfer de buclă închisă de la  $y_{sp}$ ,  $d$  la  $y$  pentru structura Predictorului Smith. Pentru a facilita sarcina de a conecta toate blocurile implicate, s-au redenumit toate canalele de intrare și ieșire, efectuând conexiunea:

```

Sum1 = sumblk('e = ysp - yp - dp');
Sum2 = sumblk('y = y0 + d');
Sum3 = sumblk('dy = y - y1');
T = connect(P,Gp,Dp,C,F,Sum1,Sum2,Sum3,{'ysp','d'},'y');
% -----
step(T,'b',Tpi,'r--')
grid on
legend('Smith Predictor','Regulator PID')

```

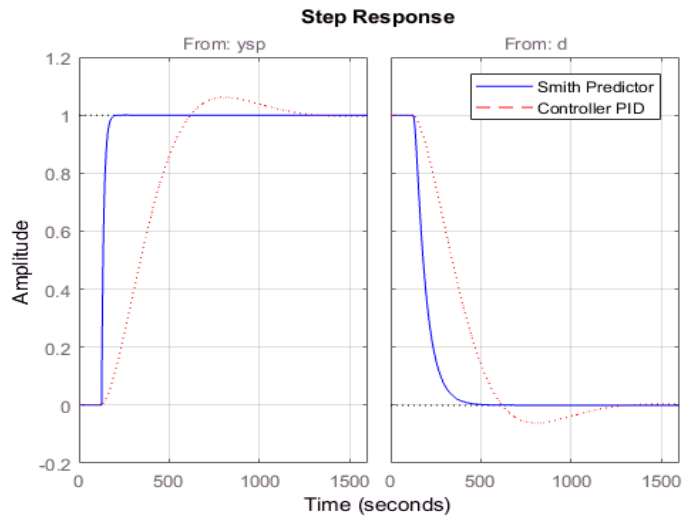
S-a aplicat funcția **STEP** pentru a compara reglarea Smith Predictor (curba albastră) cu regulator PID (roșie) fig.2:

După cum se observă, Smith Predictor oferă răspuns mult mai rapid și fără depășire. Diferența este, de asemenea, vizibilă în domeniul de frecvență prin diagrama Bode a răspunsului cu buclă închisă de la  $y_{sp}$  la  $y$  - lățimea de bandă mai mare pentru Smith Predictor:

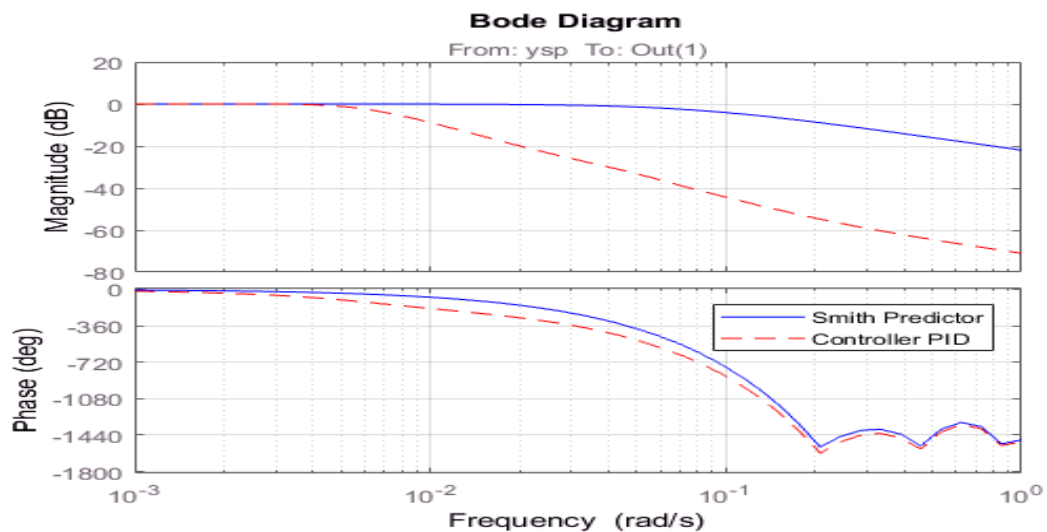
```

bode(T(1,1),'b',Tpi(1,1),'r--',{1e-3,1})
grid on
legend('Smith Predictor','Regulator PID')

```



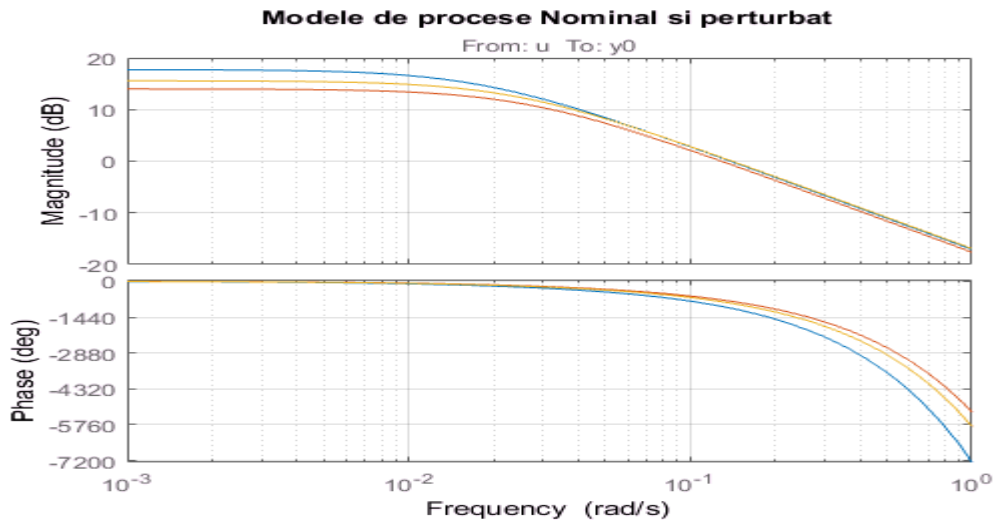
**Fig. 2** Procesul de reglare cu Smith Predictor (curba albastră) cu regulator PID (roșie).



**Fig. 3.** Diagrama Bode a răspunsului cu buclă închisă de la  $y_s$ , la  $y$  - lățimea de bandă mai mare pentru Smith Predictor.

Robustetea la nepotrivirea modelului. În situații practice, modelul intern este doar o aproximare a dinamicii adevărate a procesului, deci este important să înțelegem cât de robust este Predictorul Smith pentru incertitudinea cu privire la dinamica procesului și timpul mort. S-au luat în considerare două modele de instalații/procese perturbate reprezentând gama de incertitudini privind parametrii procesului și s-a obținut:

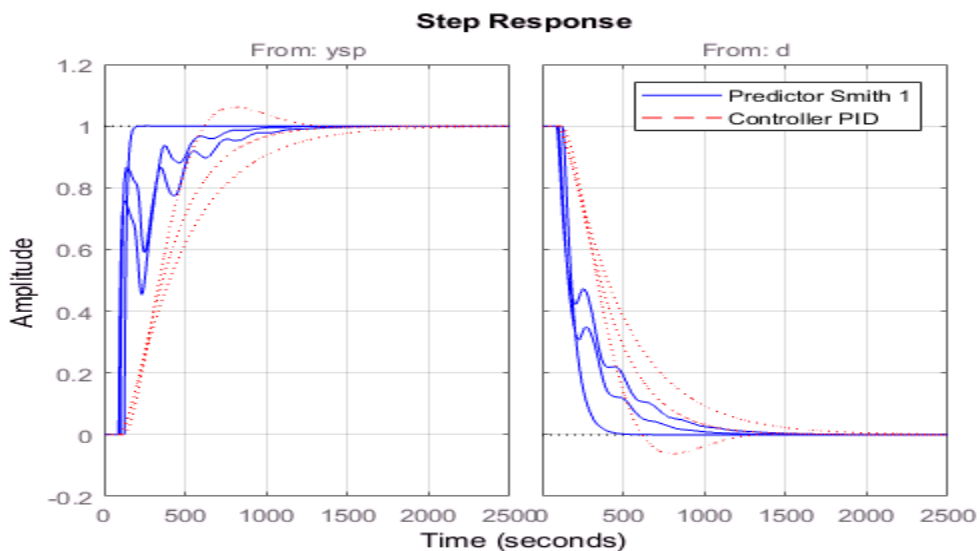
```
P1 = exp(-90*s) * 5/(38*s+1);
P2 = exp(-100*s) * 6/(42*s+1);
bode(P,P1,P2), grid on
title('Modele de procese Nominal si perturbat')
```



**Fig. 4. Analiza robusteții proceselor de reglare.**

Pentru a analiza robustețea, s-a format modelele nominale și perturbate într-o serie de modele de proces, reconstrui și funcțiile de transfer cu buclă închisă pentru modelele PI și Predictor Smith.

```
Plants = stack(1,P,P1,P2); % array of process models
T1 = connect(Plants,Gp,Dp,C,F,Sum1,Sum2,Sum3,{'ysp' , 'd'},'y'); % Smith
Tpi = feedback([Plants*Cpi,1],1,1,1); % PI
step(T1,'b',Tpi,'r--')
grid on
legend('Predictor Smith 1','Regulator PID')
```

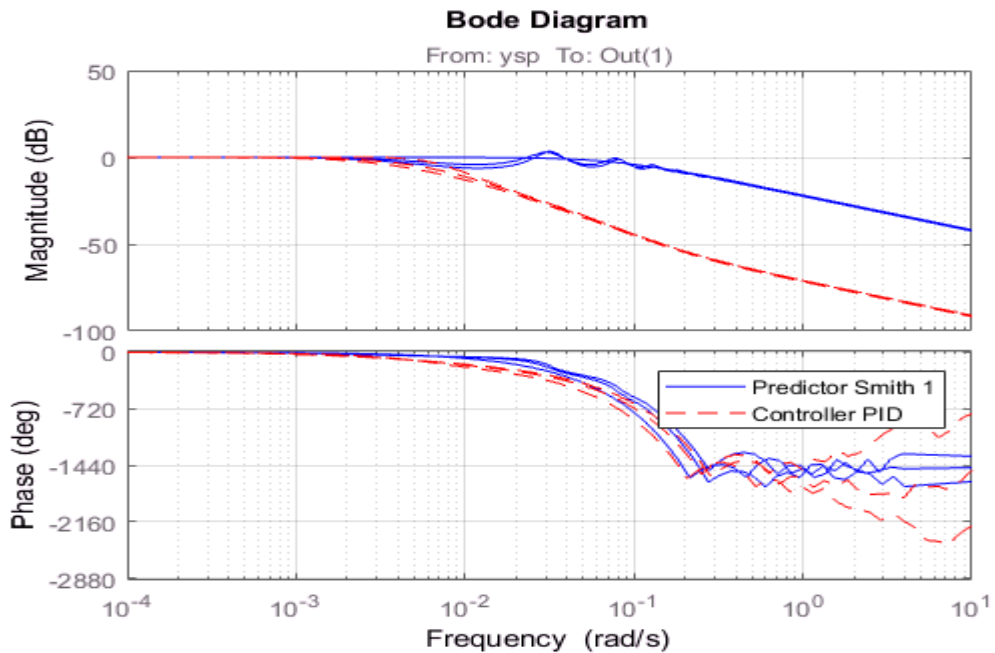


**Fig. 5. Sensibilitatea regulatorului Predictor Smith față de cel tradițional.**

Ambele modele sunt sensibile la nepotrivirea modelului, așa cum se confirmă prin caracteristicile Bode cu buclă închisă:

```
bode(T1(1,1), 'b', Tpi(1,1), 'r--')
```

```
grid on legend('Predictor Smith 1','Regulator PID')
```



**Fig. 6. Performanța regulatorului Predictor Smith față de cel tradițional.**

Îmbunătățirea robusteții reguletoarelor. Pentru a reduce sensibilitatea Smith Predictor la erorile de modelare, trebuie de verificat marginile de stabilitate pentru bucele interioare și exterioare. Bucla interioară  $C$  are funcția de transfer  $C * G_p$  cu buclă deschisă, astfel încât marja de stabilitate se obține cu funcția:

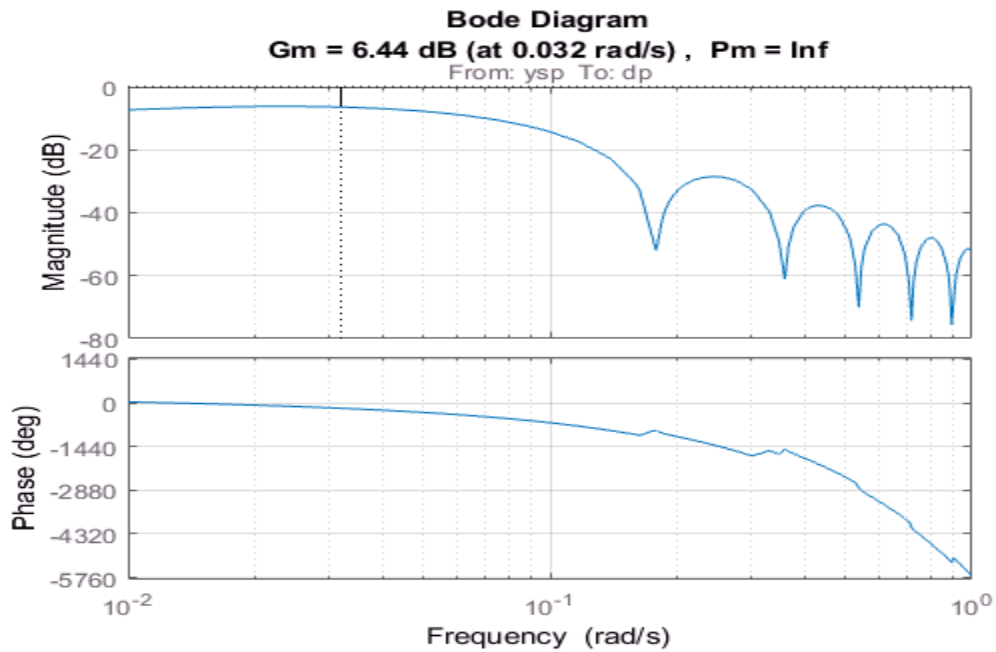
```
margin(C * Gp)
title('Marjele de stabilitate pentru bucla interioara (C)')
```

Bucla interioară are un câștig confortabil și margini de fază, astfel încât să se concentreze pe bucla următoare exterioară. Utilizând funcția CONNECT pentru funcția de transfer cu buclă deschisă  $L$  de la  $y_{sp}$  la  $dp$  cu buclă interioară închisă, se va obține:

```
Sum1o = sumblk('e = ysp - yp'); % open the loop at dp
L = connect(P,Gp,Dp,C,F,Sum1o,Sum2,Sum3,{'ysp' , 'd' }, 'dp');
bodemag(L(1,1))
```

Această funcție de transfer este în esență zero, ceea ce este de așteptat, când modelele de proces și de predicție se potrivesc exact. Pentru a obține o perspectivă asupra marjelor de stabilitate pentru bucla exterioară, trebuie să lucrăm cu unul dintre modelele de proces perturbate, de exemplu P1:

```
H = connect(Plants(:, :, 2), Gp, Dp, C, Sum1o, Sum2, Sum3, {'ysp' , 'd' }, 'dy');
H = H(1,1); % open-loop transfer ysp -> dy
L = F * H;
margin(L)
title('Marjele de stabilitate pentru bucla exterioara (F)')
grid on;
xlim([1e-2 1]);
```



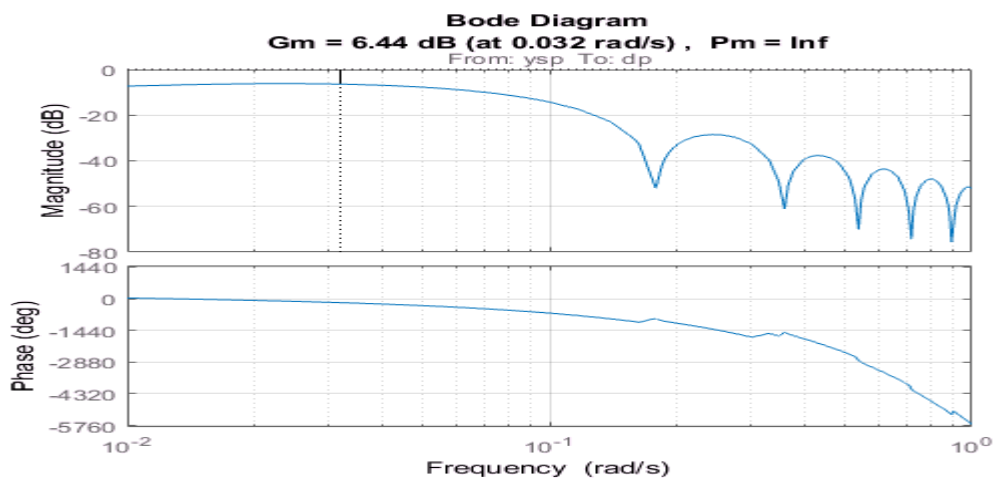
**Fig. 7. Îmbunătățirea robusteții reguletoarelor Smith Predictor.**

Această curbă a câștigului are o arcuire aproape de 0,04 rad/s, care scade marja de câștig și mărește arcuirea în răspunsul treptei de buclă închisă. Pentru a remedia această problemă, s-a ales un filtru  $F$  care se îndepărtează mai devreme și mai repede:

```
F = (1+10*s)/(1+100*s);
F.InputName = 'dy';
F.OutputName = 'dp';
```

S-a verificat dacă marja de câștig sa îmbunătățit în apropierea trecerii de fază de 0,04 rad/s:

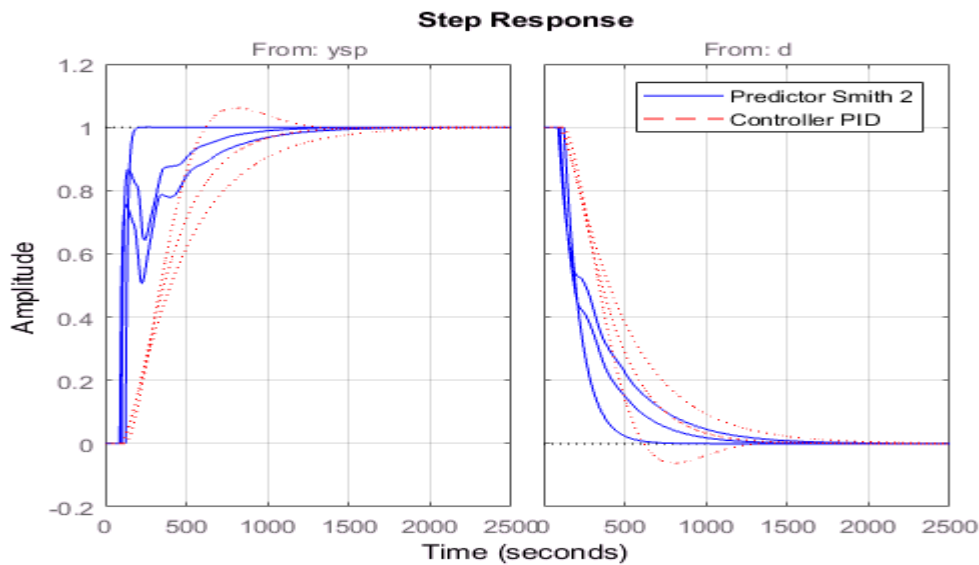
```
L = F * H;
margin(L)
title('Marjele de stabilitate pentru bucla exterioara cu filtru modificat F')
grid on;
xlim([1e-2 1]);
```



**Fig. 8. Îmbunătățirea robusteții reguletoarelor Smith Predictor cu filtru modificat.**

În cele din urmă, s-au simulat răspunsurile în buclă închisă cu filtrul modificat:

```
T2 = connect(Plants,Gp,Dp,C,F,Sum1,Sum2,Sum3,{'y' , 'd' },'y');
step(T2,'b',Tpi,'r--')
grid on
legend('Predictor Smith 2','Regulator PID')
```



**Fig. 9. Răspunsurile Smith Predictor cu buclă închisă cu filtrul modificat.**

După cum se observă, varianta modificată oferă o performanță mai consistentă, în detrimentul unui răspuns nominal ușor mai lent.

Îmbunătățirea respingerii deranjamentelor. Funcția de transfer în buclă închisă de la  $d$  la  $y$  arată că alegerea optimă pentru filtrul  $F$  este dependent de timpul mort  $\tau$  al modelului intern. Această realizează o respingere perfectă a perturbațiilor, indiferent de nepotrivire între proces și predictor. Este sugerată aproximarea fazei a funcțiilor de transfer:

$$e^{\tau s} \approx \frac{1 + B(s)}{1 + B(s)e^{-\tau s}}$$

unde:  $B$  este un filtru trece-jos cu aceeași constantă de timp ca modelul intern  $G_p$ . Se va testa această schemă după cum urmează:

```
B = 0.05/(40*s+1);
tau = totaldelay(Dp);
F = (1+B)/(1+B*exp(-tau*s));
F.InputName = 'dy';
F.OutputName = 'dp';
Plant = connect(P,Gp,Dp,F,S1,S2,'u','ym');
C = pidtune(Plant,pidstd(1,1),0.02,pidtuneOptions('PhaseMargin',90));
C.InputName = 'e';
C.OutputName = 'u';
```

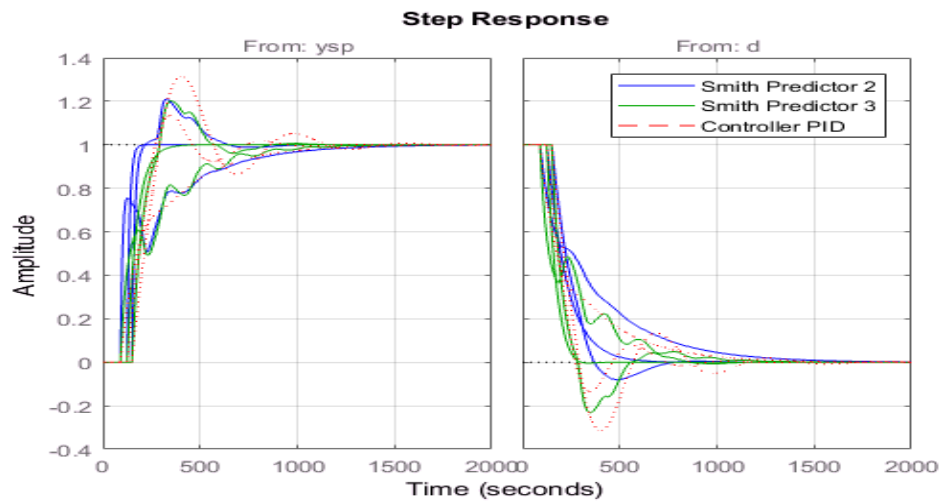
Prin urmare obținem modelul regulator PI in forma standard.

$$C = K_p * \left( 1 + \frac{1}{T_i} * \frac{1}{s} \right) \quad , \text{ cu parametrii: } K_p = 0.143, T_i = 54.9$$

Relansăm simularea modelului cu buclă închisă T3 pentru a compara regulatorul classic

PID cu regulatoarele predictive Smith2 și Smith3:

```
T3 = connect(Plants,Gp,Dp,C,F,Sum1,Sum2,Sum3,{'ysp' , 'd' },'y');  
step(T2,'b',T3,'g',Tpi,'r--')  
grid on  
legend('Predictor Smith 2',' Predictor Smith 3','Regulator PID')
```



**Fig. 10. Compararea răspunsurilor reguletoarelor Smith Predictor cu cel tradițional.**

Aceste rezultate demonstrează performanțele reguletoarelor predictive tip Smith față de reguletoarele tradiționale tip PI/PID.

**Instrumente de creare a Bazei de Date Fuzzy**

**Instrumentariu de creare a bazei de date FUZZY**

Expert	Parametru intrare A	Column5	Valoarea fuzzy	Relatia	Parametru intrare B	Column3	Valoarea fuzzy2	Column1	Actionare	Setare	Valoarea fuzzy Out	Note
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Redus prea/mai tr	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus puțin	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Redus prea/mai mult	se recomandă 1,0 h
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Redus mult	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus puțin	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Redus mult	se recomandă 1,5 h
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Redus mediu	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus mediu	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Redus mediu	se recomandă 2,0 h
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Norma	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Norma	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Redus puțin	se recomandă 2,5 h
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Surplus puțin	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus puțin	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Surplus puțin	se recomandă 3,0 h
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Surplus mediu	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus mult	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Surplus mediu	se recomandă 3,5 h
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Surplus mare	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus puțin	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Surplus mare	se recomandă 4,0 h
Expert A	CB05, [mg/l] Incărcarea organică	este	Surplus prea/mai tr	AND	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus mult	Atunci	taer, [h] Timpul de taer, [h] Timpul de	de setat	Surplus prea/mai mare	se recomandă 5,0 h
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Redus prea/mai tr	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Norma	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Redus prea/mai mult	decantabilitate buna
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Redus mult	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Norma	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Redus mult	decantabilitate buna
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Redus mediu	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Norma	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Redus mediu	decantabilitate buna
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Redus puțin	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Redus mult	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Redus puțin	decantabilitate buna
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Norma	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Redus puțin	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Norma	decantabilitate buna
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Surplus puțin	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Redus mult	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Surplus puțin	decantabilitate slaba (umflare)
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Surplus mediu	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Surplus puțin	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Surplus mediu	decantabilitate slaba (umflare)
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Surplus mare	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Redus mult	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Surplus mare	decantabilitate slaba (umflare)
Expert A	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Surplus prea/mai tr	AND	DN, [g/l] Doza nămolului în BAN	este	Norma	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Surplus prea/mai mare	decantabilitate slaba (umflare)
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Redus prea/mai tr	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Redus prea/mai mult	vana deschisa mai mult
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Redus mult	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Redus mult	vana deschisa mult
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Redus mediu	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Redus mediu	vana deschisa mediu
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Redus puțin	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Redus puțin	vana deschisa puțin
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Norma	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Norma	vana/supapa deschisa normal
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Surplus puțin	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Surplus puțin	vana inchisa puțin
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Surplus mediu	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Surplus mediu	vana inchisa mediu
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Surplus mare	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Surplus mare	vana inchisa mult
Expert A	O2, [mg/l] Oxigen dizolvat	este	Surplus prea/mai tr	AND	Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer tr	este	Norma	Atunci	Vana/Supapa	de setat	Surplus prea/mai mare	vana inchisa mult
Expert B	Qau, [m <sup>3</sup> /h] debitul de apă uzat	este	Redus mult	AND	lb, [kg CB05 /m <sup>3</sup> basîn*zi] Incă	este	Redus mult	Atunci	ln, [kg CB05 /kg.s]	de setat	Surplus mare	de stabilit incaarcarea orga. In BANA (raport biomasa/substrat)
Expert C	IVN, [mi/g] Indecale volumului de	este	Redus mediu	AND	lb, [kg CB05 /m <sup>3</sup> basîn*zi] Incă	este	Redus mediu	Atunci	β, [%] Gradul de re	de setat	Redus mediu	a stabili incar.orga a BANA

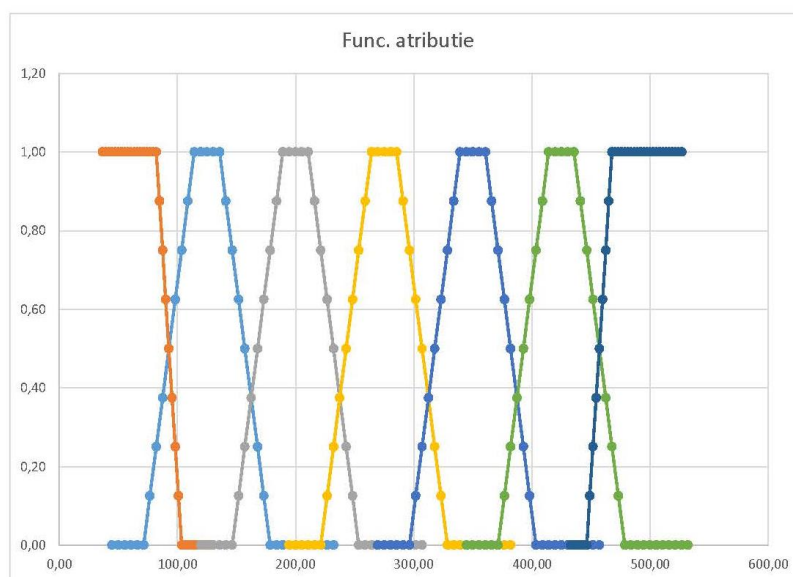


Regula fuzzy

IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Redus prea/mai mult) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Redus puțin) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Redus prea/mai mult) // Expert A { se recomanda 1.0 h }  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Redus mult) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Redus puțin) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Redus mult) // Expert A { se recomanda 1.5 h }  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Redus mediu) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Redus puțin) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Redus puțin) // Expert A { se recomanda 2.0 h }  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Redus puțin) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Redus puțin) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Redus puțin) // Expert A { se recomanda 2.5 h }  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Norma) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Norma) // Expert A { se recomanda 3.0 h }  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Surplus puțin) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Surplus puțin) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Surplus puțin) // Expert A { se recomanda 3.5 h }  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Surplus mediu) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Surplus mediu) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Surplus mediu) // Expert A { se recomanda 4.0 h }  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Surplus mare) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Surplus mare) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Surplus mare) // Expert A { se recomanda 4.5 h }  
  
 IF (CB05, [mg/l] încărcarea organică a apei la intrare is Surplus prea/mai mare) AND (Qau, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Redus mult) THEN (taer, [h] Timpul de aerare set Surplus prea/mai mare) // Expert A { se recomanda 5.0 h }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Redus prea/mai mult) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Norma) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Redus prea/mai mult) // Expert A { decantabilitate buna }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Redus puțin) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Norma) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Redus puțin) // Expert A { decantabilitate buna }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Redus mediu) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Norma) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Redus mediu) // Expert A { decantabilitate buna }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Redus puțin) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Norma) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Redus puțin) // Expert A { decantabilitate buna }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Norma) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Redus mult) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Norma) // Expert A { decantabilitate buna }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Surplus puțin) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Redus puțin) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Surplus puțin) // Expert A { decantabilitate slaba (umflare) }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Surplus mediu) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Surplus mediu) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Surplus mediu) // Expert A { decantabilitate slaba (umflare) }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Surplus mare) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Surplus mare) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Surplus mare) // Expert A { decantabilitate slaba (umflare) }  
  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Surplus prea/mai mare) AND (DN, [g/l] Doza nămolului în BANA is Norma) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Surplus prea/mai mare) // Expert A { decantabilitate slaba (umflare) }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Redus puțin) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Redus prea/mai mult) // Expert A { vana deschisa mai mult }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Redus mult) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Redus mult) // Expert A { vana deschisa mult }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Redus mediu) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Redus mediu) // { vana deschisa mediu }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Redus puțin) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Redus puțin) // { vana deschisa puțin }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Norma) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Norma) // { vana/supapa deschisa normal }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Surplus puțin) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Surplus puțin) // { vana inchisa puțin }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Surplus mediu) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Surplus mediu) // { vana inchisa mediu }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Surplus mare) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Surplus mare) // { vana inchisa mult }  
 IF (O2, [mg/l] Oxigen dizolvat is Surplus prea/mai mare) AND (Qaer, [kgO2/h] Debitul de aer introdus is Norma) THEN (Vana/Supapa set Surplus prea/mai mare) // { vana inchisa mult }  
 IF (Qa, [m3/h] debitul de apă uzată influent is Redus mult) AND (Ib, [kg CB05./m3 bazin\*zi] încărcarea organică a infli. în BANA is Redus mult) THEN (In, [kg CB05./kg.s.u.\*zi] încărcarea organică NARrecirculat în BANA set Surplus mare) // Expert B { de stabilit: inaarcarrea orga. în BANARaport biomasa:substrat }  
 IF (VN, [mi/g] indecelele volumului de nămol is Redus mediu) AND (Ib, [kg CB05./m3 bazin\*zi] încărcarea organică a infli. în BANA is Redus mediu) THEN (β, [%] Gradul de recirculare a nămolului set Redus mediu) // Expert C { a stabili incar.orga a BANA }

### Fuzzificarea și Defuzzificarea variabilelor de intrare și ieșire

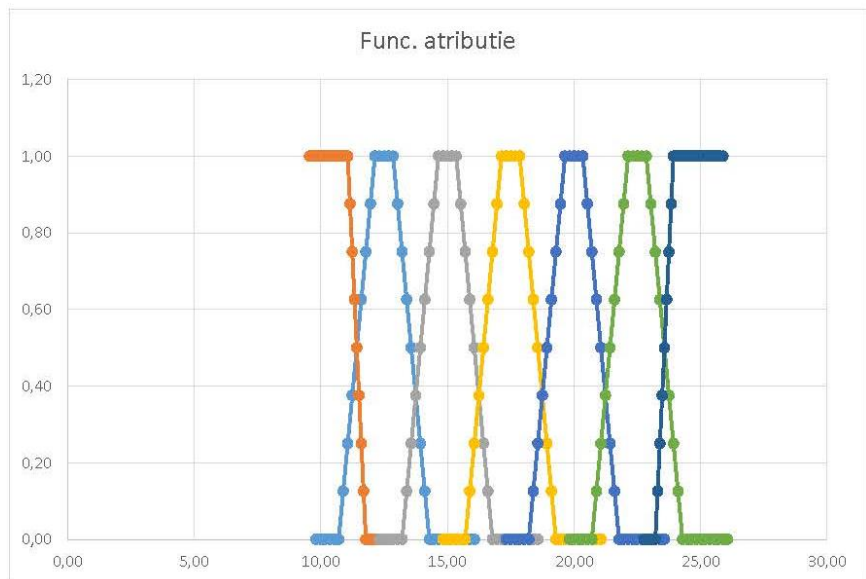
Valorile funcției de atribuire la fuzzificarea													
CBO5, [mg/l] Consumul biochimic de oxigen													
N3		N2		N1		Z		P1		P2		P3	
X	Miu (x)	X	Miu (x)	X	Miu (x)	X	Miu (x)	X	Miu (x)	X	Miu (x)	X	Miu (x)
36,61	1,00	44,64	0,00	119,64	0,00	194,64	0,00	269,64	0,00	344,64	0,00	433,04	0,00
39,29	1,00	50,00	0,00	125,00	0,00	200,00	0,00	275,00	0,00	350,00	0,00	435,71	0,00
41,96	1,00	55,36	0,00	130,36	0,00	205,36	0,00	280,36	0,00	355,36	0,00	438,39	0,00
44,64	1,00	60,71	0,00	135,71	0,00	210,71	0,00	285,71	0,00	360,71	0,00	441,07	0,00
47,32	1,00	66,07	0,00	141,07	0,00	216,07	0,00	291,07	0,00	366,07	0,00	443,75	0,00
50,00	1,00	71,43	0,00	146,43	0,00	221,43	0,00	296,43	0,00	371,43	0,00	446,43	0,00
52,68	1,00	76,79	0,13	151,79	0,13	226,79	0,13	301,79	0,12	376,79	0,12	449,11	0,13
55,36	1,00	82,14	0,25	157,14	0,25	232,14	0,25	307,14	0,25	382,14	0,25	451,79	0,25
58,04	1,00	87,50	0,38	162,50	0,38	237,50	0,38	312,50	0,37	387,50	0,37	454,46	0,38
60,71	1,00	92,86	0,50	167,86	0,50	242,86	0,50	317,86	0,50	392,86	0,50	457,14	0,50
63,39	1,00	98,21	0,63	173,21	0,63	248,21	0,63	323,21	0,62	398,21	0,62	459,82	0,63
66,07	1,00	103,57	0,75	178,57	0,75	253,57	0,75	328,57	0,75	403,57	0,75	462,50	0,75
68,75	1,00	108,93	0,88	183,93	0,88	258,93	0,88	333,93	0,87	408,93	0,87	465,18	0,88
71,43	1,00	114,29	1,00	189,29	1,00	264,29	1,00	339,29	1,00	414,29	1,00	467,86	1,00
74,11	1,00	119,64	1,00	194,64	1,00	269,64	1,00	344,64	1,00	419,64	1,00	470,54	1,00
76,79	1,00	125,00	1,00	200,00	1,00	275,00	1,00	350,00	1,00	425,00	1,00	473,21	1,00
79,46	1,00	130,36	1,00	205,36	1,00	280,36	1,00	355,36	1,00	430,36	1,00	475,89	1,00
82,14	1,00	135,71	1,00	210,71	1,00	285,71	1,00	360,71	1,00	435,71	1,00	478,57	1,00
84,82	0,87	141,07	0,87	216,07	0,87	291,07	0,88	366,07	0,88	441,07	0,88	481,25	1,00
87,50	0,75	146,43	0,75	221,43	0,75	296,43	0,75	371,43	0,75	446,43	0,75	483,93	1,00
90,18	0,62	151,79	0,62	226,79	0,62	301,79	0,63	376,79	0,63	451,79	0,63	486,61	1,00
92,86	0,50	157,14	0,50	232,14	0,50	307,14	0,50	382,14	0,50	457,14	0,50	489,29	1,00
95,54	0,37	162,50	0,37	237,50	0,37	312,50	0,38	387,50	0,38	462,50	0,38	491,96	1,00
98,21	0,25	167,86	0,25	242,86	0,25	317,86	0,25	392,86	0,25	467,86	0,25	494,64	1,00
100,89	0,12	173,21	0,12	248,21	0,12	323,21	0,13	398,21	0,13	473,21	0,13	497,32	1,00
103,57	0,00	178,57	0,00	253,57	0,00	328,57	0,00	403,57	0,00	478,57	0,00	500,00	1,00
106,25	0,00	183,93	0,00	258,93	0,00	333,93	0,00	408,93	0,00	483,93	0,00	502,68	1,00
108,93	0,00	189,29	0,00	264,29	0,00	339,29	0,00	414,29	0,00	489,29	0,00	505,36	1,00
111,61	0,00	194,64	0,00	269,64	0,00	344,64	0,00	419,64	0,00	494,64	0,00	508,04	1,00
114,29	0,00	200,00	0,00	275,00	0,00	350,00	0,00	425,00	0,00	500,00	0,00	510,71	1,00
116,96	0,00	205,36	0,00	280,36	0,00	355,36	0,00	430,36	0,00	505,36	0,00	513,39	1,00
119,64	0,00	210,71	0,00	285,71	0,00	360,71	0,00	435,71	0,00	510,71	0,00	516,07	1,00
122,32	0,00	216,07	0,00	291,07	0,00	366,07	0,00	441,07	0,00	516,07	0,00	518,75	1,00
125,00	0,00	221,43	0,00	296,43	0,00	371,43	0,00	446,43	0,00	521,43	0,00	521,43	1,00
127,68	0,00	226,79	0,00	301,79	0,00	376,79	0,00	451,79	0,00	526,79	0,00	524,11	1,00
130,36	0,00	232,14	0,00	307,14	0,00	382,14	0,00	457,14	0,00	532,14	0,00	526,79	1,00



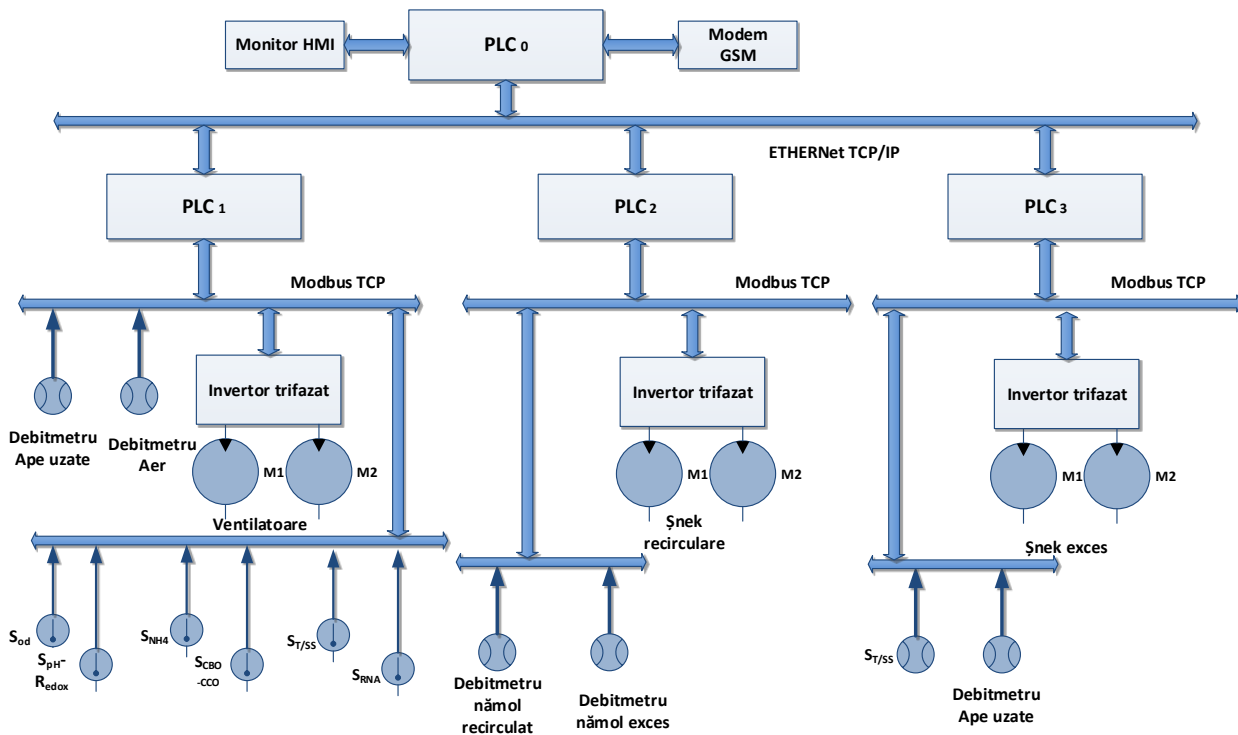
Valorile funcției de atribuire la defuzificarea:																				
Qau. efl [m3/h] debitul de apă uzată efluent																				
N3			N2			N1			Z			P1			P2			P3		
X	Miu (x)		X	Miu (x)		X	Miu (x)		X	Miu (x)		X	Miu (x)		X	Miu (x)		X	Miu (x)	
9,55	1,00		9,82	0,00		12,32	0,00		14,82	0,00		17,32	0,00		19,82	0,00		22,77	0,00	
9,64	1,00		10,00	0,00		12,50	0,00		15,00	0,00		17,50	0,00		20,00	0,00		22,86	0,00	
9,73	1,00		10,18	0,00		12,68	0,00		15,18	0,00		17,68	0,00		20,18	0,00		22,95	0,00	
9,82	1,00		10,36	0,00		12,86	0,00		15,36	0,00		17,86	0,00		20,36	0,00		23,04	0,00	
9,91	1,00		10,54	0,00		13,04	0,00		15,54	0,00		18,04	0,00		20,54	0,00		23,13	0,00	
10,00	1,00		10,71	0,00		13,21	0,00		15,71	0,00		18,21	0,00		20,71	0,00		23,21	0,00	
10,09	1,00		10,89	0,13		13,39	0,13		15,89	0,13		18,39	0,12		20,89	0,12		23,30	0,13	
10,18	1,00		11,07	0,25		13,57	0,25		16,07	0,25		18,57	0,25		21,07	0,25		23,39	0,25	
10,27	1,00		11,25	0,38		13,75	0,38		16,25	0,37		18,75	0,37		21,25	0,37		23,48	0,38	
10,36	1,00		11,43	0,50		13,93	0,50		16,43	0,50		18,93	0,50		21,43	0,50		23,57	0,50	
10,45	1,00		11,61	0,63		14,11	0,63		16,61	0,62		19,11	0,62		21,61	0,62		23,66	0,63	
10,54	1,00		11,79	0,75		14,29	0,75		16,79	0,75		19,29	0,75		21,79	0,75		23,75	0,75	
10,63	1,00		11,96	0,88		14,46	0,88		16,96	0,87		19,46	0,87		21,96	0,87		23,84	0,88	
10,71	1,00		12,14	1,00		14,64	1,00		17,14	1,00		19,64	1,00		22,14	1,00		23,93	1,00	
10,80	1,00		12,32	1,00		14,82	1,00		17,32	1,00		19,82	1,00		22,32	1,00		24,02	1,00	
10,89	1,00		12,50	1,00		15,00	1,00		17,50	1,00		20,00	1,00		22,50	1,00		24,11	1,00	
10,98	1,00		12,68	1,00		15,18	1,00		17,68	1,00		20,18	1,00		22,68	1,00		24,20	1,00	
11,07	1,00		12,86	1,00		15,36	1,00		17,86	1,00		20,36	1,00		22,86	1,00		24,29	1,00	
11,16	0,88		13,04	0,87		15,54	0,87		18,04	0,88		20,54	0,88		23,04	0,88		24,38	1,00	
11,25	0,75		13,21	0,75		15,71	0,75		18,21	0,75		20,71	0,75		23,21	0,75		24,46	1,00	
11,34	0,63		13,39	0,62		15,89	0,62		18,39	0,63		20,89	0,63		23,39	0,63		24,55	1,00	
11,43	0,50		13,57	0,50		16,07	0,50		18,57	0,50		21,07	0,50		23,57	0,50		24,64	1,00	
11,52	0,38		13,75	0,37		16,25	0,37		18,75	0,38		21,25	0,38		23,75	0,38		24,73	1,00	
11,61	0,25		13,93	0,25		16,43	0,25		18,93	0,25		21,43	0,25		23,93	0,25		24,82	1,00	
11,70	0,13		14,11	0,12		16,61	0,13		19,11	0,13		21,61	0,13		24,11	0,13		24,91	1,00	
11,79	0,00		14,29	0,00		16,79	0,00		19,29	0,00		21,79	0,00		24,29	0,00		25,00	1,00	
11,88	0,00		14,46	0,00		16,96	0,00		19,46	0,00		21,96	0,00		24,46	0,00		25,09	1,00	
11,96	0,00		14,64	0,00		17,14	0,00		19,64	0,00		22,14	0,00		24,64	0,00		25,18	1,00	
12,05	0,00		14,82	0,00		17,32	0,00		19,82	0,00		22,32	0,00		24,82	0,00		25,27	1,00	
12,14	0,00		15,00	0,00		17,50	0,00		20,00	0,00		22,50	0,00		25,00	0,00		25,36	1,00	
12,23	0,00		15,18	0,00		17,68	0,00		20,18	0,00		22,68	0,00		25,18	0,00		25,45	1,00	
12,32	0,00		15,36	0,00		17,86	0,00		20,36	0,00		22,86	0,00		25,36	0,00		25,54	1,00	
12,41	0,00		15,54	0,00		18,04	0,00		20,54	0,00		23,04	0,00		25,54	0,00		25,63	1,00	
12,50	0,00		15,71	0,00		18,21	0,00		20,71	0,00		23,21	0,00		25,71	0,00		25,71	1,00	
12,59	0,00		15,89	0,00		18,39	0,00		20,89	0,00		23,39	0,00		25,89	0,00		25,80	1,00	
12,68	0,00		16,07	0,00		18,57	0,00		21,07	0,00		23,57	0,00		26,07	0,00		25,89	1,00	

Xa -->

Xb -->



Schema generală a nivelului de jos pentru procesul de epurare biologică de la stația de epurare din municipiul Chișinău.



**Amplasarea senzorilor pentru monitorizarea parametrilor  
proceselor de epurare a apei uzate din municipiul Chişinău  
(Determinări şi înregistrări)**

**Date iniţiale pentru caietul de sarcini la automatizarea proceselor tehnologice  
la Staţia de epurare Chişinău**

Se prezintă în continuare principalii parametri care trebuie să fie măsuraţi în Staţia de Epurare din Chişinău pentru fiecare treaptă de epurare:

**1. Treapta primară – mecanică (fizică)**

**1.1. Zona de admisie a apei uzate în SE:**

***Concentraţii de poluanţi influente:***

- Materii solide (SS)
- Consum biochimic de oxigen (CBO<sub>5</sub>)
- Consum chimic de oxigen (CCO)
- Azot total
- Azot amoniacal
- Azot organic
- Azotaţi (NO<sub>3</sub> – N)
- Azotiţi (NO<sub>2</sub> – N)
- Total Phosphorus (P), fosfor total
- Măsurarea şi controlul nivelului apei uzate în camera de recepţie cu automatizarea pompelor în funcţie de nivelul apei uzate **Nivel de la 0 ÷ 6 m; Semnalizare de avarie**
- Temperatura apelor uzate

**1.2. Pentru grătare si site:**

- Măsurarea nivelului apei până şi după grătar (**de la 0 ÷ 2m, semnalizare de avarie**)
- Diferenţa de nivel a apei pe grătar, pentru a comanda pornirea/oprirea greblei curăţătoare
- Cantitatea de substanţe reţinute, în m<sup>3</sup>/zi
- Defecţiunile şi cauzele precum şi măsurile luate
- Materialele şi energia consumată

**1.3. Separatorul de grăsimi.** Pentru urmărirea funcţionării separatorului se determină şi înregistrează:

- cantitatea de grăsime reţinută, în m<sup>3</sup>/zi;
- cantitatea de aer şi de clor utilizate, în m<sup>3</sup>/zi;
- deficienţe, cauze, remediere, energie consumată.

**1.4. Pentru deznisipatorul:**

- Măsurarea şi înregistrarea nivelului apei uzate (**de la 0 ÷ 2m, semnalizare de avarie**)
- Cantitatea de nisip evacuată

- Debitul de aer furnizat
- Presiunea aerului furnizat, cu rol de alarmare în caz de suprapresiune
- Debitul apei industriale (Evacuarea nisipului din deznisipator se face cu ajutorul hidroelevatoarelor spre platforme de nisip sau buncăre. Debitul apei industriale (fluidul activ) constituie 1-1,5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> nisip).
- pH-ul la ieșire
- Turbiditatea

#### **1.5. Stația de pompare:**

- Debitul de apă uzată
- Nivelul apei în SP – permite comanda pornirii/opririi pompelor în funcție de nivel
- Consumul de energie electrică
- Timpul de stocare
- Semnalizare în caz de avarie
- Deconectarea automatizată în caz de avarie
- Orele lucrate a agregatelor de pompare

#### **1.6. Instalații pentru coagularea suspensiilor din apă**

- Dozele de coagulant rezultate ca necesare din cercetarea de laborator;
- Dozele de coagulant administrate și consumul total;
- Consumul de energie și aer comprimat.

#### **1.7. Pentru decantorul primar:**

- Debitul de apă uzată la intrare;
- Nivelul de nămol depus în decantor, pentru a comanda pornirea/oprirea pompei de evacuare a nămolului;
- Concentrația de suspensii solide din nămolul evacuat din decantor – permite comanda pornirii/opririi pompei de evacuare a nămolului astfel încât nămolul trimis spre gospodăria de nămol să aibă concentrație mică de apă;
- Debitul de nămol evacuat din decantor;
- Temperatura nămolului evacuat;
- Turbiditatea înainte și după decantorul primar – permite precizarea eficienței de exploatare a acestui bazin și luarea deciziilor în cazul creșterii concentrației suspensiilor solide la ieșire.

La ieșirea din decantorul primar se măsoară parametrii necesari pentru intrarea în treapta biologică:

- Materii totale în suspensie (MTS)
- Materii totale volatile în suspensie (MTVS)
- Materii totale solide și materii totale volatile din nămol
- Consum biochimic de oxigen (CBO<sub>5</sub>)
- pH-ul apei brute
- Consum chimic de oxigen (CCO)
- Azot total
- Azot amoniacal
- Azot organic
- Azotați (NO<sub>3</sub> – N)
- Azotiți (NO<sub>2</sub> – N)
- Total Phosphorus (P), fosfor total

## **2. Treapta secundară – biologică**

În cadrul procesului de epurare biologică aerobă cu nămol activ, trebuie să se facă următoarele măsurători:

### **2.1. În bazinul de aerare**

- Parametrii de intrare în treapta secundară, biologică: CCO, CBO, amoniu, fosfor total (dacă nu au fost măsurați la ieșirea din decantorul primar).
- Concentrația oxigenului dizolvat – comandă suflanta pentru reducerea/creșterea debitului de aer insuflat.
- Potențialul redox
- pH-ul
- Concentrația de amoniu (în cazul în care se face îndepărtarea compușilor de carbon și azot în treapta combinată – comandă suflanta pentru reducerea/creșterea debitului de aer insuflat).
- Concentrația de suspensii din bazinul de aerare – comandă pompa de recirculare nămol activ
- Indicele de nămol
- Timp maxim de concentrare
- Vârsta nămolului
- Viteza de respirație a nămolului activ
- Debitul de aer injectat în sistemul de aerare
- Presiunea aerului injectat în sistemul de aerare
- Debit de nămol activ recirculat
- Debit de nămol activ în exces
- Consumul de curent electric pentru aerare și manipularea nămolului
- Timpul necesar deservirii curente a bazinelor cu nămol activ, cel necesar reparării defecțiunilor.

### **2.2. În decantorul secundar**

- Debitul de nămol recirculat
- Concentrația de suspensii în nămolul activ recirculat – comandă pompa de recirculare nămol activ
- Înălțimea stratului de nămol din decantor – comandă pompa de evacuare a nămolului din decantor
- Concentrația de suspensii solide la ieșirea din decantor
- Debitul de apă la ieșirea din decantor

## **3. Dezinfecția**

### **3.1. Stația de clor**

Parametrii măsurați sunt:

- Concentrația clorului rezidual la ieșire – comandă pompa de dozare clor
- Nivelul în rezervorul de clor
- Măsurarea concentrației de clor în aerul din încăperea
- Debitul clorului gazos și presiunea în conducta de clor gazos

- Presiunea apei tehnice în conductă înainte de dozator și semnalizare

### **3.2. Bazinul de contact**

- Debitul apei epurate
- Turbiditate
- Culoare
- Nivelul apei în bazin
- pH la intrare
- Temperatură
- Concentrația oxigenului dizolvat
- Concentrația de amoniu și fosfat
- Concentrația de nitrați
- Concentrația clorului rezidual la ieșirea din bazin
- Concentrația de H<sub>2</sub>S

#### **Concentrații de poluanți efluenți**

- Materii solide (SS)
- Consum biochimic de oxigen (CBO<sub>5</sub>)
- Consum chimic de oxigen (CCO)
- Azot total
- Azot amoniacal
- Azot organic
- Azotați (NO<sub>3</sub> – N)
- Azotiți (NO<sub>2</sub> – N)
- Total Phosphorus (P), fosfor total

## **4. Gospodăria de nămol**

### **1. Bazine de fermentare a nămolului**

*a) Determinări privind nămolul în curs de fermentare:*

- Temperatura
- pH
- Substanțele solide totale organice (volatile), este un bun indicator al evoluției fermentării
- Acizi volatili
- Alcalinitatea (exprimată în bicarbonat)
- Caracteristici fizice (culoarea, mirosul)
- Volumul de nămol evacuat pentru deshidratare, pentru recirculare, pentru introdus în treapta a doua
- Producția de gaz
- Compoziția gazului (indică mersul fermentării)

*b) Determinări privind nămolul fermentat*

- Caracteristici fizice (culoarea, mirosul)
- Volumul de nămol evacuat
- Substanțele solide totale
- pH

*c) Determinări privind supernatantul*



- Volumul evacuat
- pH-ul supernatantului
- Acizii volatili
- Substanțele solide în suspensie
- CBO<sub>5</sub>
- Temperatura apei din cazan și a nămolului recirculat

**2. Deshidratarea nămolului pe platformele de nămol**

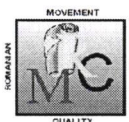
- Cantitatea de nămol primar
- Cantitatea de nămol în exces
- Cantitatea de nămol stabilizat
- Cantitatea de nămol de la deshidratare
- Debitul apelor drenate de la platforme



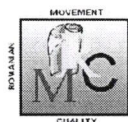
**SOCIETATEA PE ACȚIUNI „APĂ-CANAL CHIȘINĂU”**  
 str. Albișoara nr. 38, MD 2005, mun. Chișinău, Republica Moldova  
 tel. 022 25-69-01, tel/fax: 022 22-23-49, e-mail: [acc@acc.md](mailto:acc@acc.md), web: [www.acc.md](http://www.acc.md)



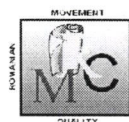
Titulară a Ordinului  
 „Gloria Muncii”  
 12.12.2012



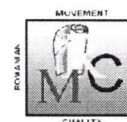
Certificat Nr.085C  
 ISO 9001



Certificat Nr.027M  
 ISO 14001



Certificat Nr.015HS  
 OHSAS 18001



Certificat Nr.002En  
 ISO 50001

6 iulie 2020

mun. Chișinău

## SCRISOARE DE CONFIRMARE

Prin prezenta confirmăm că dna Natalia Ciobanu a participat la elaborarea datelor inițiale privind parametrii tehnologici pentru caietul de sarcini la automatizarea proceselor tehnologice de epurare la Stația de Epurare Biologică a apelor uzate din mun. Chișinău (SEB), care stau la baza elaborării proiectului de reabilitare și modernizare a stației, și conform programului de executare a lucrărilor se prevede implementarea acestora până la finele anului 2021.

Director general **interimar**



Anatolie Lichii

**Arcadie Rusnac**

**Șef Departament Asigurarea și controlul calității**

+373 022 256973

Cod IBAN MD12PR002251166792001498, BC „ProCreditBank”, CF 1002600015876, Cod TVA 0600920, capitalul social 611915200 lei

Atenție! Documentul conține date cu caracter personal, prelucrate în cadrul sistemului de evidență, înregistrat în Registrul de evidență al operatorilor de date cu caracter personal [www.registru.datepersonale.md](http://www.registru.datepersonale.md). Prelucrarea ulterioară a acestor date poate fi efectuată numai în condițiile prevăzute de Legea nr.133 din 08.07.2011 privind protecția datelor cu caracter personal.

### **Declarația privind asumarea răspunderii**

Subsemnata, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat ”*Aplicarea Sistemelor Informaționale în dirijarea și optimizarea stațiilor de epurare biologică a apelor uzate (SCADA)*” sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

01.03.2021

Ciobanu Natalia

## CURRICULUM VITAE

**Numele și prenumele:** CIOBANU Natalia Constantin

**Data nașterii:** 03.02.1974

**Cetățenia:** Republica Moldova

### **Studii superioare:**

1. 1994 - 1999 Universitatea Tehnică a Moldovei. Diplomă de licență: inginer în construcții. Specialitatea: Gospodărirea și protecția apelor
2. 199 - 2000 Universitatea Tehnică a Moldovei. Diplomă de Magistru, specialitatea: Gospodărirea și protecția apelor.

**Domenii de interes științific:** modelare, tehnologii noi pentru optimizarea stației de epurare, consum de energie, fermentarea anaerobă și aerobă.

### **Experiență profesională:**

- 01.08.1999 - prezent - Universitatea Tehnică a Moldovei, Departamentul Alimentații cu Căldură, Apă, Gaze și Protecția Mediului, în calitate de lector universitar.
- 2021 – director Institutul de Formare Continuă în domeniul Alimentației cu Apă și Canalizării, Universitatea Tehnică a Moldovei.

### **Participări în proiecte naționale și internaționale, stagii:**

- 20.02.2014 – 30.12.2014 cursuri de perfecționare „Utilizarea mijloacelor informaționale de comunicare în învățământ”, Chisinau, UTM;
- 3- 7 October, 2011 – Huelva, Spanish, The NATO Science for Peace and Security Programme, ATCourse „Economic Sustainability and Environmental Protection in Mediterranean Countries through Clean Manufacturing Methods”;
- May 2005 – Stockholm, Sweden, The Royal Institute of Technology in Stockholm, course „Sustainable development”;
- June 2005 – Chisinau, Moldova, UNDP, Modernisation of University curriculum in the domain of Urban Development;
- November 2003 – February 2004 – Chisinau, Moldova, Tacis Project, Cleaner production consultants training course;
- January 2003 – Chisinau, Moldova, USAID, training course Efficient water supply operations.

- NATO Course “**Economic Sustainability and Environmental Protection in Mediterranean Countries through Clean Manufacturing Methods**”, held in Huelva, SPAIN, on 03-07 October 2011:
- UNIDO training on Project “**Financing for Resource Efficient and Cleaner Production (RECP)**”, Tbilisi, Georgia 23 – 28 March 2015
- NALAS project *Local Leaders in South-East Europe: Generic Training of Trainers (ToT)* 14 – 18.09.2015, Seget Donji, Croatia
- NALAS project *Local Leaders in South-East Europe: Specific Training of Trainers: Efficient organization and effective management of communal affairs*, 26-30.10.2015, Skopje, Macedonia
- NALAS project *Local Leaders in South-East Europe: Specific Training of Trainers: Implementation of infrastructure investment projects* 18-22.01.2016, Zagreb, Croatia
- NALAS project *Local Leaders in South-East Europe: Specific Training of Trainers: Results-based strategic programme planning and management* 01-05.02.2016, Belgrade, Serbia.
- **Cursul de instruire a formatorilor pentru modulele de perfectionare a personalului serviciului abonați a întreprinderilor Apă-Canal, AMAC, IFCAAC, UTM, GIZ, 20-22 septembrie 2016, Chișinău, Moldova ;**
- Обучающий семинар по повышению квалификации в контексте Протокола по проблемам воды и здоровья «**Управление водными ресурсами и современные технологии очистки воды**», Бишкек (Кыргызстан), 24-25 сентября 2018 года, Шымкент (Казахстан), 28-29 сентября 2018 года.
- научный семинар по Подготовки специалистов по воде, «**Необходимость подготовке кадров в области водоснабжения и водоотведения**», «Ассоциация «Молдова Апэ-Канал и создание Института непрерывного образования в области водоснабжения и водоотведения для членов ассоциации «Молдова Апэ-Канал», 18 мая 2018, Кишинев, Молдова
- **Tempus Project No.544178-TEMPUS-1-2013-1-PT-TEMPUS-JPCR, RETHINK - Reform of Education THru INternational Knowledge**, 01.12.2013 – 30.11.2016;
- **CPEA – 2015/10036, Water Harmony – Integration of Education, Research, Innovation and Entrepreneurship**” 01.03.2016 – 28.02.2019.

#### **Participări la forumuri științifice naționale și internaționale:**

- „The 9<sup>th</sup> biennial International Environmental Technology Trade Show and Conference”, 22-24 March 2011, Montreal, Canada;
- Conferința tehnico - științifică cu participare internațională „Instalații pentru construcții și economia de energie”, ediția a XXI-a, Iași (România), 7-8 iulie 2011;

- a 50-a Conferință jubiliară de instalații „Instalații pentru începutul mileniului trei – creșterea performanței energetice a clădirilor și a instalațiilor aferente”, 14-16 octombrie 2015, Sinaia, Romania;
- Conference and Working Session Within the frame of the International Program EUREKA, October 13<sup>th</sup> – 14<sup>th</sup>, 2016, GEOTest, Inc., Brno University of Technology, Brno, Czech Republic; Idem - November 28<sup>th</sup>, 2017; Idem - October 16<sup>th</sup>, 2020;
- Publicație tehnico-științifică și aplicativă ”Meridianul ingineresc”, 2016, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, R. Moldova;
- Culegere de articole a Conferinței Tehnico – Științifică Internațională „Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului”, Chișinău, 2016;
- Actes du II<sup>eme</sup> Séminaire doctoral International Francophone ”De ma première communication vers ma première publication scientifique”, 02-04 novembre 2016, Chisinau, République de Moldavie;
- Culegere de articole Conferința Tehnico - Științifică cu participare Internațională „Energie, Eficiență, Ecologie și Educație”, ediția a IV-a, 27-29 aprilie 2017, Chișinău, R. Moldova;
- **NATO Advanced Research Workshop** – Physical and safety in critical water infrastructure, 8-11 October 2018 in Oslo, Norway.
- The 2020 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020), October 29-30, 2020, Brest, Belarus.

#### **Lucrări științifice și științifico-metodice publicate:**

- 1. Articole, materiale ale comunicărilor științifice** – 54 buc.
- 2. Ghiduri metodice/metodologice** - 1 buc.
- 3. Note de curs /Suporturi de curs** – 1 buc.
- 4. Indicații /îndrumări metodice** - 8 buc.

#### **Cunoașterea calculatorului:**

Programe Microsoft Office (Word<sup>TM</sup>, Excel<sup>TM</sup>, PowerPoint<sup>TM</sup>), WaterCAD, AutoCAD, EPANET.

#### **Limbi cunoscute (cu indicarea gradului de cunoaștere):**

Română – natală

Rusă – fluent

Engleza – avansat

**Adresa, telefoane de contact, e-mail:** mun Chișinău, str. Studenților 9/18, ap. 28,

tel. mob. +373 69 118 090 [natalia.ciobanu@fua.utm.md](mailto:natalia.ciobanu@fua.utm.md) , [ciobnata@hotmail.com](mailto:ciobnata@hotmail.com)